

LA TRASMISSIONE DEL RUMORE PER VIA STRUTTURALE ALL' INTERNO DELLE ABITAZIONI

Raffaele Pisani (1), Chiara Devecchi (1), Paolo Onali (1)

1) Studio di Ingegneria Acustica Pisani, Rivoli (TO)

1. Premessa

Negli spazi interni delle abitazioni il rumore può essere immesso per via aerea e per via strutturale. Per via strutturale può essere trasmesso sia da sorgenti esterne quali ad esempio il traffico stradale, ferroviario, tramviario sia da sorgenti interne all'edificio quali ad esempio le pompe ed i motori dei compressori degli impianti tecnologici che generano, a partire dai vani tecnici, vibrazioni interne che si propagano per via solida nelle singole stanze.

Anche il rumore proveniente dalle vibrazioni dell'armamento tranviario è da considerarsi un esempio frequente di trasmissione per via solida. In pratica può non essere sufficiente migliorare il potere fonoisolante del serramento, in quanto buona parte dell'energia sonora all'interno delle camere è trasmessa dalle vibrazioni che incidono sulle fondazioni del fabbricato.

In pratica, per definire un progetto di riduzione del rumore, può essere utile quantificare l'aliquota di energia sonora trasmessa per via solida attraverso le differenti componenti strutturali e quella trasmessa per via aerea. Se l'aliquota di energia immessa per via strutturale risultasse significativa occorrerebbe dedurre ulteriormente le aliquote di incidenza attribuibili ai singoli elementi edilizi (pareti, soffitto, pavimento, etc.).

Si descrive un criterio per quantificare il rumore trasmesso per via strutturale. Tale stima può essere realizzata attraverso misure di vibrazioni effettuate sulle pareti della stanza.

Mediante l'utilizzo di tale criterio, con le sole misure di accelerazioni sulle pareti, è possibile determinare la potenza sonora irradiata da ciascun elemento e, quindi, il livello di rumore interno alla stanza generato dalla trasmissione per via strutturale.

La messa a punto e la verifica degli algoritmi di calcolo del rumore sono state effettuate all'interno di un'abitazione con eccitazione forzata delle vibrazioni su un solaio provocata dal funzionamento di una macchina normalizzata per la generazione del rumore da calpestio. In questo modo i livelli di rumore trasmessi nell'ambiente ricevente

per via strutturale risultano molto maggiori dei livelli di rumore provenienti dall'esterno per via aerea e, quindi, offrono garanzia per la corretta attendibilità dei dati.

Si sono rilevate sia le vibrazioni, in più punti, sulle differenti pareti e sul soffitto, sia il rumore all'interno dell'ambiente.

Per il calcolo è stata utilizzata la relazione (1) più oltre descritta.

Una ulteriore verifica è stata eseguita attraverso un'indagine intensimetrica sia con il rilievo della velocità della parete e della pressione a pochi millimetri di distanza sia con l'impiego di una sonda intensimetrica. Con le misure di intensità e del rumore interno è anche possibile, determinare il coefficiente di irraggiamento tipico di una struttura edilizia (coefficiente di irraggiamento delle pareti irradianti).

2. Il calcolo del livello di pressione all'interno della stanza attraverso misure di vibrazione

Il livello di pressione generato all'interno della stanza è legato al livello della velocità di vibrazione delle pareti, alle unità assorbenti presenti nell'ambiente ed alle dimensioni degli elementi edilizi.

Occorre apportare, comunque, due correzioni. La prima per tenere conto del fattore di irraggiamento di ciascun elemento edilizio (σ), la seconda per tener conto degli effetti di interferenza in prossimità delle superfici riflettenti.

Il livello di pressione sonora all'interno della stanza, può essere calcolato attraverso la misura dei livelli di accelerazione misurati sulle pareti, pavimento e soffitto.

$$(1) \quad L_p = L_a - 20 \text{Log} f + 44 + 10 \text{Log} \sigma + 10 \text{Log} \frac{S}{A} - 10 \text{Log} \left(1 + \frac{F\lambda}{8V} \right) - 27,6 \quad [\text{Hz}]$$

dove:

L_p Livello di pressione sonora medio all'interno della stanza;

L_a Livello di accelerazione medio misurato sulla parete;

S Superficie della parete dove è misurato il livello di accelerazione medio [m^2];

V Volume della stanza [m^3];

F Superficie della stanza dove si esegue il calcolo del livello di pressione [m^2];

A Area equivalente di assorbimento acustico della camera [m^2];

λ Lunghezza d'onda del suono.

Il coefficiente di irraggiamento delle pareti (σ), è legato allo spessore e al materiale delle pareti (frequenza critica f_c), al modo di vibrazione ed alla frequenza. Tale valore, in funzione della frequenza è compreso fra 0 e 1 e deve essere misurato in camera riverberante. Dovrebbe essere, quindi, un valore numerico misurato secondo la norma NT ACOU 033.

$$(2) \quad 10 \text{Log} \sigma = L_p - L_v - 10 \text{Log} \frac{S}{A} + 10 \text{Log} \left(1 + \frac{F\lambda}{8V} \right) + 27,6 \quad [\text{dB}]$$

Tale relazione è valida alle condizioni normali di temperatura $T=20^\circ\text{C}$ e di pressione 1013 hPa, ove $\rho c=415 \text{ kg/ ms}^2$

Il livello di velocità L_v di vibrazione delle pareti, può essere dedotto mediante la relazione:

$$(3) \quad L_v = L_a - 20 \cdot \text{Log}f + 44 \quad [\text{dB}]$$

3. Applicazione pratica del metodo

Per la verifica sperimentale della formula (1) ed un orientamento pratico per determinare il coefficiente di radiazione σ sono stati eseguiti rilievi in una stanza di abitazione vuota senza arredo.

Sul solaio del piano terzo è stata provocata una eccitazione forzata delle vibrazioni attraverso il funzionamento di una macchina del calpestio. L'isolamento per via aerea tra i due locali è tale da garantire che il rumore misurato nella camera ricevente sia quello trasmesso unicamente per via strutturale.

In primo luogo, si sono rilevati gli spettri per bande di terzi di ottava delle accelerazioni sulle pareti, sul pavimento e sul soffitto dell'alloggio sottostante. Per determinare il livello medio di accelerazione su ciascuna parete sono state effettuate 4 misure in punti diversi.

Nella Figura 1 si riporta, a titolo esemplificativo, il livello di rumore misurato all'interno della stanza e la componente della accelerazione perpendicolare al soffitto della stanza stessa. (Superficie del soffitto 13 m²)

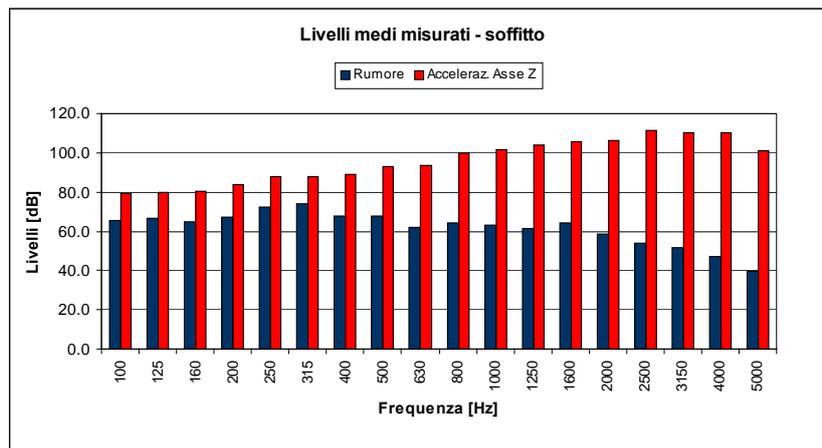
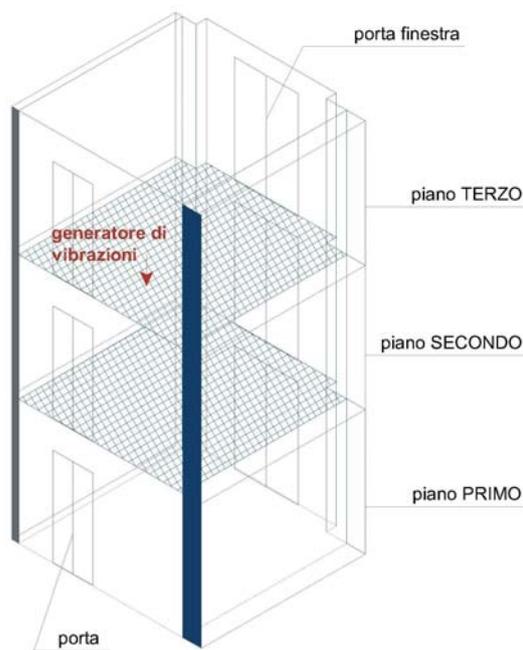


Figura 1 – Confronto fra lo spettro di rumore misurato e lo spettro di accelerazione medio misurato in corrispondenza del soffitto

Per un primo calcolo approssimativo si ipotizza un coefficiente di irraggiamento degli elementi strutturali pari a $\sigma = 1$ per tutte le frequenze. Si calcola, con la formula (1) il livello di pressione L_p all'interno del locale prodotto dall'irraggiamento dei singoli elementi.

Il livello stimato al centro della stanza viene confrontato con quello misurato contemporaneamente al rilievo delle accelerazioni.

La stanza del piano secondo è il locale ricevente entro il quale si eseguono le rilevazioni di vibrazione e di rumore.



$Volume = 31.5 m^3$
 $Superficie\ soffitto = 13 m^2$
 $Superficie\ pavimento = 13 m^2$
 $Superficie\ parete\ A = 10 m^2$
 $Superficie\ parete\ B = 10 m^2$
 $Superficie\ parete\ C = 9.5 m^2$
 $Superficie\ parete\ D = 9.5 m^2$
 $Superficie\ totale\ della\ stanza\ F = 65 m^2$

Parete A e C tavolato in mattoni forati intonacati da ambo i lati spessore 12 cm
Parete B e D doppio tavolato da 12cm. Intercapepine con materiale termoisolante

Livelli di accelerazione medi misurati

Parete A: $ac=109.4\ dB$
Parete B: $ac=105.6\ dB$
Parete C: $ac=110.8\ dB$
Parete D: $ac=107.8\ dB$
Parete soffitto: $ac=117.1\ dB$
Parete pavimento: $ac=93.7\ dB$

Livello di pressione sonora misurato $Leq = 79.6\ dB$

Tempo di riverberazione a 1000Hz $RT60 = 1s$

Fig.2 – Vista assonometria della stanza utilizzata per le misurazioni con portafinestra verso il balcone e porta interna

La formula (1) è applicata singolarmente ai livelli di accelerazione medi rilevati per ogni parete. I calcoli si effettuano sullo spettro medio a terzi d'ottava da 100 a 5000 Hz.

Nella tabella sottostante si riportano i livelli di pressione calcolati per irraggiamento dei singoli elementi edilizi. nella Figura 3 si riporta il risultato del calcolo in termini di percentuale di incidenza dell'irraggiamento sonoro di ciascuna parete.

	Lp, calcolato [dB]	Percentuale di incidenza [%]
Parete A	69.1	13
Parete B	68.9	13
Parete C	71.9	26
Parete D	69.3	14
Soffitto	72.8	32
Pavimento	61.2	2
Lp,calcolato TOTALE	77.8	100
Lp, misurato	79.6	

Tab.1 – Livelli di pressione calcolati per i singoli elementi e loro percentuale di incidenza

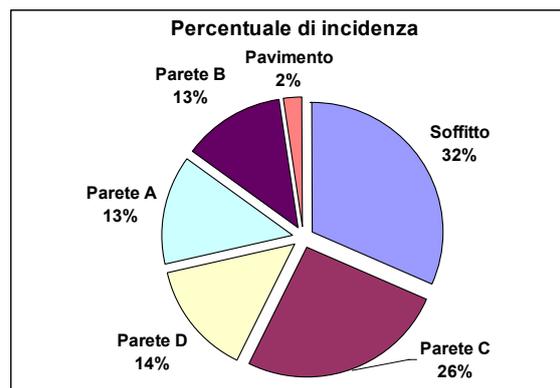


Fig.3 – Percentuale di incidenza dei singoli elementi architettonici nella determinazione del livello di potenza complessivo

Nel grafico di Figura 4 si confronta lo spettro del livello di pressione sonora stimato con il calcolo e quello misurato.

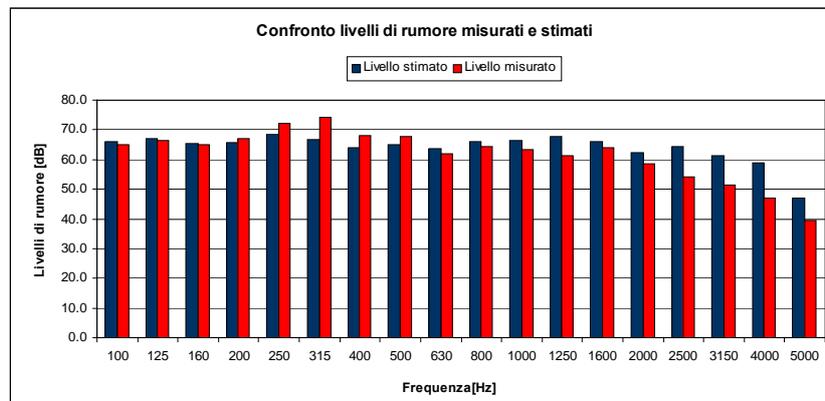


Fig.4 – Confronto fra lo spettro del rumore misurato al centro della stanza ed il livello di pressione complessivo stimato a partire dalla misura dei livelli di accelerazione dei singoli elementi

Si calcola un livello di rumore nel locale pari a 77.8 dB contro un valore misurato di 79.2 dB.

Le differenze dei livelli per bande di terzi d'ottava tra rumore misurato e calcolato sono da imputarsi a numerosi fattori d'influenza.

In primo luogo è stato supposto un fattore di irraggiamento unitario per ciascuna parete e per ciascuna frequenza. In realtà σ è funzione della frequenza ed è legata alle frequenze di coincidenza dei modi di vibrazione: principalmente alla frequenza critica f_c .

In secondo luogo l'andamento di σ con la frequenza è legato ai modi di vibrazione delle pareti e del soffitto ed alla presenza di discontinuità quali porte, finestre etc.

In linea teorica il fattore di irraggiamento dipende dalla potenza sonora irradiata dall'elemento A di parete, dall'impedenza caratteristica dell'aria e dal modulo della velocità al quadrato mediata nei diversi punti di misura sulla superficie A.

$$(4) \quad \sigma = \frac{P_{rad}}{\rho c A \langle |\bar{v}|^2 \rangle}$$

In mancanza di valori misurati in laboratorio per gli elementi che costituiscono l'involucro della stanza, si può procedere ad una prima stima teorica calcolando la frequenza critica per ciascuna parete.

Nel caso in studio, le tipologie delle pareti sono due: la prima costituita da un tavolato semplice per il quale si calcola una frequenza critica di circa 400 Hz; la seconda costituita da un doppio tavolato con interposto isolante termoacustico per il quale si calcola una frequenza critica di circa 250 Hz.

L'efficienza di irraggiamento σ utilizzata per il calcolo è riportata nel grafico di figura 5.

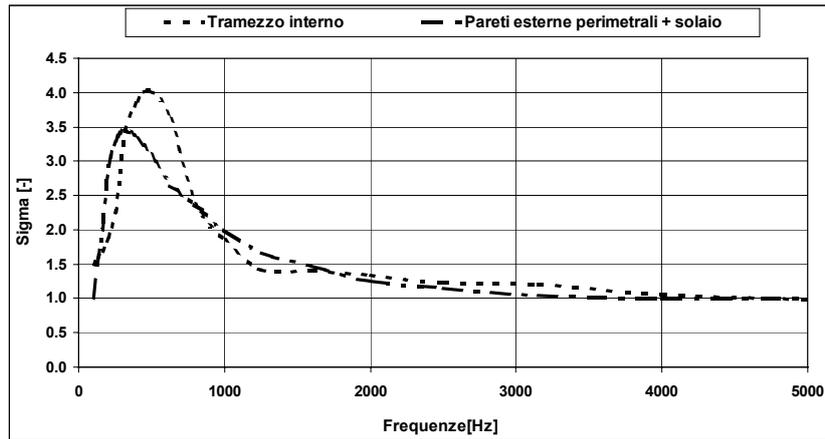


Figura 5 – andamento del coefficiente di irraggiamento stimato per le pareti perimetrali ritenute omogenee senza la presenza di porta e finestra

Come si può rilevare dal grafico di Figura 5 l'efficienza di irraggiamento è molto contenuta sotto la frequenza critica. Per queste frequenze essa è molto limitata. Presenta un massimo in corrispondenza della frequenza di coincidenza (in questa banda di frequenze l'irraggiamento dell'energia sonora è elevato e l'efficienza supera l'unità). L'efficienza, pur assumendo valori maggiori di 1, scende asintoticamente verso l'unità per valori di frequenze più elevati.

La correzione apportata al calcolo del livello previsto nella stanza, tenendo conto dell'efficienza di irraggiamento σ , fornisce il seguente valore di pressione sonora. Livello di pressione sonora stimato $L_p = 80.1$ dB contro il livello di 79.2 dB misurato.

Frequenza	Livello stimato con $\sigma = 1$	Livello misurato	σ tramezzi interni	σ pareti perimetrali + solai	Livello immesso dalle vibrazioni su ciascuna parete con efficienza stimata							Livello stimato globale
					A	B	C	D	Soffitto	Pavimento		
[Hz]	[dB]	[dB]			[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	
100	65.9	65.2	1.49	1.00	61.3	57.6	57.9	60.8	60.6	54.2	67.1	
125	67.0	66.4	1.59	1.50	57.1	64.8	62.1	55.6	60.7	55.1	68.5	
160	65.3	64.9	1.69	2.00	57.3	60.0	62.6	60.1	58.5	51.6	67.2	
200	65.6	67.0	1.89	2.93	58.7	60.6	64.1	58.5	61.6	52.8	68.3	
250	68.4	72.1	2.26	3.30	58.6	61.4	68.6	62.9	64.0	56.1	71.5	
315	66.8	74.3	3.45	3.45	61.7	61.4	65.2	64.0	62.0	56.3	70.3	
400	63.9	68.0	3.87	3.33	58.9	58.5	62.5	59.3	60.7	52.3	67.4	
500	65.0	67.9	4.02	3.10	59.5	57.4	62.4	62.6	62.5	51.5	68.4	
630	63.8	62.1	3.61	2.65	59.3	58.5	58.8	61.1	60.6	49.3	66.9	
800	65.9	64.5	2.37	2.36	58.9	59.7	61.1	58.0	64.8	49.9	68.3	
1000	66.4	63.4	1.85	2.00	60.7	60.0	60.6	59.2	64.2	46.7	68.4	
1250	67.6	61.4	1.42	1.68	63.2	56.4	62.9	60.1	64.3	44.4	69.2	
1600	66.1	64.1	1.41	1.48	60.6	52.1	62.4	56.8	63.4	41.4	67.6	
2000	62.2	58.7	1.34	1.27	52.2	45.9	53.8	54.2	61.8	34.3	63.5	
2500	64.2	54.1	1.24	1.16	48.2	48.5	52.4	49.2	64.9	28.6	65.4	
3150	61.4	51.5	1.21	1.05	48.0	46.4	48.9	43.6	61.9	28.4	62.5	
4000	58.8	47.1	1.07	1.00	41.9	37.1	44.1	39.1	59.5	20.7	59.8	
5000	47.1	39.3	1.00	1.00	32.9	28.0	31.7	28.5	47.8	11.1	48.1	
Summ lin	77.8	79.2									80.1	

Figura 6 – confronto fra il livello misurato, il livello stimato con il calcolo tenendo conto dell'efficienza di irraggiamento σ

4. Calcolo dell'efficienza di irraggiamento attraverso la misura della potenza e della velocità di vibrazione della parete

Se in linea di principio l'efficienza di irraggiamento di un divisorio dovrebbe essere misurata in laboratorio a seguito della misura del potere fonoisolante eccitando le vibra-

zioni con appositi dispositivi meccanici, in pratica l'efficienza di irraggiamento può essere misurata in opera attraverso misure specifiche della potenza sonora irradiata e della velocità media di vibrazione.

La misura della potenza sonora P_{rad} irradiata può essere misurata con un intensimetro e sonda di tipo p-p.

La velocità di vibrazione della parete può essere misurata con un accelerometro di volta in volta spostato in diversi punti. Nel caso in esame l'eccitazione della parete è stata indotta dall'impiego della macchina di calpestio. Si rileva, mediante sonda intensimetrica p-p, la potenza sonora irradiata dalla parete omogenea "A" e, mediante l'accelerometro, si misura la velocità di vibrazione media e, quindi $\langle |v|^2 \rangle$.

Le condizioni in opera sono decisamente diverse da quelle di laboratorio se non altro per la presenza del rumore generato dalle vibrazioni delle altre pareti. I rilievi sono stati effettuati ponendo la sonda a 1 cm, a 10 cm e a 30 cm di distanza dalla parete. La componente perpendicolare della velocità di vibrazione è stata misurata con l'accelerometro. Per limitare l'errore di misura occorrerebbe eseguire un numero significativo di misurazioni su tutta la parete. A titolo esemplificativo si riporta la misura dell'efficienza di irraggiamento utilizzando i valori rilevati al centro della parete stessa.

La misura della intensità ad 1 cm di distanza dalla parete è stata utilizzata anche per determinare indirettamente la velocità di vibrazione della parete stessa attraverso la misura degli autospettri dei segnali microfonicici e la parte reale dello spettro mutuo tra i microfoni.

Nella Figura 7 si riportano i valori della efficienza di irradiazione calcolata con la sonda posta a 10 cm di distanza dalla parete utilizzando i valori della velocità di vibrazione misurati con la sonda intensimetrica.

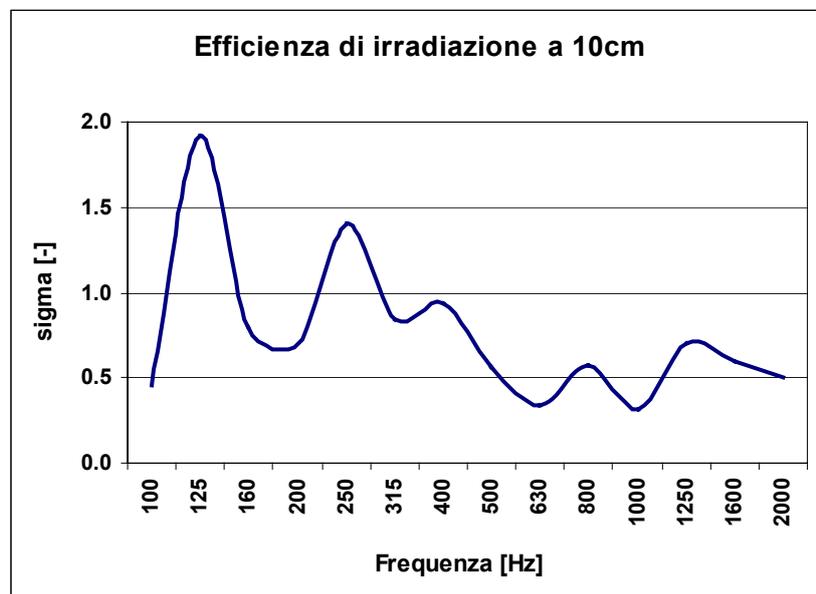


Figura 7 – efficienza di irradiazione calcolata con la sonda posta a 10 cm di distanza

5. CONCLUSIONI

La quantificazione del livello di rumore per effetto delle vibrazioni indotte sulle pareti può essere stimata con il calcolo se è noto il livello della velocità di vibrazione media sulle pareti stesse. Si utilizza la relazione (1). Si può separare il contributo alla rumorosità totale nella stanza dei diversi elementi edilizi (pareti, pavimento, finestre etc.). Da questa separazione si può determinare la percentuale di incidenza del rumore irradiato da ciascun elemento edilizio. Questa tecnica consente di valutare l'irraggiamento di superfici deboli quali ad esempio il tamponamento del vano del cassetto, strutture vetrate etc.

Per il calcolo della percentuale di emissione di ciascun elemento deve essere nota l'efficienza di irraggiamento che teoricamente assume valori prossimi all'unità per frequenze superiori alla frequenza critica. Assume valori inferiori all'unità alle frequenze inferiori alla frequenza critica, è superiore all'unità alla frequenza critica.

Se si assume una efficienza di radiazione unitaria su tutte le frequenze (da 100 a 5000 Hz) il calcolo sottostima il valore misurato di 1.4 dB.

Se si utilizza una efficienza di radiazione teorica (Figura 5) l'errore cambia di segno e sovrastima di 0.9 dB quello misurato. Se è richiesta la valutazione in termini di dB(A) l'errore di stima cambia in quanto è legato allo spettro indotto dalla particolare sorgente di vibrazione.

Si può determinare in opera l'efficienza di radiazione mediante la misura della potenza sonora irradiata da singole superfici che costituiscono l'intero divisorio (intensità acustica su una griglia sufficientemente fitta) e dalla misura della velocità, con accelerometro dell'elemento di parete considerato. La misura con accelerometro può essere sostituita dalla misura della velocità delle particelle dell'aria prossime alla parete (1 cm) mediante sonda intensimetrica p-p. Si suppone in questo caso, che la velocità di vibrazione delle particelle dell'aria a contatto con l'interfaccia aria-solido sia la stessa della superficie solida.

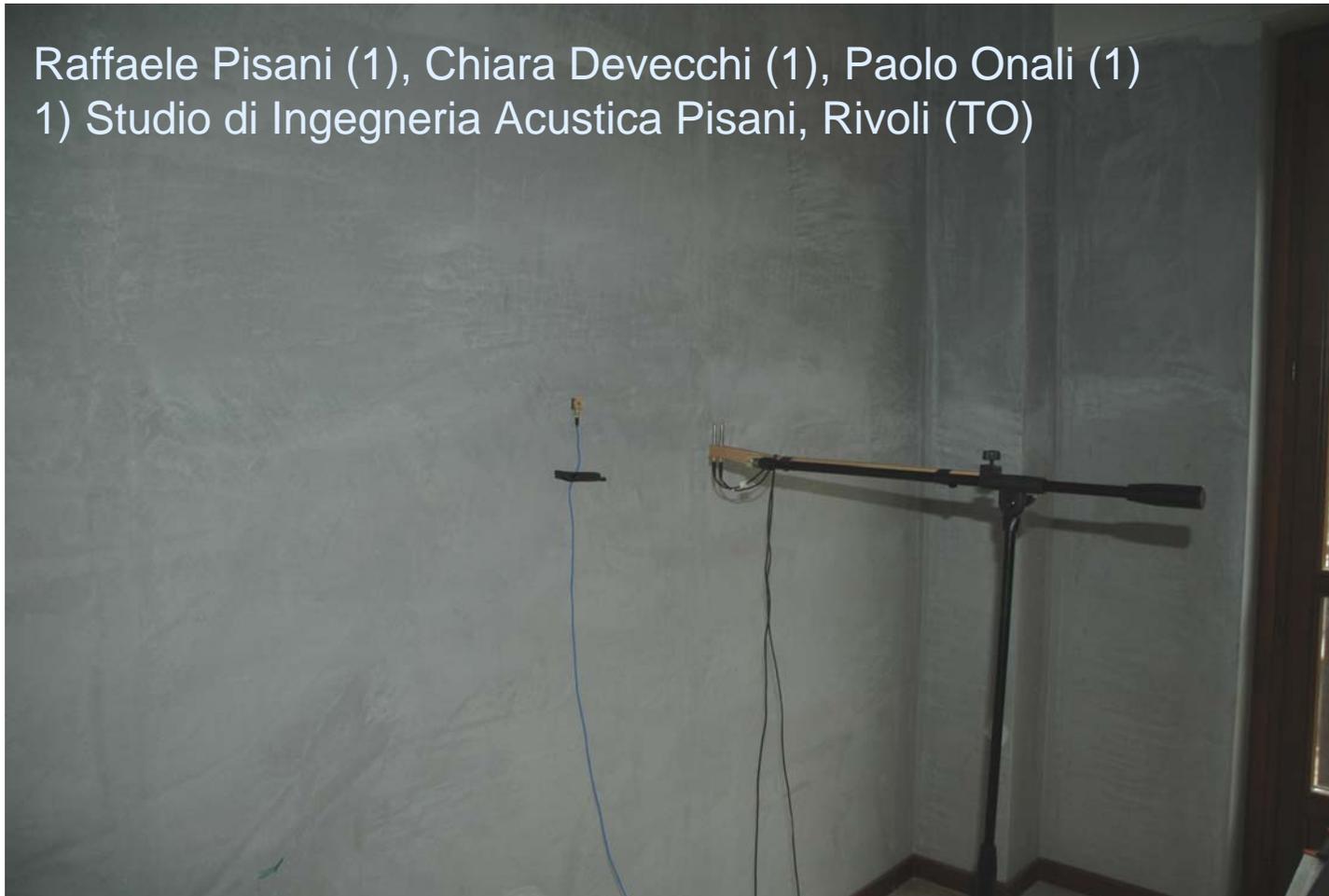
6. Bibliografia

- [1] Fahy F.J., *Sound Intensity*, Elsevier Applied Science, Barking, Essex, 1989.
- [2] ISO/TC 43/SC 2 1982, *Acoustics – Sound radiation efficiency of materiale used ships*.
- [3] Pisani R., *Appunti di intensimetria acustica*, dal Corso tenuto presso Enel, Torino, 1992.

PRESENTAZIONE

La trasmissione del rumore per via strutturale all' interno delle abitazioni

Raffaele Pisani (1), Chiara Devecchi (1), Paolo Onali (1)
1) Studio di Ingegneria Acustica Pisani, Rivoli (TO)

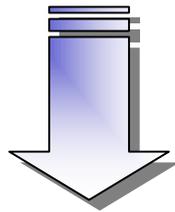


Il rumore può essere trasmesso all'interno degli spazi abitativi, oltre che per via aerea (finestre, porte, etc.), anche per via strutturale, attraverso le vibrazioni (traffico stradale, ferroviario, tramviario).

Altre fonti di rumore sono gli impianti tecnologici, presenti all'interno di un fabbricato (pompe, ascensori etc.). Le vibrazioni da esse generate si propagano per via solida nelle singole stanze del fabbricato.

In pratica può non essere sufficiente migliorare il potere fonoisolante dei divisori e dei serramenti, in quanto buona parte dell'energia sonora è trasmessa all'interno per vibrazione dei componenti edilizi.

Può essere utile quantificare l'aliquota di energia sonora trasmessa per via solida da quella trasmessa per via aerea



Si descrive un criterio per quantificare il rumore trasmesso per via strutturale. Tale stima può essere realizzata attraverso misure di vibrazioni delle pareti della stanza.

Il livello di pressione sonora all'interno della stanza, può essere calcolato attraverso la misura dei livelli di accelerazione misurati sulle pareti, pavimento e soffitto.

$$L_p = L_a - 20 \text{Log} f + 44 + 10 \text{Log} \sigma + 10 \text{Log} \frac{S}{A} - 10 \text{Log} \left(1 + \frac{F\lambda}{8V} \right) - 27,6 \quad [\text{dB}]$$

L_p Livello di pressione sonora medio all'interno della stanza; dB

L_a Livello di accelerazione medio misurato sulla parete; dB

S Superficie della parete dove è misurato il livello di accelerazione medio [m^2];

V Volume della stanza [m^3];

F Superficie della stanza dove si esegue il calcolo del livello di pressione [m^2];

A Area equivalente di assorbimento acustico della camera [m^2];

λ Lunghezza d'onda del suono. [m]

Σ Coefficiente di irraggiamento delle pareti

Il coefficiente di irraggiamento delle pareti (σ), è legato allo spessore e al materiale delle pareti (frequenza critica f_c), al modo di vibrazione ed alla frequenza

Il coefficiente di irraggiamento delle pareti (σ), è legato allo spessore e al materiale delle pareti (frequenza critica f_c), al modo di vibrazione della partizione ed alla frequenza

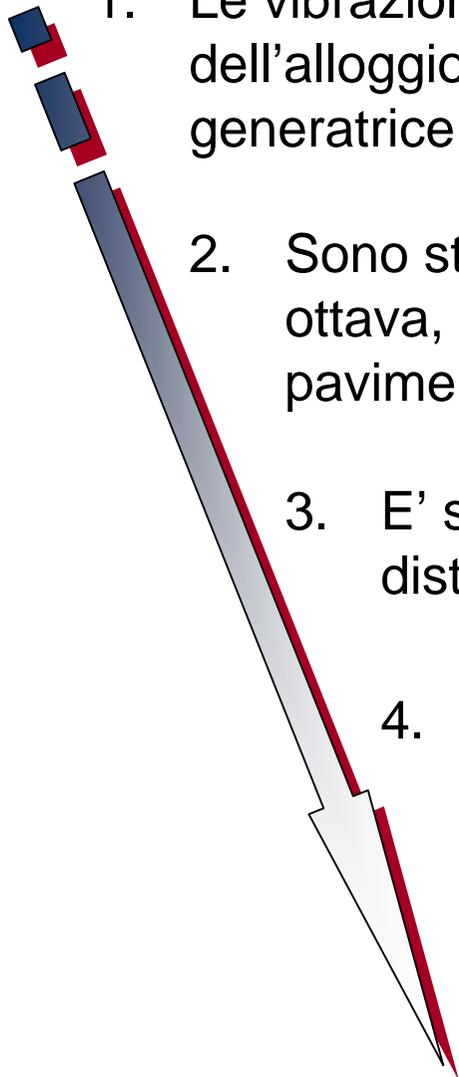
Il coefficiente σ di una parete dovrebbe essere misurato in camera riverberante secondo la norma NT ACOU 033.

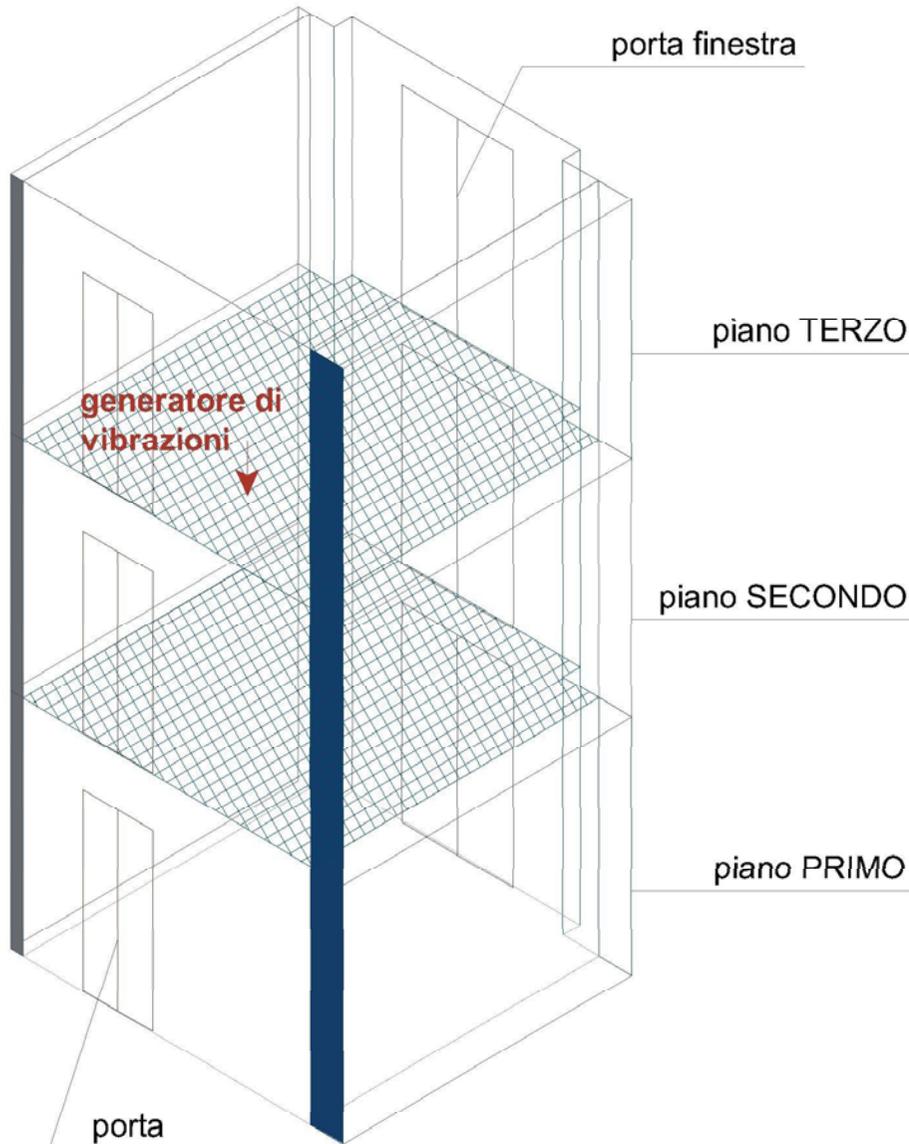
$$10\text{Log}\sigma = L_p - L_v - 10\text{Log}\frac{S}{A} + 10\text{Log}\left(1 + \frac{F\lambda}{8V}\right) + 27.6$$

Il livello di velocità di vibrazione L_v può essere desunto dal livello di accelerazione con la relazione

$$L_v = L_a - 20 \cdot \text{Log}f + 44 \quad [\text{dB}]$$

Applicazione pratica del metodo

- 
1. Le vibrazioni sono state immesse sul pavimento dell'alloggio soprastante mediante macchina generatrice di calpestio.
 2. Sono stati misurati gli spettri, per bande di terzi di ottava, delle accelerazioni sulle pareti, sul pavimento e sul soffitto dell'alloggio sottostante.
 3. E' stata misurata l'intensità acustica a breve distanza dalle pareti (10 cm) mediante sonda p-p.
 4. E' stata misurata l'intensità acustica irradiata attraverso la misura della velocità di vibrazione della parete e livello sonoro a 10 cm di distanza.
 5. E' stato misurato il livello di pressione sonora all'interno della stanza.



Volume = 31.5 m³

Superficie soffitto = 13 m²

Superficie pavimento = 13 m²

Superficie parete A = 10 m²

Superficie parete B = 10 m²

Superficie parete C = 9.5 m²

Superficie parete D = 9.5 m²

Superficie totale della stanza F = 65 m²

Parete A e C tavolato in mattoni forati intonacati da ambo i lati spessore 12 cm

Parete B e D doppio tavolato da 12cm.

Intercapedine con materiale termoisolante

Livelli di accelerazione medi misurati

Parete A: ac=109.4 dB

Parete B: ac=105.6 dB

Parete C: ac=110.8 dB

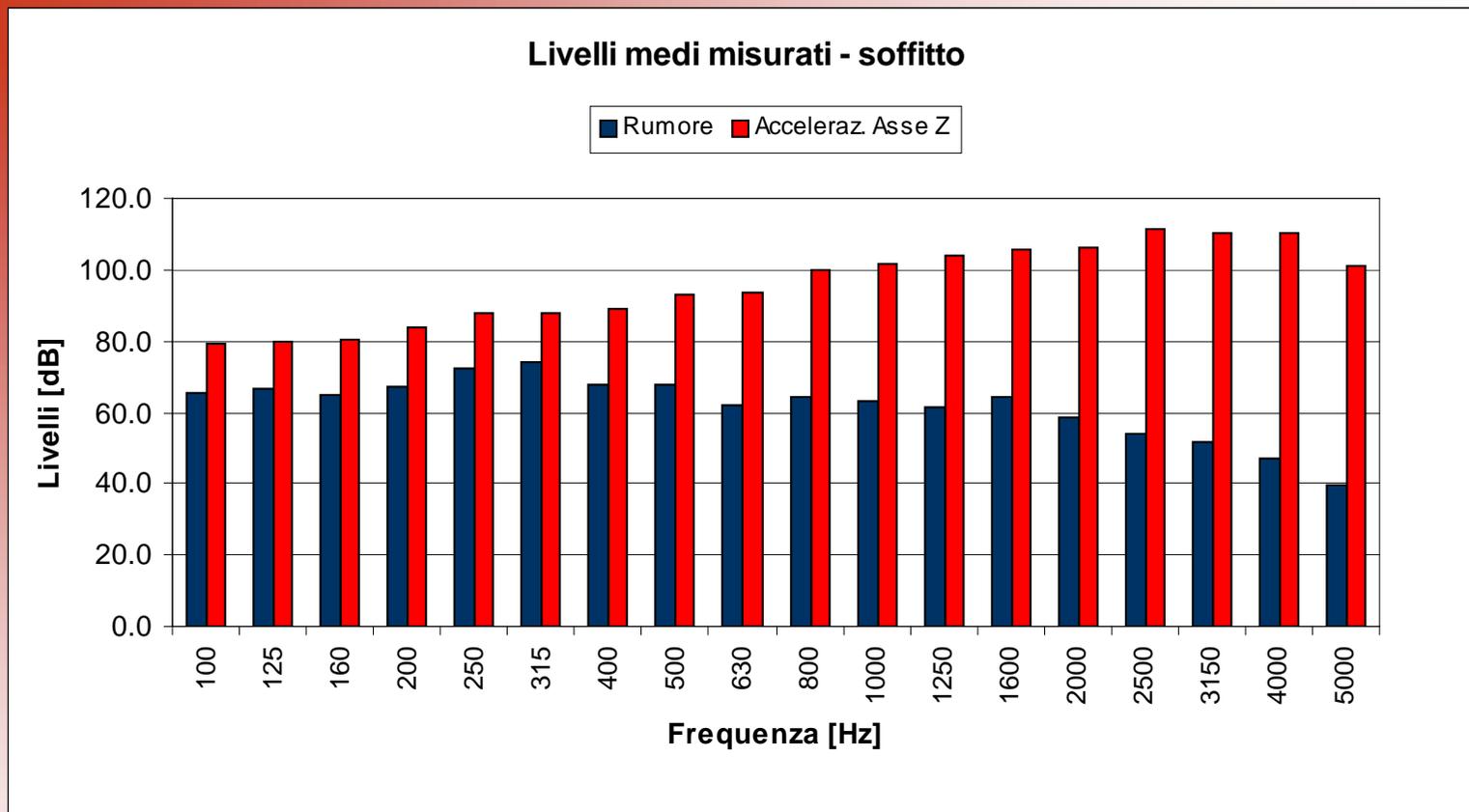
Parete D: ac=107.8 dB

Parete soffitto: ac=117.1 dB

Parete pavimento: ac=93.7 dB

Livello di pressione sonora misurato Leq = 79.6 dB

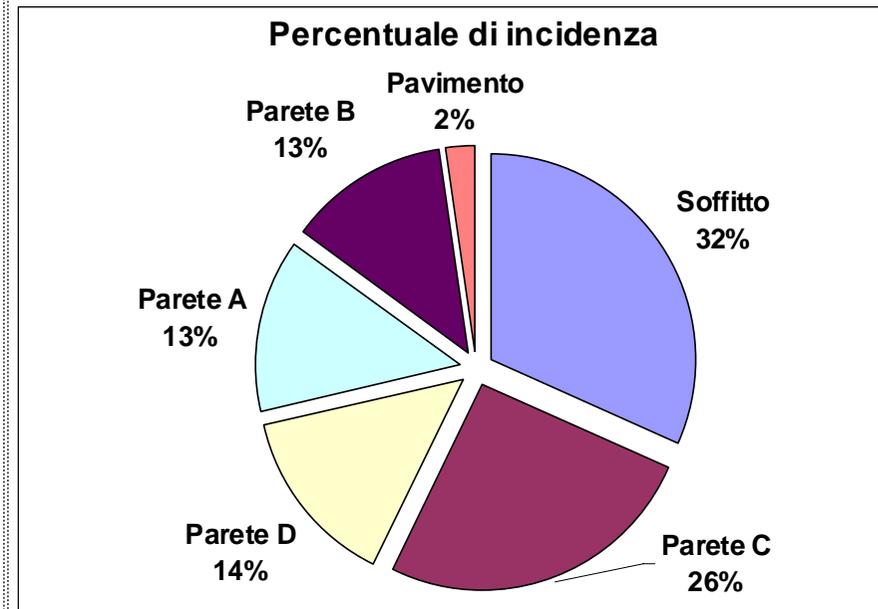
Tempo di riverberazione a 1000Hz RT60 = 1s



Confronto fra lo spettro di rumore misurato e lo spettro di accelerazione medio misurato in corrispondenza del soffitto

	Lp, calcolato	Percentuale di incidenza
	[dB]	[%]
Parete A	69.1	13
Parete B	68.9	13
Parete C	71.9	26
Parete D	69.3	14
Soffitto	72.8	32
Pavimento	61.2	2
Lp,calcolato TOTALE	77.8	100
Lp, misurato	79.6	

Livelli di pressione sonora, calcolati attraverso le vibrazioni rilevate per i singoli elementi e loro percentuale di incidenza sul rumore complessivo all'interno della stanza



Percentuale di incidenza dei singoli elementi architettonici nella determinazione del livello di potenza complessiva irradiata

Il fattore di efficienza

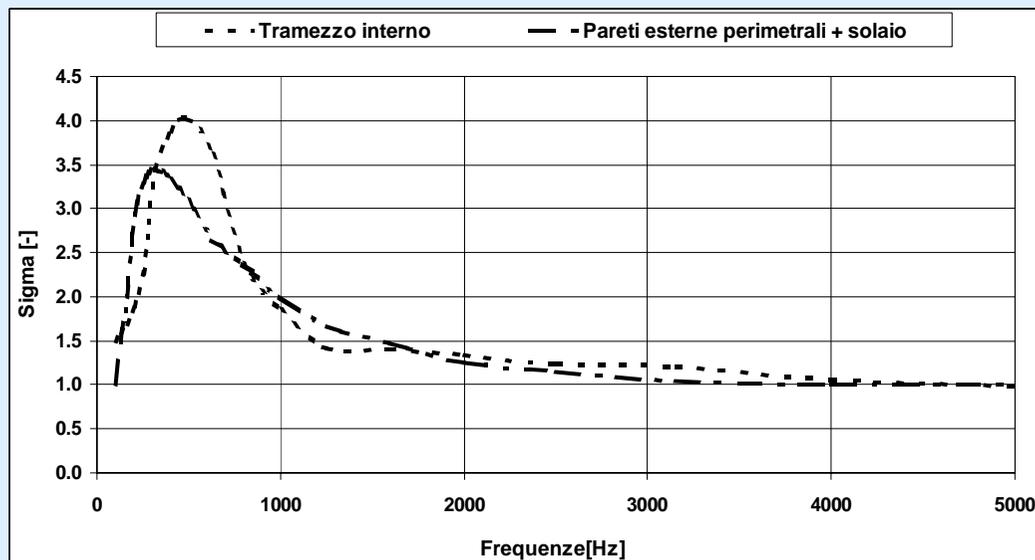
In linea teorica il fattore di irraggiamento dipende dalla potenza sonora irradiata dall'elemento A di parete, dall'impedenza caratteristica dell'aria e dal modulo della velocità al quadrato mediata nei diversi punti di misura sulla superficie A

$$\sigma = \frac{P_{rad}}{\rho c A \langle |\bar{v}|^2 \rangle}$$

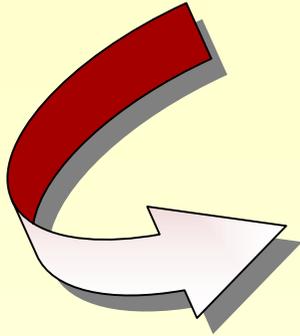
Il fattore di efficienza

Nel caso in studio, le tipologie delle pareti sono due: la prima costituita da un tavolato semplice per il quale si calcola una frequenza critica di circa 400 Hz; la seconda costituita da un doppio tavolato con interposto isolante termoacustico per il quale si calcola una frequenza critica di circa 250 Hz.

L'efficienza di irraggiamento σ utilizzata per il calcolo è riportata nel grafico di figura



andamento del coefficiente di irraggiamento stimato per le pareti perimetrali ritenute omogenee senza la presenza di porta e finestra



La correzione apportata al calcolo del livello previsto nella stanza, tenendo conto dell'efficienza di irraggiamento σ , fornisce il seguente valore di pressione sonora

Livello di pressione sonora stimato $L_p = 80.1$ dB
contro il livello di 79.2 dB misurato

Calcolo dell'efficienza di irraggiamento attraverso la misura della potenza e della velocità di vibrazione della parete

l'efficienza di irraggiamento può essere misurata in opera attraverso misure specifiche della potenza sonora irradiata e della velocità media di vibrazione

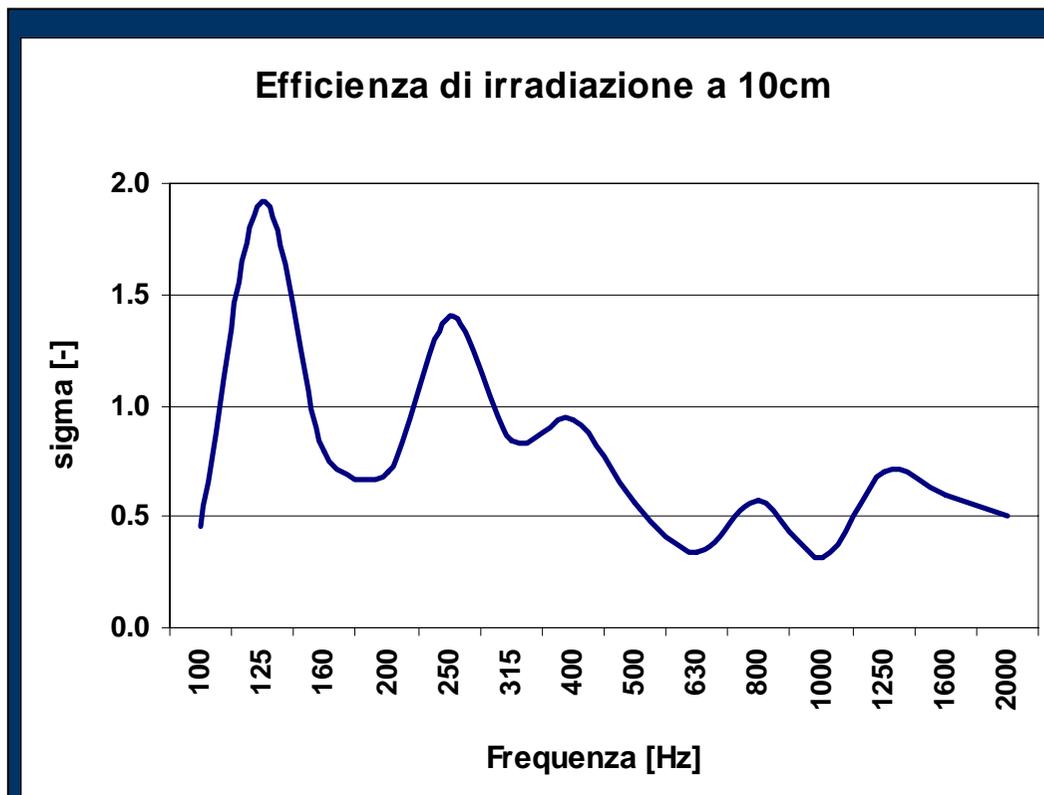
$$\sigma = \frac{P_{rad}}{\rho c A \langle |\bar{v}|^2 \rangle}$$

La misura della potenza sonora P_{rad} irradiata può essere misurata con un intensimetro e sonda di tipo p-p.

La velocità di vibrazione della parete può essere misurata con un accelerometro di volta in volta spostato in diversi punti

Si rileva, mediante sonda intensimetrica p-p, la potenza sonora irradiata dalla parete omogenea "A" e, mediante l'accelerometro, si misura la velocità di vibrazione media e, quindi $\langle |\bar{v}|^2 \rangle$

Si riportano i valori della efficienza di irradiazione calcolata con la sonda posta a 10 cm di distanza dalla parete utilizzando i valori della velocità di vibrazione misurati con la sonda intensimetrica

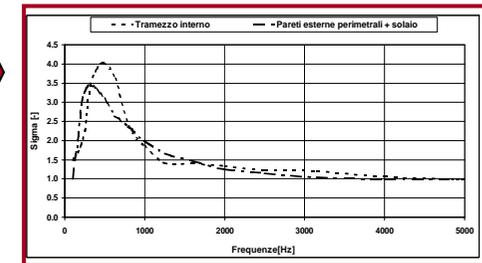


efficienza di irradiazione calcolata con la sonda posta a 10 cm di distanza

CONCLUSIONI

Se si assume una efficienza di radiazione unitaria su tutte le frequenze (da 100 a 5000 Hz) il calcolo sottostima il valore misurato di 1.4 dB.

Se si utilizza una efficienza di radiazione teorica, l'errore cambia di segno e sovrastima di 0.9 dB quello misurato.



Si può determinare, in opera, l'efficienza di radiazione mediante la misura della potenza sonora irradiata da singole superfici che costituiscono l'intero divisorio (intensità acustica su una griglia sufficientemente fitta) e dalla misura della velocità, con accelerometro dell'elemento di parete considerato. La misura con accelerometro può essere sostituita dalla misura della velocità delle particelle dell'aria prossime alla parete (1 cm) mediante sonda intensimetrica p-p. Si suppone, in questo caso, che la velocità di vibrazione delle particelle dell'aria a contatto con l'interfaccia aria-solido sia la stessa della superficie solida.

CONCLUSIONI

Se si assume una efficienza di radiazione stimata con le misure di intensità, su tutte le frequenze (da 100 a 5000 Hz), l'errore di stima si riduce a 0.5 dB.

