



# PARETI FONOASSORBENTI IN LEGNO LUNGO LE LINEE FERROVIARIE: ANALISI DEI PROCESSI PRODUTTIVI E DEL POTENZIALE INDOTTO ECONOMICO

Fulvio Giudici

Ing. forestale ETH<sup>1</sup>

Jasper Janse

Economista SUPSI, Manno

*Lungo le linee ferroviarie delle FFS in Ticino è prevista la costruzione di oltre 70 km di pareti fonoassorbenti. La parte preponderante dei ripari sarà costruita in legno, considerato che il Consiglio di Stato nel 2003 si era chiaramente espresso in favore di questo materiale rinnovabile e indigeno, perlomeno lungo le tratte dimontagna e non urbane.*

*In questo contributo, a complemento di un'analisi dei processi produttivi (dal legname grezzo alla posa in cantiere del prodotto finito), si è tentato un confronto tra pareti in legno e in calcestruzzo attraverso un'analisi SWOT, metodo correntemente utilizzato per elaborare aiuti decisionali in diversi ambiti tecnici, industriali ed istituzionali, sulla base di punti di forza (S=Strength); dei punti di debolezza (W=Weakness); delle opportunità (O=Opportunities) e di minacce e rischi (T=Threats). Accanto a valutazioni di tipo prevalentemente tecnico, si sono esaminati altri aspetti di tipo organizzativo (svolgimento dei lavori) oltre che argomenti a carattere più generale come l'ecologia e l'estetica.*

*Si è infine proceduto a una stima dell'indotto economico di queste operazioni per il settore forestale e del legno, utilizzando il metodo della catena al valore per i vari processi di lavorazione.*

*Le informazioni alla base delle varie analisi sono state raccolte presso ditte produttrici di pareti in legno e in calcestruzzo; imprese di lavorazione della zona; rappresentanti di autorità locali e regionali e architetti e tecnici dell'Amministrazione cantonale (Ufficio della prevenzione dei rumori, Commissione bellezze naturali, Sezione forestale).*

## **Introduzione**

L'inquinamento fonico è uno dei problemi principali dalla società moderna poiché influisce direttamente sulla qualità della vita. Il costante aumento del traffico ferroviario provoca un inquinamento fonico che in Svizzera tocca direttamente quasi 300.000 persone. Il Consiglio Federale ha pertanto incaricato l'Ufficio Federale dei Trasporti e le FFS di elaborare soluzioni mirate, nelle seguenti 3 categorie d'intervento:

- miglioramento del materiale rotabile (riguarda 140.000 persone);
- sostituzione di finestre con posa di vetri fonoisolanti nelle abitazioni più esposte (concerne 60.000 persone);

- costruzione di pareti fonoassorbenti, provvedimento che tutelerà ca. 90.000 persone.

Tali interventi richiederanno un investimento di oltre 1,8 miliardi di franchi, metà dei quali per la realizzazione di ca. 300 km di pareti fonoassorbenti.

In Ticino si sta affrontando seriamente questo problema: infatti se secondo il rapporto sullo stato dell'ambiente in Ticino nel 1990 (Dipartimento del Territorio 2003), erano circa 40.000 persone e 5.000 ettari di territorio esposti a rumori notturni superiori a 50 dB, corrispondenti alla soglia limite d'immissione imposta per le zone residenziali dall'Ordinanza contro l'inqui-

<sup>1</sup> Già collaboratore scientifico dell'Istituto federale di ricerca WSL di Bellinzona e responsabile della Federlegno Ticino, Rivera



namento fonico (OIF) del 1986, i dati statistici più recenti indicano che tale numero è sceso a 30.000 (Ustat e Spaas, 2013).

Di conseguenza la linea del San Gottardo (corridoio Huckepack) e relative diramazioni sono le prime tratte oggetto di interventi di risanamento fonico. Le procedure e le relative fasi di progettazione e di realizzazione coinvolgono solo in Ticino circa 90 Comuni, suddivisi in una trentina di lotti di progettazione, di regola composti da 3 a 5 comuni.

Informazioni aggiornate sullo stato d'avanzamento del progetto per ogni Comune svizzero si trovano all'indirizzo: <http://www.bav.admin.ch/lis/projekte/stand/index.html?lang=it&kanton=TI>.

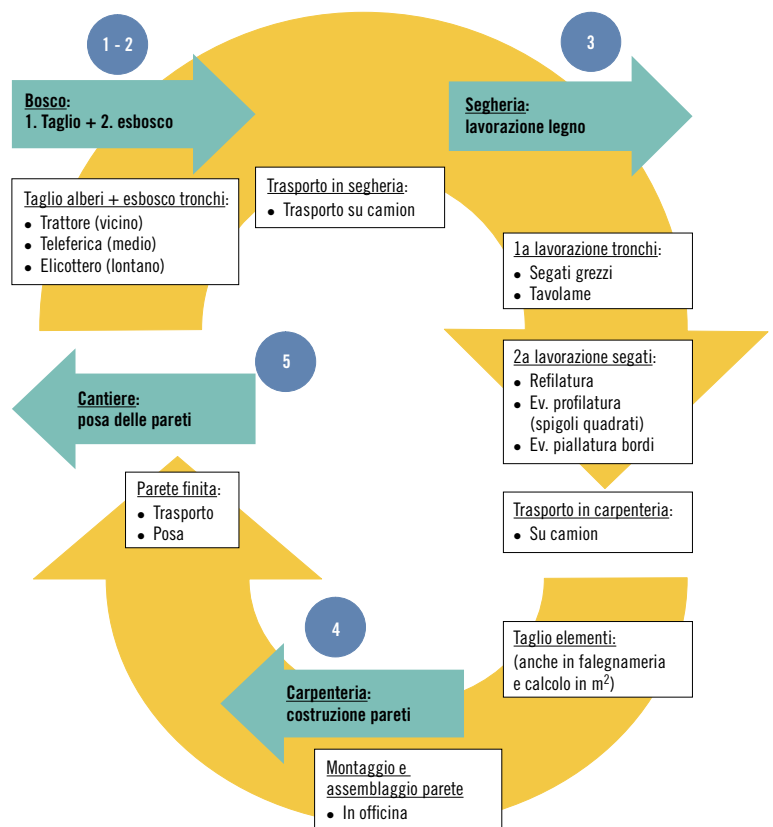
Per quanto riguarda le pareti fonoassorbenti, oggetto del presente lavoro, le normative svizzere dell'associazione delle strade e dei trasporti (VSS 2002) prevedono due tipi di soluzione: pareti in calcestruzzo e pareti in legno. Tali pareti devono soddisfare tutta una serie di requisiti di tipo estetico, tecnico (capacità di assorbimento fonico  $\alpha$  dal 10% al 90% a dipendenza delle frequenze) e di durabilità, che deve essere di almeno 40 anni.

Mentre le pareti in calcestruzzo sono conosciute e utilizzate già da anni, quelle in legno sono state messe a punto solo in tempi più recenti. Le prime sono state sviluppate nella seconda metà degli anni '80 dalle organizzazioni del settore (Empa e Lignum 1989). Queste prime pareti sono poi state migliorate negli anni seguenti, grazie ad un progetto specifico coordinato dalla Scuola Svizzera del legno di Bienne (SHB 2003) assieme a un *pool* di 10 ditte svizzere.

Le caratteristiche, i dettagli di produzione e le prerogative di questo di pareti sono state esposte in un lavoro di diploma, (Janse 2003), svolto presso il Dipartimento Scienze Economiche e Sociali della SUPSI di Lugano-Manno in collaborazione con la Stazione Sud delle Alpi dell'Istituto federale di ricerca WSL di Bellinzona e la Federlegno Ticino di Rivera. La finalità ultima di questo lavoro – che contempla anche un confronto approfondito con la soluzione più tradizionale delle pareti in calcestruzzo – era molto concreta: fornire alle istituzioni coinvolte

#### F.1

Processi di lavorazione e trasformazione del legno, nella creazione di una parete fonoassorbente



elementi oggettivi di valutazione e di decisione. Il presente contributo è il frutto di una sintesi e di un'attualizzazione di questo lavoro.

#### Analisi dei processi produttivi

##### Flussi di materiale

La figura 1 rappresenta il flusso del materiale lungo la filiera bosco-legno, attraverso le varie fasi di lavorazione del legname grezzo in tavolame semilavorato, poi assemblato nella struttura finale del pannello fonoassorbente [F. 1]. Ci si concentra qui sulle componenti legnose dei pannelli fonoassorbenti, escludendo quelle metalliche di fissaggio (che in termini di volume e di peso rappresentano solo una frazione minima dell'intero pannello, Riquadro 1).

## T. 1

## Sintesi delle indicazioni raccolte con l'analisi SWOT

## Punti di forza (S)

Legno	Calcestruzzo
Durabilità garantita da prove EMPA-Lignum	Durabilità garantita e provata
Buon isolamento fonico ~31 dB	Isolamento fonico dovuto alla massa ~28 dB
Poca manutenzione necessaria	Di regola nessuna manutenzione
Montaggio rapido (prefabbricato)	Montaggio rapido (prefabbricato)
Possibilità di rivestimenti da entrambi i lati (in caso di ferrovia e strade parallele)	Possibilità di rivestimenti da entrambi i lati (in caso di ferrovia e strade parallele)
Materia prima rinnovabile	Pareti comunque già accettate dalla società
Nella produzione meno input energetico	Prodotto già noto ed efficace
Estetica (possibilità di cambiare la forma)	Se colorati, possono anche essere decorativi
Nessuna emissione di gas inquinanti durante la produzione	Resistente ai raggi ultravioletti
Pannello abbastanza leggero (120 kg / ml)	Materiale non combustibile
Smaltimento ecologico (se non impregnato)	
Trasporti limitati per le materie prime	
Modificabile per esigenze specifiche	
Materiale elastico: miglior assorbimento colpi (es.: sassi)	
Versatile (offerta al committente di varianti)	
Buona integrazione nel paesaggio naturale	

## Punti di debolezza (W)

Legno	Calcestruzzo
Costo totale (investimento, manutenzione e smaltimento) non inferiore alla concorrenza	Smaltimento o riciclaggio più onerosi
Mancanza d'esperienza a lungo termine	Più pesante da trasportare (ca. 400 kg/ml)
Durabilità pareti garantita, ma non ancora provata da esperienze dirette	Esteticamente monotono
Ha un'immagine di materiale "deperibile"	Percezione di "barriera fisica" nel paesaggio
Pregiudizi verso il legno, materiale "povero"	Maggiore input energetico e emissioni CO <sub>2</sub> nella produzione (gas effetto serra)
	Materie prime sono da importare
	Materiale che non offre novità

## Opportunità (O)

Legno	Calcestruzzo
Rappresenta una novità	Sfrutta l'esperienza già acquisita nell'edilizia civile
Produzione e lavorazione totalmente locali	Lavorazione finale in buona parte locale
Materia prima disponibile nella regione	Maggiormente conosciuto da parte del committente
Aiuto all'economia locale (posti di lavoro)	
Educazione allo sviluppo sostenibile (uso risorsa rinnovabile a ciclo ecologico chiuso)	
Promozione del legno quale materiale di costruzione "moderno"	

## Minacce / Rischi (T)

Legno	Calcestruzzo
Vandalismi (danni meccanici)	Vandalismi (graffiti)
Si tratta di un materiale combustibile	

## Annotazioni:

- per facilitare la lettura, i criteri comparabili tra soluzione "legno" e soluzione "calcestruzzo" sono riportati l'uno accanto all'altro;
- i punti indicati in "grigio" sono valutazioni fatte dall'autore del lavoro di diploma, che ha cercato di interpretare le opinioni espresse dai diversi informatori intervistati.

Partendo dal bosco (lariceto) e dai singoli alberi da tagliare designati dai forestali, si passa ai tronchi abbattuti, allestiti ed estratti dal bosco dai selvicoltori (fasi 1 e 2), per proseguire con il loro trasporto e la prima lavorazione in segheria (fase 3), fino alla costruzione dei pannelli in officina (fase 4), per poi terminare con la fornitura sui cantieri e la successiva posa del pannello finito lungo la ferrovia (fase 5).

## Pareti in legno e in calcestruzzo: analisi SWOT

L'obiettivo di questa analisi SWOT è di comparare le due varianti legno e calcestruzzo da diverse prospettive. La tabella comparativa [T. 1] fornisce un quadro sintetico completo, che offre ai decisori una serie di indicazioni utili per procedere alla scelta del tipo di pareti foniche più idoneo.

La capacità di assorbimento del rumore, aspetto che maggiormente interessa le popolazioni toccate dall'inquinamento fonico, è simi-

le in entrambe le soluzioni: in generale dai test acustici fatti dalle FFS il legno assorbe meglio le frequenze elevate, mentre il calcestruzzo è più efficace per quelle più basse.

Come si può osservare il legno si profila maggiormente nei fattori ecologici e ambientali, oltre che negli aspetti legati all'estetica e dunque all'inserimento di tali opere nel paesaggio. L'impiego del legno per realizzazioni assai esposte agli occhi della popolazione secondo l'opinione quasi unanime degli intervistati veicola un'immagine forte e positiva dal profilo educativo del settore economico forestale e del legno, in quanto mostra un esempio concreto e facilmente percepibile di "uso sostenibile delle risorse naturali" disponibili. Considerando le materie prime necessarie alla fabbricazione, il calcestruzzo perde punti rispetto al legno in quanto: non è composto da materie prime rinnovabili: la roccia calcarea e la ghiaia che lo compone non



provengono dalla regione e richiede un maggior consumo di energia sia per la produzione che per il trasporto.

Le valutazioni fatte dagli intervistati in riferimento ai criteri ecologici sono confermate anche da recenti ecobilanci basati sull'analisi dei cicli di vita dei prodotti LCA (= Life Cycle Assessment), metodologia che consente di quantificare e valutare gli impatti ambientali generati da un prodotto o servizio lungo il suo intero ciclo di vita, ovvero dall'estrazione e lavorazione delle materie prime fino allo smaltimento finale. Künzinger e Richter (2001) hanno ad esempio calcolato che gli indicatori ecologici (input energetico, immissioni atmosferiche, inquinamento dell'acqua e del suolo, smaltimento) delle palizzate in legno sono migliori rispetto a quelli delle pareti in cemento, anche se in realtà nello studio citato sono state analizzate pareti costruite con legname impregnato. Utilizzando legnami a buona durabilità naturale come il larice (classe 2 - 3) o ancor meglio il castagno (classe 2 su una scala di 5), (UNI-EN 1996), il bilancio ecologico delle pareti in legno sarebbe incontestabilmente ancor più vantaggioso. Il calcestruzzo invece consolida la sua forza sull'esperienza acquisita con il passare degli anni e con l'immagine di materiale compatto e sicuro. Pur non disponendo di indagini specifiche, si ipotizza che il legno sia meglio apprezzato dalla popolazione rispetto al calcestruzzo. La realizzazione di pareti che hanno un aspetto più "leggero" eviterebbe infatti la

costruzione di muri spesso considerati monotoni e pesanti, vere e proprie cesure e barriere "fisiche" che tagliano e separano di netto territori situati nello stesso comune. Per il legno si tratta in questo caso di un vantaggio di tipo psicologico e pertanto difficile da quantificare in termini oggettivi [T. 1].

#### Criteria comparativi tra pareti in legno e pareti in calcestruzzo

Secondo quanto indicato dai rappresentanti dei committenti che si occupano della progettazione delle tratte di ripari fonici in Ticino, la scelta tra i due tipi di pareti è principalmente basata sull'analisi dei seguenti aspetti:

- a) costi (investimento, manutenzione e smaltimento);
- b) durabilità (deve essere garantita una durabilità di almeno 40 anni);
- c) impatto ambientale;
- d) estetica, inserimento nel paesaggio circostante.

Di regola la scelta del tipo di parete di una tratta da risanare viene fatta dopo l'approvazione dei piani e prima di procedere alla progettazione di dettaglio. In questo contesto il Committente FFS è tenuto a prendere in considerazione le esigenze delle autorità cantonali e i desideri dei Comuni interessati. Qui di seguito sono riassunti gli elementi principali emersi dallo studio qui presentato.



#### *a) Costi e aspetti economici:*

I costi di realizzazione per le due tipologie di pareti sono in pratica equivalenti. Quelli di manutenzione e di smaltimento non sono stati valutati in questo ambito, anche se diversi addetti ai lavori intervistati ritengono che dovrebbero essere minori per la variante legno, sia in ragione della possibilità di sostituire singoli elementi danneggiati, che per l'assenza di costi per la messa in discarica o di riciclaggio delle pareti al termine della loro vita funzionale, che possono ammontare anche ad alcune centinaia di franchi per tonnellata. Nel caso in cui il legno non trattato sia bruciato in riscaldamenti a legna convenzionali si avrebbe peraltro un recupero di energia termica e anche un ricavo economico di circa CHF 13.- al metro lineare, ipotizzato un prezzo di vendita della legna da energia recuperata con lo smontaggio delle pareti di 85.- al m<sup>3</sup>. Un'analisi esaustiva dell'indotto economico locale legato ai pannelli in legno sarà presentata più avanti.

Si evidenzia in questo ambito che la parte di indotto a favore della filiera bosco-legno risulta in ogni caso moderato rispetto all'indotto economico complessivo. I pannelli fonoassorbenti sono infatti forniti a un prezzo di 190 / 200.- al m<sup>2</sup>, che incide solo nella misura del 13-15% sul costo totale dell'opera. Se in un'ottica generale la scelta del tipo di pannelli non influisce praticamente sui costi totali, per i singoli settori economici essa rappresenta nondimeno:

- un reddito supplementare nel caso del calcestruzzo, ad esempio per il settore dell'edilizia, che comunque già presta un contributo molto importante per le opere di genio civile; oppure
- una nicchia di mercato nuova per la filiera del legno, che peraltro si troverebbe comunque a operare non da sola, ma in sinergia con altri settori economici.

### *b) Durabilità:*

Entrambe le soluzioni sono garantite per durare almeno 40 anni, requisito minimo imposto dal committente FFS. Le pareti in calcestruzzo puntano sulla riconosciuta durata del prodotto nel tempo, provata "sul campo" da decenni di esperienza. La durabilità del legno, pur essendo certificata dalla Lignum, l'unione svizzera del legname, si basa su costruzioni simili (facciate o rivestimenti esterni), ma non è ancora "provata" dall'esistenza di pannelli fonici esposti alle intemperie da diversi decenni. L'analisi SWOT ha confermato che anche se la durabilità del legno può essere notevolmente aumentata tramite provvedimenti di tipo costruttivo (Sell et al. 1988; Empa – Lignum e Sell 1995), non solo nell'immaginario collettivo, ma anche tra i progettisti e gli addetti ai lavori, il legno è tutt'ora considerato come un materiale delicato e poco durevole.

Le prime pareti in legno sono state posate lungo la linea del Gottardo da oramai 8 anni e il loro comportamento e funzionalità hanno finora pienamente soddisfatto le aspettative e le esigenze sia del committente FFS che dei residenti lungo le linee ferroviarie risanate fonicamente.

### *c) Impatto ambientale:*

L'impatto ambientale è un fattore ritenuto importante nella scelta. La produzione, la lavorazione e lo smaltimento finale di legno, che come il larice possiede una buona durabilità naturale, comportano un minor input energetico e praticamente nessuna emissione di gas inquinanti a "effetto serra". Il legno è inoltre una risorsa che si rinnova in continuazione e soprattutto non implica problemi d'approvvigionamento, considerato che al Sud delle Alpi, su una ricrescita totale annua di 500.000 metri cubi di legname, attualmente solo il 10-15% sono utilizzati (Giudici et al. 2004). Interessante e vantaggioso per il legno è l'effetto positivo sul bilancio del Carbonio, tema ripreso e approfondito più avanti. A titolo di confronto, la produzione della roccia di calcare (klinker), materia prima necessaria per



fabbricare il calcestruzzo, implica invece l'emissione di circa 1 tonnellata di CO<sub>2</sub> per tonnellata di cemento prodotto per la produzione primaria del cemento e per i vari processi termici necessari durante la produzione.

### *d) Aspetti paesaggistici:*

L'estetica è un altro fattore importante, da valutare tenendo in considerazione due punti di vista differenti, sia quello del passeggero, che quello del cittadino residente nei comuni attraversati dalle linee ferroviarie. Da quest'ultimo le pareti sono percepite come costruzioni continue e uniformi, un'infrastruttura utile ma comunque monotona e che svilisce il paesaggio locale.

Nell'analizzare questo aspetto le autorità preposte tengono pertanto conto del contesto geografico e territoriale nel quale le pareti foniche verranno realizzate. Visto che si tratta di costruzioni permanenti che marcheranno il territorio in modo indelebile, la ex Commissione cantonale delle Bellezze Naturali aveva proposto e ottenuto di integrare una figura competente in materia nel team dei progettisti.

Per quanto concerne il materiale, il legno offre il vantaggio di essere facilmente modellabile sia nella forma che nell'aspetto estetico, poiché sono possibili differenti disposizioni dell'assito. I risultati ottenuti con le pareti in legno soddisfano le esigenze delle popolazioni toccate poiché, come mostrano le foto, i rivestimenti in legno ben si integrano nel paesaggio sia rurale che urbano: non solo quando il legno è fresco, ma pure quando con il tempo esso assume la caratteristica colorazione grigio-argentea.

Da osservare che comunque anche il calcestruzzo permette delle variazioni di struttura e di colore, proprietà che possono facilitarne l'adattabilità al paesaggio circostante, specialmente in un contesto urbano o semi-urbano.



### **Pareti fonoassorbenti in legno: il potenziale indotto economico per il settore forestale e del legno**

In Ticino di principio la costruzione di pareti fonoassorbenti in legno è stata adottata al di fuori delle tratte a carattere urbano, quindi specialmente lungo le tratte di montagna. Considerato che queste tratte presentano una lunghezza complessiva compresa tra i 55 e i 60 km, l'indotto economico del presente lavoro è stato calcolato, sia come media per chilometro, che complessivamente sulla lunghezza massima di 57,5 km.

#### Approccio e metodi utilizzati

Per quanto riguarda la parte economica, si sono utilizzate le informazioni e i dati riguardanti i vari processi di lavorazione [F. 1], utilizzando il metodo "della catena al valore". A tal fine i calcoli sono stati eseguiti a posteriori partendo dal fabbisogno di materiale legnoso necessario per fabbricare i pannelli fonoassorbenti in base ai piani esecutivi forniti dalla Scuola del legno di Bienne (SHB 2003), vedi riquadro. I quantitativi sono quindi stati trasformati in metri quadrati di tavole dapprima e, tenendo conto delle rese di segazione, in metri cubi di tronchi in seguito. Questo volume di legno in tronchi interi è stato a sua volta utilizzato per stimare la quantità di legname e di alberi da tagliare in bosco. Successivamente sono state calcolate le ore necessarie per i vari processi:

- taglio (1) degli alberi ed esbosco dei tronchi (2);
- segazione dei tronchi in segheria (3);
- trasformazioni successive del tavolame in segati con relativo assemblaggio in carpenteria (4) del pannello finito.

A tale scopo si è unicamente considerato il legname effettivamente utilizzato nei processi produttivi, escludendo dunque la proporzione di legna da energia prodotta dal taglio in bosco e degli scarti di produzione.

Sono poi stati stimati i prezzi di vendita dei vari prodotti intermedi, suddividendoli in valori riferiti al bosco, al prezzo in segheria e quello in

carpenteria. I prezzi sono a loro volta stati considerati come costi per ogni successiva fase di trasformazione del legno.

I flussi di materiale e i tempi di lavorazione unitari e i relativi costi sono stati estrapolati per calcolare l'impatto economico potenziale per la filiera foresta-legno, ipotizzando che il materiale provenga da boschi della regione e che i lavori siano eseguiti da ditte operanti in un ciclo economico locale o regionale.

#### Raccolta dei dati economici

Una corretta stima dell'indotto economico permette che i concorsi e le forniture rispettino le varie disposizioni legali sulla concorrenza, sugli appalti e gli acquisti pubblici, condizione questa che peraltro non garantisce in modo assoluto l'utilizzo di legno di provenienza locale, specialmente in caso di "appalto generale". Non trattandosi di un prodotto correntemente diffuso e già presente sul mercato e quindi contraddistinto da un prezzo ben definito, per i calcoli si è cercato di raccogliere informazioni e dati tramite diverse fonti.

La scarsità di ditte in grado di eseguire tale lavoro e la mancanza di informazioni precise riguardanti i costi reali, che rendevano impossibile il confronto e la verifica di prezzi indicati da diversi concorrenti, hanno creato alcuni problemi nel calcolo dell'indotto economico. Per ovviare a tale limite si sono utilizzati i costi, i prezzi e le relative informazioni tecniche indicati da un unico produttore in grado di produrre tale parete, verificando gli stessi, sia con diversi fornitori dei materiali grezzi, che con i rappresentanti delle diverse istituzioni o servizi che operano all'interno della filiera bosco-legno al Sud delle Alpi, oltre che con i tecnici delle FFS, rappresentanti il committente.

Nel calcolo dell'indotto potenziale per la filiera bosco-legno, oltre alla componente "lavoro", che viene quantificata tramite il "valore aggiunto", si è tenuto conto anche dei seguenti elementi:

- il materiale ausiliario utilizzato, il cui valore è stato ipotizzato essere il 10% del valore aggiunto;



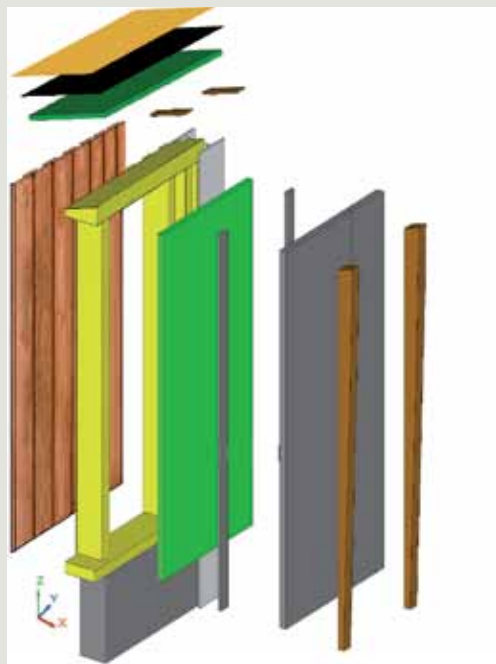
### Riquadro 1 – Come è fatta una parete fonoassorbente in legno?

Le pareti fonoassorbenti di legno sono costituite da una struttura a telaio ventilata realizzata in legno di abete massiccio impregnato e da un rivestimento esterno visibile dalla parte dei confinanti, composto da tavole di legno massiccio di larice. Inoltre all'interno vi sono altri elementi realizzati con materiali derivati dal legno (pannelli tre strati, lastre di lana di legno con legante minerale) completati da altri componenti accessori qui sotto elencati. La proprietà fonoassorbente della parete è garantita dalla presenza di diversi strati successivi composti da materiali diversi (tavolato di legno, pannelli di lana di roccia, lastre minerali di lana di legno) intercalati da spazi vuoti (aria). Le tipologie di legname e di accessori impiegati per una parete standard sono indicati nella tabella seguente [T. 2].

#### T. 2

##### Componenti di un pannello fonoassorbente standard (4 x 2 m.)

Componente	Tipologia	Funzione	Unità	Quantità
<b>Legno massiccio</b>				
Larice (tavole + listoni)	Legname	Rivestimento est.	m <sup>3</sup>	0,2825
Abete impregnato (telaio interno)	Legname	Struttura interna	m <sup>3</sup>	0,4525
Listelli rovere/castagno	Legname	Struttura interna	m <sup>3</sup>	0,0018
<b>Materiali industriali derivati dal legno</b>				
Tavola abete 3 strati	Derivati dal legno	Copertura	m <sup>3</sup>	0,0883
Pannello lana di legno legata con magnesite	Derivati dal legno	Acustica	m <sup>2</sup>	8,0000
<b>Altri materiali e componenti</b>				
Pannello isolante composto da lana di roccia	Lastra minerale	Acustica	m <sup>3</sup>	6,8000
Lamiera in rame	Metallo	Protezione	m <sup>2</sup>	2,4000
Stuoia bituminosa	Altri materiali	Protezione	m <sup>2</sup>	2,0000
Viti d'acciaio	Ferramenta	Fissaggio	pz	ca. 600
Chiodi d'acciaio	Ferramenta	Fissaggio	pz	ca. 80
Graffette d'acciaio	Ferramenta	Fissaggio	pz	ca. 100



- le imposte pagate (stimate al 10% per la selvicoltura e la segheria e al 20% per la carpenteria, calcolate sull'Utile Netto);
- gli altri servizi aggiuntivi (ad esempio la ristrutturazione, stimata in CHF 10.- giornalieri o CHF 1,25 per ora lavorativa).

I costi finali sono poi stati valutati criticamente, confrontandoli con quelli dei pannelli in calcestruzzo.

### Risultati e discussione

#### Flussi di materiale

In base ai documenti di progetto della Scuola del legno di Bienne e dei capitolati di appalto delle FFS, per fabbricare un pannello di 400 x 200 cm [Riquadro 1] a livello di legname preparato in segheria sono necessari:

- 11,3 m<sup>2</sup> (8 m<sup>2</sup> effettivi + sovrapposizioni 25 mm = 0,2825 m<sup>3</sup>) = di tavole di larice spesse 25 mm per il rivestimento esterno, e

## T. 3

**Quantitativi di materiale legnoso impiegati per realizzare 1 km e rispettivamente i 57,5 km di pareti foniche previste**

Tappa processo	Fase	Unità di misura	Unitario	Massimo
Posa lungo la linea	5	km di pareti	1 km	57,5 km
	5	m lineari di pareti	1.000 m	57.000 m
Carpenteria	4-5	m <sup>2</sup> di pareti	2.000 m <sup>2</sup>	115.000 m <sup>2</sup>
Segheria-Carpenteria	3-4	m <sup>2</sup> di tavolame	6.000 m <sup>2</sup>	345.000 m <sup>2</sup>
Segheria – segagione	3	m <sup>3</sup> segati	210 m <sup>3</sup>	12.075 m <sup>3</sup>
Abbattimento + esbosco tronchi	2	m <sup>3</sup> tronchi	350 m <sup>3</sup>	20.125 m <sup>3</sup>
Impresa forestale - taglio del bosco	1	m <sup>3</sup> legname	700 m <sup>3</sup>	40.250 m <sup>3</sup>

Annotazione: i valori sono stati arrotondati alla decina più vicina

## T. 4

**Calcolo del FTE (Full Time Equivalent) corrispondente ad un impiego annuo di 1.800 ore lavorative**

	h	m <sup>3</sup> massimi *)	N° h	FTE
Taglio (1)	1,0 h/m <sup>3</sup>	20.125 m <sup>3</sup>	20.125 h	11,2
Esbosco (2)	1,0 h/m <sup>3</sup>	20.125 m <sup>3</sup>	20.125 h	11,2
Segheria (3)	0,5 h/m <sup>3</sup>	10.060 m <sup>3</sup>	5.030 h	2,8
Carpenteria (4)	1 h/m <sup>2</sup>	345.000 m <sup>2</sup>	345.000 h	191,7
<b>Totale</b>			<b>390.280 h</b>	<b>216,9</b>

Annotazione: il Full Time Equivalent corrisponde al lavoro svolto da una persona a tempo pieno (8 ore al giorno) nel corso di un anno (circa 225 giorni lavorativi). L'ultima colonna di questa tabella riporta il numero di anni-uomo necessari per ogni fase di lavorazione

- 12,9 m<sup>2</sup> di tavolame di abete per le strutture interne (0,4525 m<sup>3</sup> per pilastri, traverse, listoni e listelli, calcolati per uno spessore medio di 35 mm).

Il fabbisogno per m<sup>2</sup> di parete è quindi di 24,2 m<sup>2</sup> / 8 = 3,0 m<sup>2</sup> (= 6,0 m<sup>2</sup>/ml) di tavole o elementi di legno segato.

Da 1 m<sup>3</sup> di legname segato si ricavano mediamente 33 m<sup>2</sup> di tavole grezze spesse 30 mm. Per 1 km di parete di 2 m di altezza sono dunque necessari 6.000 m<sup>2</sup> di tavole di larice o abete.

Ipotizzando di risanare con pareti di legno tutti i 57,5 km previsti a Sud delle Alpi e dunque di realizzare tutti i 115.000 m<sup>2</sup> di pareti fonoassorbenti con tale materiale, sarebbero necessari quasi 350.000 m<sup>2</sup> di tavolame [T. 3].

#### Disponibilità della risorsa legnosa

I 6.000 m<sup>2</sup> di legname segato necessario per km corrispondono a circa 210 m<sup>3</sup> di legname (spessore medio di 3,5 cm). Con una resa di segagione che per tronchi di larice o di abete i segantini stimano essere del 60%, la produzione di 210 m<sup>3</sup> di segati richiederebbe quindi 350 m<sup>3</sup> di tronchi per km di pareti (equivalenti a 0,35 m<sup>3</sup> per ml).

Ipotizzando che con il taglio di un lariceto la metà della massa legnosa prodotta sia costituita da corteccia o da parti di fusto di qualità scadente, legname utilizzabile solo come assortimento da energia, il volume commercializzabile dei tronchi da opera rappresenterebbe quindi il 50% del taglio di bosco. Per produrre i 6.000 m<sup>2</sup> di legname segato necessario per fabbricare 1 chilometro di parete si devono quindi abbattere e utilizzare 700 m<sup>3</sup> di tronchi di tali specie.

Tale quantitativo può essere raccolto ad esempio durante un diradamento con un prelievo di 1/3 della provvigione (termine tecnico forestale che indica il volume di legname presente in un bosco in piedi), eseguito su una superficie boschiva di ca. 7 ettari di fustaia adulta avente una provvigione media di 300 m<sup>3</sup> per ettaro.

Il risanamento di tutti i 57,5 km di pareti di legno richiederebbe pertanto la segagione di ol-

tre 20.000 m<sup>3</sup> di tronchi da opera. Considerato che la durata delle pareti è di 40 anni e che il periodo di realizzazione delle opere si estende per circa 6 anni, l'approvvigionamento di legname non costituirebbe nessun problema, dato che solo nella regione svizzera del Sud delle Alpi i lariceti (la cui provvigione complessiva è di ben 5.591 mio di m<sup>3</sup>) producono annualmente circa 73.000 m<sup>3</sup> di legname di tale specie (dati 2009-11 tratti dal sito [www.lfi.ch](http://www.lfi.ch)).

#### Produzione e lavorazione del legname

La tabella 4 descrive i parametri e i calcoli utilizzati per quantificare il fabbisogno di tempo delle diverse fasi di lavorazione. I tempi unitari e i costi di taglio ed esbosco sono stati ipotizzati equivalenti. Questi ultimi corrispondono a un impiego misto di trattore (condizioni agevolate) e di teleferica forestale (condizioni difficili). Essi sono puramente indicativi e comunque ipotizzano situazioni di lavorazione in bosco abbastanza favorevoli. In effetti tempi medi di lavorazione di 1h per m<sup>3</sup> di legna raccolta, secondo i modelli dell'Inventario Forestale Nazionale, sono ipotizzabili solo sul 20% dell'area forestale (Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes 1988). Una verifica di questi dati tramite le basi di calcolo federali (Buwal 1997), dimostra che tali rese di produzione durante i processi di taglio ed esbosco si hanno, in condizioni medie di montagna vale a dire con pendenza del 60% e distanze d'esbosco di 400-600 m, per tronchi del volume medio di 0,5 m<sup>3</sup>. La consistenza di queste ipotesi è validata dal fatto che il volume medio dei tronchi di larice al Sud delle Alpi, sempre secondo l'Inventario Forestale Nazionale, corrisponde a 0,81 m<sup>3</sup>.



## T. 5

Calcolo dell'indotto economico massimo potenziale per la realizzazione (fasi da 1 a 4) di 57,5 km di pareti in legno

Settore		Unità	Quantità	Prezzi unitari (min-max)	Indotto medio (Fr.)	In %	Indotto min	Indotto max
<b>Proprietario</b>	<b>Vendita legna</b>	m <sup>3</sup>	20.125	20.- /m <sup>3</sup> (10 - 30.-)	402.500	0,7	201.250	603.750
<b>Selvicoltura</b>	<b>Valore aggiunto</b>	m <sup>3</sup>	20.125	100.- /m <sup>3</sup> (90 - 120.-)	2.012.500	3,3	1.811.250	2.415.000
(fase 1+2)	Materiale ausiliario	Fr.	2.012.500	10% (VA)	201.250	0,3	181.125	241.500
	Imposte ditte *)	Fr.	100.625	5% (UN)	5.031	0,0	4.528	6.038
	Altri servizi	h	40.250	1.25/h	50.313	0,1	50.313	50.313
<b>Segheria</b>	<b>Valore aggiunto</b>	m <sup>2</sup>	345.000	22.- /m <sup>2</sup> (20 - 25.-)	7.590.000	12,5	6.900.000	8.625.000
(fase 3)	Materiale ausiliario	Fr.	7.590.000	10% (VA)	759.000	1,3	690.000	862.500
	Imposte ditte *)	Fr.	379.500	5% (UN)	18.975	0,0	17.250	21.563
	Altri servizi	h	5.030	1.25/h	6.288	0,0	6.288	6.288
<b>Carpenteria</b>	<b>Valore aggiunto</b>	m <sup>2</sup>	345.000	129.- /m <sup>2</sup> (120 - 140.-)	44.505.000	73,4	41.400.000	48.300.000
(fase 4)	Materiale ausiliario	Fr.	44.505.000	10% (VA)	4.450.500	7,3	4.140.000	4.830.000
	Imposte ditte *)	Fr.	2.225.250	10% (UN)	222.525	0,4	207.000	241.500
	Altri servizi	h	345.000	1,25/h	431.250	0,7	431.250	431.250
<b>Indotto totale</b>					<b>60.655.131</b>	<b>100,0</b>	<b>56.040.253</b>	<b>66.634.700</b>
<b>Indotto totale filiera bosco-legno</b>					<b>54.510.000</b>	<b>89,9</b>	<b>50.312.500</b>	<b>59.943.750</b>
<b>Imposte</b>					<b>246.531</b>	<b>0,4</b>	<b>228.778</b>	<b>269.100</b>
<b>Materiale e servizi</b>					<b>5.898.600</b>	<b>9,7</b>	<b>5.498.975</b>	<b>6.421.850</b>

Annotazione: il calcolo si basa sui prezzi di vendita o acquisto stimati del legno o dei semi-lavorati e sulle ore lavorative per unità (m<sup>2</sup> o m<sup>3</sup>). Le due colonne a destra indicano le varianti minima e massima, calcolate sulla base della forchetta di prezzi indicata. Sigle: VA = Valore aggiunto e UN = Utile Netto.

I tempi di lavorazione nelle segherie e nelle carpenterie sono più attendibili e precisi in quanto le condizioni di lavorazione non sono così dipendenti da variabili esterne come quelle riscontrabili in bosco. Per semplificare l'analisi, i trasporti non sono stati scorporati, ipotizzando che gli stessi siano eseguiti tramite mezzi propri delle imprese forestali, delle segherie o delle carpenterie [T. 4].

#### Indotto economico

Partendo dai quantitativi descritti e ipotizzando i prezzi o i costi medi indicati dai produttori si è cercato di quantificare l'indotto economico, per le diverse fasi di lavorazione [T. 5].

Il costo finale per il committente delle pareti in legno di larice è di circa CHF 190 - 200.- per m<sup>2</sup>, senza posa. Un costo abbastanza simile a quello di CHF 170 - 180.- indicato dai produttori di pareti in calcestruzzo, prezzo quest'ultimo ri-

ferito all'anno 2005<sup>2</sup> e che aumenta di CHF 15.- /m<sup>2</sup> in caso di variante con colorazioni diverse dal grigio. Secondo i dati forniti dalle segherie e le carpenterie interpellate, la variante in legno di conifera impregnata dovrebbe costare circa CHF 10.- / 12.- al m<sup>2</sup> in meno rispetto al larice.

Le differenze tra i valori minimi e massimi indicati dipendono principalmente dai quantitativi di pannelli fabbricati e forniti, che evidentemente influenzano i prezzi di acquisto dei semilavorati. Da evidenziare che in genere, negli ultimi 10 anni, i costi sia del legname in tronchi che dei segati hanno subito variazioni minime (v. nota 1).

Per il proprietario del bosco, per i lariceti si tratta in genere dei Patriziati, il ricavo netto dalla vendita del legname (stimato tra i 10.- e i 30.- per m<sup>3</sup>) dipende essenzialmente dal prezzo spuntato e dalle condizioni e rispettivamente dai costi di utilizzazione.

<sup>2</sup> Da notare che tra il 2006 e il 2012 l'indice dei prezzi alla produzione è aumentato di circa il 4% per i segati di conifere e del 13% per i prodotti a base di calcestruzzo.

Il valore aggiunto unitario scaturisce da calcoli eseguiti a posteriori, partendo dal pannello finito. Per la carpenteria si sottrae dunque il costo dei segati (22.- al m<sup>2</sup> x 3,0 m<sup>2</sup> necessari) a quello delle pareti:

$$\text{CHF } (195 - 22 \times 3) = \text{CHF } 129.- \text{ per m}^2 \quad [\text{minimi e massimi di } 120.- \text{ e } 140.-]$$

Per ottenere il valore aggiunto in segheria si deduce il costo della legna di CHF 100.- al m<sup>3</sup> (= CHF 120.- pagati meno i 20.- di utile per il proprietario di bosco), al valore di mercato delle tavole:

$$\begin{aligned} \text{CHF } 25.- \text{ al m}^2 &= \text{CHF } 750.- \text{ al m}^3 && [30 \text{ m}^2 \text{ di segati per m}^3] \\ \text{CHF } 750 - 100 &= \text{CHF } 650.- \text{ al m}^3, \text{ pari a CHF } 22.- \text{ al m}^2 && [\text{da } 20 \text{ a } 25.-]. \end{aligned}$$

In genere, a parità di valore del legname, il ricavo netto del proprietario tende a diminuire quando i costi di utilizzazione (e dunque di riflesso il valore aggiunto creato dalla lavorazione da parte delle imprese o aziende forestali) aumentano.

L'indotto economico potenziale per la filiera bosco-legno è rappresentato dalla somma dei valori aggiunti generata da tutto il processo produttivo delle pareti foniche: dunque dal taglio in bosco fino alla fornitura dei pannelli.

Come evidenziato dalla parte inferiore della tabella 5, in caso di costruzione di tutti i 57,5 km di pareti in legno teoricamente previsti al Sud delle Alpi, l'indotto potenziale totale sarebbe considerevole, variando tra i 56 (scenario minimo) e i 66 (scenario massimo) milioni di franchi. Esso corrisponde indicativamente a un valore medio di CHF 1.055.000.- per km o di CHF 1.055.- per metro lineare di parete fonica in legno fornita [T. 5].

#### I beneficiari dell'indotto economico

Il 90% di questo indotto, quindi tra i 50 e i 60 milioni di CHF, equivalenti a CHF 950.- per metro lineare, andrebbe a beneficio diretto degli operatori della filiera legno (950.000.- per km), mentre il 10% rimanente è costituito dai materiali, dalle imposte e dalla ristorazione.

Come si può desumere dalla tabella 5, i ¾ circa del valore aggiunto viene generato durante l'ultima fase di lavorazione in carpenteria (fase 4), mentre l'indotto potenzialmente creato dalle segherie e dalle imprese forestali ammonta al 12,5% e rispettivamente il 3,3% dell'indotto totale. L'utile complessivo derivato dalla vendita del legname per i proprietari dei boschi (Patriziati) è di oltre 400.000.- Solo per i pannelli fonici, l'investimento genera peraltro potenzialmente circa 250.000.- di gettito d'imposta, di cui circa un terzo a beneficio dei comuni nei quali risiedono le ditte appaltatrici.

Da notare che l'indotto per il settore del legno può anche essere superiore in quanto l'analisi fatta non comprende la fase 5 di trasporto e posa delle pareti in cantiere [F. 1], che teoricamen-

te potrebbe essere eseguita dalle imprese stesse del settore delle costruzioni in legno, perlomeno per quanto riguarda la fase di inserimento nei montanti, assemblaggio e di copertura con le lamiere in rame.

Oltre che dal legno, le pareti fonoassorbenti finite sono peraltro composte anche da altri materiali (sostegni in ferro, basamenti in calcestruzzo e ancoraggi e altro) e comportano ulteriori prestazioni (progettazione) e costi (interruzione del traffico ferroviario, sorveglianza) che in base a valutazioni interne delle FFS fanno salire a circa 2.800/3.500.- per metro lineare i costi medi totali di realizzazione delle pareti fonoassorbenti<sup>3</sup>. È evidente che tali valori fanno aumentare ulteriormente l'indotto economico globale generato dalla costruzione delle pareti fonoassorbenti, anche se è chiaro che il relativo beneficio ricade di fuori della filiera bosco-legno, andando a vantaggio dei settori economici della progettazione, dell'edilizia e della metalcostruzione in particolare.

Per quanto riguarda la scelta del legname, gli addetti ai lavori interpellati hanno tutti espresso una preferenza per la soluzione del larice, posato verticalmente. Di fatto essa sfrutta l'ottima durabilità naturale di questa specie legnosa e inoltre assicura una buona evacuazione delle acque meteoriche facilitata dall'andamento delle fibre del legno, a tutto vantaggio della durabilità naturale della parete, che peraltro è ulteriormente protetta da una copertura superiore in rame. Un'eventuale variante in castagno, specie a ottima durabilità naturale molto diffusa al Sud delle Alpi, presenterebbe probabilmente dei costi superiori in quanto le rese di lavorazione sono inferiori (Fonti e Giudici 2002), mentre quella di legname di conifere (pino o abete) impregnato, anche se possibile, ridurrebbe parte dei vantaggi di tipo ecologico delle pareti in legno, rispetto a quelle in calcestruzzo.

#### Effetti delle pareti in legno sul bilancio del Carbonio

Fissando 1 tonnellata di CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup>, il legno è inoltre un materiale che funge da serba-

<sup>3</sup> Un comunicato stampa delle FFS del 19 settembre 2012 indica che i 3 tre lotti di 6,6 km previsti in Leventina e nel Luganese dall'autunno 2012 costano 23 mio di CHF, per un costo medio di CHF 3480.-/ml.



toio di Carbonio, contribuendo in tal modo alla riduzione dell'effetto serra (Fischlin et al. 2006). I 12.075 m<sup>3</sup> di legname segato utilizzato per il risanamento ipotetico dei 57,5 km di pareti foniche previste in Ticino permettono quindi, grazie al loro effetto sostitutivo, di "sequestrare" oltre 12.000 t di CO<sub>2</sub>.

Tale valore corrisponde a 210 t per chilometro o 210 kg per metro lineare di parete in legno realizzata.

Da notare che questi valori corrispondono alle emissioni di 100.6 milioni di km per i 57,5 km di pareti (1,75 milioni di km per km di pareti foniche), ipotizzando emissioni corrispondenti al limite europeo standard per auto nuove dal 2015 (120g di CO<sub>2</sub> per km).

### Conclusioni

Lo studio presentato ha permesso di raccogliere e analizzare in modo sistematico diverse informazioni concernenti i pannelli fonoassorbenti. I risultati qui riportati hanno permesso di caratterizzare i processi produttivi delle pareti in legno; offrire una visione d'insieme su vantaggi e svantaggi delle due soluzioni legno e calcestruzzo, basati su valutazioni fornite da addetti ai lavori; infine hanno permesso di valutare in modo dettagliato gli aspetti economici connessi con la produzione e la messa in opera di pareti fonoassorbenti in legno.

Queste indicazioni forniscono spunti di discussione e di riflessione che possono trovare riscontro nella formulazione dei capitolati di appalto e nelle decisioni prese dalle autorità e istituzioni competenti.

L'analisi dell'impatto economico potenziale per la filiera del bosco-legno dei pannelli in legno ha permesso ad esempio di raccogliere indicazioni che spesso le autorità politiche ed istituzionali non tengono in debita considerazione. L'indotto economico per le aziende e le imprese localizzate nelle regioni periferiche contribuisce infatti in modo significativo alla creazione e al mantenimento di posti di lavoro nelle regioni di montagna e rurali. Se l'aspetto giuridico e formale delle procedure è certamente importante,

### Bibliografia

Brändli U.-B. (Red.) (2010): Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Bern, Bundesamt für Umwelt, BAFU. 312 S.

Buwal Ed. (1997): Zeitaufwand für Holzernteverfahren: Grundlage für Pauschalansätze. Bern, BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Leschaft): 70 pp.

Consiglio di Stato (2003): Rapporto (5408, del 19 agosto 2003) sulla mozione del 2 dicembre 2002 presentata da Norman Gobbi "Legno ticinese quale materiale fonoassorbente".

Dipartimento del territorio del Cantone Ticino Ed. (2003): Stato e evoluzione. In: L'ambiente in Ticino. Bellinzona. Vol. 1: 496 pp.

Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes. Ed. (1988). Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Erstaufnahme 1982-1986. Berichte Nr 305. 375 pp.

Empa - Lignum Richtlinie e Sell, J. (1995): "Holzschutz im Bauwesen." Lignatec Bd. 1: 15 pp.

Empa - Sezione Legno e Lignum Ed. (1989): Costruzioni di legno nel paesaggio : pareti di mascheramento e ripari fonici. Atti del seminario, Lenzburg (ZH), 6 dicembre 1989/23 gennaio 1990. Ufficio Federale dei Problemi Congiunturali, Berna, Nuove tecnologie, N° 986i, 81 pp.

Fischlin A., Buchter B., Matile L., Hofer P., Taverna R. (2006): Serbatoi di carbonio nell'economia forestale: conteggio dell'assorbimento e delle fonti di emissione nel contesto del Protocollo di Kyoto. Studi sull'ambiente n. 0602. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. 47 p.

Fonti P. e Giudici F. (2002): Produzione di parquet a partire da legname di castagno proveniente da boschi cedui del Sud delle Alpi. Schweiz. Z. Forstwes., 153(1): 10-16.

Giudici F., Celio F. e Mattei G. (2004): "Il Sud delle Alpi: una regione ricca di boschi ma povera di legname?" Schweiz. Z. Forstwes. 155 (7): 254-262.

Grea S. (2000): Dentro la crescita dell'impresa. Le analisi SWOT e PAR. Editore: Franco Angeli, Milano, Collana: Formazione permanente - Nuove tecniche, 176 pp.

Janse Jasper (2003): Analisi economica dell'utilizzo di pareti fonoassorbenti in legno per il risanamento fonico delle linee ferroviarie. Lavoro di diploma di economia aziendale, 43 pp. + 9 allegati.

Künninger T. e Richter K. (2001): Ökobilanz von Konstruktionen im Garten- und Landschaftsbau. In: Forschungs- und Arbeitsbericht EMPA Abt. 115. 43: 171 pp.

purtroppo spesso si ha l'impressione che l'analisi economica fatta dai committenti e dalle autorità preposte tende a limitarsi al semplice confronto delle offerte e dei prezzi.

Dall'inizio dello studio le FFS hanno realizzato a Sud delle Alpi diverse decine di km di pareti fonoassorbenti in legno, facendo del Ticino il Cantone svizzero che ha accumulato maggiore esperienza in questo ambito. Dopo 8 anni dall'inizio dei lavori di risanamento fonico sia il committente FFS, che le autorità comunali e Cantionali, oltre che gli abitanti confinanti, hanno manifestato la loro soddisfazione nei confronti delle pareti realizzate con il legno. Non solo dal profilo paesaggistico, ecologico e funzionale, ma anche da quello economico e sociale: insomma un esempio molto concreto e comprensibile di gestione sostenibile delle risorse e del paesaggio.

Un ulteriore approfondimento del presente lavoro appare in ogni caso auspicabile, allo scopo di raccogliere elementi di giudizio più precisi per quanto riguarda gli aspetti ambientali, ad esempio per analizzare i costi durante l'intero ciclo di vita delle pareti, tenendo conto anche delle fasi di gestione e di smaltimento.

### **Ringraziamenti**

Gli autori ringraziano il Prof. Claudio Cereghetti, docente presso il Dipartimento Scienze Economiche e Sociali della SUPSI di Lugano-Manno, per avere accompagnato quale relatore il lavoro di diploma.

Per le preziose informazioni siamo grati ai signori M. Hügli (Ingegnere HTL, Laube SA); P. Frabetti (responsabile generale progetto rumore, FFS); A. Lombardi (impresa forestale e segheria Lombardi a Biasca) e R. Filippi (segheria Filippi Airolo); S. Pin e G. Ramundo (ing. responsabili dei progetti di risanamento fonico in Ticino, FFS); R. Svaluto-Ferro (ing. responsabile progetto Alptransit Gottardo SA); A. Giambonini (ing. Forestale responsabile del 1° circondario forestale della Leventina); F. Estermann (Product-Manager LSW, Élément SA); C. Guerra (architetto membro della CBN); R. Tettamanti (resp. Ufficio cantonale dei Rumori).



Per la consulenza durante il lavoro e la rilettura critica del manoscritto dell'articolo gli autori esprimono gratitudine ai colleghi ingg. for. O. Thees e F. Frutig (WSL sezione Utilizzazioni forestali); econ. A. Roschewitz e ing. for.M. Conedera (WSL Sezione Economia e rispettivamente WSL Sottostazione Sud delle Alpi); oltre a G. Mattei (architetto) e G. Bernardoni e A. Bottinelli, presidente e rispettivamente collaboratori presso la Federlegno Ticino per i suggerimenti dati durante le attività di aggiornamento e di redazione.

---

Lignum Ed. (2008): Scheda tecnica "Parete antirumore per le linee ferroviarie: complementi riguardanti la costruzione e la certificazione della qualità", 8 pp.

SHB (ed.) (2003): Forschungsplan: Lärmschutzwände aus Holz. Hochschule HSB - Fachbereich Holz Biel, Bericht Nr. 2629-FB-01: 25 pp.

---

Sell J., Graf E. e Boril T. (1988): Sviluppi attuali della tecnica di protezione del legno, Regensdorf (ZH), 7 dicembre 1988. Ufficio Federale dei Problemi Congiunturali, Berna, 80 pp.

---

Ufficio di statistica e Sezione della protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo (20013): Statistica Ticinese dell'Ambiente e delle Risorse naturali, 51 pp.

---

UNI-EN (1996). Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Durabilità naturale del legno massiccio. Guida alla durabilità naturale e trattabilità di specie legnose scelte di importanza in Europa., Milano. 4 pp. (+ 32 allegati).

---

VSS, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (2002): Lärmschutzwände bei Eisenbahnen: Projektierung und Ausführung. Schweizer Norm 671250a. Zürich: 25 pp.

---

VSS, (2005): Norma SN 671 250b dell'agosto 2005: pareti antirumore per ferrovie (esiste in lingua tedesca e francese)