

MISURE IN OPERA DI REQUISITI ACUSTICI PASSIVI: TECNICHE TRADIZIONALI E INNOVATIVE A CONFRONTO

di

* Matteo Borghi, Andrea Cerniglia, Stefano Benedetti

Introduzione

Le prestazioni di isolamento ai rumori degli edifici possono essere agevolmente verificate in opera. Esistono strumenti di misura specifici e norme tecniche che individuano le procedure da utilizzare. Sia gli strumenti che le norme hanno vissuto una costante evoluzione, e oggi disponiamo di metodi di rilevazione particolarmente raffinati. Un aspetto interessante è che ora, forse più che negli anni passati, integrando i risultati forniti da strumenti diversi è possibile evidenziare la presenza e l'entità di eventuali ponti acustici e definire al meglio quali soluzioni utilizzare per risolverli. In questo articolo vogliamo descrivere che tipo di informazioni possono fornire alcune tecniche di misura e come possono essere combinate tra loro. Concentreremo l'attenzione su: procedure "tradizionali",

mappatura acustica, rilevazioni con fonocamera (beamforming) e misure di vibrazioni.

Tecniche tradizionali (UNI EN ISO 16283)

Le norme serie UNI EN ISO 16283 descrivono nel dettaglio le procedure per misurare le prestazioni di isolamento ai rumori aerei tra ambienti (Parte 1), il livello di rumore da calpestio (Parte 2) e l'isolamento acustico delle facciate (Parte 3). Sono documenti ben noti agli addetti ai lavori in quanto riportano l'ultima versione delle tecniche di misura dei requisiti acustici passivi che si sono evolute in questi decenni. I documenti che in precedenza specificavano questi aspetti erano le UNI EN ISO 140 e, prima ancora, le UNI 10708 e UNI 8270 (Figura 1)

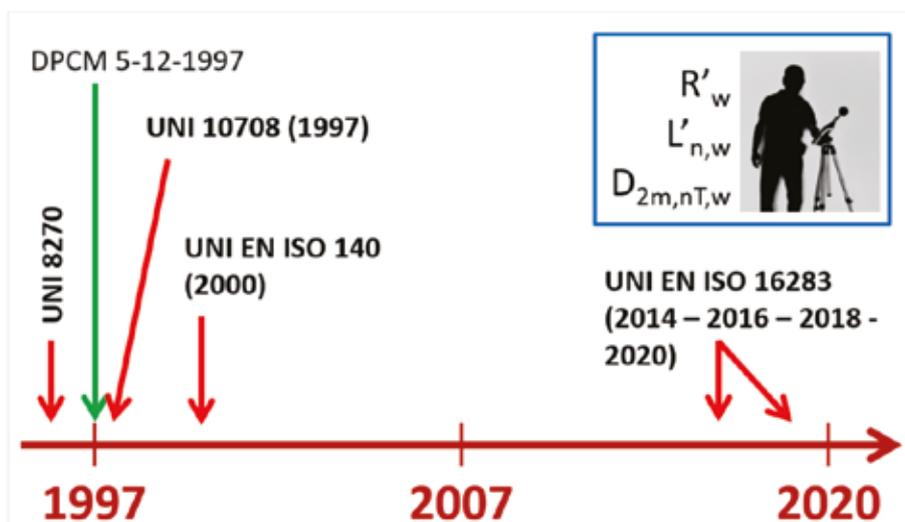


Figura 1: Evoluzione normativa delle misure in opera

Le misure consistono in estrema sintesi nell'attivare una sorgente di rumore e nel rilevare livelli di pressione sonora e altri parametri in prossimità della sorgente e nell'ambiente ricevente. Dall'analisi dei dati è possibile ricavare la prestazione di isolamento in bande di terzo d'ottava (R' , $D_{2m,nT}$, L'_n), tra 50 e 5000 Hz, e da queste gli indici di valutazione dei vari descrittori (R'_w , $D_{2m,nT,w}$, $L'_{n,w}$) seguendo le indicazioni delle UNI EN ISO 717 (Figura 2).

Queste tecniche di rilevazione sono quelle utilizzate per verificare il rispetto delle prescrizioni definite nella legislazione in vigore o nei capitolati dei committenti. Hanno il pregio di essere sostanzialmente piuttosto

semplici e veloci da realizzare, e richiedono l'utilizzo di strumenti che sono ben noti ai consulenti di acustica (fonometro, sorgente omnidirezionale, sorgente di calpestio, ecc.) Una possibile mancanza però, è il fatto che questo tipo di misure definiscono solo la prestazione complessiva dell'elemento edilizio, senza individuare quali punti di tale elemento possono essere considerati come ponti acustici. Il risultato, quindi, indica se la partizione rispetta o meno la prescrizione ma, in caso di esito negativo, non evidenzia dove dobbiamo intervenire per risolvere il problema. Il rapporto di prova in Figura 2 può essere considerato un esempio di quanto appena esposto. L'indice di potere fonoisolante ap-

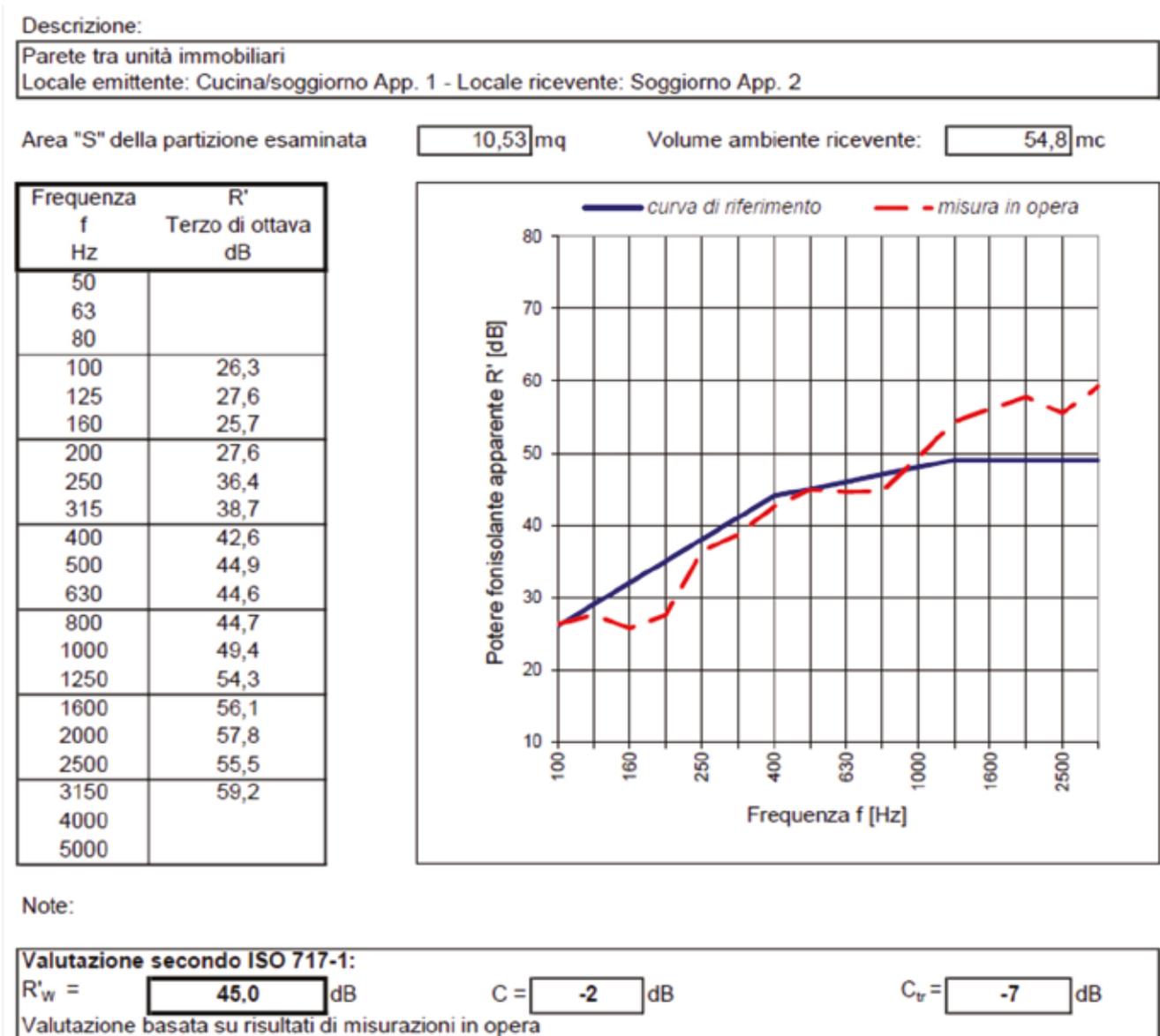


Figura 2: Esempio di rapporto di prova (R'_w)

parente della parete ($R'_w = 45$ dB) è molto inferiore rispetto al limite imposto per legge dal DPCM 5-12-1997 ($R'_w \geq 50$ dB). Il grafico in frequenza evidenzia delle discontinuità a 160, 200, 800 e 2500 Hz, ma dal rapporto non si può ricavare se per migliorare la prestazione occorre intervenire su tutta la struttura, su una sua parte o su elementi estranei (es. canali impiantistici o partizioni laterali). In alcuni casi, il tecnico che esegue la rilevazione riesce a percepire chiaramente da dove passa gran parte del rumore, e misure fonometriche localizzate possono contribuire a verificare questo aspetto. Si pensi ad esempio a situazioni di pareti con quadri elettrici contrapposti, serramenti non correttamente registrati o solai in parte privi di rivestimento anticallpestio. Spesso però, il rumore nell'ambiente ricevente viene percepito in maniera diffusa e non è di fatto possibile individuare "a orecchio", o con l'uso del solo fonometro, quale elemento è il principale responsabile della perdita di isolamento.

In questi casi può risultare utile prendere in considerazione anche tecniche di misura differenti, quali mappature acustiche, rilevazioni con fonocamera (tecnica beamforming) o misure di vibrazioni.

Mappatura acustica fonometrica

La mappatura acustica è un efficace metodo per rappresentare in forma grafica la distribuzione del rumore su un piano di misura. Grazie a questa tecnica è infatti possibile ottenere un'immagine in grado di fornire l'immediata percezione di come si distribuiscono i livelli in funzione della posizione spaziale, ad esempio intorno a un macchinario, oppure in prossimità di una parete divisoria tra due ambienti. Tuttavia, affinché la mappatura sia significativa, è necessario comprendere in che modo questa viene ottenuta. Innanzi tutto, è bene ricordare che i software di rappresentazione si limitano a interpolare i livelli misurati su una griglia di punti per poi rappresentare graficamente il risultato di tale interpolazione; detto in altro modo, il software non può prevedere quale sia il livello sonoro presente presso una postazione intermedia collocata tra due posizioni effettivamente rilevate, ma può soltanto

assegnare a questa un livello calcolato sulla base dei livelli presenti nelle postazioni vicine. Di conseguenza, la scelta della maglia di misura – intesa come la distanza tra un punto di misura e quelli a esso vicini – riveste un ruolo fondamentale al fine di ottenere risultati attendibili. Lo spettro acustico abbraccia una porzione di frequenze particolarmente estesa, che spazia da 20 Hz fino a 20.000 Hz; ricordando che la lunghezza d'onda è calcolabile dividendo la velocità del suono (circa 340 m/s) per la frequenza, le lunghezze d'onda corrispondenti alle frequenze udibili si attestano quindi da circa 17 metri per la frequenza di 20 Hz, a circa 1.7 centimetri per la frequenza di 20 kHz; una regola empirica per scegliere la dimensione della maglia, suggerisce di impiegare una distanza minima che sia dello stesso ordine di grandezza della lunghezza d'onda della frequenza di interesse. Quindi, se per ottenere una mappa alla frequenza 500 Hz potrebbe essere sufficiente disporre di un punto di misura ogni circa 68 centimetri, volendo rappresentare una mappa alla frequenza di 4000 Hz, i punti di misura dovrebbero essere distanti tra loro non più di circa 8 cm. Inoltre, qualora si dovesse ragionare per bande di ottava o di un terzo di ottava, la frequenza da considerarsi è quella superiore della banda in esame (ad esempio 1410 Hz per la banda di ottava di 1000 Hz, oppure 1120 Hz per la banda di 1/3 di ottava della medesima frequenza). Ovviamente, tale ipotesi risulta valida nel caso in cui la misura venga eseguita in prossimità della sorgente, dove è lecito attendersi variazioni di livello potenzialmente dipendenti dalla posizione; infatti, aumentando la distanza del piano di misura dalla sorgente in esame, il potere risolutivo del sistema – inteso come la capacità di discriminare livelli diversi in funzione della posizione – degrada rapidamente vanificando i vantaggi dovuti a una maglia fine.

Un altro aspetto importante nella scelta della dimensione della griglia di misura, è legato alla presenza di possibili spiccate direttività della sorgente, dovute ad esempio alla presenza di una bocchetta di areazione su una parete, a un difetto nella posa di un serramento, oppure alla schermatura di un componente di una macchina complessa a opera dell'ingombro fisico della

macchina stessa. Ultimo, ma come si dice, non meno importante, è l'algoritmo di interpolazione che il software impiega per costruire la mappa; trattando rappresentazioni logaritmiche quali il decibel, l'interpolazione non può essere di tipo lineare ma deve tenere conto delle caratteristiche dello specifico descrittore; detto in modo più banale, qualora in uno specifico punto si dovessero rilevare, ad esempio, 80 dB a fronte di un punto adiacente con livello di 70 dB, non sarebbe corretto assegnare alla posizione intermedia un livello pari a 75 decibel. Nella realtà l'interpolazione è più complessa, in quanto il calcolo di ogni punto intermedio posto tra punti misurati deve considerare necessariamente anche i livelli presenti in tutti i punti a esso adiacenti, e non solo quelli sulla stessa riga o sulla stessa colonna. I metodi di interpolazione generalmente utilizzati sono kriging, multiquad e spline. Ovviamente, tutte le scelte descritte sono comunque funzione del grado di dettaglio richiesto e della specifica situazione analizzata. Per situazioni semplici, ossia con poche sorgenti ben distanziate tra loro, anche maglie più grandi possono fornire risultati utili. La figura 3 mostra una mappatura acustica effettuata su una parete divisoria, con maglia pari 50 cm e banda di analisi relativa al terzo di ottava di 4000

Hz; nella situazione rappresentata, nonostante la dimensione della maglia sia decisamente più grande rispetto ai principi enunciati, dall'immagine è possibile identificare chiaramente una perdita di tenuta della guarnizione posta tra la parte in legno e la parte in vetro a sinistra, e un problema nel punto di congiunzione pavimento-legno-vetro a destra; naturalmente, qualora fossero presenti più sorgenti vicine tra loro, con una maglia grossolana queste si sarebbero confuse tra loro dando luogo a un'unica focalizzazione.

Mappatura acustica intensimetrica

Un grado di dettaglio molto maggiore può essere ottenuto per mezzo dell'esecuzione di rilievi eseguiti con tecnica intensimetrica in luogo dei classici rilievi fonometrici. L'intensimetria sonora è una tecnica che consente di ottenere un'informazione acustica di tipo vettoriale, in luogo di quella scalare fornita dal fonometro. In altri termini l'intensimetro è in grado di discriminare, secondo uno specifico diagramma di direzionalità, il rumore che perviene frontalmente rispetto alla sonda, da quello che perviene dalla direzione opposta. La figura 4 mostra una sonda intensimetrica a 4 microfoni (range di misura 50 Hz 10 kHz con unica misura) e il relativo diagramma semplificato di direzionalità della sonda.

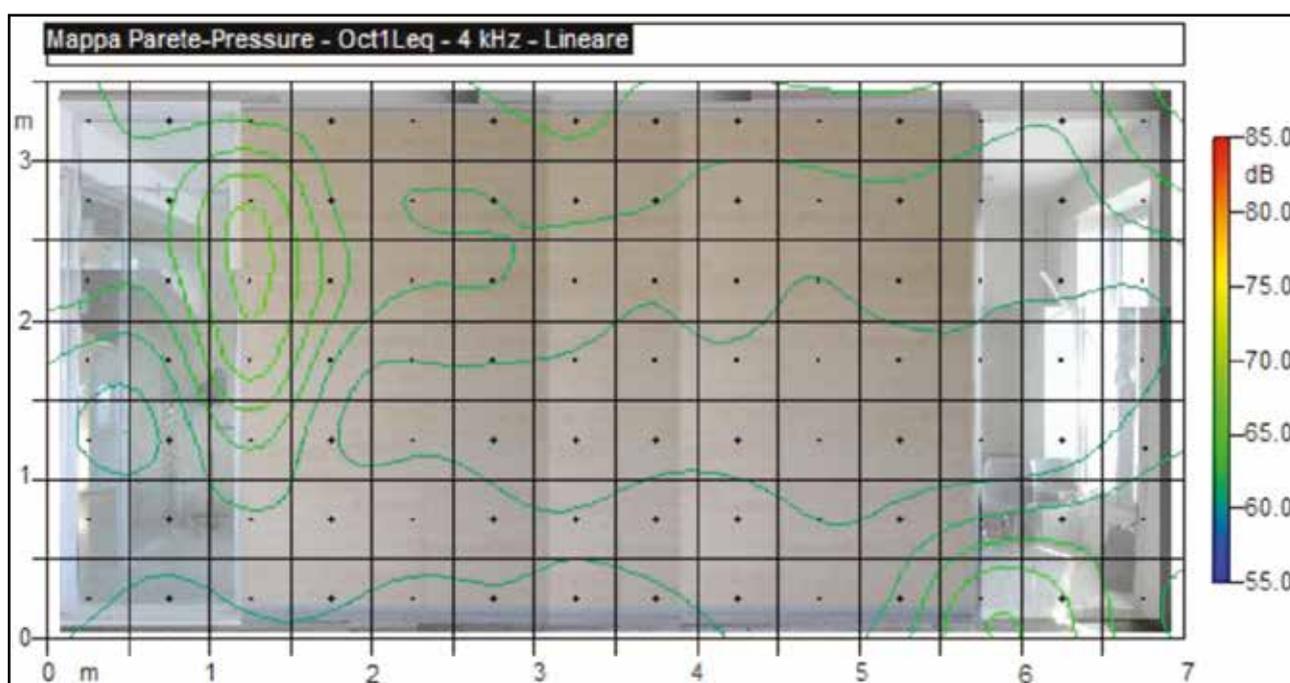


Figura 3: Mappa fonometrica effettuata con software NoiseWork - maglia 50 cm @ 4000 Hz

ANIT

EUREKA 1.0

**Il software per il calcolo
del coefficiente $H'T$ e della
trasmissione termica media U_m**



EUREKA consente l'aggregazione delle informazioni relative agli elementi opachi, agli elementi trasparenti e ai ponti termici e può essere utilizzato per calcolare il coefficiente $H'T$, la trasmissione termica media U_m e la trasmissione termica per le detrazioni.

ANIT

IRIS 5.1

**IRIS 5.1 il software per il calcolo
dei ponti termici agli elementi finiti**

Software ANIT

Sviluppato da TEP s.r.l.

IRIS 5.1

Simulazione dei ponti termici agli elementi finiti secondo UNI EN ISO 10211.

L'uso del presente software e dei relativi risultati sono di esclusiva competenza e responsabilità dell'utente.
Tutti i diritti riservati. Qualsiasi riproduzione non autorizzata è vietata.
Maggiori informazioni e contatti: www.anit.it - software@anit.it

**Il software
è compreso
nella quota
associativa
ANIT**

La versione 5.1 introduce diverse funzionalità per **facilitare e velocizzare l'analisi dei ponti termici**. Tra le novità segnaliamo lo **scambio dati .XML con altri software** per il calcolo energetico, la **nuova relazione finale**, i grafici con **scala cromatica modificabile**, la **gestione delle condizioni** al contorno con i coefficienti btr, la **nuova scheda** per gli ambienti controterra.

85
years
1937-2022

**DA 85 ANNI COSTRUIAMO
UN PRESENTE PENSATO
PER AVERE FUTURO**

85 anni di lavoro di squadra, insieme a clienti e collaboratori con cui abbiamo condiviso le sfide, l'innovazione, la passione, il rispetto per le persone e l'ambiente. C'è ancora così tanto da costruire, **continuiamo a farlo insieme.**



ANIT

Klimahouse

BOLZANO DAL 18 AL 21 MAGGIO 2022

IL NOSTRO STAFF SARÀ PRESENTE ALLO **STAND B06/08**
ALL'INTERNO DELL'AREA ANIT DEDICATA ALLE **ECCELLENZE**
DELLA TECNOLOGIA PER L'ISOLAMENTO TERMICO E
ACUSTICO DEGLI EDIFICI

PADIGLIONI
A B



AREA ANIT
LE TECNOLOGIE
PER L'ISOLAMENTO
TERMICO E
ACUSTICO

ESPOSITORI
AREA ANIT 2022



B06/08



A05/12



B06/26



B05/24



B07/06



A05/18



B06/32



A05/28



B06/24



B06/20



B07/14



A05/20

www.anit.it

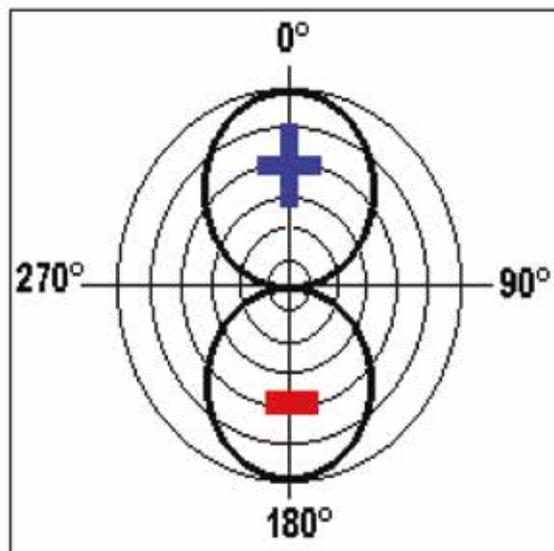


Figura 4: Sonda intensimetrica WideRange e relativo diagramma di direzionalità semplificato

Dal diagramma di direzionalità della sonda si evince chiaramente come questa sia in grado di minimizzare gli effetti del rumore proveniente con angolazioni diverse da quella perpendicolare al piano di misura, nonché di presentare minore sensibilità rispetto al rumore dovuto alle riflessioni che hanno luogo all'interno dell'ambiente.

Tale caratteristica, oltre ovviamente a migliorare la definizione della mappa, ha particolare rilevanza in acustica edilizia in quanto con-

sente di eliminare gli effetti delle trasmissioni laterali durante l'esecuzione della mappatura su una parete (queste ultime, infatti, vengono viste con angolo prossimo a 90°, dove la sonda presenta sensibilità pressoché nulla).

La figura 5 mostra la stessa parete divisoria per la quale è stata effettuata la mappatura fonometrica, questa volta con sovrapposta la mappatura intensimetrica sempre a 4000 Hz. L'immagine mostra, in modo molto più dettagliato, i due difetti evidenziati in precedenza.

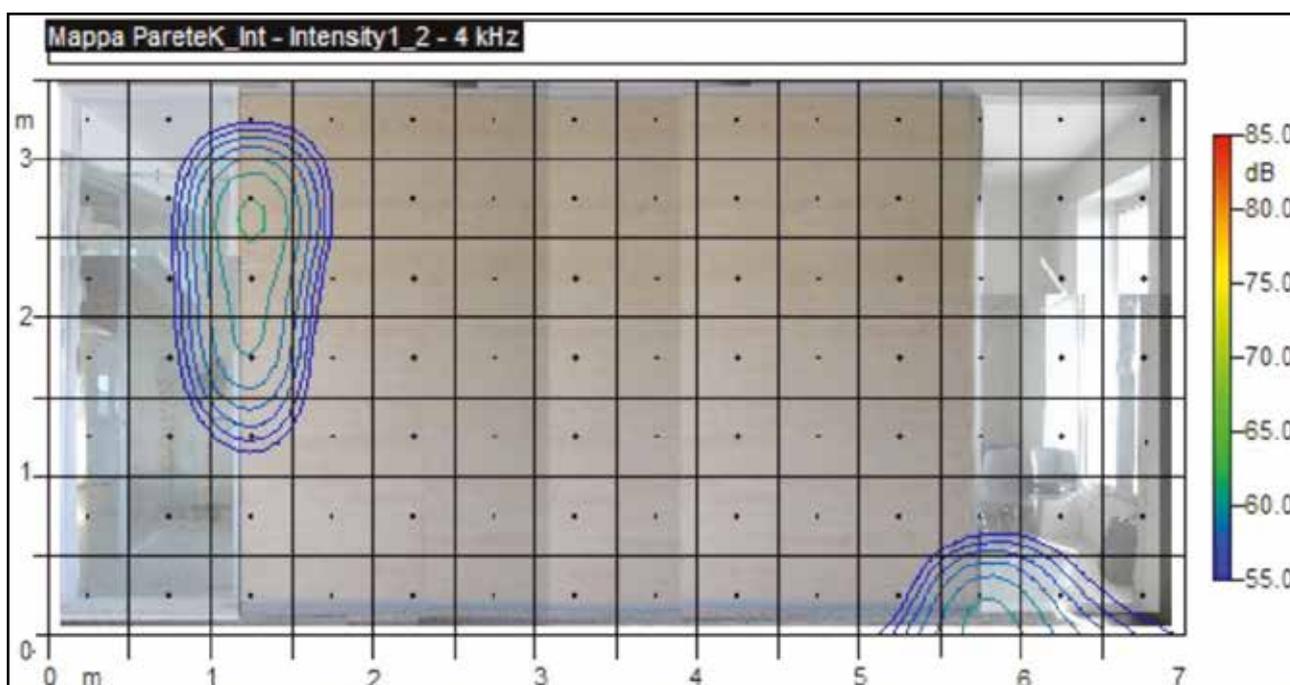


Figura 5: Mappa intensimetrica effettuata con software NoiseWork - maglia 50 cm @ 4000 Hz

Tecnica beamforming

Mentre le mappature fonometrica e intensimetrica sono tecniche “orientate alla sorgente” in quanto effettuate in campo vicino con lo scopo di indagare le sorgenti, la tecnica beamforming è una tecnica “orientata al ricevitore”, ossia capace di indagare per un determinato punto di ascolto, tutto ciò che in tale posizione perviene dalle diverse direzioni; quanto sopra indipendentemente dal fatto che le direzioni siano correlabili a sorgenti reali oppure a sorgenti immagine.

Sebbene quindi, in condizioni di campo libero e rispettando alcuni requisiti, i risultati della mappatura eseguita con le due tecniche precedenti, oppure con la tecnica beamforming siano generalmente sovrapponibili, esistono sostanziali differenze tra le mappature precedentemente analizzate e la tecnica beamforming. La prima differenza, come già detto, è relativa all’approccio orientato alla “sorgente” oppure al “ricevitore”.

Un’ulteriore differenza è data dal fatto che le tecniche fonometriche e intensimetriche necessitano di una situazione di tipo stazionario, in quanto richiedono per la loro esecuzione un rilievo per ogni punto della griglia; in conseguenza di quanto sopra, i tempi sono relativamente lunghi ed è palese come le condizioni debbano essere le medesime durante ogni singolo rilievo.

Un importante vantaggio delle tecniche fonometriche e intensimetriche, è dato dal campo di frequenza indagabile che, come già detto,

è sostanzialmente legato alla dimensione della maglia.

La tecnica beamforming è, invece, una tecnica istantanea che consente di ottenere mappe acustiche addirittura in tempo reale anche su fenomeni transitori.

La figura 6 mostra due fotogrammi estratti da un video nel quale un operatore esercitava alternativamente una pressione con le mani su una porta a vetri che presentava problemi su una guarnizione di tenuta.

A fronte di tale rapidità di esecuzione dei rilievi, vi è tuttavia un limite legato al campo di frequenza indagabile, che è strettamente legato alla dimensione dello schieramento di microfoni impiegato. Il sistema beamforming utilizza infatti uno schieramento di microfoni disposti nel piano oppure nello spazio. La figura 7 mostra un sistema commerciale realizzato con 40 microfoni disposti all’interno di una superficie quadrata di 40 centimetri di lato. In linea generale, la minima frequenza indagabile non può avere lunghezza d’onda superiore alla dimensione massima dello schieramento.

Di conseguenza, lo schieramento rappresentato in figura 7 presenta un limite inferiore in frequenza pari a circa 850 Hz; per potere scendere a frequenze più basse è quindi necessario disporre di ingombranti schieramenti di grandi dimensioni, che potrebbero addirittura essere incompatibili con l’ambiente di prova proprio per le loro dimensioni.



Figura 6: Problema sulla guarnizione di una porta: con porta chiusa (a sx) e con porta chiusa e pressione sul vetro (a dx)



Figura 7: sistema beamforming

Il potere risolutivo di un sistema beamforming segue il criterio di Rayleigh ed è sostanzialmente legato alla distanza a cui si trova lo schieramento rispetto alla sorgente, alla dimensione dello schieramento stesso, e alla frequenza considerata, secondo la formula (1).

$$r = \frac{d}{D} \lambda$$

Formula 1: criterio di Rayleigh

dove r è la risoluzione spaziale, d la distanza tra il sistema e la sorgente, D la dimensione del sensore e λ la lunghezza d'onda considerata.

Le immagini in figura 8, mostrano altre due applicazioni in acustica edilizia, per le quali – grazie al sistema – è stato identificato un problema nella bocchetta di areazione del locale (a sinistra), e un problema nel cassonetto dell'avvolgitore della tapparella (a destra).

L'algoritmo utilizzato per il calcolo beamforming è nella sua essenza tutto sommato abbastanza semplice, ma la sua analisi esula dallo scopo dell'articolo; in rete è comunque possibile trovare abbondante materiale sull'argomento.

Da un punto di vista pratico la tecnica impiega lo schieramento di microfoni al fine di sintetizzare una sorta di microfono estremamente direzionale che viene orientato “virtualmente” nelle diverse direzioni grazie allo specifico algoritmo di calcolo (senza quindi alcun movimento fisico); successivamente il sistema calcola la mappatura acustica per interpolazione, come nel caso delle tecniche precedentemente mostrate.

Misure di vibrazioni

Un'altra tecnica molto interessante che si può utilizzare nell'acustica edilizia è la misura diretta delle vibrazioni.

L'oggetto della nostra indagine in questo caso sono le superfici di pareti, solai e serramenti che vibrando trasmettono energia all'aria e quindi rumore all'ambiente ricevente. Capire come e quanto vibrano le strutture contribuisce a individuare l'elemento debole del sistema, responsabile della maggior trasmissione di rumore da un ambiente all'altro.



Figura 8: Analisi in acustica edilizia: a sinistra problema in una bocchetta di areazione (a sx) e nel cassonetto (a dx)

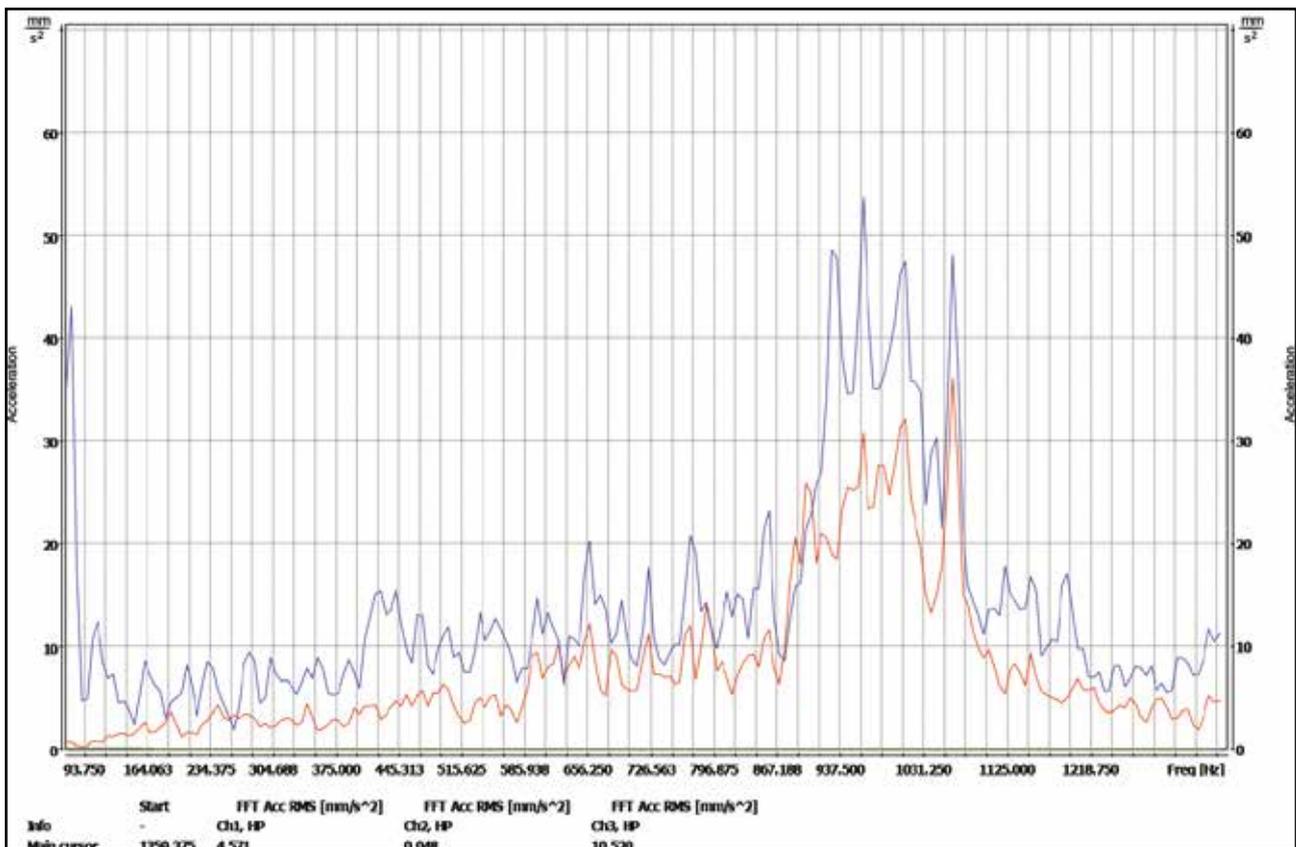


Figura 9 – accelerazione dei 3 assi x, y, z nel dominio delle frequenze

Le vibrazioni si possono misurare con spostamento [m], velocità [m/s] o accelerazione [m/s²] del punto di misura, a volte è comodo utilizzare la scala logaritmica in dB per definire dei livelli di vibrazione, come si fa con la pressione sonora e risulta anche utilissima l'analisi nel dominio della frequenza (figura 9). I tecnici acustici quindi si trovano già a loro agio nel gestire questo tipo di informazioni.

L'analisi delle vibrazioni non è indicata per studiare difetti puntuali quali problemi di tenuta all'aria dei serramenti o piccoli elementi come bocchette d'aria, casi visti con le tecniche precedenti, ma piuttosto porzioni o intere superfici responsabili della trasmissione strutturale del rumore (figura 10).

È da considerarsi come un'indagine integrativa per avere un quadro di informazioni più completo o come un'indagine specifica se si intendono studiare i diversi percorsi del rumore negli edifici (figura 11).

Uno dei vantaggi è la possibilità di separare i contributi delle diverse vie di trasmissione del rumore, riducendo al minimo l'influenza del rumore di fondo e delle abbondanti riflessioni sonore negli

ambienti confinati, soprattutto quelli non arredati, in cui il campo sonoro sufficientemente diffuso tende a confondere il recettore sulla provenienza del disturbo.

Il tempo richiesto non è eccessivo se si sceglie il punto di maggior oscillazione o alcuni punti rappresentativi per ogni struttura. Indicazioni normative come quelle della UNI 9614:2017 per la misura delle vibrazioni negli edifici e valutazione del disturbo e della serie UNI EN ISO 10848 per la misurazione in laboratorio della trasmissione laterale tra ambienti adiacenti, compreso l'indice di riduzione delle vibrazioni di un giunto, supportano il professionista in questa scelta.



Figura 10 – Accelerometro fissato al centro di una parete in muratura intonacata

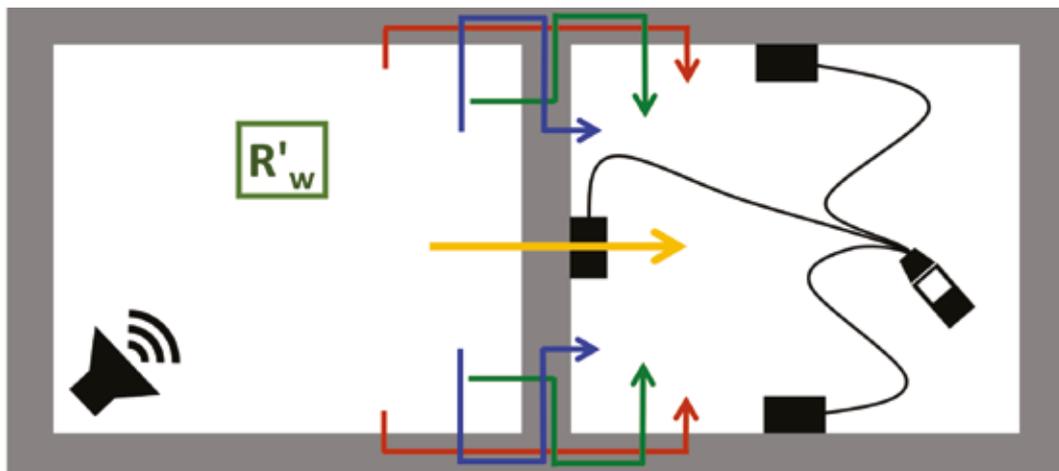


Figura 11 – modello di trasmissione strutturale di rumore negli edifici e misura di vibrazioni

Il range di frequenze indagabili è esteso, si parte da frequenze molto basse che non si riuscirebbe a raggiungere con fonometri tradizionali e con i sistemi per il beamforming per le problematiche illustrate precedentemente, fino ad arrivare a frequenze oltre il campo dell’udibile, in funzione dell’accelerometro e dell’analizzatore scelto.

Tra i limiti invece, la difficoltà di correlare l’entità della vibrazione, del punto di misura, alla potenza sonora trasmessa dalla struttura e quindi al livello di pressione sonora corrispondente nell’ambiente. Note però le efficienze di radiazione e aumentando i punti di misura, quindi il tempo necessario a eseguire l’analisi, si può raggiungere un’accuratezza interessante. Tuttavia, il più delle volte non è il valore assoluto a interessare maggiormente quanto piuttosto il confronto relativo tra le vibrazioni delle diverse strutture.

In figura 12 è mostrata una parete divisoria (elemento 1) circondata da due pareti laterali (elementi 2 e 3) e due solai (soffitto 4 e pavimento 5), tutti gli elementi oggetto di misura delle vibrazioni. Lo scopo è stato quello di individuare la struttura “più debole” ovvero con le vibrazioni maggiori, a seguito di un risultato insufficiente di potere fonoisolante apparente, R'_w , misurato in opera tra le due unità immobiliari.

L’indagine ha permesso di capire su quale struttura intervenire, con uno strato addizionale a secco, per ripristinare l’isolamento acustico di progetto. Come sorgente è stata utilizzata una cassa acustica omnidirezionale nell’ambiente emittente, dietro la parete in figura, e generato un rumore bianco costante con livello sonoro sufficiente a eccitare tutte le strutture. Nell’ambiente ricevente

è stato fissato a una struttura per volta, al centro della superficie, un accelerometro triassiale.

Nella figura 13 sono riportati i risultati delle misurazioni. La parete 1 vibra maggiormente, segue la parete 3 avente però un’area maggiore, che ne aumenta la potenza sonora irradiata.

La parete 2 invece, è sia meno estesa che soggetta a meno vibrazioni. Pavimento e soffitto hanno vibrazioni molto minori. In base ai risultati ottenuti e alle considerazioni precedenti si è deciso di intervenire sia sulla parete 1 che sulla parete 3 con uno strato addizionale a secco in aderenza, escludendo le altre strutture. Il potere fonoisolante apparente R'_w è passato da 46 dB a 53 dB. Le misure di vibrazioni effettuate sono servite, oltre a individuare i punti deboli, anche a tarare l’intervento di isolamento in base alle frequenze maggiormente trasmesse.

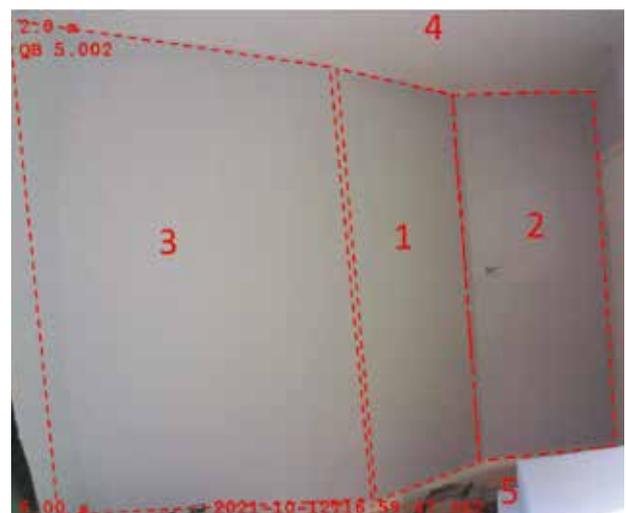


Figura 12 – Elementi oggetto di misura di vibrazioni allo scopo di individuare la struttura su cui intervenire

struttura	Accelerazione [mm/s ²]
Parete 1	359
Parete 2	267
Parete 3	314
Soffitto	116
Pavimento	39

Figura 13 – Accelerazioni in mm/s² delle strutture coinvolte

Conclusioni

Tutte le tecniche espone consentono quindi, seppure con modalità diverse, di ottenere interessanti informazioni sulle prestazioni acustiche delle partizioni. In alcune situazioni può risultare di particolare utilità integrare le procedure “tradizionali” con mappe acustiche e misure di vibrazioni per individuare la posizione di eventuali punti deboli e progettare l’intervento più adatto. Sta al professionista che esegue le misure valutare quali tecniche utilizzare in base alle caratteristiche degli ambienti, alle richieste del committente e alla tipologia di problema da investigare.

In conclusione, la Tabella 1 riassume le principali differenze tra le diverse tecniche di indagine. 

* Matteo Borghi, Stefano Benedetti, Staff tecnico ANIT.
Andrea Cerniglia, Spectra S.r.l.

Per approfondire:

UNI EN ISO 16283 (Parti 1-3)

Misure in opera dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio

Allan J.Zuckerwar

Acoustical Measurement

Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition), 2003, Pages 91-115

G. Brambilla, F. Lo Castro, A. Cerniglia, P. Verardi
Visualizzazione 3D del campo acustico mediante un sistema ad array microfonic sferico

34° Congresso Associazione Italiana di Acustica

D. Fernandez Comesañ, K.R. Holland, E. Fernandez-Grande

Spatial resolution limits for the localization of noise sources using direct sound mapping

Journal of Sound and Vibration, Volume 375, 4 August 2016, Pages 53-62

Jeroen Lanslots, Filip Deblauwe and Karl Janssens
Selecting Sound Source Localization Techniques for Industrial Applications

Sound & Vibration, June 2010

UNI 9614

Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo

UNI EN ISO 10848

Acustica - Misurazione in laboratorio della trasmissione laterale del rumore emesso per via aerea e del rumore di calpestio tra ambienti adiacenti

	Orientamento	Esecuzione	f _{min}	f _{max}	Risoluzione spaziale
Tecniche “tradizionali” (ISO 16283)	-	rapida	50 Hz	5 KHz	-
Mappatura fonometrica	sorgente	lenta	20 Hz tipico	10 kHz tipico	dimensioni maglia
Mappatura Intensimetria	sorgente	lenta	50 Hz tipico	10 kHz tipico	dimensioni maglia
Beamforming	ricevitore	rapida	$f = \frac{340}{\text{dim. max sensore}}$	$f = \frac{340}{\text{dim. min sensore}}$	$r = \frac{d}{D} \lambda$
Misure di vibrazioni	Sorgente/ superfici	media	0,1 Hz	30 kHz	-

Tabella 1: Differenze tra le tecniche di misura