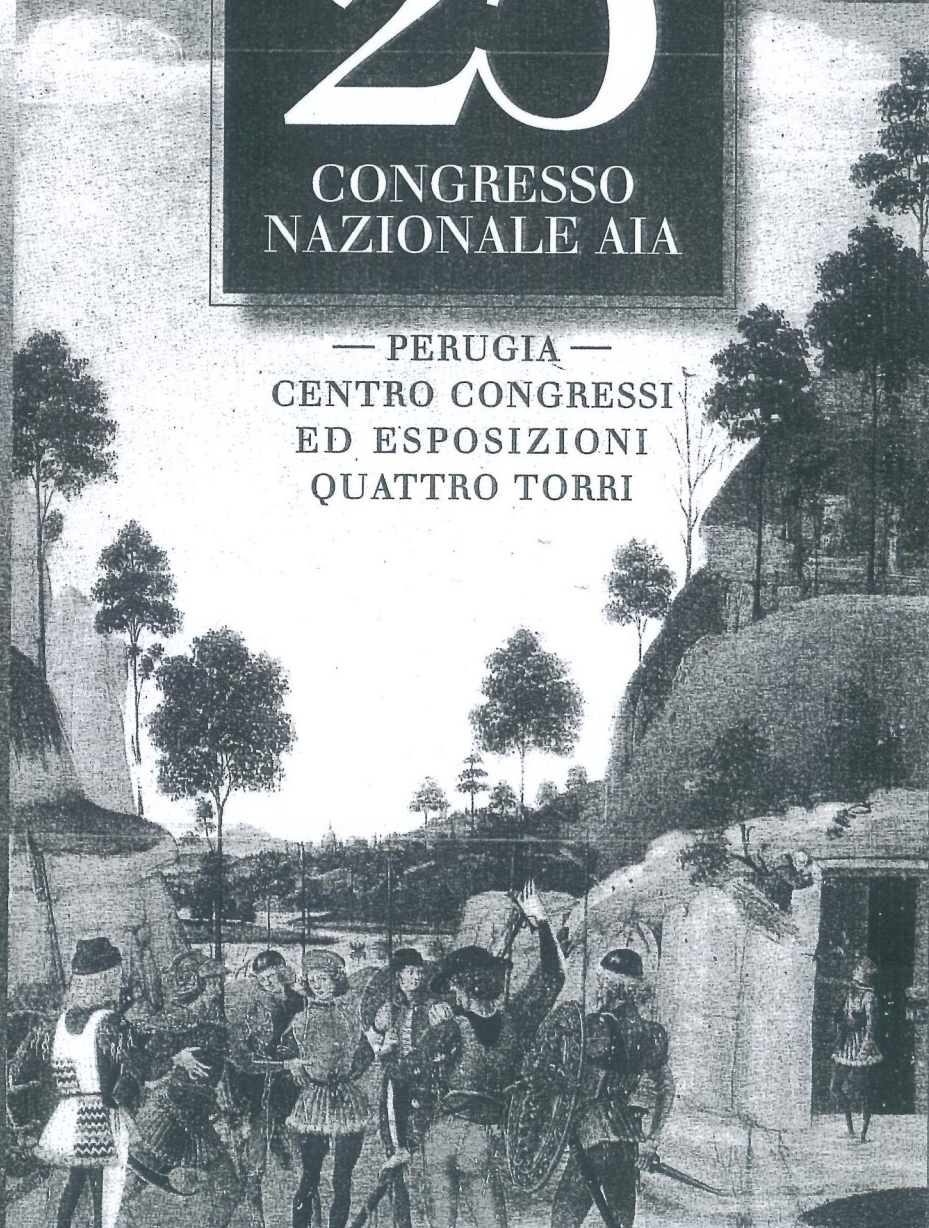


25^o

CONGRESSO
NAZIONALE AIA

— PERUGIA —
CENTRO CONGRESSI
ED ESPOSIZIONI
QUATTRO TORRI





ASSOCIAZIONE ITALIANA DI ACUSTICA

XXV CONGRESSO NAZIONALE

Perugia, 21-23 maggio 1997

Atti

Volume II

INDICE

Fonetica sperimentale

Variabilità intra-locutore della qualità vocale e polifonia <i>L. Baquè, B. Harmegnies, J. Murillo</i>	3
---	---

Acustica musicale e architettonica

Auditorium della fiera di Rimini (Sala modulabile per musica lirica e sinfonica) <i>M. Facondini</i>	13
Correzione acustica di grandi sale soggette a vincoli conservativi: l'Oratorio dell'Albergo dei poveri in Genova <i>R. Bartolini, U. Magrini, C. Schenone</i>	23
Problemi di conservazione e restauro degli archivi sonori <i>G. Adamo, G.B. Debiassi, G. De Poli, P. Giua, G.A. Mian, G. Re, M.C. Sotgiu, A. Vidolin</i>	31
Analisi dell'acustica del Duomo di Firenze <i>G. Licitra, A. Mercanti, F. Ferrari</i>	39

Acustica Fisica

National Standard of Pressure Unit in Water <i>V. Platonov</i>	55
State Hierarchy Scheme for Hydroacoustic Measurements <i>A. Iseav</i>	59

Rumore ambientale

Attività svolta nel periodo dal novembre 1992 al febbraio 1997 nell'ambito dei controlli ufficiali sull'inquinamento acustico <i>A. Di Marzio, M. Romani</i>	67
Rumore aeronautico: scenari economici per l'adeguamento alla normativa <i>L. Mazzarella, A. Scialpi, M. Guazzotti</i>	71

I Rapporti di valutazione del rumore ex art. 40 D.LGS.277/91: un bilancio indicativo dei primi cinque anni di applicazione e proposta normativa <i>P. Nataletti, A. Pieroni, R. Sisto, M. Nesti</i>	83
--	----

L'analisi dello stato di inquinamento acustico prodotto dal traffico ferroviario sulla rete delle Ferrovie dello Stato S.p.a. <i>P. Firmi</i>	91
--	----

Bonifiche acustiche

Introduction to the Eu-project METARAIL "Methodologies and Actions for Rail Noise Vibration Control" (DGVII-Transports) RTD Programme Transport Rail Sector <i>G. Brero</i>	103
--	-----

Esempio di una bonifica acustica in un poligono militare di tiro a cielo chiuso <i>V. Righes, D. Marcolina</i>	109
---	-----

Studio di fattibilità per un apparato interferenziale di riduzione del rumore <i>G. Cirnigliaro, L. Grassi, R. Bandiera</i>	117
--	-----

Modelli di previsione

Studio della realizzabilità di un modello per la localizzazione di sorgenti sonore su un sistema DSP LOW COST <i>M. Marani, G. Bertini, L. Lalli, M. Jacovone</i>	127
--	-----

Normative

Legge 26.10.1995 n.447: il punto sullo stato di attuazione <i>S. Curcuruto, C. Piendibene</i>	13
--	----

Proposta di tariffa degli onorari dell'Ingegnere per prestazioni professionali riguardanti il campo dell'acustica <i>A. Gagliardi La Gala, M. Gialletti, M.A. Mariotti</i>	14
---	----

Piani di risanamento e zonizzazioni acustiche

La zonizzazione acustica del territorio del Comune di Perugia <i>F. Asdrubali, C. Buratti, R. Baruffa, V. Piro</i>	1
---	---

Piani comunali di risanamento acustico: individuazione delle priorità negli interventi di bonifica <i>F. Asdrubali, C. Buratti, R. Baruffa, V. Piro</i>	1
--	---

Misure acustiche

Laboratorio per le misure di potere fonoisolante di elementi verticali di edificio:
procedure ed aspetti tecnici per la rispondenza normativa

A. Di Bella..... 179

Incertezze associate a misure di rumore in ambienti di lavoro

P. Lenzuni..... 187

Progettazione, realizzazione e collaudo di camere riverberanti accoppiate

F. Cotana, M. Felli, F. Rossi 195

Indice degli autori 205

PROGETTAZIONE, REALIZZAZIONE E COLLAUDO DI CAMERE RIVERBERANTI ACCOPPIATE

Autori: F. Cotana, M. Felli, F. Rossi

Laboratorio di Acustica dell'Università degli Studi di Perugia, Via G. Duranti 1/4-A, 06125 Perugia

1. Introduzione

Il laboratorio di Acustica dell'Università degli Studi di Perugia si è recentemente dotato di due camere riverberanti accoppiate, per la misura del potere fonoisolante di pareti divisorie (rumore aereo) e del potere fonoisolante di solai (rumore impattivo). Il progetto della struttura e la campagna di misure per la qualificazione della stessa sono state effettuate in accordo con le norme internazionali ISO e le norme nazionali UNI. A tale proposito sono state prese in esame anche le raccomandazioni ancora in fase di approvazione od in itinere.

Nella presente nota si descrivono i criteri progettuali adottati per la realizzazione delle camere, le procedure di misura per la qualificazione delle stesse, i risultati delle prove di collaudo e un esempio di misura del potere fonoisolante di una finestra.

2. Descrizione delle dotazioni

2.1. Camere riverberanti accoppiate

Le camere riverberanti accoppiate hanno la forma di due parallelepipedi adiacenti, strutturalmente isolati l'uno dall'altro. Le pareti laterali e la base delle camere sono realizzate in cemento armato con spessori pari a 0.4 m. Le camere giacciono sulle travi rovesce delle fondazioni, con interposto del materiale elastico (neoprene). Come mostrato in fig.1, una apertura mette in comunicazione le due camere. Durante le prove di isolamento da rumore aereo, l'apertura viene chiusa con la parete divisoria in prova. Parte del soffitto della camera emittente "A" è costituito da un solaio rimovibile, al fine di consentire la misura del potere fonoisolante di solai sottoposti a rumore impattivo. L'accesso alle camere è garantito da due aperture praticate sulle pareti laterali, con porte costituite da una struttura scatolare in lamiera (spessore di 0.05 m) contenente sabbia. Le dimensioni delle camere sono riportate in fig.1.

2.2 Sistema fonometrico

Il laboratorio dispone di strumentazione, che consente l'effettuazione delle seguenti tipologie di misure acustiche, in accordo con i vigenti regolamenti tecnici:

- 1) intensità (ISO 9614);

- 2) potenza (ISO 3744);
- 3) isolamento acustico da rumore aereo (ISO 140);
- 4) isolamento acustico da rumore impattivo (ISO 140);
- 5) registrazione digitale ed analogica di eventi acustici;
- 6) misure fonometriche;
- 7) misura del tempo di riverberazione;
- 8) misure dello spettro in tempo reale (1/3 di ottava);
- 9) misura degli ecogrammi;
- 10) misura degli indici di qualità di una sala RASTI e STI.

Il sistema è inoltre dotato di un software di acquisizione dati per la registrazione di rilievi e la valutazione di grandezze quali il livello equivalente (filtri di ponderazione A, B, C), i livelli percentili, la distribuzione statistica del livello e le funzioni di trasferimento modulo e fase.

2.3 La sorgente di rumore

La sorgente di rumore è del tipo omnidirezionale, costituita da un dodecaedro regolare avente lato pari a 0.3 m.

In ciascun lato del dodecaedro alloggia un altoparlante, la cui risposta in frequenza mostra un andamento uniforme nell'intervallo di frequenze 50-16000 Hz.

Gli altoparlanti hanno forma circolare con diametro pari a 0.16 m. All'interno del dodecaedro sono ricavati dodici volumi piramidali, con base pentagonale, che costituiscono la cassa di risonanza di ciascun altoparlante.

La massima potenza di alimentazione di ciascun altoparlante è pari a 120 W r.m.s.

I collegamenti elettrici fra gli altoparlanti sono eseguiti in modo che non si verificino sfasamenti fra i segnali acustici. L'impedenza elettrica globale del sistema è pari a 6 Ω .

La sorgente di rumore è alimentata da un amplificatore bicanale di potenza massima pari a 200 W r.m.s. Il segnale elettrico comunemente utilizzato è costituito da rumore bianco.

3. I requisiti delle camere riverberanti

I requisiti richiesti dai regolamenti tecnici per le camere riverberanti accoppiate sono seguenti:

- 1) volume di ciascuna camera non inferiore a 50 m³;
- 2) differenza fra i volumi delle due camere superiore a 10%;
- 3) distribuzione uniforme delle frequenze proprie delle camere nell'intervallo di frequenze 30-125 Hz;
- 4) superficie dell'apertura fra le due camere superiore a 10 m²
- 5) dimensione minore dell'apertura non inferiore a 2.3 m;
- 6) tempi di riverberazione nelle due camere non superiori a 2 secondi nell'intervallo di frequenze 100-5000 Hz;
- 7) trasmissioni laterali (fiancheggiamento) trascurabili rispetto a quelle della parete divisoria;
- 8) il rumore di fondo nella camera ricevente deve essere almeno 15 dB inferiore al livello presente durante le prove di fonoisolamento.

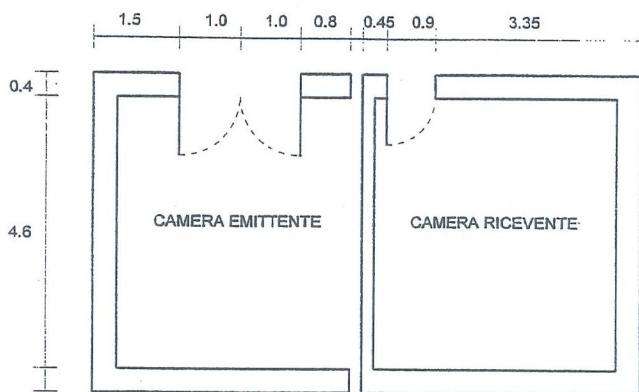


Fig.1: Planimetria delle camere riverberanti accoppiate.

4. Scelte progettuali e verifiche

Al fine di rispettare le prescrizioni riportate nel paragrafo 3 sono state adottate le seguenti scelte progettuali e costruttive:

- Le camere sono due strutture scatolari indipendenti. Ciò limita fortemente le trasmissioni laterali (fiancheggiamento).
- Le camere poggiano su un pavimento galleggiante posto in opera al di sopra delle travi rovesce. Si ottiene così un elevato isolamento delle vibrazioni provenienti dall'esterno.
- Lo spessore delle pareti delle camere, costituite di calcestruzzo, è pari a 0.4 m. Tale valore garantisce un potere fonoisolante superiore a 70 dB (Rw).
- Le porte di accesso alle camere hanno un potere fonoisolante maggiore di 50 dB.
- La struttura nel suo complesso è tale da soddisfare il requisito n.8 del paragrafo 3.

Le dimensioni interne delle camere (vedi fig.1) determinano le distribuzioni delle frequenze proprie riportate nelle figg.2 e 3. Il calcolo delle frequenze proprie è stato effettuato mediante la seguente relazione:

$$f_{n,m,k} = \frac{c_0}{2} \sqrt{\frac{n^2}{l_x^2} + \frac{m^2}{l_y^2} + \frac{k^2}{l_z^2}} \quad (1)$$

Gli andamenti delle figg. 2 e 3 non soddisfano quanto richiesto nel paragrafo 3, punto 3. Le pareti interne delle camere sono state rifinite con intonaco liscio; in tali condizioni, come mostrato nella fig.4, il valore del tempo di riverberazione misurato non rispetta le prescrizioni del paragrafo 3, punto 6.

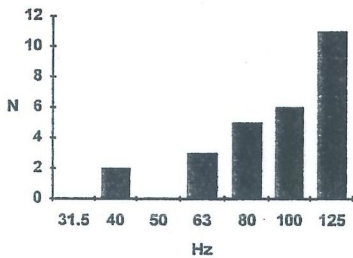


Fig.2: Numero di modi propri N della camera emittente alle basse frequenze

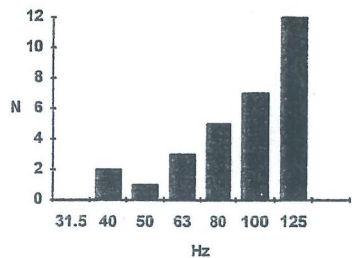


Fig.3: Numero di modi propri N della camera ricevente alle basse frequenze

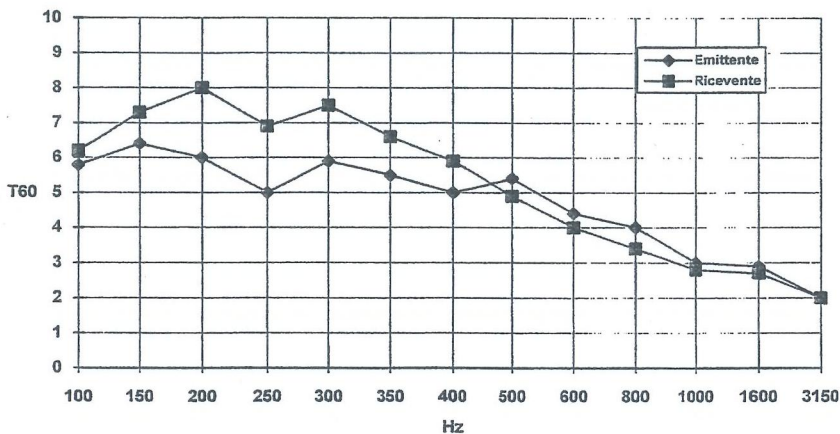


Fig.4: Tempo di riverberazione nella camera emittente e nella camera ricevente, prima della correzione.

Per rendere uniforme la distribuzione dei modi propri e ricondurre il tempo riverberazione al di sotto del valore richiesto, le camere sono state trattate con materiali fonoassorbenti; il coefficiente di assorbimento del materiale impiegato ha l'andamento riportato in fig.5. Il numero di unità assorbenti è stato calcolato con la relazione Sabine. La superficie totale del materiale fonoassorbente è stata distribuita in modo uniforme sulle pareti delle camere. Nella fig.6 sono indicati i valori del tempo riverberazione misurati dopo la correzione acustica. La condizione $T_{60} < 2$ secondi richiesta dal punto 6 paragrafo 3, è soddisfatta in tutto lo spettro, salvo l'intervallo 150 Hz. Dai calcoli effettuati, tuttavia risulta che in presenza di pareti divisorie in particolarmente caratterizzate da valori del coefficiente di assorbimento superiore a 0,4, anche in campo di frequenze 50/125 Hz il tempo T_{60} scende al di sotto di 2 secondi. Il trattamento con materiale fonoassorbente produce altresì una notevole uniformità della distribuzione delle frequenze proprie, come si può vedere nella figg 7,8.

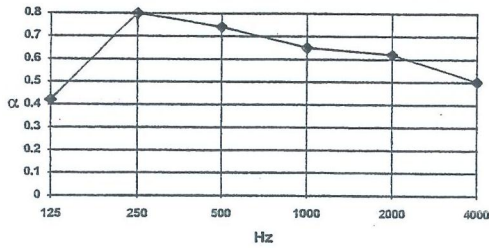


Fig.5: Coefficiente di assorbimento dei pannelli impiegati per la correzione.

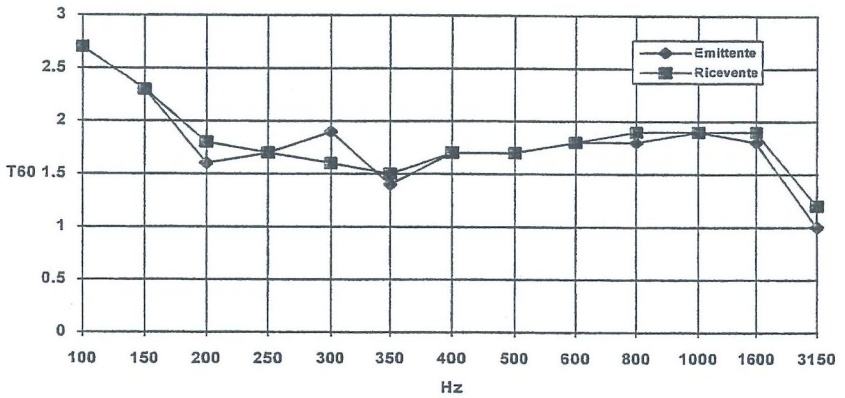


Fig.6: Tempo di riverberazione nella camera emittente ed in quella ricevente, dopo la correzione acustica.

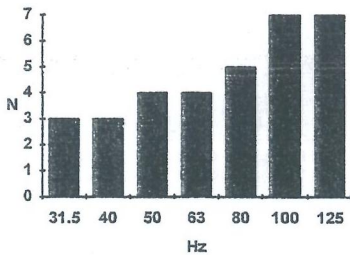


Fig.7: Numero di modi propri N della camera emittente dopo il trattamento

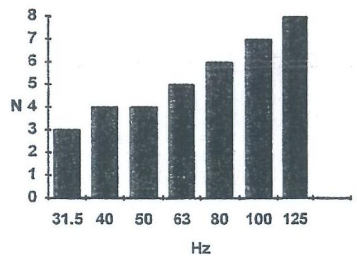


Fig.8: Numero di modi propri N della camera ricevente dopo il trattamento

5 La metodologia di misura

Nelle misure di potere fonoisolante di una parete la sorgente di rumore è all'interno della camera emittente, con un microfono all'interno di ciascuna camera. Si misura il livello di pressione sonora nelle due camere ed il tempo di riverberazione nella camera ricevente. I regolamenti tecnici stabiliscono le condizioni operative per garantire ripetibilità e riproducibilità delle misure.

Il livello di pressione sonora nelle due camere è calcolato come una media energetica di più rilievi, effettuati per differenti posizioni dei microfoni e della sorgente; in particolare, il numero minimo di posizioni della sorgente è due e di ciascun microfono è cinque. Le posizioni della sorgente sono individuate come descritto nel seguente paragrafo 5.1.

5.1 Posizione ottima della sorgente

Il numero delle posizioni è fornito dalla seguente relazione

$$m = \frac{152}{\sqrt[3]{V^2}} \quad (2)$$

dove "V" è il volume della camera.

Nel nostro caso si ottiene $m=11$. Le posizioni vanno scelte in modo da rispettare i seguenti vincoli:

- 1) ogni posizione giace in un differente piano orizzontale;
- 2) la distanza reciproca fra le posizioni è superiore a 0.7 m;
- 3) la distanza fra ciascuna posizione e le pareti è superiore a 0.7 m.

Per ogni posizione della sorgente sono stati effettuati cinque rilievi fonometrici in diverse posizioni del microfono nella camera ricevente. Nella camera emittente il microfono è mantenuto a distanza fissa (1.4 m) dalla sorgente. I valori rilevati dei livelli di pressione acustica sono mediati su base energetica; così come per la grandezze nella camera ricevente.

Associando ad ogni posizione della sorgente la differenza fra le medie dei livelli relativi alla camera emittente e alla camera ricevente si ottiene la combinazione riportata in tab.1. La valutazione dei livelli avviene per bande ad 1/3 di ottava comprese fra 100 Hz e 315 Hz. In accordo con le disposizioni della ISO 140/3 (1995), il numero delle posizioni ottime della sorgente deve soddisfare contemporaneamente le seguenti condizioni:

$$N \geq 2; N \geq \frac{s_i}{\sigma_i}; N \geq \sum_i^{n_{1/3}} \frac{s_i}{4.8} \quad (3)$$

dove $n_{1/3}$ è il numero di bande di ottava e:

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_j D_{j,i} - \mu_i} \quad (4)$$

con:

$$\mu_i = \sum_{j=1}^m \frac{1}{m} D_{j,i} \quad (5)$$

Il numero di posizioni che soddisfa le condizioni (3) è pari a 6; in base alla ISO 140/3 (1995), le posizioni ottime sono le 6, fra le 11 individuate, che producono il valore minimo della seguente relazione:

$$S_j = \sum_{i=1}^6 (D_{ji} - \mu_i)^2 \quad (6)$$

In fig. 9 sono indicate le posizioni scelte per la sorgente. Nella fig. 10 si riportano gli andamenti dell'isolamento acustico, valutato per le diverse posizioni prescelte nell'intervallo di frequenze compreso fra 100 e 315 Hz.

Tab.1: Differenza fra le medie dei valori del livello nella camera emittente ed in quella ricevente effettuate per bande 1/3 di ottava e per differenti posizioni della sorgente.

Posizione	Frequenza [Hz]					
	100	125	160	200	250	315
1	11.5	21.5	32.7	32.7	37	43.6
2	18	19.1	34	34	39.2	43.7
3	12.8	24.6	28.7	31.8	37.9	44.1
4	15.8	19	30.5	31.3	37	42.2
5	16.7	18.7	28.3	32.5	40.2	44.1
6	12	17.7	29.2	34.9	39.1	43.3
7	12.3	19.9	29.7	33.9	40.4	45.1
8	10.4	22.9	31.1	36.4	38.5	45.8
9	13.5	22.6	31.4	37.3	39.8	46.4
10	13.6	16.4	28.3	33.3	36.7	41.2
11	14.1	19.6	30.1	36.2	40.4	44.9

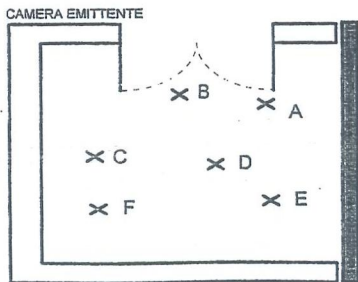


Fig.9: Posizioni della sorgente

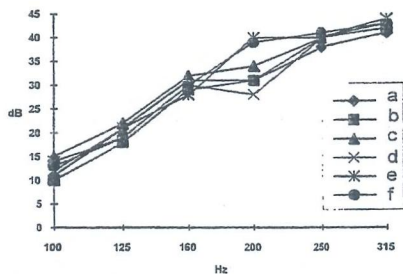


Fig.10: isolamento acustico valutato per le sei posizioni scelte

5.2. La catena di misura

I microfoni (1/2 pollice) sono collegati ad un sistema di acquisizione dati in tempo reale, in grado di rilevare contemporaneamente lo spettro del segnale acustico nelle due

camere. La catena di misura è calibrata prima e dopo ogni rilievo fonometrico. I generatori di rumore bianco alimentano la sorgente di rumore (dodecaedro). Le raccomandazioni tecniche impongono che il segnale acustico all'interno delle camere sia rumore bianco. Poiché gli assorbimenti selettivi delle pareti modificano lo spettro del rumore, si è installato un equalizzatore che consente di ripristinare le caratteristiche di "rumore bianco". La valutazione del potere fonoisolante della parete divisoria di prova viene effettuata in modo automatico da uno specifico software basato sulla seguente relazione:

$$R = (L_e - L_r) - 10 \log_{10} \frac{S}{A} \quad (7)$$

6. Misura del potere fonoisolante: un esempio

Per collaudare le camere sono state effettuate misure su una parete avente le seguenti caratteristiche:

- 1) materiale:
- 2) densità
- 3) intonaco

La valutazione del potere fonoisolante è ottenuta in base alla relazione (7).

Nel caso specifico " L_e " ed " L_r " sono i livelli presenti rispettivamente nella camera emittente ed in quella ricevente. Ciascuno di tali valori è il frutto della media energetica effettuata su trenta singoli rilievi (cinque posizioni del microfono ricevente e 25 posizioni della sorgente). " S " è la superficie della parete divisoria ed " A " sono le unità assorbenti della camera ricevente. Le unità assorbenti vengono individuate mediante la relazione di Sabine. Il tempo di riverberazione nella camera ricevente è il frutto della media di sei singoli rilievi (una posizione della sorgente, tre posizioni del microfono in due serie temporali di misure). Il laboratorio di Acustica dell'Università degli Studi di Perugia fornisce un apposito certificato di misura nel quale sono riportate le condizioni di prova e l'andamento in frequenza del potere fonoisolante del divisorio.

7. Conclusioni

Nella presente nota si descrivono le camere riverberanti del Laboratorio di Acustica dell'Università di Perugia, nella quale è possibile l'esecuzione delle seguenti misure:

- potere fonoisolante di pareti verticali sottoposte a rumore aereo;
- potere fonoisolante di solai sottoposti a rumore impattivo.

La progettazione e la posa in opera delle camere è stata effettuata in aderenza alle normative tecniche nazionali ed internazionali. Una prima campagna di misure ha permesso di verificare la rispondenza delle camere alle specifiche tecniche imposte e ha consentito l'individuazione della posizione ottima della sorgente di rumore e del microfono ricevente. Si sono così definite rigorosamente le procedure di misura standard con le quali è stato valutato il potere fonoisolante di una parete. Le camere consentono l'esecuzione di misure di potere fonoisolante di pareti verticali fino a 65 dB. Tali prestazioni sono rese possibili dalla particolarità della costruzione e collocano il Laboratorio di Acustica dell'Università di Perugia fra le strutture più avanzate del settore.

8. Elenco dei simboli

- m = numero delle posizioni possibili della sorgente;
 N = numero di posizioni ottime della sorgente;
 $D_{i,j}$ = differenza del livello fra camera emittente e ricevente per la i -esima posizione della sorgente e la j -esima banda 1/3 di ottava;
 μ_i = media della differenza dei livelli fra camera ricevente ed emittente effettuata sulle " m " posizioni della sorgente e per la i -esima banda 1/3 di ottava;
 s_i = deviazione standard di $D_{i,j}$ effettuata per le " m " posizioni della sorgente e per la i -esima banda 1/3 di ottava;
 σ_i = costante stabilita dalla raccomandazione internazionale ISO 140/3 (1995);
 S_i = somma degli scarti quadrati di $D_{i,j}$;
 R = potere fonoisolante del divisorio;
 S = superficie del divisorio;
 A = unità assorbenti della camera ricevente nelle condizioni di misura

9. Bibliografia

- [1] ISO 1990 "Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements-Requirements for laboratories" ISO 140-1.
- [2] ISO 1991 "Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements-Determination, verification and application of precision data" ISO 140-2.
- [3] ISO 1995 "Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements-Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements data" ISO 140-3.
- [4] ISO 1978 "Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements-Laboratory measurements of impact sound insulation of floors" ISO 140-6.
- [5] ISO 1978 "Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements-Laboratory measurements of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on a standard floor" ISO 140-8.
- [6] ISO 1985 "Acoustic Measurements of sound absorption in a reverberation room" ISO 354.
- [7] UNI 1982 "Acustica- Misura dell'isolamento acustico in edifici ed elementi di edifici - Requisiti dei laboratori" UNI 8270 parte 1°.
- [8] UNI 1984 "Acustica- Misura dell'isolamento acustico in edifici ed elementi di edifici -Misura in Laboratorio del potere fonoisolante di elementi di edifici" UNI 8270 Parte 3°.
- [9] Garretsen: "European developments in prediction models for building acoustica"; Acta Acustica 2 pag. 205-214, 1994.
- [10] J. Mathys: "Low frequency noise and Acoustical standards"; Applied Acoustics vol. 40 pag. 185-199, 1993.
- [11] R. Craik: "The influence of the laboratory on measurements of wall performance"; Applied Acoustics vol. 35 pag. 25-46, 1992.
- [12] A.C.C. Warnock, M. Vorlander: "Inter-laboratory comparison of low frequency sound transmission: Conventional and Intensity Measurements"; Inter Noise 93, Leuven (Belgio), agosto 1993.

