

Michele Pascali

ACUSTICA AMBIENTI INTERNI

PROPAGAZIONE ED ATTENUAZIONE DEL RUMORE, ISOLAMENTO E DISINQUINAMENTO

- Propagazione in ambienti chiusi o confinati,
per via aerea e strutturale attraverso divisori
- Progettazione degli ambienti e isolamento dalle vibrazioni
- Isolamento acustico degli edifici e requisiti acustici passivi
- Classificazione acustica delle unità immobiliari (UNI 11367:2010)



CD-ROM INCLUSO

MODULISTICA, RELAZIONE TIPO D.P.C.M. 215/1999,
DOCUMENTI RELATIVI AI REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI

SECONDA EDIZIONE


GRAFILL

Michele Pascali

ACUSTICA AMBIENTI INTERNI

ISBN 13 978-88-8207-433-3

EAN 9 788882 074333

Manuali, 102

Seconda edizione, maggio 2011

Pascali, Michele <1951->

Acustica ambienti interni / Michele Pascali. – 2. ed. – Palermo :

Grafill, 2011

(Manuali ; 102)

ISBN 978-88-8207-433-3

1. Acustica architettonica.

620.25 CDD-22

SBN Pal0234020

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

*Il disegno di copertina è stato in parte realizzato
nell'ambito di uno stage presso la Grafill S.r.l.*

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di maggio 2011

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

A mia moglie

INDICE

PREMESSA	p.	11
1. PROPAGAZIONE DEL RUMORE AEREO ALL'INTERNO DI AMBIENTI CHIUSI O CONFINATI	"	13
1.1. Introduzione	"	13
1.2. Propagazione del suono in ambiente chiuso, dovuto a una sorgente funzionante al suo interno	"	14
1.2.1. Livello di pressione sonora in un ambiente chiuso completamente assorbente (campo sonoro diretto)	"	15
1.2.2. L'assorbimento acustico	"	17
1.2.3. Fenomeni acustici negli ambienti chiusi	"	20
1.2.4. Tempo di riverberazione e la formula di Sabine	"	35
1.2.5. L'assorbimento acustico dell'aria	"	40
1.2.6. Livelli sonori in uffici a pianta aperta (senza divisori) open space	"	42
1.3. La propagazione sonora in un condotto	"	45
2. MATERIALI FONOASSORBENTI	"	51
2.1. I materiali fonoassorbenti	"	51
2.1.1. Materiali assorbenti per porosità (medie/alte frequenze) .	"	51
2.1.2. Materiali assorbenti per risonanza di cavità (medie frequenze)	"	60
2.1.3. Materiale assorbente per risonanza di membrana	"	65
3. LA PROGETTAZIONE ACUSTICA DEGLI AMBIENTI: TRATTAMENTI DI FONOASSORBIMENTO	"	69
3.1. Criteri generali per la progettazione acustica dei locali dal punto di vista dell'assorbimento acustico	"	69
3.1.1. Scelta della forma	"	69
3.1.2. Parametri oggettivi per la qualificazione acustica dei locali	"	72
3.1.3. Calcolo delle unità assorbenti	"	75
3.1.4. Disposizione geometrica delle unità assorbenti	"	78

3.2.	La correzione acustica di un ambiente	p.	80
3.2.1.	Metodo teorico	~	82
3.2.2.	Metodo sperimentale	~	96
3.2.3.	Posizionamento dei materiali	~	97
3.3.	Trattamenti di fonoassorbimento degli ambienti di lavoro non industriali in funzione della loro destinazione d'uso	~	98
3.3.1.	Uffici	~	103
3.3.2.	Attività commerciali	~	104
3.3.3.	Ambienti scolastici	~	105
3.3.4.	Strutture sanitarie	~	105
3.4.	Trattamento di fonoassorbimento dei condotti	~	106
4.	PROPAGAZIONE DEL RUMORE PER VIA AEREA ATTRAVERSO DIVISORI	~	109
4.1.	Trasmissione del rumore per via aerea attraverso divisori di locali adiacenti	~	109
4.1.1.	Meccanismo di propagazione dei rumori aerei	~	109
4.1.2.	Potere fonoisolante	~	110
4.1.3.	Potere fonoisolante di divisori semplici: legge della massa, fenomeni di risonanza, effetti di coincidenza	~	115
4.1.4.	Potere fonoisolante di divisori con zone deboli (presenza di finestre, fori, porte, ecc.). (Potere fonoisolante medio)	~	126
4.1.5.	Potere fonoisolante di divisori doppi	~	128
4.2.	Trasmissione del rumore per via aerea attraverso divisori dall'interno verso l'ambiente esterno	~	132
4.3.	Isolamento acustico per rumori aerei	~	134
5.	TRASMISSIONE DEL RUMORE PER VIA STRUTTURALE (RUMORI IMPATTIVI)	~	137
5.1.	Generalità	~	137
5.2.	Livello di rumore di calpestio	~	140
5.3.	Attenuazione del rumore di calpestio	~	141
5.3.1.	Pavimentazione elastica	~	143
5.3.2.	Pavimento galleggiante	~	147
5.3.3.	Controsoffitto elasticamente sospeso	~	151
6.	LA PROGETTAZIONE ACUSTICA DEGLI AMBIENTI: TRATTAMENTI DI FONOIOLAMENTO	~	153
6.1.	Introduzione	~	153
6.2.	Riduzione della trasmissione del rumore tra ambienti	~	153

6.2.1.	Interventi per limitare la trasmissione diretta e indiretta e ottenere un buon isolamento	p.	154
6.2.2.	Struttura ad elevato potere fonoisolante	"	167
6.2.3.	Criteri per una corretta progettazione acustica dei locali di pubblico spettacolo (comprese le multisale) dal punto di vista dell'isolamento acustico.....	"	168
6.3.	Riduzione del rumore per mezzo di cappe di rivestimento.....	"	194
6.4.	Influenza degli impianti sull'acustica degli edifici	"	196
6.4.1.	Impianti di riscaldamento	"	197
6.4.2.	Impianti di condizionamento e di refrigerazione.....	"	198
6.4.3.	Impianti idrici di alimentazione e scarico	"	200
6.4.4.	Impianti di sollevamento (ascensori).....	"	201
6.4.5.	Impianti elettrici	"	203
6.5.	Isolamento delle vibrazioni	"	203
6.5.1.	Sistemi oscillanti	"	205
6.5.2.	Trasmissione delle vibrazioni e loro attenuazione.....	"	209
6.5.3.	Elementi per realizzare l'isolamento e lo smorzamento vibrazionale	"	217
6.5.4.	Dispositivi particolari.....	"	235
6.5.5.	Collegamenti elastici.....	"	236
6.5.6.	La misura delle vibrazioni	"	236
7.	L'ISOLAMENTO ACUSTICO DEGLI EDIFICI – I REQUISITI ACUSTICI PASSIVI – LA CLASSIFICAZIONE ACUSTICA	"	239
7.1.	I requisiti acustici passivi degli edifici e alcune considerazioni relative al D.P.C.M. 5 dicembre 1997	"	239
7.2.	Classificazione acustica delle unità immobiliari	"	247
7.2.1.	I punti salienti della norma UNI 11367:2010 "Classificazione acustica delle unità immobiliari"	"	247
7.2.2.	Procedura per la classificazione acustica.....	"	251
7.2.3.	Criticità e pregi della norma UNI 11367:2010	"	258
7.3.	Gli indici di valutazione	"	262
7.4.	Modelli di calcolo previsionali (UNI EN 12354-1-2-3:2002 e/o Rapporto Tecnico UNI/TR 11175:2005)	"	266
7.4.1.	Isolamento a suoni aerei fra ambienti (UNI EN 12354-1:2002 e/o Rapporto Tecnico UNI/TR 11175:2005)	"	266
7.4.2.	Isolamento a suoni impattivi fra ambienti (UNI EN 12354-2:2002 e/o Rapporto Tecnico UNI/TR 11175:2005)	"	279
7.4.3.	Isolamento a suoni aerei di facciate e intere facciate (UNI EN 12354-3:2002 e/o Rapporto Tecnico UNI/TR 11175:2005)	"	284

7.5.	Misurazione in opera dei requisiti acustici passivi degli edifici (R' , $D_{2m,nT}$, L'_n), UNI EN ISO 140-4:2000 per R' – UNI EN ISO 140-5:2000 per $D_{2m,nT}$ – UNI EN ISO 140-7:2000 per L'_n)	p.	297
7.5.1.	Pareti interne, pavimenti e porte (UNI EN ISO 140-4:2000)	~	298
7.5.2.	Rumori di calpestio di solai (UNI EN ISO 140-7:2000)..	~	301
7.5.3.	Elementi di facciata e intere facciate (UNI EN ISO 140-5:2000)	~	303
7.6.	Aspetti legislativi e normativi relativi alla rumorosità degli impianti tecnologici a servizio degli edifici	~	307
PROCEDURE E MODULISTICA			~ 311
A.	Schemi di indagine per l'ottimizzazione acustica di un ambiente confinato (correzione acustica)	~	311
A1.	Metodo teorico	~	311
A2.	Metodo sperimentale	~	313
A3.	Impiego di software previsionali	~	315
B.	Schema di relazione tecnica ai sensi del D.P.C.M. 16 aprile 1999, n. 215 "Regolamento recante norme per la determinazione dei requisiti acustici delle sorgenti sonore nei luoghi di intrattenimento danzante e di pubblico spettacolo e nei pubblici esercizi"	~	318
B1.	Modello di autocertificazione	~	321
C.	Documentazione da inoltrare al Comune insieme alla richiesta del permesso di costruire o della denuncia di inizio di attività relativa ai requisiti acustici passivi delle partizioni di un edificio e rumore d'impianto.....	~	322
C1.	Modello di dichiarazione del progettista relativo al rispetto dei limiti imposti dalla normativa in vigore per i requisiti acustici passivi degli edifici	~	323
D.	Documentazione di verifica dei requisiti acustici passivi di un edificio e del rumore d'impianto.....	~	324
D1.	Certificato di conformità	~	324
D2.	Prove da eseguirsi in opera.....	~	324
D3.	Modello di certificato di conformità ai requisiti acustici passivi dell'edificio	~	326
E.	Schema tipo per la definizione dell'isolamento vibrazionale (scelta degli antivibranti).....	~	327

GUIDA ALL'INSTALLAZIONE DEI MODELLI SU CD-ROM	p.	331
– Contenuti del CD-ROM allegato	"	331
– Requisiti minimi hardware e software	"	331
– Procedura per la richiesta della password utente	"	331
– Procedura per l'installazione del software	"	332
– Procedura per la registrazione del software	"	332
– Utilizzo del software	"	333
– Procedura per utenti Macintosh	"	333
<i>Installazione del prodotto</i>	"	333
<i>Registrazione del prodotto</i>	"	334
<i>Utilizzo dei modelli</i>	"	334
BIBLIOGRAFIA.....	"	335
– Testi	"	335
– Riviste e Atti di seminari.....	"	335
– Cataloghi e documentazione tecnica ditte produttrici materiali fonoisolanti e fonoassorbenti, strumentazione.....	"	336
– Siti Web	"	336
LICENZA D'USO	"	343
SCHEDA DI REGISTRAZIONE.....	"	344

PREMESSA

La tipologia del rumore negli ambienti confinati e negli edifici è generalmente costituita dal rumore aereo e dal rumore d'impatto.

Il rumore aereo è caratterizzato dal fatto che l'emissione avviene, all'origine, direttamente in aria. Ad esempio possono essere considerati rumori aerei quelli prodotti dalle seguenti sorgenti: voce, radio, TV, elettrodomestici in genere.

Il rumore d'impatto, invece, è dovuto all'eccitazione diretta che si verifica quando due solidi entrano bruscamente in contatto. Gli urti e le vibrazioni che ne derivano si propagano per via solida attraverso i due corpi per poi trasformarsi in rumore aereo. Un esempio in questo caso è costituito dal così detto rumore di calpestio.

Lo scopo principale del testo è quello di fornire una base di conoscenza riguardo agli aspetti teorici e pratici della propagazione del suono e/o rumore negli ambienti chiusi o confinati, di suggerire i tipi di interventi necessari per ridurre, modificare, ostacolare la propagazione del suono e/o rumore e di indicare le soluzioni da adottare per una corretta progettazione acustica, sia dal punto di vista dell'assorbimento, che dell'isolamento acustico.

L'ultima parte è dedicata alla trattazione dei requisiti acustici passivi che gli edifici e parti di essi devono possedere, in relazione a quanto previsto dalla normativa in vigore, e alla classificazione acustica delle unità immobiliari prevista dalla norma UNI 11367:2010.

PROPAGAZIONE DEL RUMORE AEREO ALL'INTERNO DI AMBIENTI CHIUSI O CONFINATI

▼ 1.1. Introduzione

Quando un'onda sonora colpisce una superficie, l'energia sonora incidente viene in parte riflessa, in parte assorbita e in parte trasmessa attraverso la superficie stessa (fig. 1.1.1).

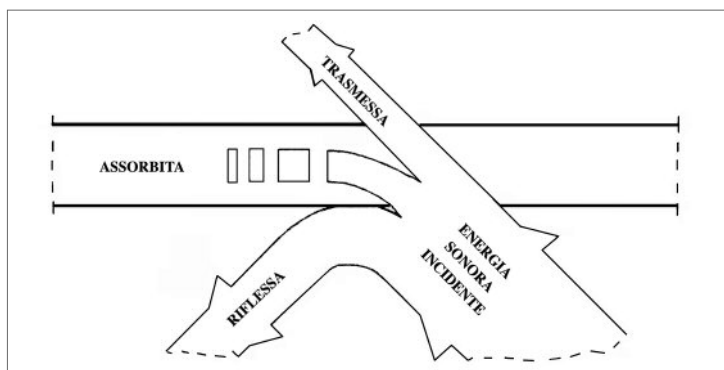


Fig. 1.1.1. Propagazione dell'energia sonora incidente

La parte di energia sonora che viene riflessa dipende dalle caratteristiche di assorbimento acustico della superficie, mentre la parte che viene trasmessa dipende dalle caratteristiche di isolamento acustico del sistema.

In un ambiente chiuso è perciò fondamentale distinguere, con chiarezza, queste due caratteristiche:

- *l'assorbimento acustico* che è l'attitudine delle superfici che lo delimitano a non riflettere i suoni, i relativi coefficienti di assorbimento acustico indicano la frazione di energia sonora non riflessa (essi variano da 0 per le superfici totalmente riflettenti a 1 per le superfici totalmente assorbenti);
- *l'isolamento acustico* che è l'attitudine delle superfici che lo delimitano a non trasmettere suoni ed è rappresentato dall'attenuazione in [dB] che il suono subisce nell'attraversarle.

Sia l'assorbimento acustico che l'isolamento acustico variano in funzione della frequenza del segnale sonoro e quindi vanno analizzati in funzione di essa.

È importante precisare inoltre, che il comportamento acustico di un ambiente dipende dai diversi elementi che lo compongono, la cui scelta, disposizione ed assemblaggio sono qualificanti e condizionanti ai fini del risultato che s'intende conseguire.

Nel presente capitolo viene trattata la propagazione sonora in un ambiente chiuso, le cui dimensioni sono grandi rispetto alla lunghezza d'onda (λ) della più bassa frequenza che interessa, cioè vengono esclusi i piccoli spazi, il cui comportamento nei confronti del suono è oggetto di studio di un particolare settore dell'acustica che riguarda, tra l'altro, i silenziatori e le cavità risonanti.

▼ 1.2. Propagazione del suono in ambiente chiuso, dovuto a una sorgente funzionante al suo interno

La propagazione delle onde sonore all'interno di un ambiente chiuso, oltre che dal tipo di sorgente (S) in esso presente¹, dipende dalle superfici al contorno e dagli oggetti in esso contenuti.

Se un ambiente è costituito da superfici completamente assorbenti, l'energia sonora che perviene al punto di ricezione (R) in condizioni stazionarie, è data esclusivamente da quella direttamente irradiata dalla sorgente (vedi fig. 1.2.1) e il campo sonoro è detto diretto.

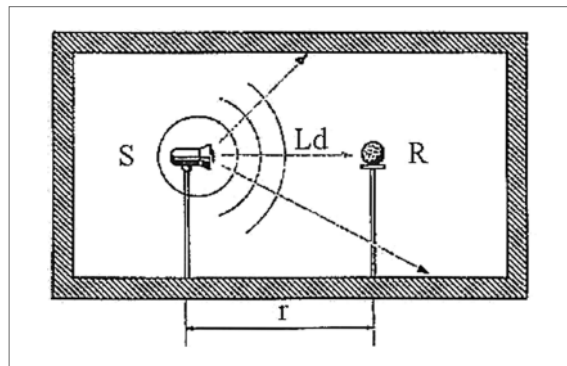


Fig. 1.2.1. *Rappresentazione dell'energia sonora in un ambiente chiuso non riflettente (pareti, soffitto e pavimento completamente assorbenti)*

In generale, però, le superfici di un ambiente riflettono le onde sonore, per cui nel punto di ricezione non arriva solo l'energia irradiata direttamente dalla sorgente, ma, in condizioni stazionarie, gli perviene anche tutta quell'energia acustica irradiata in ogni altra direzione (vedi fig. 1.2.2).

Le onde che raggiungono il punto di ricezione sono di due tipi:

- quelle provenienti direttamente dalla sorgente (L_d) che danno vita a un campo sonoro diretto;
- quelle che arrivano al punto di ricezione dopo aver subito riflessioni semplici (L_{r1}) o multiple (L_{r2}) contro le pareti del locale che danno vita a un campo sonoro riflesso o riverberato.

¹ Omnidirezionale, con direttività, ecc.

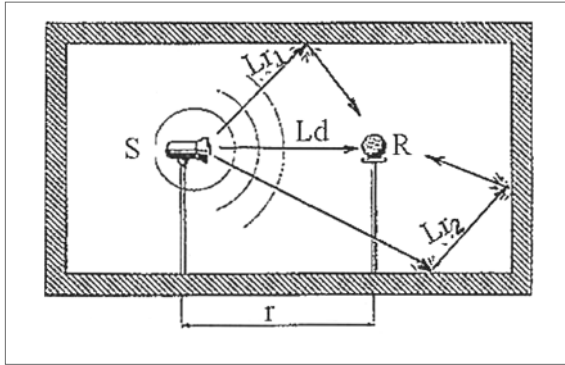


Fig. 1.2.2. *Rappresentazione dell'energia sonora in un ambiente chiuso riflettente*

L'entità di queste ultime dipende dalla natura, finitura e disposizione delle superfici che delimitano l'ambiente, più le pareti sono pesanti e lisce, quindi riflettenti, più queste onde sono numerose e di elevata intensità. In generale, quindi, il campo sonoro presente in un ambiente è dovuto al campo sonoro diretto e al campo sonoro riflesso o riverberato.

Eccetto che nello spazio prossimo alla sorgente, il campo sonoro che generalmente si instaura, a regime, nell'ambiente in condizioni stazionarie, è un campo sonoro uniformemente diffuso.

1.2.1. Livello di pressione sonora in un ambiente chiuso completamente assorbente (campo sonoro diretto)

Nel caso ideale, in cui le superfici che delimitano un ambiente sono completamente assorbenti, la potenza sonora che perviene al punto di ricezione, in condizioni stazionarie, è quella direttamente irradiata dalla sorgente data da:

$$W = \frac{p^2}{\rho c} 4\pi r^2 \tag{1.2.1}$$

dove:

W = potenza sonora [W]

ρ = densità dell'aria $\left[\frac{Kg}{m^3} \right]$

c = velocità del suono $\left[\frac{m}{s} \right]$

r = distanza tra il punto di ricezione e la sorgente [m]

p = pressione sonora $\left[\frac{N}{m^2} \right] = [Pa]$

La relazione che correla il livello di pressione sonora alla distanza r dalla sorgente (L_p) con il livello di potenza sonora della sorgente (L_w) è data da:

$$L_p = L_w + 10 \log \frac{1}{4\pi r^2} \text{ [dB]} \quad (1.2.2)$$

o da:

$$L_p = L_w - 11 - 20 \log r \text{ [dB]} \quad (1.2.3)$$

e ricordando le proprietà dei logaritmi anche da:

$$L_p = L_w - 10 \log 4\pi r^2 \text{ [dB]} \quad (1.2.4)$$

in quanto:

$$10 \log \frac{1}{4\pi r^2} = 10 \log 1 - 10 \log 4\pi r^2 = 0 - 10 \log 4\pi r^2 = -10 \log 4\pi r^2$$

In fig. 1.2.3 si riporta l'andamento di $L_p - L_w$ in funzione della distanza r dalla sorgente. Come si può rilevare dalla sua osservazione se si raddoppia la distanza dalla sorgente si ha una riduzione del livello sonoro di 6 dB.

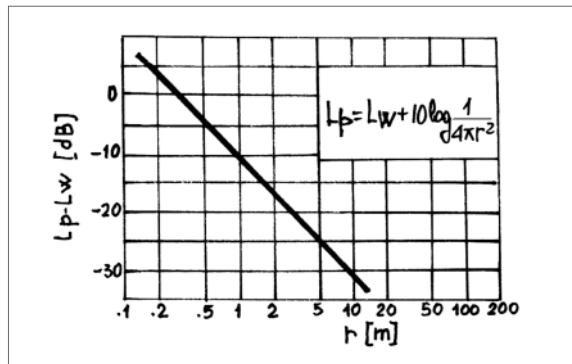


Fig. 1.2.3. Riduzione del livello sonoro con la distanza dalla sorgente

Nel caso in cui la sorgente presenta una direttività, le relazioni precedenti diventano:

$$W = \frac{p^2}{\rho c} \frac{4\pi r^2}{Q} \quad (1.2.1')$$

$$L_p = L_w + 10 \log \frac{Q}{4\pi r^2} \quad (1.2.5)$$

dove Q = fattore di direttività.

Ricordando le proprietà dei logaritmi, la (1.2.5.) si può anche scrivere in questo modo:

$$L_p = L_w - 10 \log 4\pi r^2 + 10 \log Q \text{ [dB]} \quad (1.2.6)$$

e posto $10 \log Q = ID$ "indice di direttività" si ha:

$$Lp = Lw - 10 \log 4\pi r^2 + ID \text{ [dB]} \quad (1.2.7)$$

$$Lp = Lw - 11 - 20 \log r + ID \text{ [dB]} \quad (1.2.8)$$

Se si confrontano queste relazioni con quelle relative alla propagazione del suono in campo libero si rileva che esse risultano identiche.

1.2.2. L'assorbimento acustico

L'assorbimento acustico è l'attitudine di un materiale a dissipare, in qualche modo, l'energia sonora incidente e a far sì che questa non venga completamente riflessa. Per ogni materiale si può definire un coefficiente di assorbimento acustico α dato dal rapporto fra l'energia sonora assorbita (generalmente trasformata in calore) $E_a = W_a \cdot t$ e l'energia totale incidente $E_i = W_i \cdot t$:

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i} = \frac{W_a}{W_i} \quad (1.2.9)$$

dove:

W_a = potenza acustica assorbita [W];

W_i = potenza acustica incidente [W];

t = tempo [s].

Esso è un numero puro variabile fra 0 e 1 ed esattamente è uguale a 0 se l'energia incidente è completamente riflessa e uguale a 1 se è completamente assorbita.

In tab. 1.2.1. sono riportati i coefficienti di assorbimento acustico di alcuni materiali (α_i) e le unità assorbenti ($A_j = S_j \cdot \alpha_j$) di elementi vari aventi superficie S_j , quali arredi, persone, ecc., che possono essere presenti nell'ambiente e che possono assorbire, anche loro, parte dell'energia irradiata dalla sorgente, in funzione della frequenza in bande di ottava nel campo $125 \div 4000$ Hz.

Tab. 1.2.1. Coefficienti di assorbimento acustico di alcuni materiali (α_i) e unità assorbenti di elementi vari ($A_j = S_j \cdot \alpha_j$) in funzione della frequenza

Coefficients di assorbimento acustico di alcuni materiali (α_i)						
Materiale	Coefficients di assorbimento alle frequenze [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Parete in muratura (senza intonaco)	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05	0.07
Parete intonacata	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02
Marmo lucidato	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Lastra di vetro, aderente a parete	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
Pavimento in marmette, o in cemento battuto	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
Parquet di legno, plastificato o lucidato (su solaio rigido)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

(segue)

Coefficienti di assorbimento acustico di alcuni materiali (α_i)						
<i>Materiale</i>	<i>Coefficienti di assorbimento alle frequenze [Hz]</i>					
	125	250	500	1000	2000	4000
Pavimento in legno, su travetti	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.07
Pavimento in linoleum	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04
Pavimento in gomma	0.04	0.04	0.06	0.06	0.08	0.08
Finestra, vetrata (comune)	0.30	0.20	0.15	0.10	0.07	0.04
Vetrata con lastra di vetro di medio spessore (finestra acustica)	0.15	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Bocche di ventilazione, e simili	0.15	0.20	0.30	0.35	0.30	0.20
Tendaggi in cotone (300 g/m ²) a parete, non drappeggianti	0.03	0.05	0.10	0.15	0.25	0.30
Tendaggi di velluto sottile poco drappeggianti	0.08	0.30	0.50	0.50	0.60	0.60
Tendaggi di velluto pesante fortemente drappeggianti	0.50	0.50	0.70	0.90	0.90	0.90
Tappeto sottile	0.05	0.10	0.15	0.20	0.20	0.20
Tappeto pesante	0.10	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30
Intonaco acustico poroso (non verniciato) spessore 15 mm						
<i>minimo</i>	0.02	0.05	0.05	0.10	0.20	0.10
<i>massimo</i>	0.10	0.10	0.30	0.20	0.30	0.20
Lana di vetro o di roccia, a parete secondo lo spessore e il peso proprio						
<i>minimo</i>	0.10	0.40	0.60	0.75	0.80	0.80
<i>massimo</i>	0.30	0.60	0.90	0.90	0.90	0.90
Pannello poroso di fibra di vetro o minerale, bachelizzata, secondo lo spessore e il montaggio:						
<i>minimo</i>	0.10	0.30	0.50	0.60	0.70	0.80
<i>massimo</i>	0.60	0.80	0.90	0.90	0.90	0.90
Feltro soffice, secondo lo spessore (fra 1,2 cm e 5 cm)						
<i>minimo</i>	0.02	0.04	0.01	0.20	0.55	0.90
<i>massimo</i>	0.25	0.35	0.60	0.85	0.90	0.90
Pannello poroso in fibra di legno pressata, a parete	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40
Pannelli in legno o legno compensato con intercapedine fra pannello e parete, secondo lo spessore del pannello e dell'intercapedine:						
<i>minimo</i>	0.20	0.10	0.05	0.03	0.03	0.03
<i>massimo</i>	0.40	0.25	0.15	0.10	0.10	0.05
Soffitto sospeso, in gesso spessore circa 25 mm	0.10	0.08	0.05	0.05	0.04	0.04

(segue)

Coefficients di assorbimento acustico di alcuni materiali (α_i)						
Materiale	Coefficients di assorbimento alle frequenze [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Lamierino di alluminio in strisce sagomato, forato per il 15% della area, con retrostante lana di vetro	0.50	0.75	0.75	0.85	0.75	0.70
Pannello in gesso forato per il 12% dell'area con retrostante lana di vetro	0.40	0.60	0.80	0.60	0.60	0.50
Polistirolo espanso (16 mm)	0.04	0.04	0.04	0.12	0.22	0.20
Unità assorbenti di elementi vari ($A_j = S_j \cdot \alpha_j$)						
Elemento	Unità assorbenti per elemento alla frequenza [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Persona (seduta o in piedi) vestita pesantemente	0.15	0.3	0.5	0.55	0.6	0.5
Orchestra con strumenti su un podio (per ogni elemento)	0.4	0.8	1.0	1.4	1.3	1.7
Sedie di legno	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.05
Sedie di legno occupate da una persona	0.21	0.23	0.37	0.28	0.25	0.25
Sedie ricoperte di velluto	0.1	0.3	0.35	0.45	0.5	0.4
Sedie ricoperte di pelle	0.1	0.25	0.35	0.35	0.2	0.1
Poltrone imbottite	0.3	0.32	0.27	0.30	0.33	0.35

N.B.: i valori in tabella sono stati ottenuti mediando i valori riportati nella letteratura tecnica specializzata. Essi hanno significato di media e servono come orientamento per un progetto di massima. I valori dei coefficienti di assorbimento acustico di specifici materiali in commercio possono variare rispetto a quelli indicati nella tabella e possono essere rilevati dai cataloghi delle ditte produttrici.

Per un ambiente chiuso, vengono definiti, inoltre, il coefficiente di assorbimento acustico medio ($\bar{\alpha}$) dato dalla seguente formula:

$$\bar{\alpha} = \frac{S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + \dots + S_n\alpha_n}{S} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i\alpha_i}{S} \quad (1.2.10)$$

e l'area equivalente di assorbimento (A), data da:

$$A = \bar{\alpha}S = \sum_{i=1}^n S_i\alpha_i \quad [\text{m}^2] \quad (1.2.10')$$

dove:

α_i = coefficiente di assorbimento acustico di ogni superficie del locale;

S_i = superficie i -esima [m^2];

S = superficie totale del locale (pareti, soffitto, pavimento) [m^2].

Al valore del coefficiente di assorbimento acustico medio contribuiscono anche gli oggetti presenti nell'ambiente, come arredi, persone, ecc., quindi occorre tenere conto

dei corrispondenti valori delle unità assorbenti $A_j = S_j \cdot \alpha_j$ dei singoli oggetti, quando presenti, sommandoli al numeratore del secondo membro della (1.2.10).

In tal caso si ha che l'area equivalente di assorbimento (A) è data da:

$$A = \bar{\alpha}S = \sum_{i=1}^n S_i \alpha_i + \sum_{j=1}^K S_j \alpha_j = \sum_{i=1}^n S_i \alpha_i + \sum_{j=1}^K A_j \quad [\text{m}^2] \quad (1.2.10'')$$

1.2.3. Fenomeni acustici negli ambienti chiusi

1.2.3.1. Il fenomeno della riverberazione (campo sonoro riverberante)

Quando una sorgente (S) inizia ad emettere onde sonore all'interno di un ambiente chiuso, si verificano una serie di riflessioni multiple delle onde, dalle quali risulta essenzialmente condizionato il comportamento acustico dell'ambiente (fig. 1.2.4).

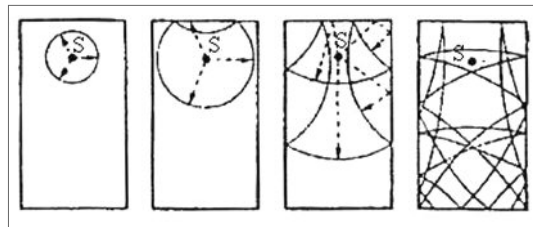


Fig. 1.2.4. *Riflessioni del suono in un ambiente*

Allo scopo di analizzare il fenomeno della riverberazione, si consideri un ambiente di forma parallelepipedica, con le tre dimensioni paragonabili fra loro, nel quale vi sia una sorgente sonora (S), che all'istante $t = 0$ emette un suono di potenza costante W , per un certo tempo t_1 (fig. 1.2.5).

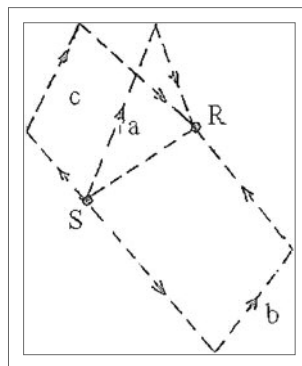


Fig. 1.2.5. *Riflessioni multiple*