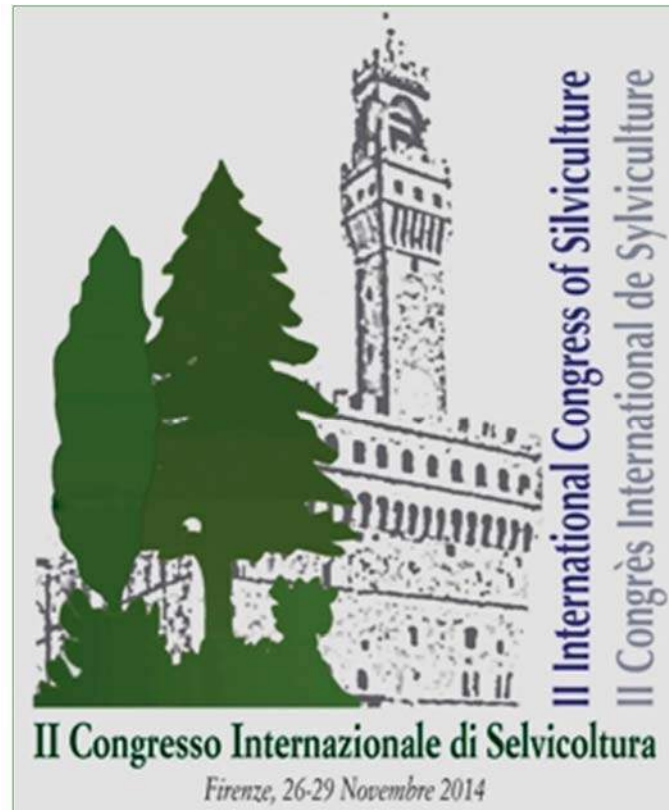




Accademia Italiana  
di Scienze Forestali

Sotto l'Alto Patronato del Presidente della Repubblica  
*Under the high patronage of the President of the Italian Republic*



**ATTI**  
**del Secondo Congresso Internazionale di Selvicoltura**  
**Progettare il futuro per il settore forestale**

Firenze, 26-29 Novembre 2014

**PROCEEDINGS**  
**of the Second International Congress of Silviculture**  
**Designing the future of the forestry sector**

*Florence, 26-29 November 2014*

**VOL. I**

**Accademia Italiana di Scienze Forestali**  
Firenze - 2015

Quanto esposto è di esclusiva proprietà scientifica e intellettuale degli Autori ed esclude ogni responsabilità del curatore e dell'Editore.

*Intellectual and scientific property is exclusively of the authors of each contribution and does not entail responsibility of the editor and the publisher*

A cura di / *Edited by*  
Orazio Ciancio

Con la collaborazione di / *In collaboration with*  
Alga Ciuti, *Accademia Italiana di Scienze Forestali*  
Chiara Lisa, *Accademia Italiana di Scienze Forestali*  
Caterina Morosi, *Accademia Italiana di Scienze Forestali*  
Francesco Paolo Piemontese, *Università degli Studi di Firenze*  
Giovanna Puccioni, *Accademia Italiana di Scienze Forestali*

Gli Atti sono stampati grazie al contributo della Regione Toscana.

*These Proceedings have been printed with the financial support of the Tuscany Region*

© 2015 Accademia Italiana di Scienze Forestali  
Piazza Edison 11  
50133 Firenze

ISBN 978-88-87553-21-5

## OPTISOUNDWOOD: UN PROGETTO MULTIDISCIPLINARE PER LO SVILUPPO DI MANUFATTI A BASE DI LEGNO INNOVATIVI

Corrado Cremonini<sup>1</sup>, Marco Fringuellino<sup>2</sup>, Francesco Negro<sup>1</sup>, Roberto Zanuttini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DISAFA, Università degli Studi di Torino, Grugliasco; francesco.negro@unito.it

<sup>2</sup>SAE Institute, Milano

Il contributo illustra i principali risultati del progetto di ricerca Optisoundwood, inserito nell'ambito del Piano di Sviluppo Rurale 2007-2013 della Regione Piemonte - Misura 124.2 "Cooperazione per lo sviluppo di nuovi prodotti, processi e tecnologie nel settore forestale". Attraverso la costituzione di un'apposita Associazione Temporanea di Scopo, il progetto ha comportato la collaborazione sinergica di un'industria del settore legno, in qualità di capofila, della Provincia di Torino, di due partner scientifici (dell'Università e Politecnico) e di un esperto in acustica. Tale gruppo ha operato con lo scopo di sviluppare e realizzare nuovi pannelli e compositi a base di sfogliati ottenuti per quanto possibile da legname di produzione locale, in grado di rispondere a esigenze di impiego nell'ambito del risanamento acustico.

L'attività ha previsto un'ampia serie di prove di caratterizzazione delle proprietà di fonoassorbimento a carico di pannelli sperimentali e compositi a base di legno muniti di fori e cavità. In particolare è stato preso in considerazione il campo delle basse frequenze, che comprende quelle del parlato. In base ai risultati ottenuti sono state realizzate differenti tipologie di prototipi in dimensioni d'uso: pannelli fonoassorbenti, quadri fonoassorbenti, pannelli sandwich aventi solette in compensato, bass traps. Il caso di studio illustra come lo sviluppo di prodotti innovativi possa essere strumento di valorizzazione del legname locale e permette di trarre utili indicazioni sia in merito all'impiego delle competenze proprie della tecnologia del legno a supporto delle esigenze industriali sia relativamente al ruolo delle sinergie tra industria ed enti di ricerca nell'attuale contesto economico/produttivo.

*Parole chiave:* innovazione, prodotti a base di legno, risanamento acustico.

*Keywords:* innovation, wood based products, acoustic improvement.

<http://dx.doi.org/10.4129/2cis-cc-opt>

### 1. Introduzione

L'acustica degli ambienti di grandi dimensioni e destinati allo svolgimento di attività umane, come ad esempio sale mensa, uffici *open space* o sale d'attesa, è stata a lungo trascurata, sebbene sia di fondamentale importanza (Moncada-Lo Giudice e Santoboni, 2000; Cirillo, 1997). Il disturbo causato dal rumore è infatti un parametro importante per valutare la qualità della vita in quanto influisce significativamente sulle condizioni di comfort e può rappresentare fonte di malessere (Cingolani e Spagnolo, 2005). Negli ultimi decenni la ricerca in ambito acustico si è orientata verso la definizione analitica della percezione del rumore rispetto alla variazione della struttura fisica del campo sonoro in cui si trova l'ascoltatore (acustica) e alla variabilità del giudizio personale (psico-acustica). Ad oggi, mentre sono stati individuati i parametri fondamentali e sono disponibili norme specifiche per determinare con accuratezza la qualità acustica di un ambiente (Felli, 1999), molto rimane da fare rispetto alla caratterizzazione di prodotti specificatamente dedicati al suo risanamento.

Il progetto Optisoundwood si inserisce nell'ambito del

Piano di Sviluppo Rurale 2007-2013 della Regione Piemonte - Misura 124.2 "Cooperazione per lo sviluppo di nuovi prodotti, processi e tecnologie nel settore forestale". Attraverso la costituzione di un'apposita Associazione Temporanea di Scopo, esso ha comportato la collaborazione sinergica di un'industria del settore legno, in qualità di capofila, della Provincia di Torino, di due partner scientifici e di un esperto in acustica, con lo scopo di sviluppare, sperimentare e realizzare nuovi pannelli e compositi a base di sfogliati ottenuti per quanto possibile dalla lavorazione di legname di produzione locale, in grado di rispondere in maniera affidabile, con prestazioni elevate, funzionalità decorative e in un'ottica di qualità ed ecocompatibilità, a specifiche esigenze di impiego nell'ambito del risanamento acustico.

In particolare, il progetto ha previsto la produzione di una serie di prototipi, dalle interessanti caratteristiche estetiche, finalizzati ad ottimizzare l'acustica di un ambiente di posa attenuandone la pressione sonora attraverso il cosiddetto effetto Helmholtz.

Tale principio si basa su di un sistema del tipo massa-molla formato da due volumi comunicanti denominati collo e cavità. I fori realizzati sulla superficie del pannello rappresentano i colli, mentre appositi spazi

interni o retrostanti allo stesso, costituiscono le cavità. Quando un'onda sonora incontra l'aria contenuta nel collo (la massa) la spinge nella cavità comprimendo quella già presente che reagisce (come una molla) espandendosi e respingendo l'aria in ingresso attraverso i fori. Si origina in tal modo un movimento oscillatorio dei suddetti volumi d'aria che determina la dissipazione di elevate quantità di energia sonora in corrispondenza di una frequenza di risonanza. L'applicazione di questo fenomeno ha reso possibile la messa a punto di manufatti fonoassorbenti, muniti di fori superficiali e cavità sottostanti opportunamente dimensionati sulla base di modelli matematici teorici, in modo da realizzare un sistema vibrante con una propria frequenza di risonanza posizionata nel campo della componente sonora che si intende attenuare.

Il progetto ha interessato anche alcuni aspetti ambientali e di ecosostenibilità. Per la produzione dei pannelli è stato infatti oggetto di indagine l'impiego di adesivi naturali, privi di formaldeide, in sostituzione di quelli sintetici a base di resine termoindurenti tradizionalmente usati a livello industriale. A tale riguardo sono state svolte sperimentazioni atte a verificare la qualità dell'incollaggio e il rispetto della legislazione vigente in materia (D.M. 10 ottobre 2008).

Contestualmente è stato valutato l'impiego di nuovi cloni di pioppo selezionati dal CRA - Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose Fuori Foresta di Casale Monferrato (AL).

A questa fase è seguita un'ampia caratterizzazione di laboratorio, tramite uno specifico apparato ad onde stazionarie (UNI ISO 10534-2), mirata a determinare il coefficiente di fonoassorbimento e l'impedenza acustica di una serie di soluzioni tecniche relative a diverse geometrie e rapporti tra fori e cavità realizzati su pannelli campione. Sulla base dei dati ottenuti sono stati quindi selezionati un numero ristretto di prototipi tra cui alcune tipologie di pannelli e quadri acustici fonoassorbenti.

Una parte rilevante del lavoro ha inoltre riguardato le modalità di installazione e la scelta di finiture o soluzioni estetico-decorative (quali ad esempio la stampa su legno e varie modalità di fresature superficiali con centro di lavoro CNC) in grado di valorizzare il prodotto finale. Nell'ambito del progetto sono state infine realizzate due nuove tipologie di trappole acustiche, di cui una a forma cilindrica in compensato curvabile, funzionanti in base ad un principio di fonoassorbimento differente dall'effetto Helmholtz, che non sono descritte nel presente contributo. I suddetti prototipi sono stati quindi sottoposti a misure in condizioni d'uso e in camera riverberante (UNI EN ISO 354) in un intervallo di frequenze compreso fra 100 Hz e 5000 Hz.

L'articolo analizza in particolare la fase di validazione delle prestazioni fonoassorbenti dei prototipi attraverso la caratterizzazione acustica di un ambiente di lavoro prima e dopo la loro messa in opera.

## 2. Materiali e metodi

Nell'ambito del progetto Optisoundwood sono state realizzate e sottoposte a prova due differenti tipologie

di prototipi caratterizzati da proprietà fonoassorbenti riconducibili all'effetto di risonanza di Helmholtz:

- *Pannelli fonoassorbenti* (Fig. 1): costituiti da compensato di pioppo forato superficialmente ed installato su un telaio anch'esso in compensato al cui interno è stato alloggiato un materassino fonoassorbente in fibra di poliestere;

- *Quadri fonoassorbenti* (Fig. 2): ovvero pannelli sandwich aventi solette in compensato, di cui una più spessa e forata destinata a rimanere a vista, e anima interna costituita da una struttura in nido d'ape a celle vuote delimitate da pareti di sfogliato. Entrambe le suddette tipologie sono state realizzate con spessore di 40 mm, superficie forata dell'1.41%, fori di diametro 3 e 5 mm e in formati modulari con lati da 60 cm o multipli. Per la validazione delle proprietà fonoassorbenti si è cercato un ambiente di prova in grado di simulare una reale situazione d'impiego. Nella fattispecie è stato individuato un locale destinato a sala mensa, ubicato all'interno del sito produttivo del partner industriale. La scelta di tale ambiente è stata dettata dalla necessità di valutare la risposta dei prodotti in una situazione fortemente riverberante e caratterizzata da una bassa qualità acustica. Questa si verifica soprattutto in ambienti grandi e con superfici lisce e rigide che fanno rimbalzare le onde sonore fra pareti, soffitto e pavimento.

Le sale mensa, in genere, presentano tali caratteristiche e nell'ambito degli ambienti di lavoro costituiscono uno dei casi in cui è più richiesto un intervento di correzione. In tali situazioni è infatti noto come un clima di brusio costante determini non solo fastidiosi disturbi ma anche serie difficoltà a rilassarsi durante la pausa lavorativa, senza contare il rischio di frequenti emicranie, senso di stanchezza, stress e affaticamento dell'organo dell'udito nel personale che frequenta il locale (Cirillo, 1997).

Nel caso specifico il luogo oggetto di prova era caratterizzato dalla presenza di ampie superfici acusticamente riflettenti (pareti perimetrali in laterizio intonacato, pavimento in gres porcellanato e soffitto rivestito con pannelli in PVC). Si tratta pertanto di un sito fortemente riverberante che amplifica i livelli di rumore prodotti al suo interno durante lo svolgimento delle attività antropiche (preparazione dei tavoli, allestimento della postazione per la conservazione e riscaldamento delle vivande, conversazione degli operai durante il pasto). L'ambiente individuato ha un volume di 243.81 m<sup>3</sup>, corrispondente ad una superficie di 231.55 m<sup>2</sup>, e soddisfa i requisiti dimensionali previsti dalla norma UNI EN ISO 354. Durante le prove la mensa è stata regolarmente allestita con tavoli e sedie in materiale plastico.

In tale contesto sono state effettuate due tipologie di misurazioni:

- rilievi fonometrici per stimare i livelli di rumore massimi che si raggiungono quando nella sala sono presenti da 10 a 25 persone (in funzione dei turni di lavoro);

- rilievi fonometrici per valutare il tempo di riverberazione.

Contestualmente si è proceduto a rilevare le condizioni termo-igrometriche ambientali che sono risultate (T 20.6-21 °C e UR 43-48%) entro i limiti indicati dalla norma UNI EN ISO 354 e si sono mantenute pressoché costanti

per tutto il tempo richiesto dalle misurazioni. Sono stati quindi sottoposti a prova i seguenti prototipi:

- n. 8 pannelli fonoassorbenti, per una superficie complessiva di 21.2 m<sup>2</sup>;
- n. 26 quadri acustici, per una superficie complessiva di 14.4 m<sup>2</sup>.

Tutti i prototipi sono stati appesi alle pareti, distribuendoli in maniera uniforme all'interno del locale.

Per la definizione della metodologia di indagine si è fatto riferimento alla norma UNI EN ISO 3382, che stabilisce criteri e parametri di misura normalizzati sulla base della risposta all'impulso, mentre l'esecuzione delle prove e l'analisi dei risultati è avvenuta in conformità alla norma UNI EN ISO 354.

I rilievi strumentali sono stati eseguiti con un fonometro integratore LARSON DAVIS L&D824, corredato di certificato di taratura in regime di validità, classe 1 di precisione (comprensivo di capsula microfonica a condensatore ½ pollice free field L&D2541 e preamplificatore L&D PRM902). È stato inoltre utilizzato un calibratore LARSON DAVIS CAL200, anch'esso in classe 1 di precisione e con certificato di taratura valido.

Inoltre sono state effettuate due misure fonometriche di riverberazione con la tecnica del rumore rosa interrotto, ciascuna delle quali rappresenta una media di 5 diversi punti variabili nello spazio, per un totale di 10 rilevazioni fonometriche.

Le due determinazioni acustiche hanno avuto durata di un'ora (dalle ore 12 alle ore 13), nella quale sono stati registrati i livelli di rumore presenti durante l'approntamento della sala mensa e il consumo dei pasti.

Infine, al termine di una pausa pasto, è stato sottoposto un questionario ai 14 fruitori presenti nella sala mensa al fine di valutare come avessero percepito l'effetto acustico dei pannelli fonoassorbenti.

### 3. Risultati e discussione

I risultati ottenuti dalla verifica sperimentale hanno permesso di validare i prototipi realizzati e di confermare la caratterizzazione acustica effettuata sui pannelli campione mediante il tubo ad onde stazionarie (UNI ISO 10534-2). Per entrambi i prototipi oggetto di prova, ovvero pannelli fonoassorbenti e quadri acustici a nido d'ape, le misure effettuate in condizioni d'uso hanno confermato significative prestazioni in termini di fonoassorbimento. La misura nella sala mensa vuota, confrontata con quella del medesimo ambiente dopo l'intervento di risanamento acustico tramite la posa dei pannelli fonoassorbenti ha evidenziato un'importante diminuzione del tempo di riverberazione nel campo delle medie frequenze. Nello specifico si evince un'ottima coincidenza della frequenza di risonanza, alla quale si riscontra il massimo assorbimento del sistema, tra le misure effettuate in laboratorio con il tubo ad impedenza e quelle in sala mensa. La maggiore larghezza di banda della curva del coefficiente di assorbimento risultante dalle misure in campo è da imputarsi alla presenza del materiale poroso collocato dietro alla superficie forata. Analogo comportamento si riscontra nei quadri acustici per i quali si evince tuttavia un leggero spostamento della frequenza di risonanza in condizioni reali rispetto a

quanto osservato dalle misure effettuate con il tubo ad impedenza. Tale diversa posizione del picco, peraltro di poca importanza in termini di efficienza del sistema, è probabilmente da imputare al fatto che la foratura superficiale su un elemento con struttura interna a nido d'ape comporta una certa variabilità nei volumi delle celle interessate dall'effetto Helmholtz che, in relazione alla limitata dimensione dei provini usati nella prova con il tubo ad impedenza (diametro 100 mm), non era stato possibile valutare a livello di laboratorio.

L'efficacia dell'assorbimento è comunque anche in questo caso evidente dalla forte riduzione operata sul tempo di riverberazione in seguito alla messa in opera degli elementi fonoassorbenti sotto forma di quadri acustici. Tutti i risultati sono stati confermati dalla misurazione del coefficiente di assorbimento acustico in camera riverberante (UNI EN ISO 354), in un intervallo di frequenze di misura compreso fra 100 Hz e 5000 Hz. Infine, dalle risposte al questionario è stato possibile evincere come l'effetto di fonoassorbimento sia stato chiaramente percepito dai fruitori della sala mensa. Tutte le persone a cui è stato sottoposto il questionario hanno infatti percepito un'attenuazione del rumore di fondo, hanno ritenuto di sentire meglio la conversazione ed hanno giudicato sensibilmente migliorata la qualità acustica dell'ambiente.

### 4. Conclusioni

Il progetto Optisoundwood ha consentito di sviluppare, sperimentare e realizzare su scala industriale una serie di nuovi pannelli e compositi a base di sfogliati ottenuti per quanto possibile dalla lavorazione di legname di provenienza regionale, dalle funzionalità decorative e prestazioni in grado di soddisfare specifiche esigenze di impiego nell'ambito del risanamento acustico. Esso ha costituito inoltre un esempio virtuoso di collaborazione tra vari soggetti, operanti nel settore imprenditoriale e della ricerca che rappresenta un volano per lo sviluppo di processi e prodotti innovativi, in cui competenze complementari hanno contribuito a individuare soluzioni tecniche più ecologiche ed alla messa a punto di manufatti di maggior valore aggiunto e tali da consentire di diversificare la produzione aziendale verso nicchie di mercato e applicazioni non tradizionali.

I risultati ottenuti hanno confermato la validità dei prototipi realizzati e permetteranno a breve di proporre prodotti a base di legno dalle prestazioni mirate che ben si prestano a realizzare interventi di miglioramento e risanamento acustico a costi contenuti dal momento che non richiedono il rifacimento dei locali né complicate modalità di posa. Quanto sopra assume rilevanza, specificità e potenzialità applicative soprattutto in locali chiusi ad elevata frequentazione (mense, luoghi di culto, auditorium, teatri), pubblici esercizi (bar, ristoranti, discoteche) e in ambiti che necessitano di condizioni acustiche particolari (sale di registrazione, studi radio-televisivi, aree workshop in manifestazioni fieristiche), ovvero dove sia necessario migliorare il "comfort acustico" non solo per quanto concerne l'attenuazione del rumore ma anche l'ottimizzazione della "qualità sonora" degli ambienti considerati.



Figura 1. Pannello fotoassorbente.  
Figure 1. Sound absorbing panel.



Figura 2. Quadro fotoassorbente.  
Figure 2. Sound absorbing frame.

## SUMMARY

### **OPTISOUNDWOOD: a multidisciplinary project for developing innovative wood based products**

The contribution illustrates the main results of the "Optisoundwood" research project, carried out within the Rural Development Plan 2007-2013 of Piemonte Region – Measure 124-2 "Cooperation for the development of new products, processes and technologies in the forest sector". Through the constitution of a specific "Temporary Association of Aim", the project envisaged the synergic collaboration of an industry of the wood sector as a project leader, the Province of Torino, two scientific partners (University of Torino and Politecnico of Torino) and an acoustic expert.

This group operated to develop and realize new panels and composites made of veneers obtained, as much as possible, from local wood and intended for acoustic improvement purposes. The activity included a broad testing activity for determining the sound absorption properties of experimental wood based panels and drilled on their surface and paired with void cavities. In particular the low frequency range, which includes speech frequencies, was considered. On the basis of the experimental results obtained on the above mentioned products, different typologies of prototypes in end-use dimensions were realized: sound absorbing panels, sound absorbing frames, sandwich panels constituted by plywood skins, bass traps. The studied case illustrates how developing innovative products can support the valorization of local wood. Further, useful indication can be drawn both on the application of wood technology competences for meeting industrial needs and on the role

played by synergies between industry and research bodies in the current economic/productive context.

## BIBLIOGRAFIA

- Cingolani R., Spagnolo R., 2005 – *Acustica musicale e architettonica*. Edizioni UTET, Torino.  
Cirillo E., 1997 – *Acustica applicata*. Edizioni Mc Graw-Hill, Milano.  
Felli M., 1999 – *Lezioni di fisica tecnica*. Acustica, Vol. 3. Tecnica dell'Illuminazione. Morlacchi editore, Perugia.  
Moncada-Lo Giudice G., Santoboni S., 2000 – *Acustica*. Edizioni CEA, Milano.

## NORMATIVA CITATA

- DPCM del 01/03/91. Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno (GU n° 57 del 08/03/91).  
UNI EN ISO 354. Misurazione del coefficiente di assorbimento acustico in camera riverberante.  
UNI ISO 10534-2. Determinazione del coefficiente di assorbimento acustico e dell'impedenza acustica in tubi di impedenza.  
UNI CEN/TS 1793-5. Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica.  
UNI ISO 13472-1. Misurazione in situ del coefficiente di assorbimento acustico di superfici stradali.  
UNI EN ISO 3382. Misurazione dei parametri acustici degli ambienti.  
D.M. 10 ottobre 2008. Disposizioni atte a regolamentare l'emissione di aldeide formica da pannelli a base di legno e manufatti con essi realizzati in ambienti di vita e soggiorno.