

ANALISI SPERIMENTALE DELL'EFFICACIA DI SISTEMI FRANGISOLE PER RIDURRE LA PRESSIONE SONORA IN FACCIATA

EXPERIMENTAL ANALYSIS ON THE SOUND PROTECTION GIVEN BY THE EXTERNAL SHADING SYSTEMS ATTACHED TO THE BUILDING FAÇADE

Nicolò Zuccherini Martello * (1), Patrizio Fausti (1), Matteo Michelacci (1), Simone Secchi (2)

- 1) Dipartimento di Ingegneria - Università di Ferrara
- 2) Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Firenze

* Nicolò Zuccherini Martello, Dipartimento di Ingegneria - Università di Ferrara, Via Saragat1, 44100, Ferrara, Italy
e-mail: zccncl@unife.it

(Ricevuto il 01/08/2016, accettato il 22/09/2016)

RIASSUNTO

L'utilizzo di sistemi frangisole è largamente diffuso nei nuovi edifici, ma le verifiche sul loro effetto sul campo sonoro in facciata sono ancora piuttosto limitate.

Questo lavoro illustra i risultati di uno studio condotto in una camera semi-anechoica su un modello in scala reale di una porzione di facciata dotata di sistemi frangisole. Lo scopo era quello di verificare l'influenza sul livello sonoro in facciata di sistemi frangisole in differenti configurazioni (lamelle diversamente inclinate, con o senza rivestimento fonoassorbente).

Le misure evidenziano che i frangisole con lamelle fonoassorbenti possono ridurre significativamente il livello sonoro sul piano della facciata.

ABSTRACT

The use of shading systems is quite widespread in new buildings, but their acoustic effect on the sound pressure level on building façades has generally not been considered.

This work presents the results of an investigation on a 1:1 scale model of a louvers system, carried out in a semi-anechoic chamber. The aim was to analyze the changes in SPL on the façade given by the presence of the louvers in different configurations (three tilt angles of the louvers, with or without sound absorptive material). The measurements highlighted a slight increase in SPL on the façade when the standard louvers were installed, while the sound absorptive material gave an evident SPL reduction on the façade.

parole chiave: Frangisole, isolamento acustico di facciata, attenuazione acustica, Insertion Loss.
keywords: Shading device, Façade sound insulation, Sound attenuation, Insertion Loss.

1. Introduzione

Secondo le più recenti disposizioni legislative vigenti in Italia [1], l'uso di sistemi schermanti della radiazione solare come frangisole o vetrate selettive è di fatto obbligatoria per i nuovi edifici e per le ristrutturazioni importanti. Infatti, poiché il decreto [1] pone limiti all'irraggiamento solare ammissibile sulle facciate degli edifici non rivolte a Nord, per il progettista diventa possibile agire su due variabili: la dimensione dei serramenti o la presenza di schermature solari. Poiché le dimensioni dei serramenti sono vincolate da prescrizioni relative all'illuminamento naturale minimo degli ambienti interni (fattore di luce diurna), di fatto diventa fondamentale schermare opportunamente le vetrate con esposizione a Est, Sud o Ovest.

Tali schermature possono assumere forme assai differenziate: esterne o interne, fisse o mobili, conformate a lamelle orientabili, costituite da tendaggi esterni o, infine, incorporate all'interno del vetrocamera della finestra. In figura 1 sono illustrate alcune tipologie di schermature finalizzate al contenimento della radiazione solare incidente sulla facciata [2,3].



Figura 1 - Esempi di tipologie di sistemi di facciata per la schermatura della radiazione solare - Examples of devices for shading from solar radiation.

La scelta del sistema schermante per la facciata di un edificio dipende da molteplici fattori; oltre a quelli estetici e funzionali (manovrabilità, interferenza con la visione dall'interno verso l'esterno e viceversa), vi sono quelli relativi ai requisiti di protezione solare nei diversi momenti della giornata e dell'anno (al variare della posizione del sole), alla trasmissione e distribuzione della luce naturale diretta e diffusa ed infine all'interferenza con il campo sonoro incidente sulla facciata.

L'efficacia dei sistemi frangisole nella riduzione dei consumi energetici per il raffrescamento degli edifici e nell'aumento del comfort visivo degli occupanti è stata già ampiamente dimostrata [2,4].

Le schermature costituite da lamelle esterne regolabili in inclinazione sono tra quelle più performanti perché consentono di intercettare la radiazione solare prima che questa contribuisca al riscaldamento dell'ambiente interno (effetto serra), possono migliorare la distribuzione della luce naturale nell'interno e interferiscono in maniera relativamente limitata sulla visione dall'interno dell'ambiente esterno [2,3,5]. Tuttavia tali lamelle frangisole, proprio perché poste all'esterno, interagiscono con il campo sonoro incidente sulla facciata e possono pertanto generare, in funzione della loro conformazione, un contributo positivo o negativo all'isolamento acustico di facciata. In figura 2 sono schematizzate alcune possibili configurazioni di lamelle frangisole esterne [3].

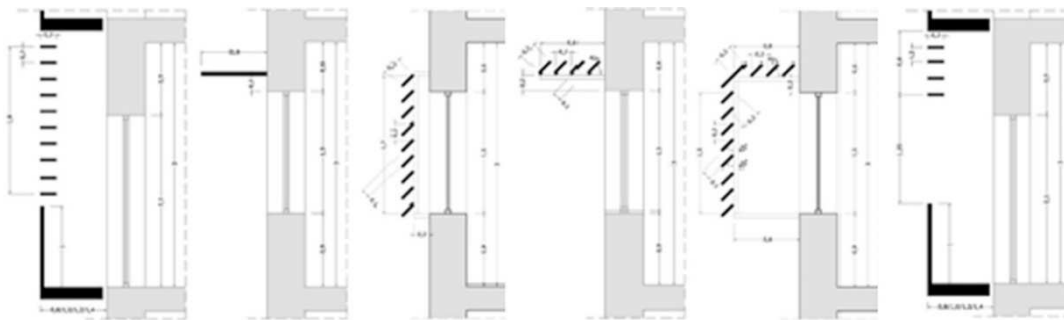


Figura 2 - Possibili configurazioni di lamelle frangisole esterne - Different types of external shading systems.

La protezione acustica fornita dalla forma della facciata degli edifici è stata oggetto di attenzione in diversi studi basati su misure con modelli in scala, simulazioni numeriche e misure sperimentali [6-10]. L'effetto acustico dei sistemi frangisole costituiti da lamelle esterne risulta invece poco indagato, sebbene recenti lavori [11,12] abbiano evidenziato come l'attenuazione fornita da tali dispositivi, se dotati di proprietà fonoassorbenti, non sia affatto trascurabile. In particolare è stato evidenziato [13,14] come, rendendo fonoassorbente il lato inferiore di lamelle frangisole di piccole dimensioni, l'attenuazione possa raggiungere valori fino a 5 dB, mentre nella loro configurazione standard, privi di prestazioni fonoassorbenti, possano aumentare il livello di pressione sonora sulla superficie della facciata.

Il presente lavoro riguarda pertanto uno studio sistematico, mediante misure su un modello in scala 1:1, dell'attenuazione acustica fornita da un sistema frangisole. Lo studio è stato effettuato in camera semi-anechoica, dove il pavimento simulava la facciata piana di un ipotetico edificio. Le misure sono state effettuate sfruttando varie posizioni della sorgente e diverse inclinazioni delle lamelle del sistema frangisole.

Esiste una enorme varietà di sistemi frangisole in commercio, differenti per materiali, forma e dimensioni. Le dimensioni del modello di brise-soleil realizzato per la sperimentazione sono pertanto state scelte in analogia ai più diffusi frangisole esterni esistenti in commercio. Ciò limita i risultati della sperimentazione alla specifica configurazione del sistema studiato; infatti, le riflessioni multiple tra le lamelle frangisole e la facciata dell'edificio, influenzate dalla distanza tra queste, possono variare il campo acustico rilevato dai microfoni e quindi modificare i risultati dello studio. L'intenzione di queste misure è pertanto quella di fornire risultati utili per la taratura di un modello numerico necessario per valutare l'effetto di maggiori variabili in termini di dimensioni e forma dei frangisole.

L'attenuazione acustica fornita dal sistema standard è stata confrontata con quella fornita da un sistema di frangisole fonoassorbenti, ovvero modificati con l'aggiunta di materiale fonoassorbente nel lato inferiore di ciascun elemento.

L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di valutare l'efficacia dei frangisole come sistema di riduzione del livello di pressione sonora sulla facciata degli edifici. Tale studio potrebbe avere notevoli sviluppi sia per incrementare l'isolamento acustico di facciata, anche a finestre aperte, che per ridurre il rumore riflesso verso l'ambiente esterno, soprattutto per le strade urbane dove l'uso di barriere acustiche risulta difficoltoso.

2. Il set-up di misura

2.1 Il modello del sistema frangisole

Esistono in commercio innumerevoli varianti di sistemi frangisole, differenti per materiali, dimensioni e modalità di impiego (con lamelle fisse, inclinabili o impacchettabili) [2,3]. Il modello realizzato per questo lavoro vuole essere rappresentativo di un sistema comune, con lamelle inclinabili di dimensioni tipiche.

Il modello è stato realizzato interamente in legno ed è costituito da 4 moduli di 2 m x 2 m ciascuno. I montanti sono costituiti da listelli di sezione 10 cm x 2 cm, mentre le lamelle sono tavole in compensato di dimensioni 20 cm x 200 cm x 1.8 cm.

I 4 moduli sono stati appoggiati sul pavimento della camera semi-anecoica, affiancati in modo tale da formare un'area di studio di 4 m x 4 m. Tali dimensioni corrispondono a quelle di una porzione di una ipotetica facciata compresa tra due piani di un edificio di tipo commerciale o per uffici.

Il perimetro del modello è stato protetto da pannelli in fibra di poliestere per evitare intrusioni laterali del campo sonoro generato dalla sorgente: lo spessore complessivo dei pannelli è pari a 0.25 m in modo da arrivare al bordo superiore dei montanti del sistema frangisole, mentre la larghezza è di un metro. In figura 3 sono visibili alcune delle configurazioni studiate: si può notare il modello con il perimetro protetto dalla fibra di poliestere.

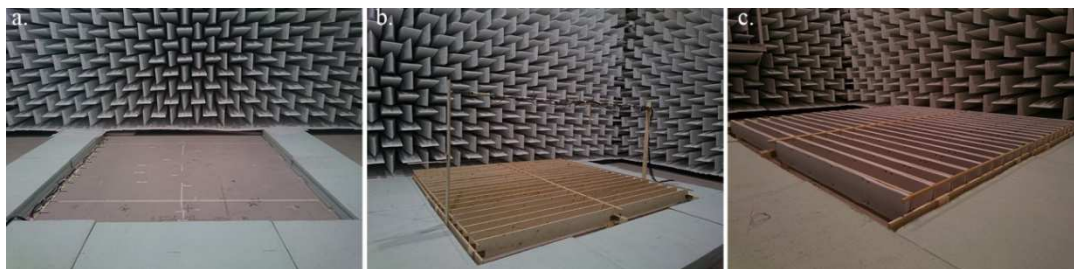


Figura 3 - Modello appoggiato sul pavimento della camera semi-anecoica. In primo piano la protezione del perimetro in fibra di poliestere. A) pavimento della camera semi-anecoica, corrispondente alla facciata non schermata; b) Modello di sistema frangisole non modificato; c) Modello del sistema frangisole fonoassorbente. - Model lying on the floor of the semi-anechoic chamber with the polyester fiber to protect the perimeter from unwanted reflections: a) Blank floor of the semi-anechoic chamber; b) Model of the standard shading device; c) Model of the sound absorbing shading device.

2.2 La sorgente acustica, la griglia di microfoni e i frangisole

La sorgente acustica impiegata nelle misure è un altoparlante direttivo, adatto per le misure di isolamento di facciata [15]. Trattandosi di misure relative, si presuppone che l'effetto della direttività venga annullato nel calcolo dell'attenuazione acustica.

Le posizioni della sorgente sono state scelte per studiare differenti angoli di incidenza del campo acustico sul modello di frangisole, come illustrato in figura 5, a sinistra. Infatti, l'efficacia dei sistemi frangisole è influenzata dall'angolo di incidenza delle onde, a sua volta determinato dalla posizione della porzione di facciata rispetto al centro di emissione sonora (generalmente assunto nei calcoli previsionali corrispondente all'asse stradale) [13,14].

Il centro acustico dell'altoparlante è stato posizionato sempre in corrispondenza del montante mediano del modello.

Nelle misure sono stati usati 12 microfoni a condensatore per campo libero, prepolarizzati, da 1/2", con preamplificatore ICP. I microfoni sono stati appoggiati al pavimento della camera semi-anechoica, un monolite in calcestruzzo armato non rivestito, spesso 20 cm. Visto l'assorbimento acustico del pavimento della camera semi-anechoica si può facilmente constatare l'analogia con una facciata vetrata: in Figura 4 sono riportate le curve dell'assorbimento acustico (da letteratura) di una superficie liscia in calcestruzzo e di una vetrata doppia. Poiché inoltre i risultati delle misure sono espressi in termini di confronti relativi tra i livelli di pressione acustica rilevati nelle condizioni di pavimento libero (situazione di riferimento) e con il sistema frangisole, si assume che eventuali effetti dovuti alle riflessioni dal pavimento della camera semi-anechoica siano ininfluenti sui risultati.

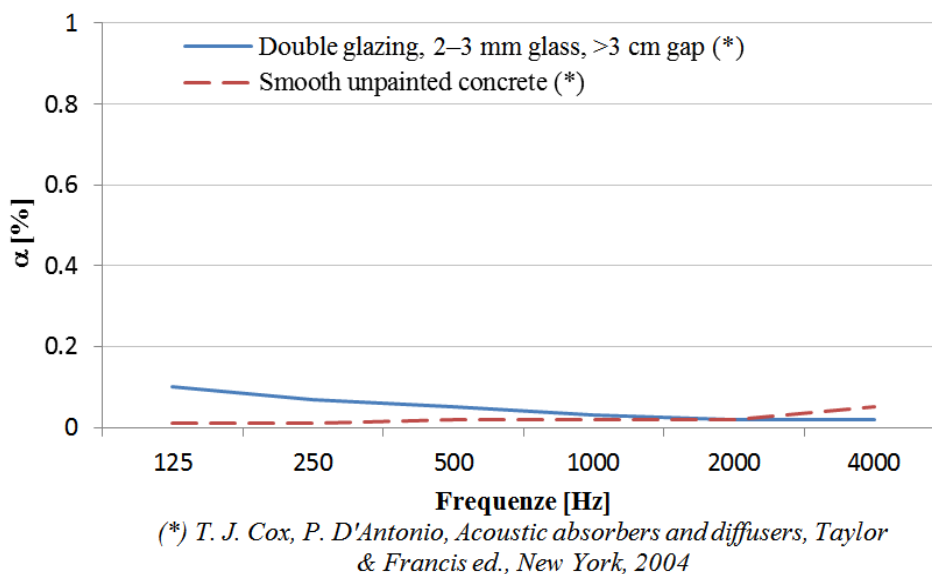


Figura 4 - Assorbimento acustico di una vetrata doppia (curva azzurra, continua) e di una superficie in calcestruzzo liscia, non rivestita (curva rossa, tratteggiata) - Sound absorption coefficient of a double glazing (blue solid line) and of a smooth unpainted concrete surface (red dashed line).

L'intero laboratorio poggia su un sistema di molle per evitare l'intrusione di vibrazioni dall'esterno. La griglia di microfoni presentava complessivamente 120 posizioni (12 righe distanziate di 30 cm; 10 colonne distanziate di 40 cm), come illustrato in figura 5, a destra.

La distanza del sistema di frangisole dal pavimento del laboratorio era pari a 15 cm, similmente ad un reale sistema frangisole analogo per forma e dimensioni al modello realizzato per la sperimentazione. Il baricentro di ciascun microfono era di conseguenza ad una distanza di circa 14.5 cm dalle lamelle non inclinate (per ulteriori dettagli si rimanda alla consultazione della Figura 7). In figura 6 sono rappresentati alcuni dettagli riferiti alla posizione della sorgente acustica e dei microfoni.

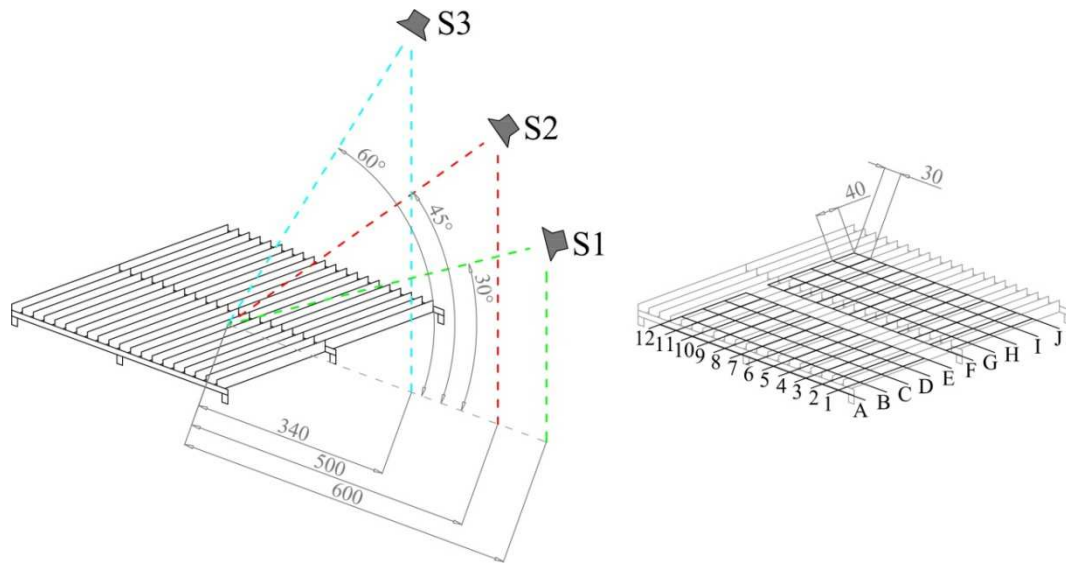


Figura 5 - Sinistra) illustrazione delle 3 posizioni della sorgente sonora rispetto al modello; Destra) griglia delle 120 posizioni microfoniche utilizzate. Dimensioni espresse in cm - Left)-picture of the 3 sound source position with respect to the model; Right) grid of 120 microphone positions used in the measurements. Dimensions are given in cm.



Figura 6 - a) Sorgente in posizione S3 rivolta verso il modello dei frangisole; b) I 12 microfoni utilizzati. Allestimento per rilevare i livelli di pressione sonora di riferimento c) Microfoni con il modello - a) Source in position S3 facing the model of the shading system; b) The 12 microphone array used. Setup, to detect the reference sound pressure levels; c) Microphones with the model.

Una prima serie di misure è stata effettuata senza il modello, per ottenere la situazione di riferimento, costituita da un'ipotetica facciata di un edificio senza frangisole. Le misure sono state ripetute con la presenza dei frangisole con diverse inclinazioni delle lamelle, sia nella loro configurazione di base (figura 7, in alto) che con l'aggiunta di materiale fonoassorbente (figura 7, in basso) costituito da uno strato di melammina espansa spesso 3 cm posto in aderenza al lato inferiore di ciascuna lamella.

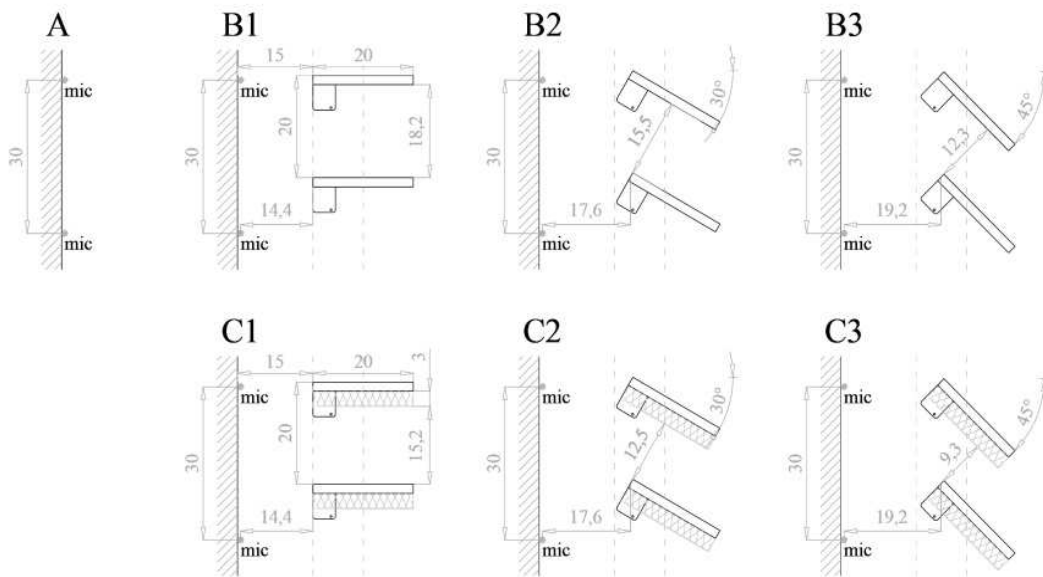


Figura 7 - Schema delle differenti configurazioni di frangisole studiate: A facciata libera (senza frangisole). Da B1 a B3: frangisole standard variamente inclinati. Da C1 a C3: frangisole fonoassorbenti variamente inclinati. Dimensioni espresse in cm. - Setup of the different configurations: A. without shading system. B1 to B3: different tilt angles of the standard shading system. C1 to C3: different tilt angles of the shading system with absorbing material. Dimensions are given in cm.

In figura 8 è riportato lo spettro del coefficiente di assorbimento acustico dello strato di melammina espansa misurato in tubo di impedenza secondo la norma UNI EN ISO 10534-2:2001 [16]. Si nota che il materiale impiegato è caratterizzato da significativi valori dell'assorbimento acustico solo ad alta frequenza.

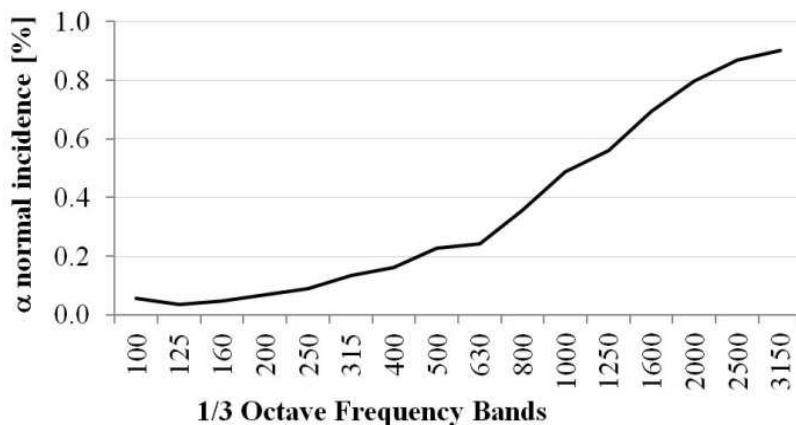


Figura 8 – Coefficiente di assorbimento acustico per incidenza normale delle onde dello strato di melammina espansa usato per il rivestimento delle lamelle del frangisole - Normal incidence sound absorbing coefficient of the material (expanded melamine layer) used in the louvers.

La scelta del materiale fonoassorbente in questa fase della ricerca è stato motivato da ragioni di ordine pratico, stante la necessità di avere un sistema facile da realizzare e di spessore confrontabile con le soluzioni utilizzate nei casi reali. Infatti, l'impiego di materiali fonoassorbenti di tipo poroso o fibroso che garantissero migliori prestazioni alle frequenze medie e basse avrebbe imposto spessori di materiale non compatibili con l'uso ipotizzato. D'altra parte, in una fase di maggiore sviluppo della ricerca potranno essere utilizzati materiali fonoassorbenti risonanti che, con spessore limitatamente contenuti, possano accrescere il fonoassorbimento anche alle medie o basse frequenze.

Le lamelle sono state provate sia in posizione orizzontale che inclinate verso il basso (vedi figura 7) perché si sono privilegiate considerazioni di ordine energetico (maggiore effetto schermante della radiazione solare con inclinazione verso il basso). È infatti evidente che un'inclinazione delle lamelle verso l'alto, che privilegierebbe la funzione di schermo acustico per i rumori provenienti dal basso (quale è il rumore da traffico), sarebbe inefficace per la schermatura solare.

3. I risultati delle misure

I risultati delle misure, illustrati nel presente paragrafo, sono espressi in termini di attenuazione acustica. L'attenuazione acustica fornita dal sistema è assimilabile alla Insertion Loss (IL) fornita dalle barriere antirumore, sebbene la procedura di misura e il metodo di calcolo siano differenti.

L'attenuazione è stata calcolata come differenza tra i livelli di pressione acustica con facciata priva di schermatura ($L_{p(\text{blank façade})}$) e con facciata dotata di schermatura ($L_{p(\text{shielded façade})}$), come riportato in equazione (1).

$$(1) \quad \text{Attenuazione Acustica} = L_{p(\text{blank façade})} - L_{p(\text{shielded façade})} \quad [\text{dB}]$$

I limiti in frequenza considerati sia nei calcoli in bande da 1/3 di ottava, che in banda larga sono 100 Hz e 5000 Hz.

3.1 L'Attenuazione acustica media in bande di 1/3 di ottava

In figura 9 sono riportati i grafici dell'attenuazione acustica fornita dal sistema frangisole, in bande di 1/3 di ottava (da 100 Hz a 5000 Hz), mediate su tutte le 120 posizioni microfoniche. Le tre curve di ciascun grafico sono riferite alle 3 posizioni di sorgente impiegate (figura 7). Il calcolo è stato effettuato come differenza tra la media energetica dei livelli di pressione rilevati in tutte le 120 posizioni microfoniche nella situazione di riferimento, a pavimento vuoto, e la media dei livelli misurati con le varie configurazioni del sistema frangisole. È interessante osservare come la presenza dei frangisole tradizionali (senza materiale fonoassorbente) porti a valori di attenuazione acustica che si scostano di circa $\pm 2\text{dB}$ dallo 0 e non sono molto variabili in funzione della posizione della sorgente.

Si può notare come la progressiva inclinazione delle lamelle verso il basso tenda ad abbassare l'attenuazione media.

I frangisole fonoassorbenti presentano in generale ottimi valori di attenuazione media, che raggiungono i 10 dB ad alcune bande di frequenza. In questo caso risulta più evidente l'effetto della posizione della sorgente sonora: si nota come gli effetti positivi dei frangisole fonoassorbenti aumentino mano a mano che la direzione delle onde sonore diventa più radente alla facciata. Come nella serie di misure effettuate con i frangisole tradizionali, anche con i frangisole fonoassorbenti è apprezzabile un leggero

peggioramento delle performance del sistema con l'aumentare dell'inclinazione delle lamelle verso il basso. Questo effetto è giustificabile con la maggiore area libera tra due lamelle successive esposta al campo acustico incidente, ovvero al fatto che l'inclinazione delle lamelle le rende progressivamente parallele alla direzione delle onde sonore. Il fatto di ridurre l'efficacia acustica all'aumentare dell'inclinazione delle lamelle verso il basso può risultare in contrasto con l'esigenza di offrire adeguata schermatura alla radiazione solare da parte delle lamelle, soprattutto per basse inclinazioni del sole, ovvero con facciate esposte a Est o Ovest.

In figura 10 è riportato uno schema tipo di una sezione stradale e di una facciata di un edificio. Le icone indicanti gli altoparlanti sono state riportate nelle effettive posizioni adottate nelle misure in camera semi-anecoica, mentre le linee tratteggiate indicano l'angolo di incidenza del campo acustico generato da una sorgente stradale su un ipotetico edificio. La differente distanza delle sorgenti sonore dal piano di misura non ha effetto sul risultato dal momento che si tratta di differenze di livello tra la configurazione studiata e la configurazione di riferimento. Si può quindi affermare che, per una data posizione della sorgente e configurazione delle lamelle, l'attenuazione dovuta alla presenza di sistemi frangisole fonoassorbenti tenda ad aumentare con l'altezza dell'edificio.

Questo risultato è sicuramente più apprezzabile analizzando l'attenuazione media ottenuta dalla differenza tra i livelli globali di pressione sonora, come riportato in figura 11. Risulta inoltre più evidente l'effetto negativo dei frangisole tradizionali, specialmente se inclinati verso il basso (configurazione B3). La figura 11 evidenzia maggiormente, rispetto ai grafici di figura 9, anche la variabilità delle prestazioni del sistema in funzione dell'angolo di incidenza del campo acustico.

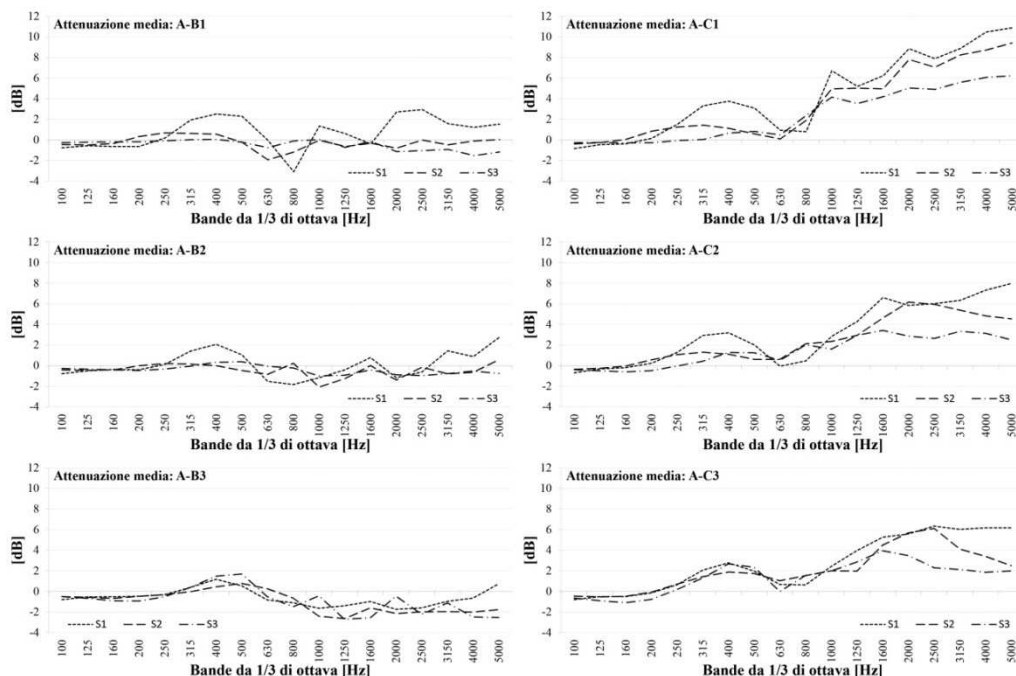


Figura 9 – Attenuazioni acustiche. Ciascun grafico riporta l'attenuazione ricavata per le 3 posizioni della sorgente. Sinistra) frangisole standard; Destra): frangisole fonoassorbenti - Insertion Losses. Each graph shows the IL obtained for the 3 positions of the source. Left) standard shading system; Right) sound absorbing shading system.

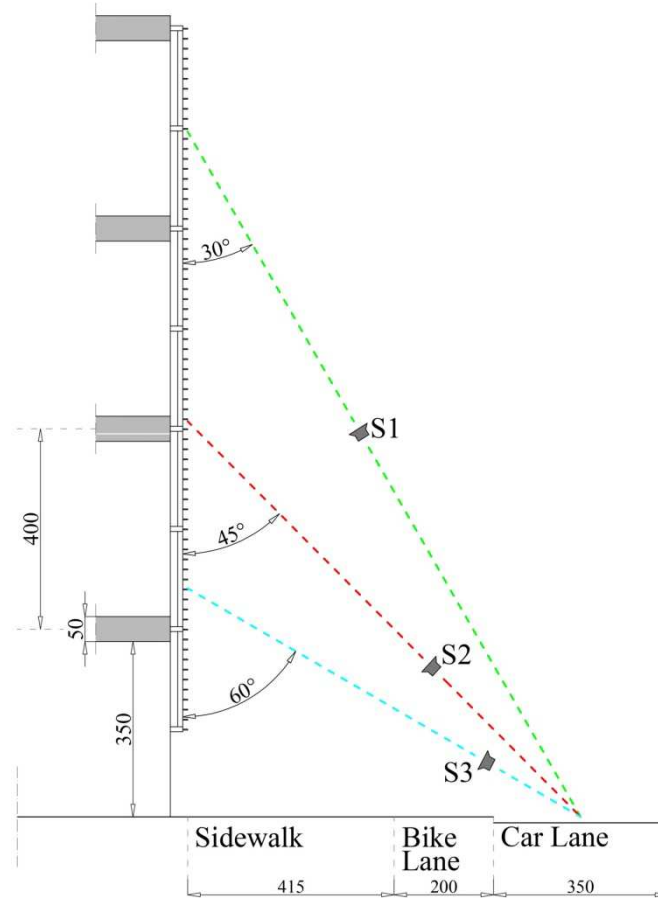


Figura 10 – Schema di un'ipotetica sezione stradale e di un edificio con un sistema di frangisole dimensionalmente analogo a quello studiato - Setup of a typical road section with a building in which a solar shading system, dimensionally similar to the one studied, is located.

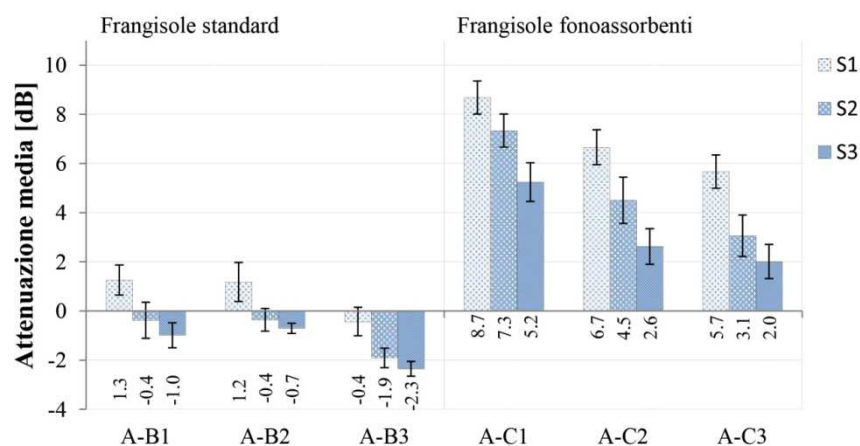


Figura 11 – Valori medi in banda larga dell'attenuazione e deviazione standard fornita dai sistemi frangisole tradizionale e fonoassorbente, in funzione della posizione della sorgente - Average broad band values and standard deviation of the insertion loss provided by shading systems without and with sound absorbing material, as a function of the position of the source.

3.2 L'attenuazione puntuale in banda larga

L'insieme delle misure effettuate sulla griglia descritta in figura 7 ha consentito un'analisi piuttosto accurata anche della variabilità dell'attenuazione su tutta la superficie analizzata, di dimensioni 4m x 4m. Nelle figure da 12 a 14 sono riportate le mappe di colore rappresentanti la variabilità dell'attenuazione, in dB a banda larga, ottenuta dalle bande comprese tra 100 e 5000 Hz, lo stesso intervallo usato per il calcolo dell'attenuazione, su tutta la superficie in analisi. Per brevità sono riportati solo i grafici riferiti alla sorgente in posizione S1. Anche in questo caso si può apprezzare dai grafici come si abbiano in generale maggiori benefici dal sistema frangisole con le lamelle non inclinate, sia nella sua configurazione tradizionale, che con gli elementi fonoassorbenti. È ben visibile la variabilità dell'attenuazione in funzione dell'altezza della porzione di superficie analizzata, in relazione ad una sorgente di rumore fissa.

I grafici illustrano in modo chiaro gli alti valori di attenuazione ottenibili con i frangisole fonoassorbenti, specialmente se confrontati con i frangisole tradizionali.

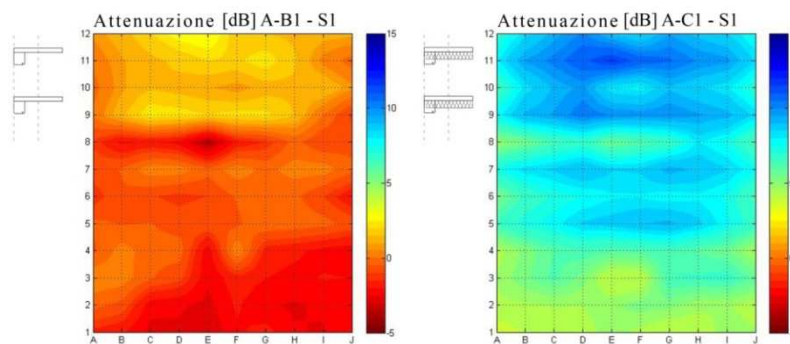


Figura 12 - Variazione dell'attenuazione, in dB, sulla superficie in analisi. Lamelle non inclinate, sorgente in posizione S1. Destra) lamelle fonoassorbenti; Sinistra) lamelle tradizionali - Change in the insertion loss, in dB, on the tested surface. Horizontal louvers, source in position S1. Right) Sound absorbing louvers; left) traditional louvers.

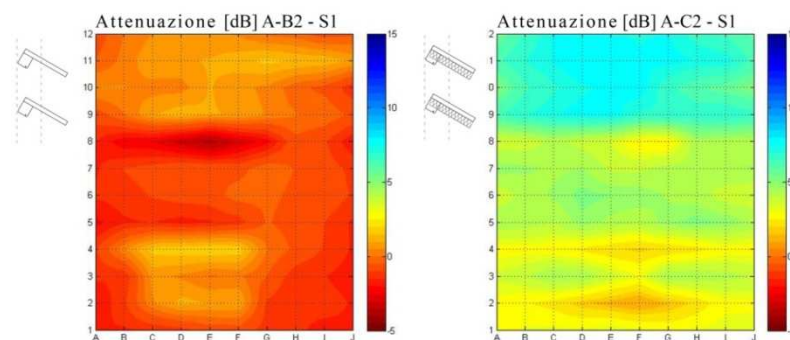


Figura 13 - Variazione dell'attenuazione, in dB, sulla superficie in analisi. Lamelle inclinate di 30° e sorgente in posizione S1. Destra) lamelle fonoassorbenti; Sinistra) lamelle tradizionali - Change in the insertion loss, in dB, on the tested surface. Louvers with 30° angle and source in position S1. Right) sound absorbing louvers; left side: traditional louvers.

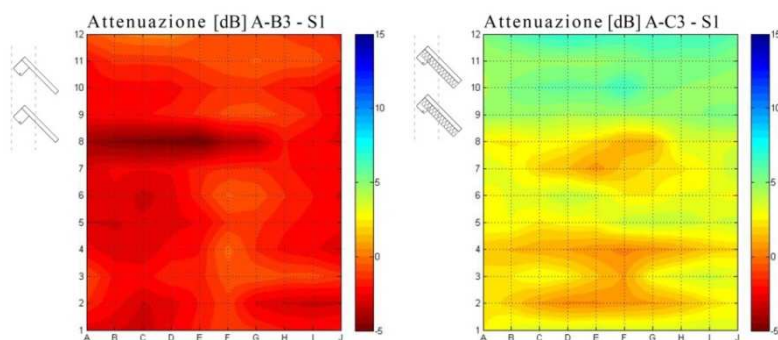


Figure 14 - Variazione dell'attenuazione, in dB, sulla superficie in analisi. Lamelle inclinate di 45°, sorgente in posizione S1. Destra) lamelle fonoassorbenti; Sinistra) lamelle tradizionali - Change in the insertion loss, in dB, on the tested surface of 4m x 4m. Louvers with 45° angle, source in position S1. Right) Sound absorbing louvers; left) traditional louvers.

Conclusioni

Lo studio ha mostrato come l'attenuazione acustica offerta dal sistema frangisole studiato, sia nella sua configurazione tradizionale, che con le lamelle fonoassorbenti, dipenda da alcuni fattori comuni. L'inclinazione delle lamelle verso la sorgente di rumore (verso il basso) tende a diminuire l'attenuazione del sistema, portando a valori negativi con le lamelle tradizionali. Allo stesso modo l'attenuazione si abbassa mano a mano che il campo acustico generato diventa più prossimo ad essere ortogonale alla superficie studiata (come avviene tipicamente per il piano terra degli edifici). Entrambi i fenomeni sono da attribuire all'area di facciata visibile dalla sorgente acustica, che tende ad aumentare mano a mano che l'orientamento dell'asse dell'altoparlante approssima il parallelismo con l'angolo di inclinazione delle lamelle.

La variabilità in frequenza dell'attenuazione del sistema dipende chiaramente dalle proprietà di assorbimento acustico del materiale impiegato che nel caso esaminato era dotato di buone prestazioni fonoassorbenti solo alle alte frequenze. Nei limiti dello studio effettuato, si può comunque affermare che l'uso di frangisole fonoassorbenti permette di ottenere elevati valori di attenuazione. Il dato è maggiormente apprezzabile osservando i valori in dB a banda larga, che restituiscono una più chiara visualizzazione delle performance del sistema tradizionale, confrontate con i frangisole fonoassorbenti. In una fase successiva della ricerca verranno provati sistemi frangisole dotati di prestazioni fonoassorbenti anche alle medie e basse frequenze del suono.

Un precedente lavoro [13,14] ha mostrato una discreta corrispondenza tra l'attenuazione acustica fornita dal sistema frangisole e il rispettivo incremento in termini di isolamento acustico di facciata ($D_{2m,nT}$ [15]).

Allo stato attuale, i risultati della ricerca permettono di affermare che il miglioramento delle proprietà acustiche dei sistemi frangisole può costituire un'interessante opportunità, volta ad ottimizzare un prodotto già ampiamente usato in edilizia, conferendogli la duale proprietà di schermo solare e di barriera antirumore.

Conclusions

In this study it is shown how the Insertion Loss offered by the studied shading system, with and without sound absorbing louvers, depends on some common factors. The change in the tilt angle of the louvers towards the noise source (downward) tends to decrease the insertion loss of the system, generally leading to negative values with conventional system (without sound absorbing material). Similarly, the insertion loss tends to decrease when the acoustic field becomes closer to the orthogonal one with respect to the façade. Both effects, as expected, depend on the dimension of the visible façade from the noise source point of view, which tends to increase when the speaker axis orientation tends to approximate the direction of the louvers.

From the frequency response point of view, the variability in the insertion loss is clearly dependent on the sound absorbing properties of the material used; in the case studied, the materials have good performance only at high frequencies. Considering these limitations, it is possible to state that the use of sound absorbing shading systems allows high insertion loss performances and this is more evident by looking at the broad band values in dB. In a later stage of the research, experiments will be made using sound absorbing material with better properties at medium and low frequencies.

A previous work [13,14] has showed how the insertion loss provided by the shading system has a good correspondence with the increasing in the façade sound insulation ($D_{2m,nT}$).

At present, the obtained results allow us to say that the improvement of the acoustic properties of shading devices can be an interesting opportunity, aimed at optimizing a product already widely used in construction, given the dual function of shading system and noise barrier.

Bibliografia

- [1] Decreto Interministeriale del 26/06/2015. Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana. Serie Generale n.162 del 15-7-2015, suppl. Ord. n. 39.
- [2] Cellai, G., Carletti, C., Sciarpi, F., Secchi, S. (2014). Transparent Building Envelope: Windows and Shading Devices Typologies for Energy Efficiency Refurbishments. Building Refurbishment for Energy Performance, Green Energy and Technology. A. Magrini (Ed.), Springer International Publishing, pp. 61-118.
- [3] Cellai, G., Carletti, C., Sciarpi, F., Secchi, S., Nannipieri, E., Pierangioli, L. (2013). Serramenti e schermature per la riqualificazione energetica ed ambientale – criteri per la valutazione e la scelta. Roma: EPC editore.
- [4] Cho, J., Yoo, C., Kim, Y. (2014). Viability of exterior shading devices for high-rise residential buildings: Case study for cooling energy saving and economic feasibility analysis. Energy and Buildings, 82, pp. 771-785.
- [5] Cellai, G., Secchi, S., Nannipieri, E., Baldini S. (2011). Ottimizzazione di schermature solari sotto i profili acustico e illuminotecnico. In: Atti del 38° Convegno Nazionale della Associazione Italiana di Acustica, Rimini, 08-10 Giugno.
- [6] Hossam El Dien, H., Woloszyn, P. (2004). Prediction of the sound field into high-rise building façades due to its balcony ceiling form. Applied Acoustics, 65, pp. 431-440.
- [7] Hossam El Dien, H., Woloszyn, P. (2005). The acoustical influence of balcony depth and parapet form: experiments and simulations. Applied Acoustics, 66, pp. 533-551.

- [8] Lee, P.J., Kim, Y.H., Jeon, J.Y., Song, K.D. (2007). Effects of apartment building façade and balcony design on the reduction of exterior noise. *Building and Environment*, 42, pp. 3517-3528.
- [9] Busa, L., Secchi, S., Baldini, S. (2010). Effect of façade shape for the acoustic protection of buildings. *Building Acoustics*, 17, pp. 317-338.
- [10] Ishizuka, T., Fujiwara, K. (2013). Full-scale tests of reflective noise-reducing devices for balconies on high-rise buildings. *J. Acoust. Soc. Am.*, 134, pp. 185-190.
- [11] Otani, R., Asakura, T., Sakamoto, S. (2009). Numerical analysis and experiment on noise shielding effects of eaves/louvers attached on building façade. In: *Proceedings of Inter-Noise 2009, Ottawa (Canada), 23-26 August. INCE-USA.*
- [12] Sakamoto, S., Aoki, A. (2015). Numerical and experimental study on noise shielding effect of eaves/louvers attached on building façade. *Building and Environment*, 94, pp. 773-784.
- [13] Zuccherini Martello, N., Fausti, P., Santoni, A., Secchi, S. (2015). The use of sound absorbing shading systems for the attenuation of noise on building façades. An experimental investigation. *Buildings*, 5, pp. 1346-1360.
- [14] Zuccherini Martello, N., Fausti, P., Santoni, A., Secchi, S. (2015). Experimental analysis of sound absorbing shading systems for the acoustic protection of façades. In: *Proceedings of ICSV22, Florence (Italy), 12-16 July. IIAV.*
- [15] EN ISO 16283-3:2016, Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: Façade sound insulation.
- [16] ISO 1998. ISO 10534-2:1998, Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 2: Transfer-function method. Geneva, Switzerland: ISO.