

Il fonoassorbimento

Introduzione

In campo acustico si hanno due funzioni fondamentali che possono essere richieste ai materiali: fonoisolamento e fonoassorbimento. Per fonoisolamento propriamente detto si intende l'azione che tende ad impedire la trasmissione del suono che si propaga tra due ambienti, mentre con il termine fonoassorbimento si caratterizza l'azione che tende all'attenuazione della riflessione del suono da parte di corpi rigidi.

Fonoisolamento ed assorbimento acustico si possono conseguire con materiali aventi, per lo più, caratteristiche contrastanti. In generale un materiale con buone caratteristiche fonoassorbenti non sarà un buon materiale fonoisolante. L'assorbimento del suono può essere effettuato attraverso materiali e dispositivi. Si possono utilizzare essenzialmente:

- materiali porosi
- risuonatori
- pannelli vibranti

Proprietà dei materiali

Quando un'onda acustica si propaga in un mezzo elastico una parte dell'energia che la accompagna viene assorbita dal mezzo a causa degli attriti interni. Quando poi incontra una superficie di discontinuità che segna il confine con un mezzo diverso (es. aria e materiale solido) solo una parte dell'energia incidente viene trasmessa, una quota parte viene invece riflessa.

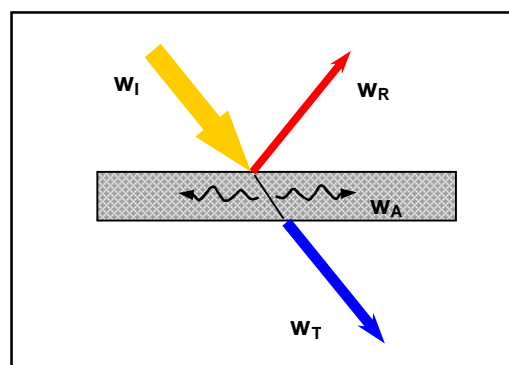


Figura 1. Assorbimento, trasmissione e riflessione di energia acustica.

Scheda di applicazione progettuale 4

Se si considera uno strato di materiale solido come quello rappresentato in figura 1 su cui incide un'onda acustica, si possono individuare le energie incidente, w_i , riflessa, w_r , assorbita, w_a , e trasmessa, w_t . Si descrivono le prestazioni del materiale solido considerato definendo i coefficienti di trasmissione acustica, τ , di assorbimento, α , e di riflessione, ρ (confronta figura 1):

$$\tau = \frac{w_t}{w_i} \qquad \alpha = \frac{w_a}{w_i} \qquad \rho = \frac{w_r}{w_i} \qquad \text{con} \qquad \alpha + \rho + \tau = 1$$

In campo acustico spesso il coefficiente di assorbimento e quello di trasmissione possono essere aggregati nel coefficiente di assorbimento apparente, χ . Esso rappresenta l'energia sonora che non viene riflessa su di un'interfaccia:

$$\chi = \frac{w_i - w_r}{w_i}$$

Materiali fonoassorbenti

Per quanto riguarda i materiali le modalità e l'entità dell'assorbimento del suono dipendono dalle loro caratteristiche costitutive, in particolare quanto più un materiale è impermeabile all'aria e rigido tanto più si avvicina al comportamento di un riflettore ideale, viceversa all'aumentare della sua porosità e flessibilità aumenta pure la sua capacità di assorbire l'energia sonora.

I materiali in grado di assorbire l'energia sonora sono quindi porosi e di basso peso specifico. L'assorbimento è legato essenzialmente all'attrito che l'onda sonora incontra nell'attraversare la struttura porosa. L'aria contenuta nei pori del materiale viene messa in vibrazione dalle variazioni di pressione che accompagnano l'onda sonora e una parte dell'energia acustica viene quindi trasformata in calore a causa dell'attrito sulle pareti solide del materiale e per attrito viscoso nella massa d'aria. Se il materiale poroso è flessibile si ha un'ulteriore dissipazione di energia legata alla messa in movimento della superficie del materiale. Questo meccanismo di dissipazione diviene poi prevalente quando la porosità del materiale sia costituita da elementi non comunicanti. Il funzionamento è simile a quello della dissipazione di energia in elementi vibranti trattato nel paragrafo seguente.

I parametri da cui dipendono le prestazioni acustiche di questi materiali porosi sono essenzialmente:

- la resistenza al flusso R [Pa s/m], ossia la resistenza che l'aria incontra nell'attraversare un materiale; essa si deduce dalla perdita di pressione sulle due facce di un campione attraversato da una corrente d'aria continua;
- la porosità, data dal rapporto tra il volume dell'aria contenuta in un campione di materiale e il volume del campione stesso;

Scheda di applicazione progettuale 4

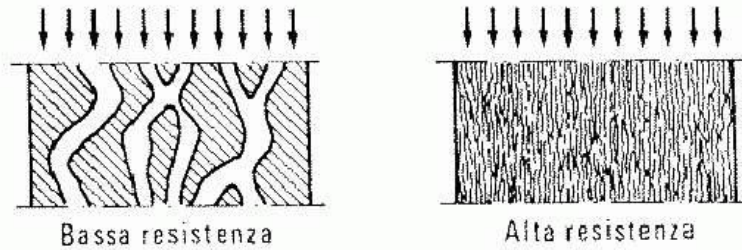


Figura 2. Materiali porosi con diversa resistenza al flusso.

La grandezza più importante da cui dipende l'assorbimento è la resistenza al flusso. Se tale grandezza risulta troppo elevata le onde sonore avranno difficoltà penetrare nel materiale e, quindi, saranno in gran parte riflesse, se invece risulta troppo bassa non si avrà sufficiente attrito nel materiale stesso per dissipare l'energia sonora. I materiali porosi con elevato coefficiente di assorbimento acustico presentano una resistenza al flusso compresa tra una e due volte l'impedenza acustica caratteristica a 20°C dell'aria $\rho_0 c = 415 \text{ Pa s/m}$:

$$1 \leq \frac{R}{\rho_0 c} \leq 2$$

I materiali polimerici espansi (polistirolo, poliuretano, cloruro di polivinile etc.) anche se leggeri e con superficie ruvida, a causa della loro struttura a celle chiuse possiedono minori capacità fonoassorbenti rispetto ai materiali a celle aperte e fibrosi (lana di vetro, lana di roccia etc.).

Buoni materiali fonoassorbenti sono: fibre di vetro, fibre di roccia, fibre di legno, poliuretano a celle aperte, melammina, moquette, tappeti, tessuti per l'arredamento, sughero. In commercio esistono materiali con buone qualità estetiche che possono essere applicati direttamente sulle pareti o possono essere agganciati al soffitto. Si possono utilizzare anche rivestimenti porosi a spruzzo costituiti principalmente da materiali fibrosi a base organica o inorganica mescolati con agenti fissanti. Le densità in uso sono generalmente comprese tra 60 e 200 kg/m³. I tendaggi risultano assorbenti alle frequenze medio-alte; essi per ottenere un sensibile fonoassorbimento devono avere uno spessore elevato ed essere fortemente drappeggiati (aumento di superficie fonoassorbente).

Le prestazioni di assorbimento acustico dei vari materiali sono estremamente variabili in funzione della frequenza. Ogni materiale fonoassorbente è contraddistinto, per ogni frequenza, da un coefficiente di assorbimento α (i coefficienti vengono forniti dai produttori). Di seguito vengono riportati i coefficienti di assorbimento dei materiali più comuni. La massima efficienza, specialmente per i fibrosi, si presenta alle medio-alte frequenze, risultando invece piuttosto scarsa alle frequenze più basse ed in particolare per valori equivalenti a 125Hz.

Un parametro sintetico che tiene conto delle prestazioni di assorbimento nel campo del parlato è il **coefficiente di riduzione del rumore, NRC**. Si tratta della media aritmetica dei coefficienti di assorbimento delle bande di frequenza di 250, 500, 1000 e 2000 Hz:

$$NRC = \frac{\alpha(250) + \alpha(500) + \alpha(1000) + \alpha(2000)}{4}$$

Scheda di applicazione progettuale 4

Mentre l'assorbimento alle alte frequenze è praticamente indipendente dallo spessore del materiale, invece alle frequenze più basse aumenta con lo spessore. Infatti l'assorbimento dell'energia sonora è più alto quando l'interazione con il materiale avviene dove la velocità delle particelle è massima. In questo caso il lavoro necessario per vincere la resistenza all'attrito è maggiore. Mentre la velocità delle particelle tende a ridursi a zero in corrispondenza della superficie della parete il massimo della velocità di vibrazione delle molecole è a $\frac{1}{4}$ di lunghezza d'onda dalla parete (e a multipli di essa). Così, per ottenere assorbimenti elevati, dovranno essere usati spessori superiori a $\frac{1}{4}$ di lunghezza d'onda: ciò significherebbe, però, adottare spessori elevati. Lo stesso effetto può essere ottenuto applicando il materiale fonoassorbente a $\frac{1}{4}$ di lunghezza d'onda dalla parete. Ad esempio, per un suono a una frequenza di 500 Hz, lo spessore del materiale assorbente dovrebbe essere 17 cm:

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f} = \frac{340}{4 \cdot 500} = 0,17 \text{ m}$$

Per un suono a 100 Hz avremmo addirittura 85 cm e risulterà quindi più conveniente mettere in opera uno spessore inferiore ma collocato a tale distanza dalla parete:

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f} = \frac{340}{4 \cdot 100} = 0,85 \text{ m}$$

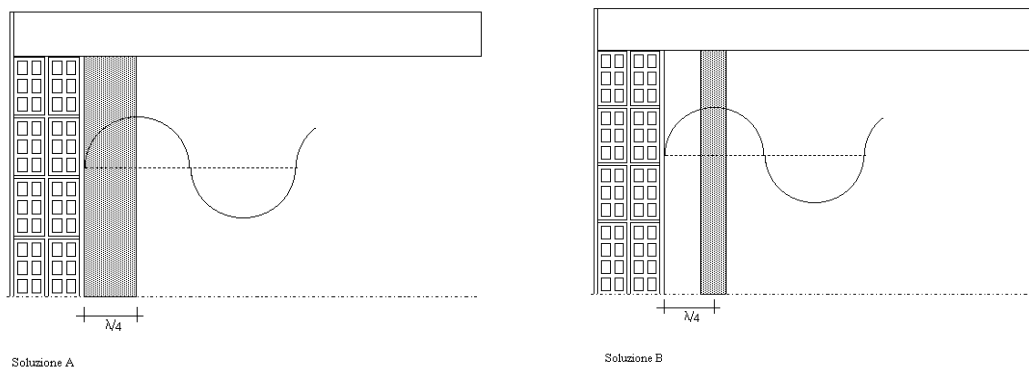


Figura 3. Assorbimento del suono di un materiale poroso. Soluzione A: materiale fonoassorbente di spessore = $\lambda/4$. Soluzione B: materiale fonoassorbente di spessore inferiore collocato a $\lambda/4$.

Non da ultimo, dobbiamo ricordare che i materiali fonoassorbenti vengono messi in opera in locali destinati al pubblico o comunque in spazi frequentati da numerose persone e pertanto devono possedere un adeguato comportamento al fuoco, sia in termini di reazione al fuoco che di resistenza al fuoco. È quindi opportuno verificare le classi di appartenenza dei vari prodotti e utilizzare preferibilmente materiali di classe 0 o al massimo di classe 1.

Scheda di applicazione progettuale 4

Tabella I. Coefficienti di assorbimento dei materiali comunemente usati nelle costruzioni.

Elemento Costruttivo	125	250	500	1000	2000	4000
Muratura in mattoni grezza (a vista)	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Muratura in calcestruzzo grezzo (a vista)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Parete intonacata	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Intonaco in cemento rustico	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Intonaco di gesso	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
Lastra di vetro o specchio	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Marmo lucidato a parete o a pavimento	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Parquet incollato	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,10
Parquet su listelli di legno	0,20	0,15	0,10	0,10	0,09	0,07
Pavimento in ceramica	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Pavimento in linoleum	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Moquette su cemento	0,05	0,08	0,21	0,26	0,27	0,30
Pavimento in gomma	0,04	0,04	0,06	0,08	0,08	0,06
Vetro piano pesante in grandi pannelli	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Finestre chiuse	0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
Porta in legno tradizionale	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
Bocchette di ventilazione e simili	0,15	0,20	0,30	0,35	0,30	0,20
Tendaggi in cotone a parete non drappeggiati 300 g/m ²	0,03	0,05	0,10	0,15	0,25	0,30
Tendaggi in velluto sottile poco drappeggiato	0,08	0,30	0,50	0,50	0,60	0,60
Tendaggi in velluto pesante fortemente drappeggiati	0,50	0,50	0,70	0,90	0,90	0,90
Tappeto pesante	0,10	0,20	0,25	0,30	0,30	0,30
Soffitto sospeso in gesso liscio	0,25	0,20	0,10	0,05	0,05	0,10
Perlinato inchiodato	0,60	0,30	0,10	0,09	0,09	0,09
Materiali fonoassorbenti	125	250	500	1000	2000	4000
Intonaco acustico sp. 12 mm	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Pannelli in fibra di vetro (fibre 6 µm, 10 Kg/m ³ , 25 mm)	0,09	0,29	0,55	0,68	0,80	0,72
Pannelli in fibra di vetro (fibre 6 µm, 10 Kg/m ³ , 50 mm)	0,19	0,63	0,84	0,82	0,83	0,84
Pannelli in fibra di vetro (fibre 6 µm, 20 Kg/m ³ , 25 mm)	0,09	0,24	0,49	0,72	0,69	0,79
Pannelli in fibra di legno mineralizzate accostato alla parete	0,15	0,25	0,40	0,51	0,51	0,40
Sughero, 80 Kg/m ³ , pannello 20 mm, incollato alla parete	0,06	0,04	0,06	0,19	0,23	0,24
Sedili e persone in m² di unità di assorbimento per capo	125	250	500	1000	2000	4000
Sedia in legno o parzialmente imbottita libera	0,03	0,05	0,05	0,10	0,15	0,10
Sedia in legno o parzialmente imbottita occupata	0,15	0,25	0,40	0,40	0,45	0,40
Poltrona imbottita non occupata	0,10	0,20	0,30	0,30	0,30	0,35
Poltrona imbottita occupata	0,20	0,40	0,45	0,45	0,50	0,45
Persona adulta in piedi	0,23	0,32	0,42	0,42	0,46	0,46

Scheda di applicazione progettuale 4

Assorbimento per risonanza in cavità

Si è visto come i materiali porosi offrano buone capacità fonoassorbenti alle medie e alte frequenze, ma per riuscire ad attenuare le basse frequenze si dovrebbero utilizzare spessori troppo elevati. In questo caso è necessario ricorrere a sistemi alternativi. Uno di questi è costituito dai cosiddetti risonatori di Helmholtz (figura 4), o risonatori a cavità, i quali agiscono come delle vere e proprie trappole per le basse frequenze e in più hanno la caratteristica di diffondere il suono che non riescono ad assorbire.



Figura 4. Serie di risonatori di Helmholtz.

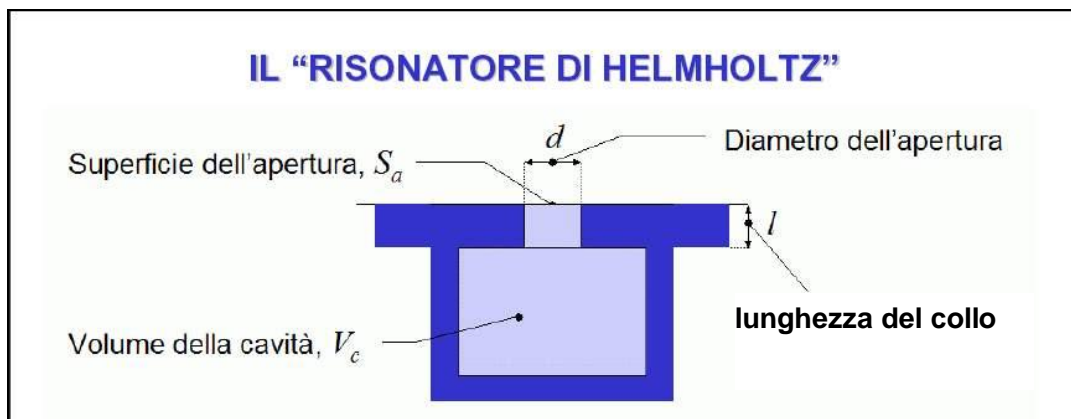


Figura 5. Schema di un risonatore a cavità: principali caratteristiche.

Il **risonatore di Helmholtz** ha una forma simile ad una bottiglia, hanno un collo piuttosto stretto che conduce ad una camera d'aria interna.

La massa d'aria contenuta nella camera interna costituisce con quella del collo un sistema meccanico del tipo massa-molla. Dato che l'aria nel collo si muove in uno spazio ristretto, l'aria contenuta nella

Scheda di applicazione progettuale 4

camera interna, che costituisce la massa vibrante, dovrà impiegare una certa quantità di energia per vincere la resistenza all'attrito. Questi sistemi sono selettivi: il suono viene assorbito intorno ad una particolare **frequenza** detta di **risonanza**, f_0 .

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{S_a}{V_c \left(1 + \frac{16d}{3\pi}\right)}}$$

Modificando la larghezza del collo o il volume della camera interna è possibile spostare la frequenza di risonanza del sistema e inserendo del materiale poroso nella camera interna è possibile ampliare la larghezza della banda di assorbimento.

Si possono realizzare risonatori multipli utilizzando pannelli forati posti ad una certa distanza dalla parete. È stato verificato che non è necessario che ad ogni collo corrisponda uno specifico volume chiuso. I risonatori di uso più corrente hanno il collo ricavato nello spessore del materiale (gesso, legno) oppure con una opportuna conformazione di questo (nelle lamiere grazie ad una imbutitura), mentre l'intercapedine tra pannello e parete forma la cavità risonante.



Figura 6. Risonatori multipli in sala di registrazione.

La massa d'aria contenuta nei fori del pannello costituisce con quella dell'intercapedine retrostante un sistema meccanico del tipo massa-molla, come nel risonatore di Helmholtz. Poiché la frequenza di risonanza dipende dalla geometria del sistema, è possibile sintonizzare l'assorbimento acustico. Tale frequenza per il pannello può essere individuata con la relazione seguente:

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{P\%}{h(l+1.6r)}} \quad [Hz]$$

Scheda di applicazione progettuale 4

In cui c è la velocità del suono nell'aria [m/s]; $P\%$ è la percentuale di foratura del pannello contenente i colli dei risuonatori; l è la lunghezza dei colli dei risuonatori [m]; r è il raggio dei colli [m]; h è lo spessore dell'intercapedine [m].

Il coefficiente di massimo assorbimento difficilmente supera il valore di 0,8. Se si desidera ottenere un assorbimento distribuito in modo omogeneo lungo una vasta banda di frequenze occorre praticare, nel pannello, dei fori di diametro differenziato in modo da modificare il volume d'aria del collo del risuonatore oppure inserire del materiale fonoassorbente nell'intercapedine fra parete e pannello forato. Questo sistema risulta interessante per assorbire alle frequenze molto basse, dove i materiali fonoassorbenti sono poco efficaci ed i risuonatori di Helmholtz assumerebbero dimensioni troppo grandi.

Assorbimento con pannelli vibranti

Alternativamente ai risuonatori per intervenire sulle frequenze più basse è possibile ricorrere a pannelli vibranti ossia a pannelli elastici montati ad una certa distanza dalla parete.

Il suono che incide su questi pannelli causa una flessione del pannello stesso; per effetto delle vibrazioni che ne conseguono si ha una trasformazione dell'energia sonora in calore, ciò avviene in particolare intorno ad una frequenza detta frequenza di risonanza propria del sistema. Essa dipende principalmente dalla massa e dalla rigidezza del pannello e dallo spessore dell'intercapedine.

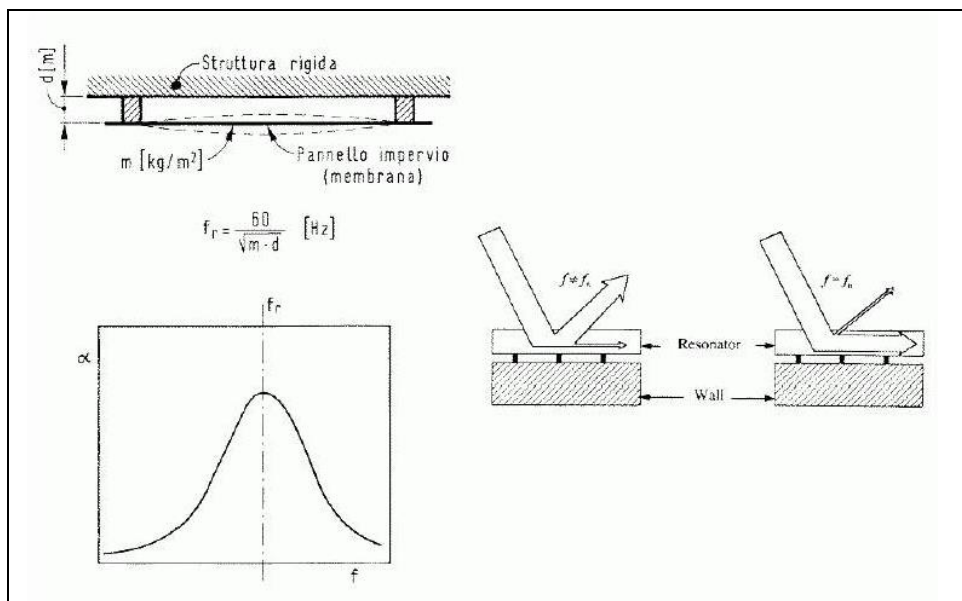


Figura 7. Pannello vibrante.

Scheda di applicazione progettuale 4

Altri parametri importanti che influenzano il comportamento del sistema sono la natura, lo spessore e il sistema di montaggio dei pannelli. Le relazioni che intercorrono tra tutti questi fattori sono molto complesse, ed è difficile determinare esattamente a priori le prestazioni acustiche della struttura.

I pannelli vibranti sono generalmente realizzati in legno o in materiale plastico e posti ad una determinata distanza da una parete rigida. Per pannelli di compensato o masonite, al fine di determinare la frequenza di risonanza del sistema è possibile adottare la seguente formula:

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{Mh}}$$

Con M, massa frontale del pannello [kg/m^2]; h, spessore dell'intercapedine tra pannello e parete [m]. Un aumento del campo di frequenze di assorbimento può essere ottenuto inserendo del materiale poroso nell'intercapedine tra la parete e il pannello flessibile.

Appartengono alla classe delle membrane vibranti anche i cosiddetti assorbitori semicilindrici utilizzate nelle sale da concerto o negli auditorium. Si compongono di un pannello di fibra di legno o di fibra di vetro piegato in modo da creare un semicilindro od un settore di cilindro secato longitudinalmente e fissato alla parete. L'interno può o meno essere riempito di lana minerale. Sono molto efficaci nell'assorbimento delle basse frequenze, in particolare intorno ai 500 Hz. Il vantaggio che essi offrono rispetto ai comuni risuonatori o alle membrane vibranti è che riescono a garantire anche una certa diffusione del suono, soprattutto per le frequenze sopra i 1000 Hz.

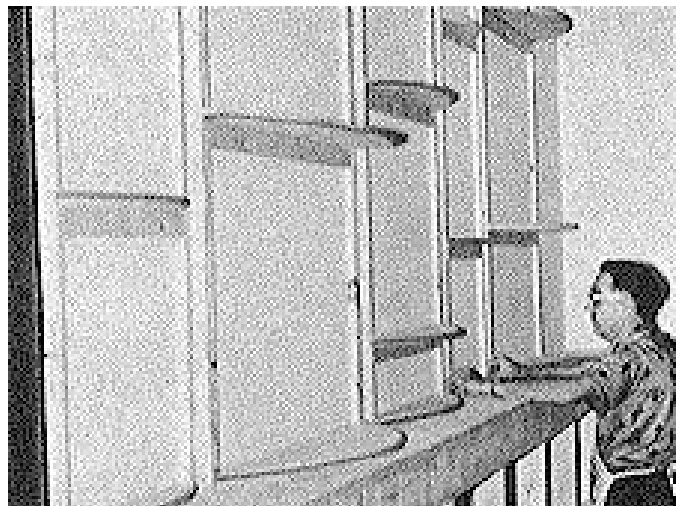


Figura 8. Montaggio di assorbitori semicilindrici.

Si hanno anche assorbitori conici composti da uno strato di lana di vetro (50 mm) su cui sono fissati dei coni di materiale come carta, juta, alluminio, ecc. creando un sistema accoppiato che lascia assorbire le alte frequenze al materiale poroso e permette di estendere l'assorbimento alle basse frequenze utilizzando la risonanza del volume d'aria racchiuso dal cono.

Scheda di applicazione progettuale 4

Le due tecniche di assorbimento per risonanza di membrana e di cavità possono essere combinate ottenendo dei pannelli vibranti forati. Questi sistemi sono formati da pannelli distanziati dalla parete, sui quali vengono praticati dei fori di diametro e con percentuale di foratura variabile oppure da doghe accostate in modo da creare fessure calibrate.

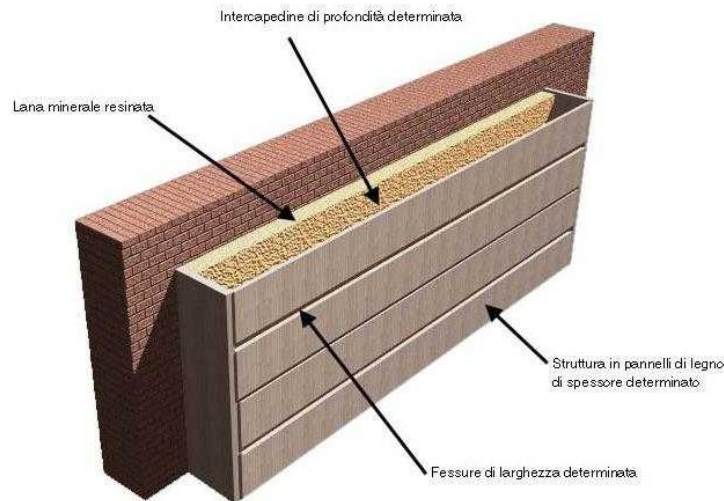


Figura 9. Risonatore a cavità multiple realizzate con doghe in alluminio.

Controsoffitti fonoassorbenti

I materiali generalmente impiegati per la costruzione dei controsoffitti e di contropareti fonoassorbenti sono doghe o pannelli in alluminio, in Pvc o in gesso, pannelli in lana di vetro con superficie in vista trattata, pannelli in fibre minerali. Tutti questi materiali si presentano bene a trattamenti acustici ambientali di uffici, sale e locali pubblici.

L'orditura portante dei pannelli, che può risultare in vista od occultata, è costituita da una tralicciatura di profilati in lamiera di acciaio zincato che forma maglie rettangolari o quadrate. L'orditura è sospesa al soffitto mediante tiranti metallici in filo zincato o in staffe rigide regolabili con viti o a mezzo di molla interposta. I pannelli (soprattutto quelli in alluminio o Pvc) sono facilmente smontabili per cui garantiscono una comoda accessibilità all'intercapedine del controsoffitto. Spesso, nella superficie a pannelli, è possibile l'inserimento di corpi illuminanti o di bocchette di areazione.

Sotto l'aspetto acustico i controsoffitti funzionano in modo combinato, utilizzando sia il principio dell'assorbimento (dovuto al materiale poroso nell'intercapedine) sia il principio della membrana (rigidezza dei pannelli), sia il principio del risonatore (dovuta alla foratura dei pannelli e volume dell'intercapedine).

Scheda di applicazione progettuale 4

Corpi assorbenti

Oltre ai vari tipi di materiale e pannelli che vengono applicati a pareti e soffitti per renderli acusticamente assorbenti, negli ambienti nei quali la superficie trattabile è insufficiente per ottenere l'assorbimento equivalente richiesto si possono utilizzare i corpi assorbenti.

In commercio la forma più ricorrente è il pannello (baffle), ma si possono trovare corpi assorbenti con altre forme. Il contributo al fonoassorbimento è dato dalla porosità del materiale, ma alcuni tipi funzionano come risonatori. Alcuni progettisti hanno utilizzato questi corpi assorbenti anche in locali di spettacolo di vaste dimensioni; il loro uso è soprattutto diffuso negli ambienti industriali.

I baffles sono costituiti da materassini in lana di vetro (densità $25-40 \text{ kg/m}^3$) o in lana di roccia contenuti in sacchetti di polietilene e protetti da velovetro. Essi vengono sospesi per mezzo di ganci profilati o a funi tese all'altezza desiderata. È dimostrato che aumentare oltre un certo limite il numero di baffles da posizionare a soffitto per rendere meno riverberante un ambiente, non comporta alcun beneficio supplementare. Si possono utilizzare corpi assorbenti cilindrici, cubici, prismatici, formati da una intelaiatura leggera in metallo o da una grata metallica che sostiene il materiale fonoassorbente

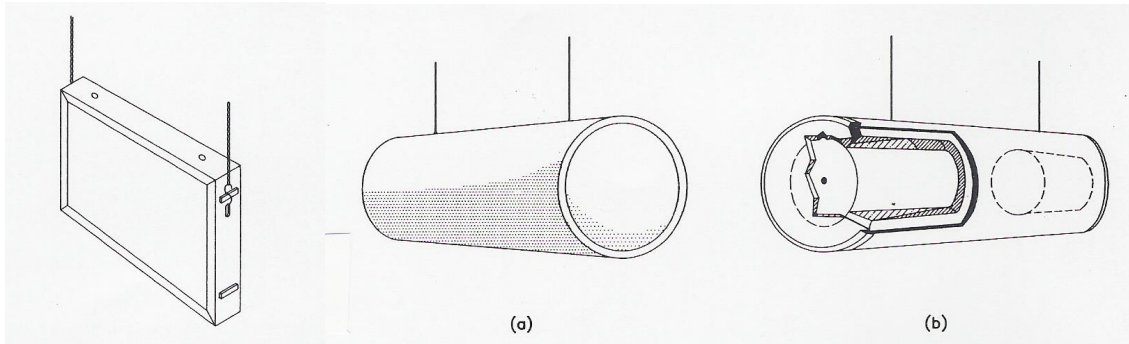


Figura 10. Baffles fonoassorbente, Cilindro assorbente (a) e cilindro risonatore (b)

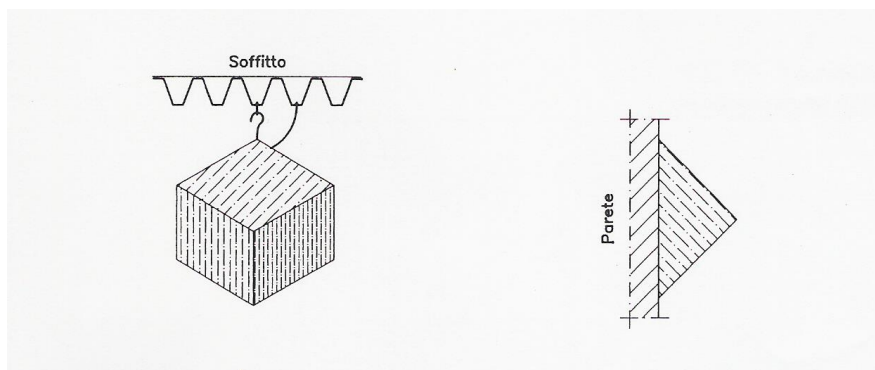


Figura 11. Corpo fonoassorbente cubico sospeso e prismatico applicato sulla parete.

Negli ambienti per lo ascolto a seconda dell'evento che vi si svolge può essere richiesto un maggiore o minore assorbimento. Si possono utilizzare dispositivi ad assorbimento variabile costituiti da corpi cilindrici rotanti o da pannelli scorrevoli o rotanti. Per gli elementi rotanti sono dotati di una superficie assorbente e di una riflettente che possono essere esposte in maniera differenziata a seconda delle esigenze.