

CARATTERIZZAZIONE IN SITU DELLE PROPRIETÀ RIFLETTENTI DI BARRIERE ACUSTICHE NON PIATTE

Massimo Garai, Paolo Guidorzi

DIENCA, Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

SOMMARIO

Nell'ambito del progetto di ricerca europeo *Adrienne* è stato messo a punto un nuovo metodo per la misura in situ delle proprietà riflettenti e diffondenti di barriere acustiche. La grandezza da misurare è il *reflection loss*, che generalizza l'idea di coefficiente di riflessione anche a barriere con superficie fortemente strutturata (non piatta e/o non omogenea). Il valore finale del *reflection loss* risulta dalla media di misure compiute in un certo numero di punti, in funzione della tipologia della barriera in prova. Ogni singola misura viene eseguita con la tecnica pseudo-impulsiva MLS, per garantire l'immunità dal rumore di fondo, abbinata alla tecnica della sottrazione del segnale, per migliorare la risoluzione in bassa frequenza. I primi test dimostrano che il nuovo metodo permette di ottenere valutazioni significative anche per tipologie di barriere che finora non erano trattabili con i metodi già normalizzati.

INTRODUZIONE

Attualmente non esistono metodi normalizzati per misurare *in situ* le proprietà riflettenti e diffondenti delle barriere acustiche, se si eccettua il metodo AFNOR [1], che tuttavia non è stato accettato a livello CEN a causa dei ben noti difetti: applicabilità solo a superfici pressoché piane, scarsa ripetibilità del segnale di prova (colpi di pistola a salve), elevato limite di validità in bassa frequenza (≈ 350 Hz), applicazione problematica ad incidenza obliqua. Perciò la Commissione Europea ha incluso lo sviluppo di un nuovo metodo nel progetto di ricerca *Adrienne* (M&T programme 1994-97, contract MAT1-CT94049), al quale hanno partecipato come "main contractor" Acoustical Technologies (Belgio), Fraunhofer Institut für Bauphysik (Germania), ENTPE (Francia) e DIENCA (Italia). Altri partner sono stati: Instituto de Acustica (Spagna), CEDIA (Belgio), FIGE (Germania), CSTB (Francia) e LCPC (Francia). Il risultato è attualmente all'esame del CEN/TC 226 per l'inclusione in un prossimo standard europeo (prEN 1793-5).

IL NUOVO METODO DI MISURA

Le caratteristiche del metodo sono diretta conseguenza dei requisiti voluti:

Immunità al rumore di fondo: per rendere possibili misure a fianco di strade a forte traffico, la sorgente sonora è costituita da un altoparlante alimentato con un segnale MLS [2].

Scegliendo opportunamente i parametri del segnale MLS ed eseguendo un certo numero di medie si ottengono risultati validi anche con un rapporto iniziale $S/N \leq 0$ dB.

Ripetibilità del segnale di prova: il segnale MLS è deterministico, e permette anche di ricostruire una risposta all'impulso a partire da un'eccitazione pseudostazionaria [2].

Configurazione normalizzata: viene impiegato un altoparlante rigidamente connesso ad un microfono posto ad una distanza prefissata. Si definisce **superficie di riferimento** della barriera il piano tangente alla sporgenza più esterna della stessa; si definisce **posizione di riferimento** quella con l'asse del dispositivo altoparlante-microfono orientato in direzione normale alla superficie di riferimento della barriera (ovvero a 90° ; per convenzione, gli angoli vengono misurati a partire dal piano verticale parallelo alla superficie in prova della barriera e passante per la superficie di emissione dell'altoparlante: vedere fig. 1a). Quando l'altoparlante emette il segnale sonoro di prova, il microfono capta in successione l'onda sonora diretta proveniente dall'altoparlante, le onde sonore riflesse e/o diffuse dalla barriera e le riflessioni disturbanti provenienti da altri oggetti [2]. A partire dalla posizione di riferimento, si eseguono altre misurazioni ad incidenza obliqua mantenendo il baricentro dell'altoparlante fisso, mentre il dispositivo altoparlante-microfono viene successivamente ruotato su di uno stesso piano, da 50° a 130° in passi di 10° . In ogni posizione il microfono capta in successione l'onda sonora diretta e quelle riflesse e/o diffuse dalla barriera. La distanza altoparlante-microfono è stata fissata ad 1,25 m, la distanza del microfono dal piano di riferimento della barriera è stata fissata a 0,25 m nella posizione di riferimento (90°).

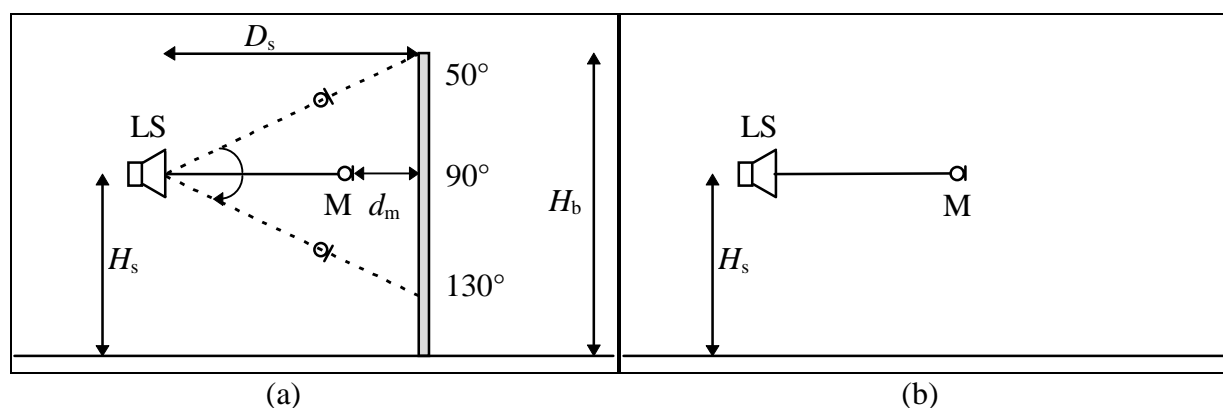


Figura 1. Schema in sezione illustrativo della misura del reflection loss. LS: altoparlante. M: microfono. (a): misura del suono riflesso/diffuso dalla barriera, ruotando il dispositivo altoparlante-microfono in nove posizioni, da 50° a 130° , in passi di 10° su di un piano. (b): misura di riferimento “in campo libero”.

Possibilità di provare barriere strutturate: si realizza mediante l'esecuzione di medie spaziali di fronte alla superficie strutturata, dove il campo sonoro è fortemente disuniforme.

- Se la barriera è piatta ed omogenea, si eseguono nove misurazioni, ruotando il dispositivo altoparlante-microfono sul piano verticale da 50° a 130° in passi di 10° , e se ne fa la media ($n=9$).

- Se la barriera presenta forti ondulazioni in senso verticale (orizzontale) si eseguono nove misurazioni ruotando il dispositivo altoparlante-microfono su di un piano verticale (orizzontale) per ognuno dei tre casi seguenti: posizione di riferimento di fronte ad un picco dell'ondulazione; posizione di riferimento di fronte ad un avvallamento dell'ondulazione, posizione di riferimento a mezza via; quindi fa la media degli $n=3 \times 9=27$ risultati (fig. 2).

- Se la barriera presenta forti ondulazioni sia in senso verticale che in senso orizzontale si eseguono nove rotazioni, cioè $n=9 \times 9=81$ misurazioni, e se ne fa la media globale.
- Sono possibili altri casi, come per esempio quando forti ondulazioni si sovrappongono a variazioni di materiale, che vengono trattati in maniera analoga scegliendo un opportuno numero di rotazioni.

Estensione del limite in bassa frequenza: il CEN richiede che, quando possibile, i metodi normalizzati forniscano risultati nelle bande di un terzo di ottava da 100 Hz a 5 kHz. Nel caso presente, il limite in bassa frequenza dipende dall'ampiezza della finestra temporale, che dipende dal ritardo tra l'onda diretta e l'onda riflessa, che dipende a sua volta dalla geometria di misura; per raggiungere il limite proposto senza adottare geometrie poco pratiche è stata adottata la tecnica di sottrazione del segnale [3]. Dopo l'esecuzione di ogni serie di nove misure di fronte alla barriera in prova, il dispositivo altoparlante-microfono viene orientato verso l'alto in una zona libera da ostacoli (misura "in campo libero", vedere fig. 1b), per acquisire solo l'onda sonora diretta proveniente dall'altoparlante. La sottrazione nel dominio del tempo del segnale acquisito in campo libero da ognuna delle risposte all'impulso acquisite di fronte alla barriera in prova permette di eliminare l'influenza dell'onda diretta. Quindi, in ognuna delle risposte all'impulso risultanti vengono isolate le onde riflesse/diffuse provenienti dalla sola barriera in prova, scartando altre riflessioni "parassite" mediante operazioni di finestatura nel dominio del tempo: eliminata l'onda diretta, è possibile utilizzare una finestra molto larga (7-10 ms e più), migliorando corrispondentemente il limite in bassa frequenza.

Tecnica di finestatura normalizzata: è stata definita una apposita finestra temporale, normalizzata per forma, lunghezza e modalità di posizionamento (*Adrienne window*). In tal modo le operazioni di finestatura sono divenute completamente oggettive ed automatizzabili. Naturalmente, l'apertura della finestra (così come il limite in bassa frequenza) dipende anche dalle dimensioni della barriera in prova: sulla base di considerazioni fisiche, la finestra *Adrienne* è stata definita in modo che abbia un'apertura totale di 7,94 ms per barriere alte 4 m.

LA NUOVA GRANDEZZA REFLECTION LOSS

Al posto del tradizionale coefficiente di assorbimento acustico, che non ha significato per una barriera non piatta sottoposta ad un campo non diffuso, è stata definita una nuova grandezza adatta al caso. Ogni nove misure, l'energia contenuta nelle nove finestre temporali dei segnali riflessi, nonché quella relativa alla risposta in campo libero, viene trasposta nel dominio della frequenza mediante FFT e corretta con una opportuna funzione di divergenza geometrica che tiene conto delle diverse lunghezze di percorso di ogni onda (per esempio, le prime riflessioni captate dal microfono orientato a 50° hanno mediamente percorso un cammino più lungo di quelle captate dal microfono orientato a 90°). Rapportando l'energia sonora risultante per ognuna delle onde riflesse con quella dell'onda incidente, si ottiene una sorta di fattore di riflessione. Infine, mediando sulle misurazioni a vari angoli si ottiene una grandezza adimensionale denominata **reflection loss (RL)**:

$$RL(\Delta f_j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{\int_{\Delta f_j} \left| \mathbf{F} \left[d_r(t) p_{r,k}(t) w_r(t) \right] \right|^2 df}{\int_{\Delta f_j} \left| \mathbf{F} \left[d_i(t) p_i(t) w_i(t) \right] \right|^2 df} \quad (1)$$

Dove $p_i(t)$ è l'onda sonora di riferimento in campo libero, $p_{r,k}(t)$ è l'onda sonora riflessa e diffusa captata nella k -esima posizione di misura, $d_i(t)$ e $d_r(t)$ sono le funzioni di correzione per divergenza geometrica per l'onda sonora di riferimento e per quella riflessa, $w_i(t)$ e $w_r(t)$ sono le

finestre temporali *Adrienne* per l'onda sonora di riferimento e per quella riflessa, F è il simbolo della trasformata di Fourier, Δf_j è la j -esima banda di un terzo di ottava (da 100 Hz a 5 kHz), n è il numero di posizioni di misura.

Il RL assume valori bassi, vicini a zero, per superfici molto assorbenti, assume valori vicini ad uno per superfici piatte e riflettenti ed assume valori maggiori di uno per superfici riflettenti e non piatte, che producono contemporaneamente riflessione e diffusione del suono.

UN ESEMPIO PRATICO

Per collaudare il nuovo metodo è stata appositamente costruita una struttura a “zigzag” con lamine di compensato di larghezza 0,40 m e spessore 15 mm, poste a 90° tra loro. La faccia esposta al suono è stata trattata con vernice riflettente (fig. 2a) e può essere ricoperta in tutto o in parte con lana di vetro Isover E60S, spessore 50 mm. Secondo la AFNOR [1], il limite di validità superiore della misura, causato dal profilo non piatto, è dell'ordine dei 300 Hz, e quindi la struttura non è misurabile. Il metodo *Adrienne* ha fornito risultati significativi per le varie configurazioni provate. La fig. 2b riporta il reflection loss del campione riflettente. Si nota che si ottengono valori di RL notevolmente maggiori di 1 proprio a partire dai 250-300 Hz, a causa del fatto che da questo punto in poi la riflessione è fortemente diffusa e la struttura regolare a zigzag provoca un campo sonoro complesso, con effetti interferenziali e focalizzanti. Il campione assorbente fornisce valori di RL minori di 1, a causa del fatto che la superficie assorbente è maggiore di quella di uno strato piano di ugual ingombro. Il campione semiassorbente mostra un comportamento intermedio, che diviene più asimmetrico alle alte frequenze, quando è importante la posizione del microfono rispetto alla disuniforme distribuzione del materiale assorbente.

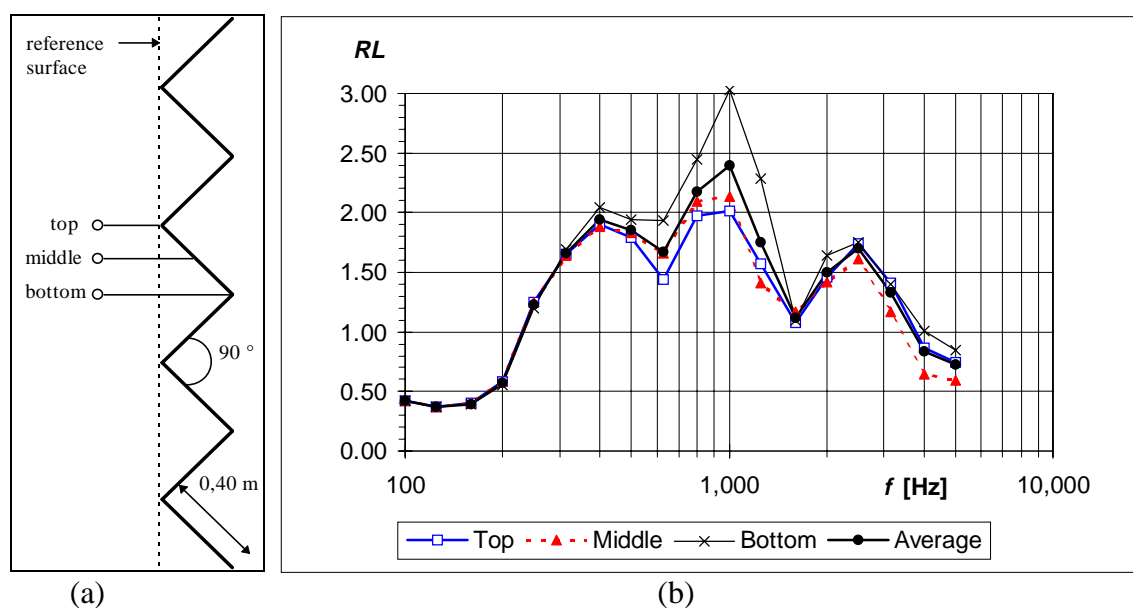


Figura 2. Barriera riflettente a zig zag. **(a):** schema in pianta della barriera con la superficie di riferimento (tratteggiata) e le tre posizioni di riferimento. **(b):** reflection loss.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AFNOR S 31-089:1990, AFNOR, Paris.
- [2] M.Garai, *Appl. Acoust.*, **39**, 119-39 (1993).
- [3] E.Mommertz, *Appl. Acoust.*, **46**, 251-263 (1995).