

IDEAZIONE E DEFINIZIONE DI SOLUZIONI A BASE CELLULOSICA PER L'ISOLAMENTO ACUSTICO ED IL FONOASSORBIMENTO NEGLI EDIFICI

Simone Secchi (1), Irene Vannucchi (1), Eliana Farotto (2), Elisa Nannipieri (1), Gianfranco Cellai (1), Elena Stoppioni (3)

- 1) Dipartimento di Tecnologie dell'Architettura e Design "Pierluigi Spadolini", Università degli studi di Firenze, simone.secchi@unifi.it,
- 2) Consorzio Nazionale Recupero e Riciclo degli Imballaggi a base Cellulosica, farotto@comieco.org
- 3) E-dB LAB di Envircom srl, ing.stoppioni@e-dblab.com

1. Introduzione

L'aumento notevole delle quantità di materiali di recupero provenienti dalla raccolta differenziata di carta e cartone impone che si trovino nuovi settori di impiego di carta e cartone realizzati con fibre riciclate che vadano oltre quelli comuni dell'imballaggio e delle carte grafiche. Il consorzio nazionale per il recupero ed il riciclo degli imballaggi a base cellulosica (Comieco), da diversi anni impegnato nella ricerca sul recupero ed il reimpiego dei materiali a base di cellulosa, ha pertanto promosso uno studio volto alla progettazione ed alla valutazione delle prestazioni acustiche di soluzioni realizzate a partire da prodotti a base di fibra di cellulosa, già presenti sul mercato. Lo studio in particolare indaga la possibilità di modificare e di assemblare tra loro questi prodotti allo scopo di realizzare sistemi innovativi dalle proprietà fonoisolanti e fonoassorbenti per la qualità acustica di ambienti interni.

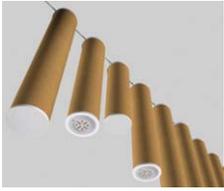
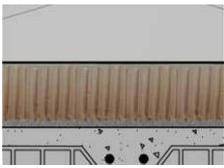
2. I prodotti ideati

I presupposti della ricerca si fondano sulla necessità di inserire le nuove soluzioni ideate all'interno della catena produttiva di materiali esistenti. È stata quindi condotta un'indagine sui prodotti a base di materiale cellulosico riciclato attualmente presenti sul mercato, che ha portato alla stesura di un abaco di prodotti, suddivisi tra cartone ondulato per imballaggi, cartoncino teso, cartone alveolare per il riempimento di mobili tamburati, fiocchi o pannelli di fibra di cellulosa e tubi di cartone. A partire da questo sono stati ideati 10 nuovi prodotti (vedi tabella 1), con un totale di 24 possibili varianti (diverse densità dei pannelli di fibra cellulosa, diverse forature e diversi spessori dei pannelli ecc.). Le varianti per ogni prodotto sono contraddistinte dalle lettere A, B, C e D.

I prodotti sono suddivisi nelle seguenti categorie:

- Elementi a soffitto con proprietà fonoassorbenti;
- Elementi divisorii interni con proprietà principalmente fonoassorbenti;
- Rivestimenti a parete con proprietà sia fonoisolanti che fonoassorbenti;
- Soluzioni a pavimento per l'attenuazione del rumore da calpestio.

Tabella 1 – Descrizione sintetica delle soluzioni progettate nell'ambito della ricerca

Prodotto	Immagine	Elementi di base	Descrizione	Prestazioni acustiche
1 Baffles cilindrici di cartone Varianti: A, B		Tubi di cartone Fibra di cellulosa in fiocchi	Tubi di cartone riempiti di fibra di cellulosa e forati a tutto tondo, in modo da ricreare un sistema risonante. Possibilità di integrazione con dispositivi altoparlanti o di illuminazione al LED.	Assorbimento per risonanza di cavità Fonoisolamento: NO
2 Contro-soffitto in cartone Varianti: A, B		Cartone ondulato Pannello di fibra di cellulosa	Membrana vibrante costituita da un foglio di cartone ondulato o da un pannello di fibra di cellulosa, rivestito con carta kraft.	Assorbimento per risonanza di membrana Fonoisolamento: NO
3-4 Pannello sandwich Varianti: A, B, C, D		Cartone alveolare a nido d'ape o ondulato Pannello di fibra di cellulosa Cartoncino teso	Elemento sandwich costituito da pannello di cartone alveolare con copertina in carta kraft, forata in corrispondenza delle celle e anima in fibra di cellulosa. Si ricrea un sistema risonante su entrambe le facce del pannello.	Assorbimento per risonanza di cavità Fonoisolamento: SI
5 Pannello sandwich Varianti: A, B		Cartone alveolare ondulato Pannello di fibra di cellulosa	Anima in fibra di cellulosa e supporto in pannelli di cartone alveolare ondulato, senza copertina.	Assorbimento per porosità Fonoisolamento: SI
6-7 Parete in tubi di cartone Varianti: A, B		Tubi di cartone Fibra di cellulosa in fiocchi	Tubi di cartone alti 2 metri riempiti di fibra di cellulosa e incisi con fenditure verticali, per ricreare un sistema risonante.	Assorbimento per risonanza di cavità Fonoisolamento: SI
8-9 Rivestimento a parete Varianti: A, B		Cartone alveolare a nido d'ape o ondulato Pannello di fibra di cellulosa Cartoncino teso	Soluzione analoga alla 3-4, ma l'elemento è montato su di una struttura ancorata alla parete.	Assorbimento per risonanza di cavità Fonoisolamento: SI
10 Pavimento galleggiante Varianti: A, B		Cartone alveolare a nido d'ape Materassino di fibra di cellulosa	Pavimento di tipo galleggiante costituito da uno strato di material isolante in fibra di cellulose posato sul rustico e da un massetto ripartitore in cartone alveolare ad alta resistenza.	Fonoisolamento: SI

3. Metodologia di analisi e risultati preliminari

Le soluzioni ideate sono state studiate analizzando caso per caso le prestazioni acustiche pertinenti, ovvero il coefficiente di assorbimento acustico (α), il potere fonoisolante (R), l'incremento di potere fonoisolante (ΔR) e la riduzione di livello di rumore da calpestio (ΔL). In particolare, per il calcolo del coefficiente di assorbimento acustico è stato impiegato il software Zorba® della Marshall Day Acoustic, mentre per il potere fonoisolante sono state utilizzate formule empiriche basate sulla legge della massa e per i miglioramenti ΔR e ΔL relazioni basate sull'effetto risonanza massa-molla-massa.

Il modello di calcolo impiegato per il calcolo del coefficiente di assorbimento, implementato all'interno del software, è quello di Allard e Champoux [1].

Per l'analisi del coefficiente di assorbimento acustico di materiali porosi, il modello si basa sulla resistività al flusso dell'aria e sullo spessore del materiale impiegato, mentre per i pannelli forati sulla posizione e sulla dimensione dei fori e sullo spessore del pannello. L'impedenza del sistema, necessaria per il calcolo del coefficiente di assorbimento acustico, è ottenuta sommando gli effetti dei diversi elementi, a partire dall'impedenza del supporto rigido, considerata infinita.

Per il coefficiente di assorbimento per incidenza casuale il modello utilizza la teoria di S. I. Thomasson [2] che considera, oltre all'angolo di incidenza dell'onda sonora, anche gli effetti della diffrazione degli spigoli della superficie assorbente.

Tabella 2: Prestazioni stimate per le diverse varianti dei prodotti ideati.

Prodotto	Prestazione fonoisolante stimata	Prestazione fonoassorbente stimata
1A	-	$\alpha_w=0,80$ (LM)
1B	-	$\alpha_w=0,70$ (LM)
2A	-	$\alpha_w=0,55$ (LM)
2B	-	$\alpha_w=0,20$ (LM)
3A	$R_w=16$ dB	$\alpha_w=0,85$ (L)
3B	$R_w=17$ dB	$\alpha_w=0,80$
3C	$R_w=14$ dB	$\alpha_w=0,80$ (M)
3D	$R_w=16$ dB	$\alpha_w=0,65$ (M)
4A	$R_w=17$ dB	$\alpha_w=0,90$
4B	$R_w=15$ dB	$\alpha_w=0,90$
4C	$R_w=14$ dB	$\alpha_w=0,90$
4D	$R_w=16$ dB	$\alpha_w=0,60$ (MH)
5A	$R_w=8$ dB	$\alpha_w=0,90$
5B	$R_w=12$ dB	$\alpha_w=1,00$
6A	$R_w=24$ dB	$\alpha_w=0,90$ (L)
6B	$R_w=22$ dB	$\alpha_w=0,95$
7A	$R_w=18,5$ dB	$\alpha_w=0,85$ (L)
7B	$R_w=21$ dB	$\alpha_w=0,95$
8A	$\Delta R_w=9,7$ dB	$\alpha_w=0,85$ (L)
8B	$\Delta R_w=9$ dB	$\alpha_w=0,85$ (L)
9A	$\Delta R_w=10,4$ dB	$\alpha_w=0,90$ (L)
9B	$\Delta R_w=11,4$ dB	$\alpha_w=0,95$ (L)
10A	$\Delta L_{n,w}=19$ dB	-
10B	$\Delta L_{n,w}=9$ dB	-

4. Metodologia di valutazione del comfort acustico in casi tipo

Dopo aver valutato le prestazioni intrinseche dei sistemi ideati (tabella 2), sono stati studiati gli effetti ambientali che tali soluzioni creano in determinati contesti tipo, quali allestimenti fieristici, uffici ed aule scolastiche. In particolare, la valutazione degli effet-

ti ambientali è utile per determinare il miglioramento del comfort acustico con riferimento ad alcuni casi studio. Questa valutazione è stata fatta attraverso il software Ramsete®, specifico per la simulazione dei fenomeni acustici degli ambienti confinati.

Sono state definite 3 tipologie di stand fieristici (figura 1), 3 allestimenti per uffici *open space* e 2 tipologie di correzioni acustiche per un'aula scolastica tipo (figura 4).

Per ogni tipologia di ambiente è stato individuato il parametro acustico che ne descrive meglio le prestazioni e la relativa metodologia di valutazione, in relazione all'uso e ed al tipo di attività che si svolge nell'ambiente (conversazione, ascolto di lezioni ecc.).

In particolare, per valutare il comfort acustico negli stand fieristici (qualità della conversazione all'interno dello stand), è stato stimato lo Speech Transmission Index (STI); questo richiede di valutare sia le condizioni di riverbero che il rumore di fondo tipico dell'ambiente. A tale riguardo, è stato necessario contestualizzare lo studio inserendo lo stand fieristico esaminato in un ambiente più grande. È stato pertanto ricreato il modello CAD di un tipico padiglione fieristico, sulla base di un padiglione reale (il padiglione Spadolini di Firenze). Per avere un termine di confronto, gli stand esaminati sono stati modellati con partizioni costituite sia dalle soluzioni tecnologiche ideate (in cartone, denominate "COMIECO"), sia da materiali tradizionali (in legno). Per ogni coppia di stand (in partizioni di cartone o di legno) sono state condotte due successive simulazioni, di cui una per la determinazione del livello di rumore di fondo, ottenuta sotto l'ipotesi di un determinato livello di affollamento del padiglione, l'altra per la determinazione dell'indice STI, inserendo nel programma i valori di L_{eq} precedentemente determinati.



Figura 1- Due esempi di stand progettati con le soluzioni tecnologiche in cartone

L'indice STI ottenuto per le diverse configurazioni di stand e per le diverse soluzioni progettuali esaminate è stato valutato secondo un *range* di valori variabile da 0.3 (STI pessimo) a 0.75 (STI ottimo).

I risultati delle simulazioni (figura 2) hanno evidenziato che l'utilizzo delle soluzioni ideate negli stand tipo comporta un abbassamento del livello di rumore equivalente L_{eq} pari in a 6 dBA ed un miglioramento dell'indice STI di circa 0,1 punti.

Per gli allestimenti di uffici *open space* è stato utilizzato ancora il parametro STI ma con differenti considerazioni sull'interpretazione dei risultati. In generale, l'indice STI deve assumere valori elevati nel caso in cui si voglia favorire la conversazione (se questa avviene tra due persone che si trovano all'interno della stessa postazione di lavoro), mentre deve assumere valori bassi se sorgente e ricevitore si trovano in postazioni di lavoro differenti, a significare che la conversazione disturbante non deve arrivare al ricevitore in modo chiaro, perché questo può provocare disturbo e riduzione della privacy.

Si è proceduto, quindi, con una serie di simulazioni che hanno portato al confronto tra un ambiente *open space* in cui le pareti divisorie delle postazioni sono realizzate con materiali tradizionali non fonoassorbenti (legno o plexiglas) o con alcune delle tipologie di pannelli in cartone progettati. Una prima simulazione, condotta in tutti e quattro gli ambienti (tre uffici allestiti in cartone ed uno tradizionale), serve a calcolare il rumore di fondo presente nell'ufficio; una seconda simulazione valuta lo STI ponendo sorgente e ricevitore ravvicinati (STI1, da considerarsi favorevole se assume valori elevati); la terza simulazione valuta lo STI (STI2, da considerarsi favorevole se assume valori bassi) quando sorgente e ricevitore si trovano in due box diversi.

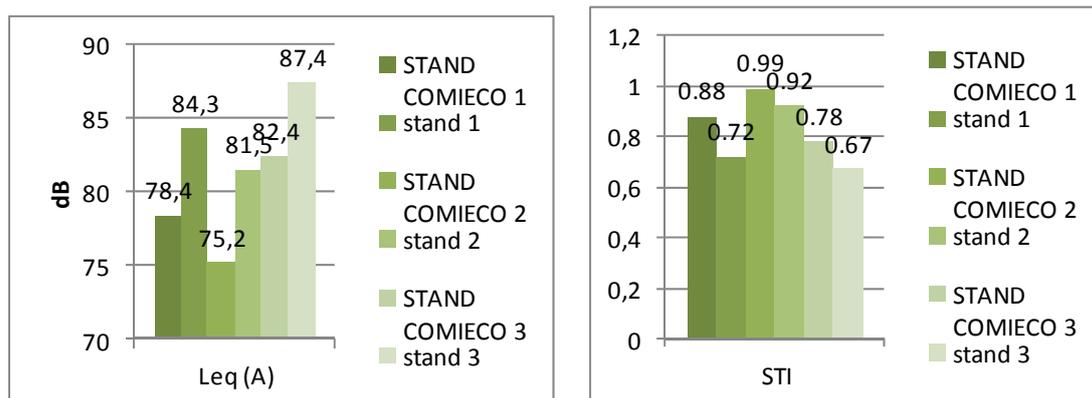


Figura 2 – Risultati delle simulazioni per gli stand fieristici. A sinistra il confronto tra i valori del rumore di fondo; a destra il confronto tra i valori dello STI.

Dalle simulazioni è emerso che il valore di STI(1) nei box allestiti con i prodotti in cartone è aumentato di circa 0,3 punti, mentre il valore di STI(2) è diminuito di 0,5 punti, con un generale miglioramento del comfort acustico dell'ambiente (figura 3).

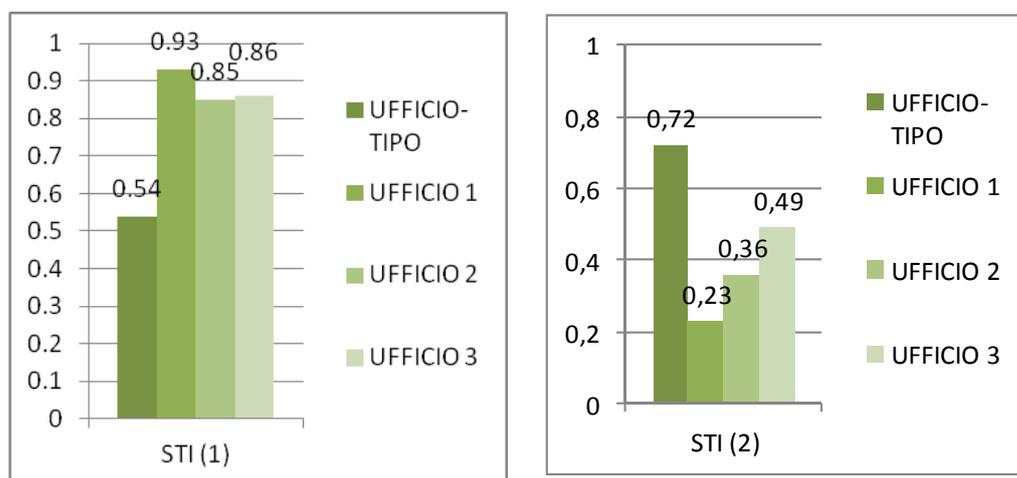


Figura 3 - Risultati delle simulazioni per gli uffici open-space. A sinistra il confronto tra i valori del rumore di fondo; a destra il confronto tra i valori dello STI.

Per la valutazione delle due tipologie di correzione acustica di un'aula scolastica è stato invece valutato il tempo di riverberazione T_{30} , confrontando le prestazioni delle due soluzioni con quelle ottenute rispettivamente nelle ipotesi di aula senza rivestimenti fonoassorbenti e con rivestimento fonoassorbente di tipo tradizionale (in fibra di poliestere). La prima correzione acustica (correzione 1) è stata progettata utilizzando i *baffles*

cilindrici in tubi di cartone (soluzione 1A), appesi tramite cavi sottili in acciaio, la seconda soluzione (correzione 2) è costituita da una struttura reticolare composta dai pannelli sandwich in cartone alveolare (soluzione 4A).

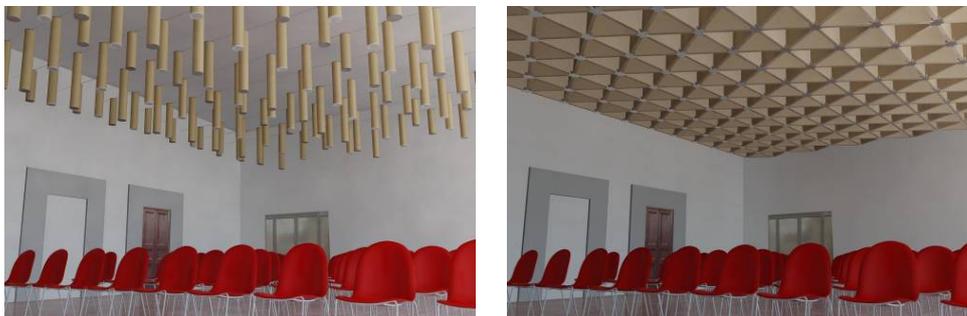


Figura 4- Le soluzioni per la correzione acustica dell'aula scolastica.

Il grafico di confronto (figura 5) mostra che tutte le soluzioni studiate consentono il rispetto della norma di riferimento per le scuole (DM 18/12/75) e che sono inferiori anche a quelli dell'aula corretta con i pannelli di fibra di poliestere.

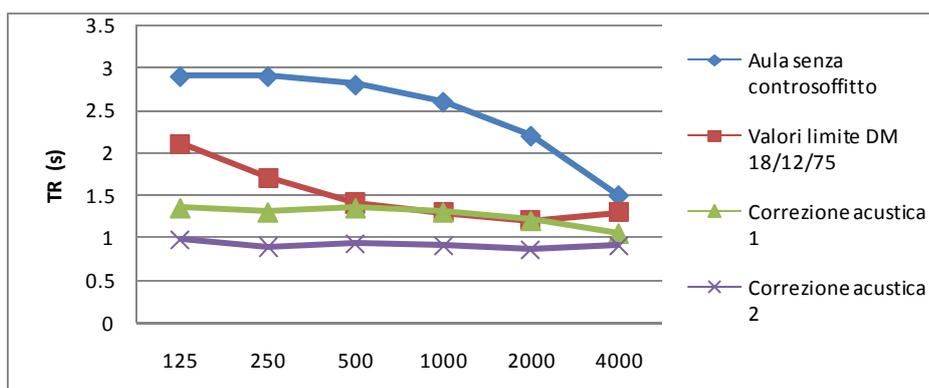


Figura 5 – Confronto tra i tempi di riverbero nelle varie simulazioni

5. Conclusioni

Le simulazioni software effettuate hanno dato esiti interessanti sia in termini prestazioni intrinseche dei prodotti ideati che in termini di comfort ambientale in ambienti tipo appartenenti a differenti casistiche (stand fieristici, uffici, aule scolastiche). A questi risultati si aggiungono altri aspetti positivi quali la leggerezza, la trasportabilità, l'economicità e la riciclabilità delle soluzioni ideate, che potrebbero contribuire a rendere questi prodotti competitivi sul mercato.

Lo studio sarà oggetto di un'ulteriore fase di approfondimento, che prevede la realizzazione di provini su cui effettuare in laboratorio misure di α , R e L_n . Le prove saranno effettuate presso il laboratorio di acustica e-dB LAB di Envircom srl di Firenze, partner del laboratorio congiunto Università - Impresa LAER&S.

6. Riferimenti

- [1] Heinrich Kuttruf, *Room Acoustics, fifth edition*, Spon Press, Oxon, 2009.
- [2] S.I. Thomasson, *Theory and experiments on the sound absorption as function of the area*, Report TRITA-TAK-8201, Stoccolma, 1982.