

PRESTAZIONI ACUSTICHE DI BARRIERE IN CAMPO LIBERO SIMULATO

G. Moncada Lo Giudice (1), F. Asdrubali (2), C. Simoncini (3)

(1) Dipartimento di Fisica Tecnica – Università La Sapienza - Roma

(2) CIRIAF – Unità Operativa di Perugia – Sezione di Fisica Tecnica

(3) CIRIAF – Unità Operativa di Perugia – Sezione di Fisica Tecnica

1. Introduzione

Le più recenti prescrizioni italiane in materia di inquinamento acustico hanno reso obbligatorie le certificazioni delle proprietà di barriere acustiche impiegate nella bonifica di infrastrutture di trasporto. Il Decreto 29/11/2000 [1], *Criteri per la predisposizione da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore*, prescrive infatti che tutte le barriere acustiche impiegate nella realizzazione degli interventi di bonifica debbano essere testate al fine di conoscere le proprietà di fonoassorbimento e fonoisolamento in termini di indice DL_{α} e DL_R secondo le norme EN 1793-1, 2 e 3 [2], [3], [4].

Nell'ottica di perseguire una politica mirata al risparmio energetico e di riflesso di contenimento degli oneri economici relativi alla realizzazione e alla messa in opera, è stata condotta dal laboratorio di acustica del CIRIAF di Perugia un'indagine teorico sperimentale sulle proprietà acustiche di sistemi innovativi integrati di abbattimento del rumore e sfruttamento delle fonti rinnovabili di energia, nell'ambito di un Accordo di Programma con il Ministero dell'Ambiente. Nel triennio 2000-2003 nell'ambito della ricerca sono stati certificati oltre 10 prototipi di barriere attraverso la misura in laboratorio (camere riverberanti) del potere fonoisolante e dell'assorbimento acustico; nel 2004 il Laboratorio ha avviato la messa a punto di procedure per la certificazione delle prestazioni acustiche di barriere in campo libero simulato.

2. Caratterizzazione di una barriera antirumore

Come specificato dalla norma UNI 11022 [5], le caratteristiche acustiche di una barriera antirumore possono essere classificate in due categorie:

- *estrinseche*: ossia riferite all'opera antirumore installata in un determinato sito;
- *intrinseche*: riferite invece allo specifico prodotto antirumore, indipendentemente dal sito di installazione e dal suo effetto sugli specifici ricettori.

In Tabella 1 è riportato l'elenco delle principali norme riguardanti le barriere antirumore, sia in tema di prestazioni acustiche che in tema di sicurezza, stabilità e prestazioni ambientali.

Tabella 1 – Principali norme tecniche riguardanti le barriere antirumore

UNI EN 1793-1 - Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Caratteristiche intrinseche di assorbimento acustico
UNI EN 1793-2 - Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica - Caratteristiche intrinseche di isolamento acustico per via aerea
UNI EN 1793-3 - Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Spettro normalizzato del rumore da traffico
UNI EN 1794-1 - Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Prestazioni non acustiche - Prestazioni meccaniche e requisiti di stabilità
UNI EN 1794-2 - Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale - Prestazioni non acustiche - Requisiti generali di sicurezza ed ambientali
EN 1793-4 - Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 4: Intrinsic characteristics - In situ values of sound diffraction
EN 1793-5 - Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 5: Intrinsic characteristics - In situ values of sound reflection and airborne sound insulation
PrEN 14389-2 - Road traffic noise reducing devices - Procedure for assessing long term performance
UNI 11022 - (ISO 10847) - Misurazione dell'insertion loss di sistemi antirumore per infrastrutture di trasporto installati in ambiente esterno
UNI 9435 Sistemi schermanti - Misura dell'attenuazione acustica degli schermi sottili in campo libero simulato

Sul tema specifico delle caratteristiche acustiche, la normativa tecnica europea ha evidenziato le differenze tra gli interventi di insonorizzazione su infrastrutture di trasporto e la bonifica acustica in ambito civile o industriale. A differenza delle procedure per l'acustica edilizia, la nuova serie UNI EN 1793 comporta l'esecuzione delle prove di assorbimento e fonoisolamento su una porzione di barriera comprensiva di montanti anziché sui soli pannelli. Il risultato viene poi sintetizzato in un indice unico di valutazione, nel quale viene anche considerato lo spettro normalizzato del rumore da traffico

Per le prove in campo libero il panorama normativo è meno definito e non esiste alcun atto normativo nazionale che faccia esplicito riferimento alle prestazioni acustiche delle barriere in campo libero simulato o in opera.

Al fine di valutare e confrontare le diverse metodologie esistenti per l'esecuzione di tali prove, nel seguito saranno illustrate le principali tecniche di valutazione documentate nella Letteratura tecnica.

3. Metodologie di valutazione delle prestazioni acustiche in campo libero simulato

In Letteratura tecnica esistono diverse metodologie per la misura delle prestazioni acustiche di barriere antirumore in campo libero, [6], [7], alcune delle quali standardizzate in norme tecniche UNI – ISO (valutazioni delle prestazioni in opera), altre definite semplicemente da Disciplinari Tecnici di Enti Gestori di Infrastrutture, ad oggi ancora utilizzati nelle voci di Capitolato. Secondo queste ultime prescrizioni, le barriere acustiche devono essere caratterizzate attraverso due parametri prestazionali,

insertion loss e fonoisolamento, misurati in campo libero su un campione di 18 m secondo le disposizioni di misura evidenziate in Figura 1 [8].

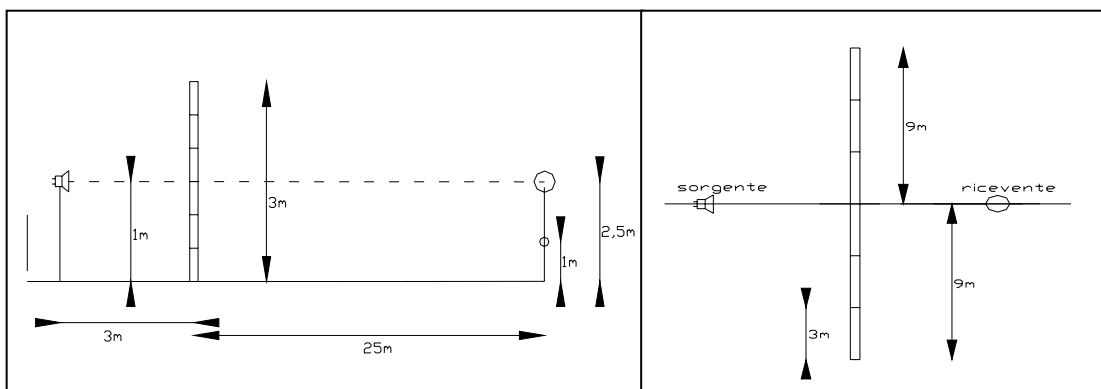


Figura 1 – Disposizioni di misura secondo Disciplinare Tecnico RFI

Il concetto di efficacia acustica globale dei sistemi antirumore, ovvero l'abbattimento di rumore rilevabile al ricettore in uno intervento di bonifica effettuato, è invece definito nella metodologia di verifica contenuta nella norma UNI 11022 che segue la stessa linea operativa della ISO 10847; la grandezza misurata è l' *insertion loss*, che consiste nell'abbattimento acustico in dB(A) riscontrabile presso il ricettore a seguito dell'interposizione del sistema antirumore. Due sono i metodi proposti: il primo è applicabile quando è possibile misurare il livello ambientale equivalente di pressione sonora presso i ricettori prima e dopo la realizzazione dell'intervento di bonifica tramite barriere antirumore, mentre il secondo è applicabile quando l'intervento è già installato e quindi non sono disponibili i valori del L_{eq} prima dell'intervento. In questo caso le misure ante operam devono essere effettuate in un *sito equivalente* ovvero in un sito ed in condizioni il più possibile vicine a quelle in operam. L'equivalenza deve essere rispettata in termini di: terreno, vento, temperatura, umidità, condizioni del cielo, rumore di fondo.

Tra le diverse metodologie esistenti quella definita dalla EN 1793-5 (di seguito dettagliatamente descritta) risulta, da una analisi bibliografica, quella maggiormente accreditata nella valutazione delle prestazioni acustiche intrinseche, sia in campo libero simulato che in situ, mentre risultano nettamente meno affidabili le metodologie di misura richieste dai capitolati dei principali Enti Gestori nazionali di infrastrutture di trasporto.

3.1 Il Metodo Adrienne

La norma EN 1793-5 [9] "Road traffic noise reducing devices: Test method for determining the acoustic performances. Part 5: intrinsic characteristics – In situ values of sound reflection and airborne sound insulation" del 2003 introduce due nuove grandezze rappresentative delle caratteristiche intrinseche dei sistemi antirumore: il *Reflection Index RI*, per le caratteristiche di riflessione e il *Sound Insulation Index SI*, per quelle di fonoisolamento per via aerea.

Queste grandezze si differenziano dalle corrispondenti valutate in laboratorio con i metodi di prova riportati nelle EN 1793-1 e 2 (che forniscono rispettivamente gli indici DL_{α} e DL_R) a causa delle differenti condizioni di campo sonoro e delle operazioni di media necessarie per calcolare i valori di RI e SI; alcuni studi hanno però dimostrato

una discreta correlazione tra i risultati ottenuti in laboratorio e quelli ottenuti in situ, soprattutto per le caratteristiche di fonoisolamento per via aerea.

La metodologia proposta nella norma fornisce un metodo di prova adeguato sia alla determinazione in situ o in laboratorio delle caratteristiche acustiche intrinseche di sistemi antirumore da installare o già installati lungo infrastrutture di trasporto, sia al confronto fra le specifiche progettuali e le reali prestazioni del sistema antirumore, che infine alla verifica delle prestazioni a lungo termine dei sistemi antirumore.

3.1.1 Misura del reflection index RI

La sorgente viene posta di fronte alla barriera da testare (Fig. 2); il microfono M acquisisce nell'ordine: la componente diretta ovvero l'onda sonora proveniente dalla sorgente, la componente riflessa ovvero l'onda sonora riflessa dalla barriera, le componenti di riflessioni parassite ovvero le onde sonore provenienti da tutte le superfici che non siano la barriera da testare: suolo, contorni laterali della barriera, sostegno della sorgente, sorgente, ecc.. L'insieme di queste tre componenti forma la risposta all'impulso globale del sistema (Fig. 3a).

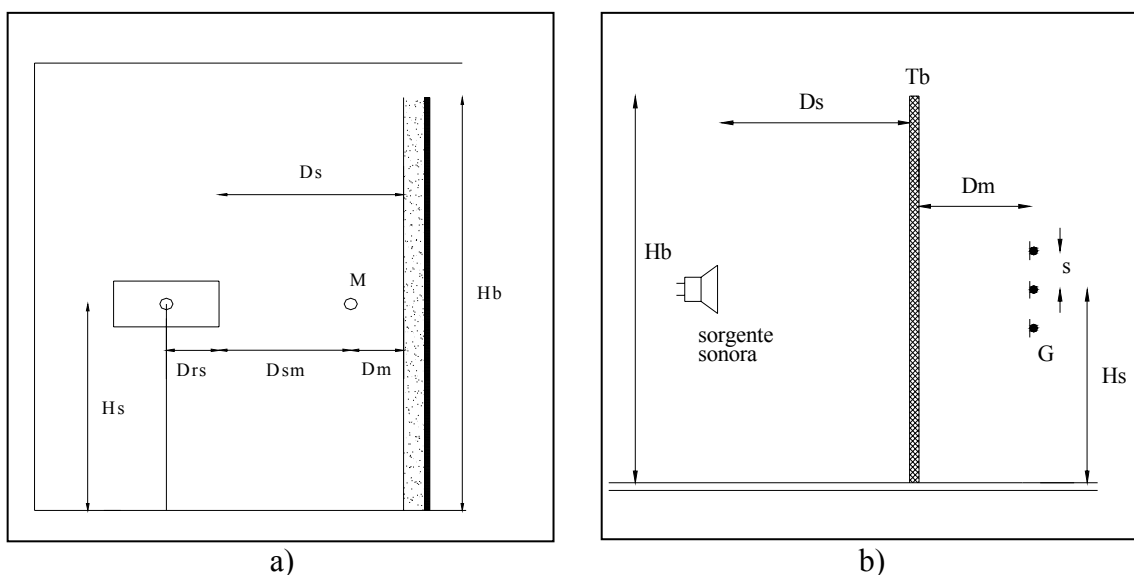


Figura 2 – Disposizioni tipo per misure di riflessione a) e fonoisolamento b)

Il metodo di prova si basa sulla separazione della componente diretta e di quella riflessa attraverso una tecnica detta *della sottrazione*: dalla risposta globale viene sottratta la componente diretta al fine di ottenere la componente riflessa. Per poter applicare questa tecnica è necessario conoscere con precisione l'ampiezza, la forma e il tempo di arrivo della componente diretta: ciò è reso possibile eseguendo una misura in campo libero, posizionando la sorgente e il microfono verso una zona priva di superfici riflettenti e mantenendo costanti le caratteristiche geometriche del sistema sorgente-microfono (che devono essere connessi stabilmente in modo tale che la distanza tra essi non vari tra la misura eseguita di fronte alla barriera e quella eseguita in campo libero) (fig. 3 a).

Con la tecnica della sottrazione, si può quindi dedurre sia la risposta all'impulso della componente diretta (ottenuta dalla misura in campo libero) che della componente riflessa; in entrambe, però, sono ancora presenti i contributi dovuti alle riflessioni

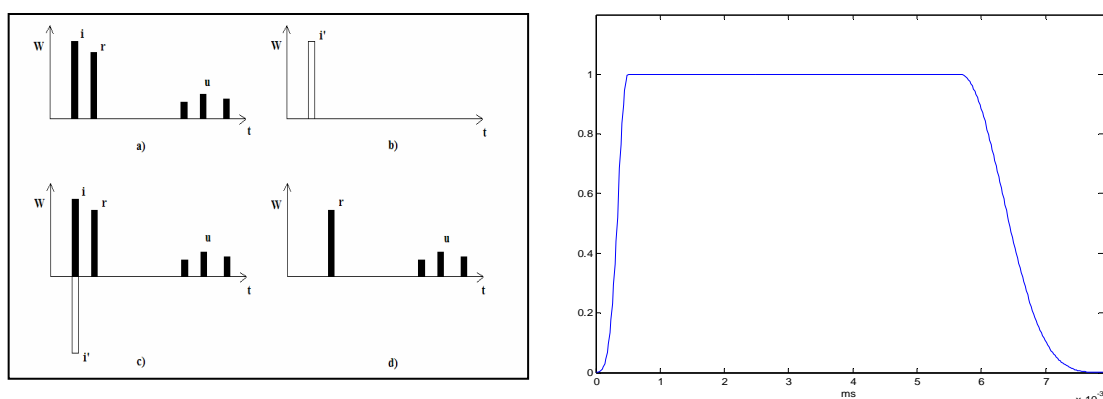


Figura 3 – a) componenti della risposta globale all'impulso b) Finestra Adrienne

parassite, che vanno eliminate attraverso un'apposita operazione di finestatura. La finestra proposta dalla EN 1793-5 è detta *Adrienne* (da cui prende il nome la metodologia) ed è mostrata in (Fig. 3b).

Attraverso la tecnica sopra descritta è quindi possibile calcolare il Reflection Index definito dalla relazione:

$$RI_J = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{\int_{\Delta f_j} |F[t \cdot h_{r,k}(t) \cdot w_r(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_j} |F[t \cdot h_i(t) \cdot w_i(t)]|^2 df}$$

con:

- $h_i(t)$ = componente incidente di riferimento della risposta all'impulso in campo libero simulato;
- $h_{r,k}(t)$ = componente riflessa della risposta all'impulso al k-esimo angolo;
- $w_i(t)$ = finestra temporale Adrienne per la componente incidente;
- $w_r(t)$ = finestra temporale Adrienne per la componente riflessa;
- F = simbolo della trasformata di Fourier;
- j = indice delle bande di frequenza di 1/3 di ottava;
- Δf_j = larghezza della j-esima banda di frequenza di 1/3 d'ottava;
- n_j = numero di angoli su cui fare la media;
- t = tempo che si fa partire dall'istante in cui inizia l'acquisizione della risposta da parte dell'apparato di misura.

3.1.2 Misura del sound insulation index SI

A differenza di quanto avviene per le misure di RI, in cui il microfono è posto tra sorgente e campione, per valutare l'indice di fonoisolamento per via aerea SI il microfono deve essere posizionato oltre il campione, dalla parte opposta della sorgente in quanto lo scopo è acquisire le onde che si trasmettono e che si diffrangono al bordo superiore della barriera. Per tali misure, non è quindi necessario utilizzare la tecnica della sottrazione.

In Figura 2b è mostrata la disposizione tipo per misure di fonoisolamento. Relativamente alla disposizione dell'apparato di misura nel caso del fonoisolamento si

deve predisporre una griglia di misurazione verticale costituita da nove punti equamente spaziat.

Attraverso la tecnica sopra descritta è quindi possibile l'indice di fonoisolamento per via aerea SI definito dalla relazione:

$$SI_j = -10 \cdot \log \left\{ \frac{\sum_{k=1}^n \int_{\Delta f_j} |F[h_{tk}(t)w_t(t)]|^2 df \left(\frac{d_k}{d_i}\right)^2}{n \cdot \int_{\Delta f_j} |F[h_i(t)w_i(t)]|^2 df} \right\}$$

dove:

- $h_i(t)$ = componente incidente di riferimento della risposta all'impulso in campo libero;
- $h_{t,k}(t)$ = componente trasmessa della risposta all'impulso al k -esimo punto di misura;
- $d_i(t)$ = fattore di correzione della diffusione geometrica per la componente di riferimento in campo libero;
- $d_k(t)$ = fattore di correzione della diffusione geometrica per la componente trasmessa al k -esimo punto di misura ($k=1, \dots, n$);
- $w_i(t)$ = finestra temporale *Adrienne*;
- $w_t(t)$ = finestra temporale *Adrienne* per la componente trasmessa al k -esimo punto di misura;
- F = simbolo della trasformata di Fourier;
- j = indice delle bande di frequenza di 1/3 di ottava (tra 100 Hz e 5 kHz);
- Δf_j = larghezza della j -esima banda di frequenza di 1/3 di ottava;
- $n = 9$ (numero dei punti di misura).

4. Allestimento e messa punto della catena di misura

La catena di misura, necessaria alla valutazione dell'indice di riflessione RI e dell'indice di fonoisolamento per via aerea SI, schematicamente riportata in Figura 4a, è composta dai seguenti elementi: un sistema elettroacustico, costituito da un generatore di segnale elettrico, un amplificatore di potenza ed un altoparlante; un microfono con il suo amplificatore; un analizzatore di segnale capace di eseguire trasformazioni tra il dominio temporale e quello di frequenza; alla sorgente deve essere inoltre fornito un segnale MLS [10], [11].

La messa a punto della catena di misura è stata fatta attraverso due campagne di misura entrambe condotte su barriere acustiche installate in opera e i dati acquisiti sono stati confrontati con i parametri prestazionali dichiarati dalle aziende produttrici.

In Figura 5 è documentata la prima campagna di misure, eseguita su una barriera acustica di tipo metallico costituita da pannelli in acciaio, con materiale fonoassorbente interno e da pannelli in PMMA. L'andamento dell'indice SI è invece riportato in Figura 4b.

Il calcolo dell'indice DL_{SI} a partire dai dati sperimentali, ai sensi della norma 1793-2, ha classificato la barriera in categoria B3, così come dichiarato dal costruttore.

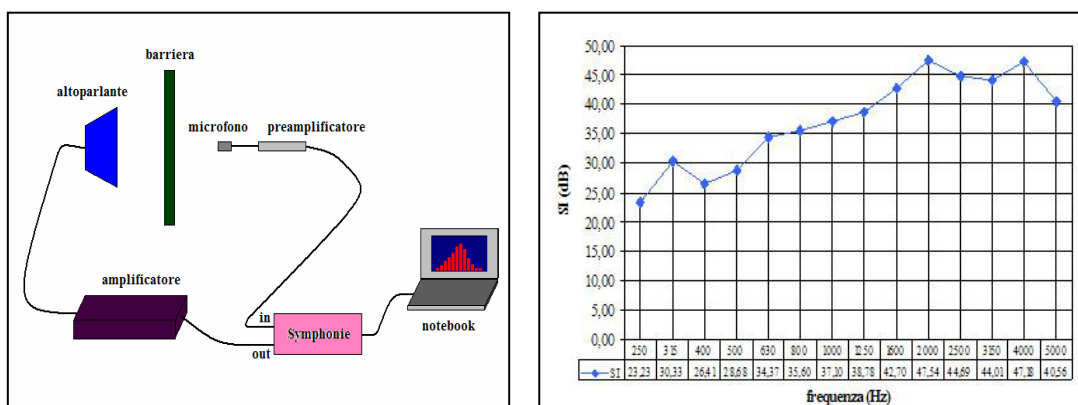


Figura 4 – a) Catena di misura - prova di fonoisolamento b) Andamento dell'indice SI

In Figura 6 è documentata invece la seconda campagna di misure finalizzata alla determinazione delle prestazioni acustiche di barriere artificiali in opera; in questa seconda serie sono stati utilizzati due apparati di misura differenti: il sistema Adrienne package, ovvero un apparato strumentale commerciale, e quello caratterizzato da una sorgente ad una via realizzato dal Laboratorio di Acustica del CIRIAF.

Mentre il primo è sicuramente più stabile e offre prestazioni superiori, essendo progettato specificatamente per questa tipologia di misura, presenta il limite di non essere dotato di alcun goniometro per la misurazione dell'angolo di rotazione dell'insieme sorgente-microfono, così come invece richiederebbe la norma EN 1793-5 che prescrive l'esecuzione di nove misurazioni orientando l'insieme altoparlante-microfono secondo altrettante direzioni, formanti rispetto alla barriera, i seguenti angoli su un piano orizzontale: 50°, 60°, 70°, 80°, 90°, 100°, 110°, 120°, 130°.



Figura 5 – Catena di misura per la prova di fonoisolamento

Il secondo apparato strumentale, pur permettendo una maggiore precisione nella valutazione degli angoli di rotazione, essendo dotato di un goniometro posto in corrispondenza del supporto della sorgente, presenta invece diversi problemi, riguardanti principalmente la risposta in frequenza della sorgente (scarsa alle basse frequenze) e l'impossibilità di effettuare una connessione stabile tra sorgente e microfono.



Figura 6 – Misura per la prova di riflessione

In Figura. 7 è riportato un confronto con i valori del Reflection Index di una barriera tipo “IT” (sigla commerciale). I risultati ottenuti, sia relativi al Reflection Index RI che all'indice di valutazione della riflessione sonora DL_{RI} , sembrano molto soddisfacenti, soprattutto se confrontati con quelli dichiarati dall'Azienda produttrice o con altri risultati presenti in Letteratura Tecnica.

Le misure effettuate con il sistema *Adrienne package* sembrano essere più affidabili, considerate anche le varie problematiche riscontrate all'utilizzo dell'apparecchiatura predisposta dal Laboratorio di acustica. Le differenze sono, comunque, limitate, come si può osservare anche dalla Figura 7; in entrambi i casi si è ottenuto un valore dell'indice DL_R pari a 5.

Dai test condotti si è potuto riscontrare che le misure di fonoisolamento non presentano particolari difficoltà né in fase d'esecuzione della prova né in fase d'elaborazione dei dati acquisiti. Le misure di riflessione comportano problemi maggiori, soprattutto nelle fasi di elaborazione dei dati ottenuti e d'analisi dei risultati; la procedura di misura indicata dalla norma EN 1793-5 è molto semplice e rapida, ma trascura completamente le problematiche sopra esposte. All'interno della norma, inoltre, non viene fatto alcun accenno all'incertezze di misura. In particolare, il “metodo della

riflessione”, che sta alla base della procedura di calcolo richiesta dalla norma, presenta diversi punti critici e richiede particolare attenzione durante il suo utilizzo.

In generale il metodo di misura utilizzato si è rivelato discretamente affidabile; i problemi maggiori rimangono quelli legati alla scarsa ripetibilità delle misure e alla difficoltà nell’ottenere buoni risultati dall’operazione di sottrazione.

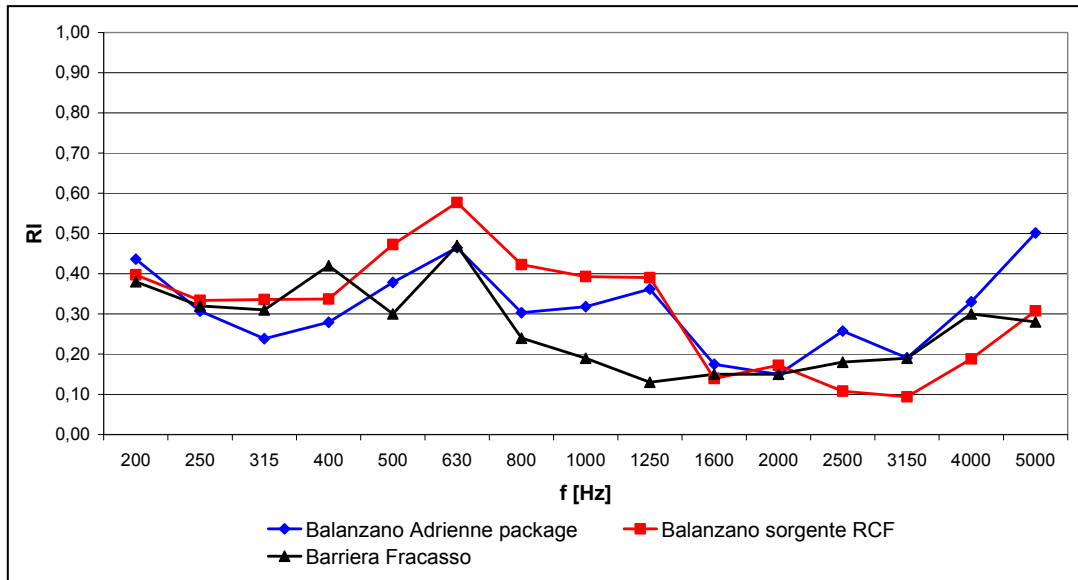


Figura 7 - Confronto tra i valori di RI misurati e quelli relativi alla barriera tipo “IT”

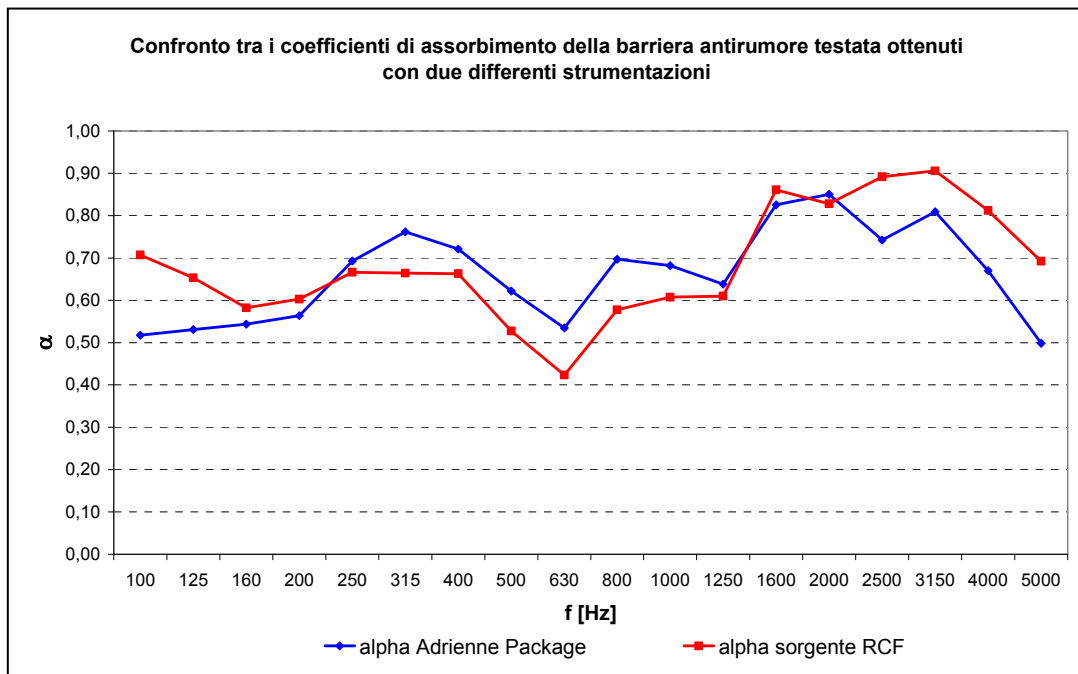


Figura - 8 Confronto tra i coefficienti d’assorbimento della barriera testata ottenuti utilizzando le due apparecchiature di misura.

5. Conclusioni

Le norme relative alla valutazione delle caratteristiche di fonoassorbimento e fonoisolamento di barriere antirumore disponibili fino ad oggi (UNI EN 1793-1 e UNI EN 1793-2) fanno riferimento a prove di laboratorio da compiersi all'interno di camere riverberanti

Le condizioni di campo sonoro che s'instaurano all'interno di queste particolari strutture (campo sonoro diffuso) sono ben diverse da quelle che si hanno ai lati delle infrastrutture di trasporto: in questo caso le onde sonore che incidono sulla barriera hanno un'incidenza normale o leggermente obliqua. Queste differenze fanno sì che i risultati ottenuti attraverso prove di laboratorio non siano adatti a caratterizzare una barriera antirumore nelle reali condizioni di funzionamento.

Per tale ragione negli ultimi anni molti gruppi di ricerca hanno lavorato al fine di ottenere una metodologia di misura che permettesse di caratterizzare le barriere *in situ*: in particolare, i risultati del progetto di ricerca *Adrienne*, al quale hanno partecipato diversi Centri e Istituti europei, hanno portato alla pubblicazione delle norme europee EN 1793-5 nel 2003 ed EN 1793-4 nel 2004.

A differenza delle precedenti norme, la EN 1793-5 introduce una nuova procedura per valutare le caratteristiche di fonoassorbimento e fonoisolamento di un sistema antirumore da effettuarsi direttamente nel sito d'installazione o in un campo prova opportunamente predisposto; queste prove non richiedono più le costose attrezzature di laboratorio e dovrebbero fornire risultati più realistici sulle condizioni di funzionamento delle barriere.

Da ciò si comprende l'interesse che le aziende produttrici di sistemi antirumore hanno rivolto verso queste nuove metodologie di misura: le prove potrebbero essere compiute in un campo prova posto poco distante dall'area di produzione eliminando gli oneri legati alla spedizione di campioni presso i Laboratori certificati; si potrebbe, inoltre, testare il 100 % delle barriere prodotte, ottenendo un controllo totale della qualità di produzione.

A tal fine il Laboratorio di acustica del CIRIAF ha condotto una campagna di prove preliminare con lo scopo di testare la catena di misura e tutte le procedure di misura necessarie ad effettuare valutazioni delle prestazioni acustiche in campo libero simulato.

Per la campagna di misure 2004 infine, grazie ai positivi riscontri dei test di verifica dell'adeguatezza delle procedure e della catena di misura, il Laboratorio di Acustica ha predisposto l'allestimento di un proprio campo prova esterno per misure in campo libero simulato. Il campo prova sarà allestito nella pertinenza della Facoltà di Ingegneria di Perugia nel quale sarà predisposta un'opportuna fondazione adatta alle molteplici tipologie di barriere che vi saranno testate.

6. Bibliografia

- [1] Decreto 29/11/2000, Criteri per la predisposizione da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore, 1999;
- [2] UNI EN 1793-1: Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Caratteristiche intrinseche di assorbimento acustico, 1999;

- [3] UNI EN 1793-2: Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Caratteristiche intrinseche di isolamento acustico, 1999;
- [4] UNI EN 1793-3: Dispositivi per la riduzione del rumore da traffico stradale – Metodo di prova per la determinazione della prestazione acustica – Spettro normalizzato del rumore da traffico, 1999;
- [5] UNI 11022: Misurazione dell'efficacia acustica dei sistemi antirumore (insertion loss), per infrastrutture di trasporto, installati in ambiente esterno, 2003
- [6] M. Garai: Measurement of the sound-absorption coefficient *in situ*: the reflection method using periodic pseudo-random sequences of maximum length, Applied acoustics 39, 1993
- [7] M. Garai, P. Guidorzi: Experimental verification of the European methodology for testing noise barriers in situ: sound reflection, Proc. Inter-Noise 2000, Nice;
- [8] Disciplinare Tecnico RFI, 1999;
- [9] EN 1793-5: Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance – Part 5: Intrinsic characteristics – In situ values of sound reflection and airborne sound insulation, marzo 2003;
- [10] E. Mommertz, S. Müller: Measuring impulse responses with digitally pre-emphasized pseudorandom noise derived from maximum-length sequences, Applied Acoustics 44, 1995;
- [11] G.R. Watts, P.A. Morgan: The use of MLS based methods for characterising the effectiveness of noise barriers and absorptive road surfaces, Proc Inter-Noise 2003, Korea.