

SIMULAZIONI AGLI ELEMENTI FINITI DI SISTEMI FRANGISOLE IN FACCIATA DEGLI EDIFICI: EFFETTI ACUSTICI DI DIMENSIONI, SPAZIATURA E INCLINAZIONE DELLE LAMELLE

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

1) Università di Ferrara – Dipartimento di Ingegneria, Ferrara, nicolo.zuccherinimartello@unife.it, patrizio.fausti@unife.it

2) Università di Firenze – Dipartimento di Ingegneria Industriale, Firenze, simone.secchi@unifi.it

SOMMARIO

Lo studio presentato in questo articolo riguarda l'analisi della Insertion Loss fornita da un sistema frangisole, rispetto ai livelli di pressione sonora in facciata di un edificio. Il lavoro è stato portato a termine con simulazioni agli elementi finiti, calibrate con misure in camera semianecoica. In particolare si è osservata la variazione del livello di pressione sonora in funzione dell'inclinazione delle lamelle, della spaziatura reciproca, della loro dimensione e del piano dell'edificio simulato.

1. Introduzione

Il rumore generato dal traffico veicolare in ambiente urbano è considerato un inquinante ed è stato inserito come causa dell'insorgenza di malattie cardiovascolari dalla comunità europea [1]. La protezione dal rumore fornita dalle facciate degli edifici è quindi di fondamentale importanza. Spesso, per ragioni energetiche e illuminotecniche, vengono installati sistemi frangisole in facciate molto vetrate, ma i loro effetti acustici sono ancora poco indagati. In un recente lavoro è stata calcolata la Insertion Loss (IL) fornita da un sistema frangisole applicato in facciata [2], con simulazioni con metodo Finite Difference-Time Domain. È stata simulata la facciata di un edificio alto, ma si è indagato l'effetto di una sola tipologia di lamelle frangisole, senza valutare parametri quali le loro dimensioni o la spaziatura.

Il presente lavoro vuole analizzare le variazioni di IL dovute ai fattori geometrici di un sistema frangisole, già molto importanti per le sue prestazioni illuminotecniche ed energetiche. Il modello virtuale è stato studiato con metodo agli elementi finiti (FEM), con un dominio bidimensionale, ipotizzando quindi una sorgente lineare coerente, invariabile nel tempo. Il modello FEM è stato calibrato con misure effettuate in camera semianecoica, presentate in [3]. Le simulazioni sono riferite a due tipologie di sistemi frangisole, una con lamelle tradizionali e l'altra con elementi fonoassorbenti.

2. Il modello FEM

La modellazione numerica è stata effettuata all'interno del software commerciale COMSOL Multiphysics® v5.2. L'edificio virtuale è alto 28 m, con 7 piani di 3.1 m ciascuno, in aggiunta al piano terra. La strada è larga 7 m e il marciapiede limitrofo all'edificio è di 6 m. La sorgente è stata simulata come un punto nel dominio bidimensionale (corrispondente ad una linea nel corrispettivo tridimensionale), con una emissione omnidirezionale pari ad un Pa di pressione acustica.

Tutte le superfici nel modello (strada, terreno, lamelle frangisole) sono state modellate con la condizione di *hard boundary*. Il materiale fonoassorbente usato nella sperimentazione dei frangisole fonoassorbenti (3 cm di schiuma melamminica [3]) è stato simulato con il modello di delany-bazley-Miki [4], implementato in Comsol, inserendo una resistività al flusso $\sigma = 10500$ Pa·s/m². Il perimetro della geometria è stato delimitato con la condizione di Perfectly-Matched-Layer (PML), spesso 10 cm, con 12 strati interni. I fattori che nelle simulazioni hanno influenzato la IL sono illustrati in Tabella 1. Le simulazioni sono

state ripetute combinando tra loro tutti i fattori. Di prassi si tende a mantenere i frangisole con una distanza reciproca pari almeno alla dimensione della lamella. Per questo motivo non tutte le spaziature sono state simulate per ogni dimensione (Tab. 1).

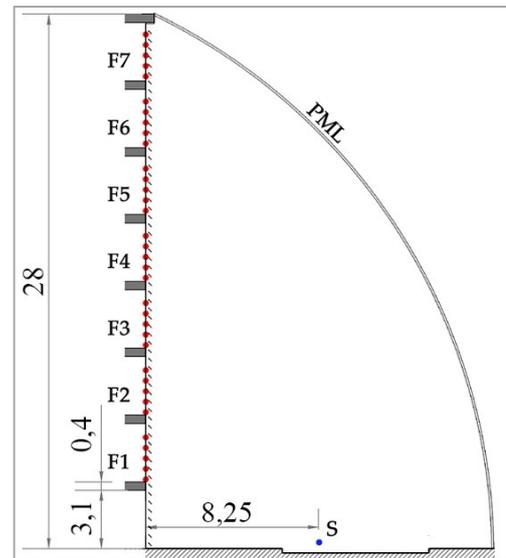


Figura 1 – Geometria dell'edificio simulato (dimensioni in metri). La sorgente S è posta ad un'altezza di 0.5 m dal terreno. In rosso, i ricevitori.

Tabella 1 – Fattori riferiti al sistema frangisole, analizzati nelle simulazioni.

Piano edificio	Angolo lamelle	Dim. lamelle	Spaziatura lamelle		
			20 cm	30 cm	40 cm
da 1 a 7	0°	20 cm	20 cm	30 cm	40 cm
	-30°	30 cm		30 cm	40 cm
	-45°	40 cm			40 cm

2.1 Risultati della calibrazione del modello

La validità del modello FEM è stata verificata con un modello di dimensioni minori, rispetto a quello di Figura 1, per ricreare le condizioni di misura in camera semianecoica, illustrate in [3]. Il confronto tra IL misurata e simulata è riportato come media delle differenze, in valore assoluto, tra IL misurata e simulata, in tutte le configurazioni descritte in [3], considerando sia i frangisole tradizionali che quelli fonoassorbenti. La procedura di calibrazione ha portato a risultati soddisfacenti fino alla banda degli 800 Hz (Fig. 2), con valori sempre inferiori ad un dB.

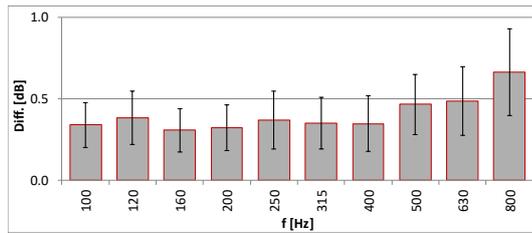


Figura 2 – Differenza media in valore assoluto e deviazione standard tra IL simulata e IL misurata in camera semianecoica.

3. Risultati delle simulazioni

I risultati delle simulazioni sono espressi come Insertion Loss (Eq. 1) in dB. I grafici di Figura 3 riportano la distribuzione statistica della IL calcolata ai vari ricettori (5 per ogni piano – Fig. 1), riferendosi ad entrambi i sistemi frangisole studiati (tradizionale e fonoassorbente).

$$(1) \quad IL = SPL_{senza} - SPL_{con} \quad [\text{dB}]$$

dove:

SPL_{senza} è il livello di pressione sonora in facciata, senza il sistema frangisole [dB];

SPL_{con} è il livello di pressione sonora in facciata, con il sistema frangisole [dB], nelle sue varie configurazioni.

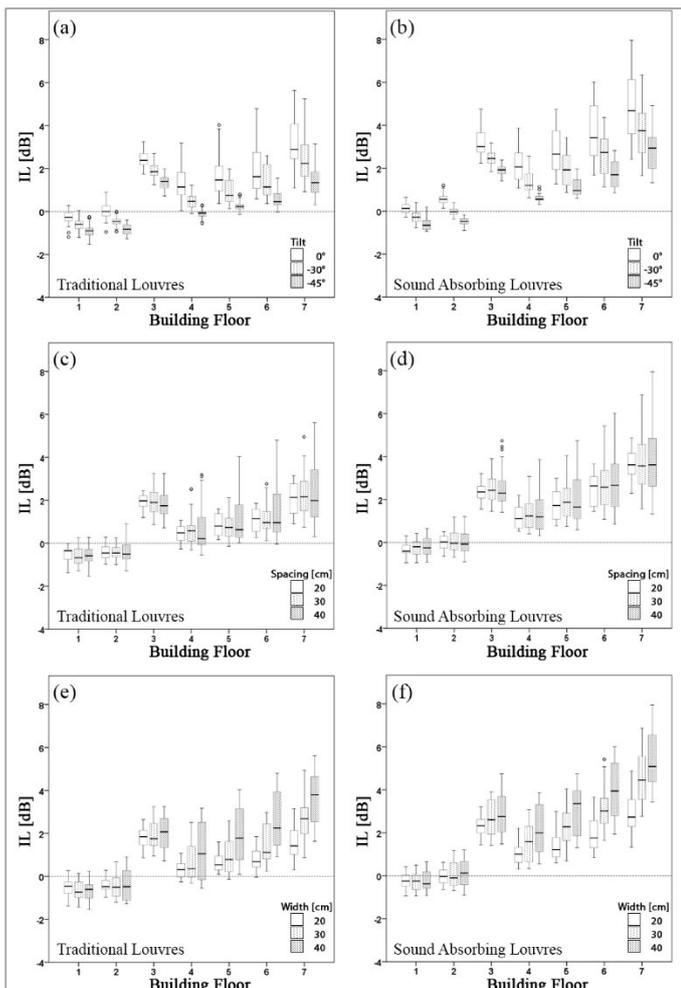


Figura 3 – IL fornite dal sistema frangisole. (a, c, e) IL di frangisole tradizionali. (b, d, f) IL di frangisole fonoassorbenti. (a, b) IL in funzione dell'angolo di inclinazione delle lamelle, raggruppate rispetto al piano dell'edificio. (c, d) IL in funzione della spaziatura delle lamelle, raggruppate rispetto al piano dell'edificio. (e, f) IL in funzione della dimensione delle lamelle, raggruppate rispetto al piano dell'edificio.

Le IL sono state calcolate per ciascun ricettore e plottate come distribuzioni statistiche. Di volta in volta i valori di IL vengono rappresentati in funzione di uno dei fattori geometrici riferiti alle lamelle, come indicato in Tabella 1, raggruppati sempre rispetto al piano. In generale, anche se di poco, la IL fornita dal sistema frangisole fonoassorbente risulta maggiore di quella riferita ai frangisole tradizionali. La limitazione alla banda degli 800 Hz purtroppo provoca una maggiore similitudine della IL dei frangisole tradizionali con quelli fonoassorbenti, dato che la schiuma melaminica risulta maggiormente efficace a frequenze più alte [3]. Si può osservare un graduale aumento della IL in funzione del piano dell'edificio.

3.1 Effetto dell'inclinazione delle lamelle

In Figura 3 (a,b) è illustrata la IL fornita dal sistema frangisole in funzione dell'angolo di inclinazione delle lamelle, rispettivamente tradizionali e fonoassorbenti. L'inclinazione delle lamelle ha un effetto importante nella variazione della IL sulla superficie della facciata studiata, sia nella configurazione del sistema frangisole tradizionale, sia con le lamelle fonoassorbenti. In entrambi i sistemi studiati la IL tende a diminuire molto meno a mano che le lamelle del sistema vengono inclinate verso la sorgente sonora. L'effetto si accentua mano a mano che si sale di piano. Questo aspetto è una conferma di quanto trovato in [3], ma con l'aggiunta dell'effetto su un edificio alto

3.2 Effetto della spaziatura tra le lamelle

Da Figura 1 (c,d) risulta che la spaziatura tra le lamelle ha un ruolo marginale nella variazione di IL in facciata. Il valore mediano rimane quasi invariato, a ciascun piano; lo stesso accade per il secondo e il terzo quartile dei dati plottati. La variabilità della IL dipende quindi dagli altri fattori esaminati: è probabile che la spaziatura delle lamelle combinata con la dimensione possa produrre un effetto più rilevante.

3.3 Effetto della dimensione delle lamelle

In Figura 3 è illustrata la IL fornita dal sistema frangisole in funzione della dimensione delle lamelle tradizionali (Fig. 3.a) e fonoassorbenti (Fig. 3.b). Lamelle più grandi tendono ad avere una IL maggiore rispetto ai frangisole più piccoli. L'effetto si accentua ai piani più alti dell'edificio in analisi. Le lamelle più ampie offrono un effetto barriera maggiore, aumentando la differenza di lunghezza tra il percorso dell'onda diretta verso il ricettore e quella diffratta dal frangisole.

4. Conclusioni

I fattori geometrici di un sistema frangisole che maggiormente influenzano la IL sono l'inclinazione e la dimensione delle lamelle. La spaziatura tra i frangisole risulta avere un ruolo secondario, rispetto agli altri fattori. Il progressivo aumento della IL in funzione del piano dell'edificio è un altro dato interessante, svincolato inoltre dalla geometria intrinseca del sistema frangisole. I risultati di questo lavoro forniscono utili indicazioni per un design che possa coniugare gli aspetti energetici e illuminotecnici di un sistema schermante con quelli acustici.

5. Bibliografia

- [1] WHO | Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe. ISBN: 978 92 890 0229 5.
- [2] Sakamoto S., Aoki A., *Numerical and experimental study on noise shielding effect of eaves/louvers attached on building façade*, Building and Environment, **94(2)** (2015), pp. 773-784.
- [3] Zuccherini Martello N., Fausti P., Secchi S., *Acoustic measurements on a 1:1 scale model of a shading system for building façade in a semi-anechoic chamber*, in Atti di Internoise 2016, Hamburg (D), 21-24 Agosto 2016.
- [4] Miki Y., *Acoustical properties of porous materials - Modifications of Delany-Bazley models*, J. Acoust. Soc. Jpn., **11(1)** (1990), pp. 19-24.