

**GRUPPO SCIENTIFICO ITALIANO  
STUDI E RICERCHE**

**GIORNATA DI STUDIO**

*In collaborazione con*

**Istituto di Microbiologia  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA**

**LA LEGGE QUADRO  
SULL'INQUINAMENTO ACUSTICO**

**Interventi diretti amministrativi,  
tecnici e gestionali**

**RAPPORTI GSISR**

# IL LABORATORIO DI ACUSTICA DELL'UNIVERSITA' DI PERUGIA

*ing. Cinzia Buratti*

*Laboratorio di Acustica Università di Perugia,*

*Via G. Duranti, 1-A/4, 06125 Perugia*

## **1. Introduzione**

Il Laboratorio di Acustica dell'Università di Perugia è iscritto all'albo dei "Laboratori esterni pubblici e privati altamente qualificati" al n. 233, ai sensi del D.M. 2/9/85. Il Laboratorio è stato costituito nell'anno 1991 presso l'Istituto di Energetica della Facoltà di Ingegneria.

Il Laboratorio è attrezzato per la realizzazione di:

- misure fonometriche;
- misure di potere fonoisolante di componenti edilizi (pannelli, pareti, infissi, solai, rivestimenti di solai);
- misure in opera di isolamento acustico da rumore aereo e impattivo;
- misure di acustica architettonica (tempo di riverberazione, RASTI, STI);
- misure intensimetriche.

Le attività attualmente in corso presso il Laboratorio riguardano principalmente tre aspetti:

- a) realizzazione dei piani di disinquinamento acustico di alcuni Comuni dell'Umbria e del Lazio;
- b) misure di isolamento acustico di componenti edilizi;
- c) controllo attivo del rumore.

Le diverse attività verranno descritte nel seguito.

## **2. Piani di risanamento acustico**

Sono attualmente in fase di realizzazione presso il Laboratorio di Acustica dell'Università di Perugia i piani di risanamento acustico dei Comuni di Perugia, Terni, e Palestrina (RM) e la zonizzazione acustica del Comune di Marsciano (PG).

I piani di risanamento sono realizzati per fasi che, per i Comuni nei quali sono presenti rilevanti aree urbane, sono le seguenti:

- a) progetto del piano;
- b) misure di rumore;
- c) mappatura acustica;
- d) zonizzazione acustica;
- e) bonifica acustica.

Il Piano di Risanamento Acustico del Comune di Perugia è quello allo stadio più avanzato, infatti al momento di svolgimento la fase di zonizzazione acustica, mentre per il Comune di Terni si stanno completando le misure di rumore. Per il Comune di Marsciano, trattandosi di un territorio privo di grossi agglomerati urbani e con una popolazione di circa 15.000 abitanti, si realizzerà la zonizzazione prescindendo dalle misure di rumore. Attualmente si stanno reperendo, a tal fine, i dati urbanistici ed insediativi. Per il Comune di Palestrina è redatto un progetto di massima delle attività al fine di richiedere alla Regione Lazio un finanziamento per la realizzazione del Piano di Risanamento Acustico.

### **3. Strumentazioni di misura**

Particolare importanza riveste, nella realizzazione dei piani di risanamento acustico dei comuni più popolosi e nel cui territorio siano presenti grossi agglomerati urbani, la fase di misure (b), attraverso la quale si perviene al rilievo dello stato attuale dell'inquinamento acustico del territorio. A tal fine, ciascuna unità operativa incaricata di effettuare le misure è dotata di apposita strumentazione; le unità operative del Lazio e della Toscana Acustica hanno utilizzato due sistemi di misura equivalenti ai fini dei rilievi fonometrici, rispettivamente da:

- 1) fonometro integratore Larson & Davis;
- 2) sistema ARIA bicanale.

#### 3.1 Fonometro

Il fonometro integratore, prodotto dalla Larson & Davis mod. LD800, è di Classe 1 ed è conforme alle norme IEC 641 e 804.

Lo strumento misura livelli di pressione sonora che vanno da 10dB a 140 dB, con curve di peso A, C, o Lineare.

È dotato di un banco di filtri per l'analisi in bande di ottava (1/1) e in terzo di ottava (1/3); i tempi di integrazione Peak, Integrate, Slow, Fast e Impulse permettono di scegliere il criterio di valutazione del valore del segnale, a seconda delle caratteristiche dello stesso, ed in particolare della sua velocità di variazione nel tempo. Lo strumento consente anche di misurare l'andamento nel tempo della pressione acustica e di effettuare il calcolo del tempo di riverberazione.

Il fonometro può essere collegato con un personal computer; in tal caso uno specifico software gestisce l'acquisizione, l'elaborazione e la registrazione dei dati.

Il software permette inoltre la verifica delle componenti tonali ed impulsive, ai sensi della legge n. 448 del 28 marzo 1991.

#### 3.2 Sistema ARIA

Il sistema ARIA è costituito da una scheda di acquisizione dati collegata con un personal computer. La scheda è dotata di due canali indipendenti di ingresso e due di uscita. I canali di ingresso sono collegati a un apposito alimentatore, a due microfoni 1/2 pollice prodotti dalla Ryon.

Il Piano di Risanamento Acustico del Comune di Perugia è quello allo stadio più avanzato, infatti è in fase di svolgimento la fase di zonizzazione acustica, mentre per il Comune di Terni si stanno completando le misure di rumore. Per il Comune di Marsciano, trattandosi di un territorio privo di grossi agglomerati urbani e con una popolazione di circa 15.000 abitanti, si realizzerà la zonizzazione prescindendo dalle misure di rumore; attualmente si stanno reperendo, a tal fine, i dati urbanistici ed insediativi. Per il Comune di Palestrina, infine, si è redatto un progetto di massima delle attività al fine di richiedere alla Regione Lazio un finanziamento per la realizzazione del Piano di Risanamento Acustico.

### **3. Strumentazioni di misura**

Particolare importanza riveste, nella realizzazione dei piani di risanamento acustico dei Comuni più popolosi e nel cui territorio siano presenti grossi agglomerati urbani, la fase di misure (b), attraverso la quale si perviene al rilievo dello stato attuale dell'inquinamento acustico del territorio. A tal fine, ciascuna unità operativa incaricata di effettuare le misure è dotata di apposita strumentazione; le unità operative del Laboratorio di Acustica hanno utilizzato due sistemi di misura equivalenti ai fini dei rilievi fonometrici, costituiti rispettivamente da:

- 1) fonometro integratore Larson & Davis;
- 2) sistema ARIA bicanale.

#### **3.1 Fonometro**

Il fonometro integratore, prodotto dalla Larson & Davis mod. LD800, è di Classe 1 ed è conforme alle norme IEC 641 e 804.

Lo strumento misura livelli di pressione sonora che vanno da 10dB a 140 dB, con curve di ponderazione A, C, o Lineare.

E' dotato di un banco di filtri per l'analisi in bande di ottava (1/1) e in terzo di ottava (1/3); le costanti di tempo Peak, Integrate, Slow, Fast e Impulse permettono di scegliere il criterio di valutazione del valore efficace del segnale, a seconda delle caratteristiche dello stesso, ed in particolare della sua velocità di variazione nel tempo. Lo strumento consente anche di misurare l'andamento nel tempo della pressione acustica e di effettuare il calcolo del tempo di riverberazione.

Il fonometro può essere collegato con un personal computer; in tal caso uno specifico software consente l'acquisizione, l'elaborazione e la registrazione dei dati.

Il software permette inoltre la verifica delle componenti tonali ed impulsive, ai sensi del D.P.C.M. 1 marzo 1991.

#### **3.2 Sistema ARIA**

Il sistema ARIA è costituito da una scheda di acquisizione dati collegata con un personal computer; la scheda è dotata di due canali indipendenti di ingresso e due di uscita. I canali di ingresso sono collegati, tramite un apposito alimentatore, a due microfoni 1/2 pollice prodotti dalla Ryon.

Tutte le funzioni sono gestite da uno specifico software.

Il sistema consente di effettuare misure di tipo fonometrico, con le stesse caratteristiche di un fonometro integratore.

Oltre alle misure fonometriche, per le quali è stato utilizzato nelle campagne di misura dei Piani di Risanamento Acustico di Perugia e Terni, consente di misurare numerose altre grandezze; in particolare:

- isolamento acustico;
- intensità acustica;
- coefficiente di assorbimento di materiali.

L'estrema velocità di acquisizione e di elaborazione del sistema permette di effettuare particolari operazioni in tempo reale:

- spettro istantaneo di 2 segnali contemporanei;
- funzioni di trasferimento (modulo e fase);
- funzione di cross-correlazione.

Il software consente l'analisi dei dati acquisiti e la determinazione dei seguenti parametri:

- livelli percentili;
- distribuzioni di probabilità;
- analisi in bande di ottava e terzi di ottava;
- calcolo del livello equivalente.

Il software permette inoltre la valutazione della funzione di risposta all'impulso di un ambiente, dalla quale si ricavano gli indici di intelligibilità STI e RASTI ed i tempi di riverberazione.

#### **4. Camere riverberanti accoppiate**

Uno dei decreti di attuazione della L.Q. 447/95 in materia di acustica, attualmente allo studio di una Commissione del Ministero dei Lavori Pubblici, prevede che i materiali utilizzati in edilizia rispondano a determinate caratteristiche anche dal punto di vista acustico; la L.Q., infatti, prevede che siano stabiliti tali requisiti e che gli stessi siano recepiti dal Regolamento Edilizio Comunale.

Presso il Laboratorio di Acustica dell'Università di Perugia è possibile caratterizzare dal punto di vista acustico materiali e componenti edilizi, mediante l'impiego di due camere riverberanti accoppiate di recente realizzazione.

I requisiti principali dei Laboratori di misura del potere fonoisolante in campo sonoro diffuso sono fissati dalla Norma ISO 140/1 - UNI 8270-Parte 1° e possono essere così riassunti:

- le due camere di prova accoppiate devono essere non solidali tra di loro, ossia devono presentare strutture indipendenti l'una dall'altra;
- l'energia sonora trasmessa attraverso una qualsiasi via indiretta deve essere trascurabile rispetto a quella trasmessa attraverso il campione in prova;
- ciascuna delle due camere deve avere un volume minimo pari a 50 mc; i due volumi devono differire di almeno il 10%;

- l'area dell'apertura di prova non deve essere inferiore a 10 mq per le pareti e compresa tra 10 e 20 mq per i solai, con la dimensione più piccola, in entrambi i casi, non inferiore a 2.3 m;
- il tempo di riverberazione delle camere deve essere inferiore a 2 sec. nell'intera gamma di frequenze di misura (almeno 100 - 3150 Hz);
- si deve ottenere, all'interno delle camere, un campo sonoro uniformemente diffuso; a tal fine possono essere installati elementi diffondenti.

Le due camere riverberanti accoppiate, recentemente realizzate presso il piano seminterrato dell'edificio del Biennio della Facoltà di Ingegneria, sono state progettate dal Laboratorio di Acustica dell'Istituto di Energetica.

Esse sono utilizzate per l'effettuazione di misure di potere fonoisolante di materiali e componenti edilizi sia verticali, sia orizzontali (divisori, solai, pannelli isolanti, infissi, rivestimenti). Nel caso di elementi verticali una delle due camere funge da camera emittente, l'altra da camera ricevente; le due camere sono separate dal campione in prova; nel caso di elementi orizzontali, invece, una delle due camere ha la copertura costituita da un solaio normalizzato, sul quale è possibile montare tutti i possibili rivestimenti (parquet, moquette, marmi, piastrelle, ecc.); il solaio può, in alternativa, essere rimosso, per consentire prove su solai di diverso tipo.

Le camere sono realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera, dello spessore di 40 cm; le fondazioni sono costituite da uno strato di polistirolo dello spessore di 8 cm, un massetto armato con rete elettrosaldata dello spessore di 15 cm ed uno strato di materiale elastico (polistic), dello spessore di circa 1 cm. Le camere risultano indipendenti tra loro e rispetto alla struttura dell'edificio in cui sono inserite; a tal fine esse sono state gettate separatamente, con interposto uno strato di polistirolo di 10 cm; lungo tutto il perimetro delle camere, inoltre, tra la parete delle stesse ed il pavimento, vi è uno strato di polistirolo dello spessore di 4 cm.

Le caratteristiche di ciascuna camera sono le seguenti:

*a) camera n. 1:*

- dimensioni interne: m 4.60 x m 3.90 x m 2.90;
- volume interno netto: 52.03 mc;
- porta di accesso: due ante da un metro ciascuna, di altezza pari a m 2.50, realizzata in profilato metallico, con guarnizioni di tenuta in gomma, riempita di sabbia; le dimensioni della porta consentono l'ingresso nella camera anche di campioni costituiti da pannelli di dimensioni notevoli;
- solaio di copertura costituito da un solaio normalizzato in calcestruzzo, asportabile, dello spessore di 12 cm per una superficie pari a circa 11 mq (circa il 60% della superficie totale); le dimensioni dell'apertura per l'alloggiamento del solaio normalizzato o del campione in prova sono di 2.4 x 4.6 m; per la rimanente superficie, pari a circa 6 mq, è costituito da un solaio gettato in opera insieme alla rimanente struttura, dello spessore di 40 cm.

La camera funge da camera emittente nelle misure di potere fonoisolante di pannelli e componenti verticali e da camera ricevente nelle misure di potere fonoisolante su componenti orizzontali.

b) camera n.2:

- dimensioni interne: m 4.60 x m 4.10 x m 3.50;
- volume interno netto: 66.01 mc;
- porta di accesso: un'anta da m 0.90 x m 2.15 di altezza, realizzata in profilato metallico, con guarnizioni di tenuta in gomma, riempita di sabbia;
- solaio di copertura costituito da un solaio gettato in opera insieme alla rimanente struttura, dello spessore di 40 cm.

La camera funge da camera ricevente nelle misure di potere fonisolante di pannelli e componenti verticali, mentre non funziona durante le misure di potere fonisolante su componenti orizzontali.

Al fine di facilitare l'installazione dei campioni in prova, la camera n. 2 è dotata di una cornice in cemento armato, dello spessore di 20 cm, che corre lungo tutto il perimetro dell'apertura di prova e che consente il fissaggio del campione.

Per le misure di potere fonoisolante di elementi verticali si dispone il pannello nell'apposita apertura ricavata fra le due camere e nella camera n. 1, che funziona da "ambiente disturbante", si attiva una sorgente sonora, alimentata da un generatore di rumore bianco, realizzando un campo sonoro diffuso. Il generatore di rumore bianco è dotato di filtri in bande di ottava e di 1/3 di ottava.

In ciascuna delle due camere viene posto un microfono di misura, le cui uscite sono collegate alternativamente, mediante un deviatore ed un amplificatore, ad un misuratore di livello di pressione sonora; la misura consiste nel rilevamento, per ogni banda di frequenza, del livello di pressione sonora nell'ambiente disturbante  $L_1$  ove è in funzione la sorgente sonora e nell'ambiente di ricezione  $L_2$ ; il potere fonoisolante  $R$  del pannello in esame è dato allora da:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad (1)$$

dove:

$S$  = superficie del pannello in esame, in  $m^2$ ;

$A$  = unità di assorbimento dell'ambiente di ricezione, in  $m^2$ .

I dati vengono rilevati per bande di terzi di ottava sul campo di frequenze comprese almeno fra 100 Hz e 3150Hz. La lettura dei livelli di pressione sonora per le varie bande di frequenza consiste in una acquisizione mediante personal computer.

La misura del livello di rumore al calpestio interessa i componenti edilizi costituiti da elementi orizzontali (solai), destinati a separare un ambiente sovrastante da uno sottostante, per i quali è pertanto prevedibile la trasmissione di rumori per via strutturale.

La prova riguarda il comportamento sia del componente completo, così come sarà realizzato in opera, comprensivo pertanto di struttura portante, intonaco sottostante, sottofondo, pavimento ed eventuali strati insonorizzanti, sia di sole strutture portanti, per studiare l'influenza delle loro caratteristiche sulla capacità isolante.

E' possibile effettuare misure di potere fonoisolante di solai di qualunque tipo, rimuovendo il solaio normalizzato e sostituendolo con il campione in prova mediante un carroponete; è possibile inoltre effettuare misure di fonoisolamento di rivestimenti quali pavimenti, parquet, moquette, ecc. montati sul solaio normalizzato che funge da supporto.

Il solaio e il rivestimento in prova, di superficie di  $11 \text{ m}^2$  circa, viene disposto nell'apertura della camera n. 1 e, su di esso, viene attivata la macchina generatrice di calpestio normalizzata; si tratta di un dispositivo che aziona 5 martelletti, disposti in linea alla distanza di 100mm l'uno dall'altro, del peso di 500g ciascuno; per mezzo di un albero a camme i martelletti colpiscono il piano di calpestio ad intervalli di 0.1 secondi.

L'effetto sul pavimento è molto superiore a quello generato normalmente dai passi umani; è però necessario per realizzare nell'ambiente ricevente sottostante un livello sufficientemente elevato per le misure. La norma ISO 140/6 prevede più di una posizione della macchina sul solaio di prova.

Nell'ambiente ricevente viene misurato il Livello di Rumore di Calpestio  $L_i$ ; per tale rilievo viene impiegata la usuale catena di apparecchi già descritta e cioè un microfono, un amplificatore, un analizzatore ed uno strumento indicatore; l'analisi è effettuata per bande di terzi di ottava, in una gamma di frequenze compresa almeno tra 100 e 3150 Hz.

Dalla misura del Livello di rumore al calpestio  $L_i$  per le varie bande di frequenza viene quindi determinato il Livello di rumore al calpestio normalizzato  $L_n$  con la seguente espressione:

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} \text{ (dB)} \quad (2)$$

dove  $A$  rappresenta le unità di assorbimento dell'ambiente di ricezione, in  $\text{m}^2$ ; ed  $A_0$  le unità di assorbimento di riferimento, pari a  $10 \text{ m}^2$ .

Le stesse grandezze possono essere misurate anche in opera, utilizzando la stessa strumentazione e seguendo le procedure indicate dalla ISO140/parte 4<sup>a</sup> per l'isolamento acustico di componenti verticali e dalla ISO140/parte 7<sup>a</sup> per il rumore da calpestio.

### **5. Controllo attivo del rumore**

Presso il Laboratorio di Acustica dell'Università di Perugia sono stati realizzati diversi sistemi di controllo attivo del rumore. Il controllo attivo consiste nel generare un segnale di antirumore al fine di contrastare un rumore disturbante.

Il segnale di "antirumore" possiede ampiezza uguale ma fase opposta a quella del rumore disturbante; in tal modo, fra i due, si instaura una interferenza distruttiva; l'effetto globale è una notevole riduzione del disturbo.

L'attività di ricerca ha inizialmente riguardato il controllo attivo del rumore con tecniche digitali su lastre di vetro ed il controllo attivo del rumore prodotto da ventilatori in condotti d'aria condizionata; i buoni risultati ottenuti e l'esperienza acquisita hanno consentito interessanti sviluppi.

### 5.1 Controllo attivo del rumore su lastre di vetro

Il sistema è costituito da una finestra con telaio in alluminio delle dimensioni di 120x55 cm, montata su una piccola camera di riverberazione in cemento armato; un telaio rotante consente di effettuare esperimenti su vetri comunque inclinati (verticali, orizzontali, obliqui); il controllo attivo del rumore è attuato a mezzo di vari trasduttori ed attuatori piezo-ceramici di varie dimensioni e spessori; un alimentatore/amplificatore 0-1000V fornisce il segnale di rumore che viene controllato mediante un circuito analogico ed un circuito digitale.

Un apparato di questo tipo permette di ottenere un'attenuazione del rumore trasmesso attraverso la parete vetrata dell'ordine di 10-12 dBlin.

### 5.2 Controllo attivo del rumore in condotti dell'aria condizionata

L'apparecchiatura è costituita da un ventilatore a velocità e portata variabili (da 0 a 5.000 mc/h) e da vari tronchi di canale coibentati e flangiati con i relativi raccordi; un tronco di canale è dotato di due altoparlanti che generano un segnale opposto in fase a quello del ventilatore; il sistema di controllo elettronico fase/ampiezza è dotato di una scheda DSP per l'elaborazione numerica del segnale in tempo reale.

Un apparato di questo tipo permette di ottenere un'attenuazione del rumore immesso prodotto dal ventilatore dell'ordine di 20dBlin

### 5.3 Marmitta elettronica allo scarico di autoveicoli

E' stato successivamente studiato e realizzato un prototipo, denominato "marmitta elettronica", per il controllo attivo delle emissioni acustiche allo scarico degli autoveicoli. Le prove di laboratorio hanno prodotto i seguenti risultati:

- riduzione di 25 dBlin del livello relativo alla frequenza fondamentale del rumore prodotto dal motore, rispetto al caso di controllo disattivato (riduzione paragonabile a quella delle comuni marmitte, il cui funzionamento è basato su fenomeni dissipativi)
- incremento del rendimento del motore di circa il 5%; infatti la contropressione allo scarico diminuisce di circa 10 volte rispetto a quella introdotta dalle tradizionali marmitte passive.

### 5.4 Piattaforma per il trasporto delle opere d'arte

Presso il Laboratorio di Acustica è stato inoltre realizzato un prototipo per il controllo attivo delle vibrazioni durante il trasporto delle opere d'arte; l'opera d'arte viene collocata sopra una piattaforma metallica rettangolare installata sopra un piano vibrante, che simula il pianale di un autocarro o di un treno, mediante 4 molle; al centro della piattaforma è ancorato un pistone il cui movimento è garantito da un motore elettrico in corrente continua; il pistone induce sulla piattaforma delle vibrazioni di uguale ampiezza ma di fase opposta a quelle indotte dal mezzo di trasporto su cui viene installato il sistema. Il controllo del motore elettrico viene effettuato mediante un circuito appositamente realizzato e collegato ad un sensore (accelerometro) installato sul piano vibrante.

Le prove effettuate sul prototipo hanno evidenziato un'attenuazione delle vibrazioni due volte superiore a quella introdotta dall'impiego delle sole molle, come dispositivo di attenuazione; tali prestazioni si ottengono anche per quelle frequenze (minori di 10Hz) dove l'effetto delle molle o degli ammortizzatori è quasi nullo.

### 5.5 Marmitta elettronica allo scarico di gruppi elettrogeni

E' stato infine realizzato un prototipo di marmitta elettronica per il controllo attivo del rumore prodotto da gruppi elettrogeni.

Il prototipo viene installato in corrispondenza della sezione d'uscita del condotto di scarico del gruppo elettrogeno: due altoparlanti, della potenza massima di 120 W rms cadauno, sono fissati all'interno di una camera risonante, la cui forma è tale da costituire una "camicia" che contiene parte del condotto di scarico; in prossimità della sezione terminale del condotto la camera risonante è rastremata ad una sezione circolare, coassiale con quella del condotto; qui avviene l'interferenza distruttiva fra il rumore proveniente dal motore e l'antirumore prodotto dagli altoparlanti.

La camera risonante è opportunamente isolata, per evitare che essa stessa produca rumore verso l'esterno.

Il sistema di controllo consente l'elaborazione del segnale di "antirumore" in funzione di quello prodotto dal motore; a tale proposito sono state studiate le caratteristiche del rumore prodotto ed i tempi di ritardo introdotti dal condotto di espulsione; un sensore è collocato negli organi rotanti del motore, per "sincronizzare" il circuito di controllo.

Il sistema introduce un'attenuazione del rumore di circa 25-30 dB in rispetto alle tradizionali marmitte passive; l'attenuazione è massima per un intervallo di frequenze compreso fra 20 e 30 Hz; in tale intervallo "cadono" le frequenze fondamentali del rumore prodotto dal motore.

In vista di un'eventuale commercializzazione del sistema di controllo attivo, si sta pensando di dotare il prototipo di particolari dispositivi di taratura e calibrazione, in modo da consentire una sua installazione in differenti condizioni operative.