

## ACUSTICA ARCHITETTONICA

### Introduzione.

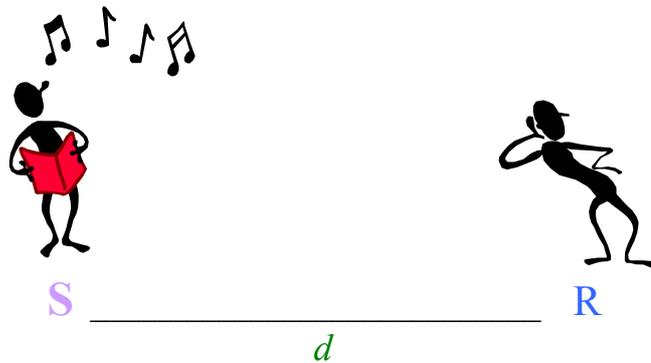
L'acustica è quella parte della fisica e della ingegneria che si occupa della produzione e propagazione dei suoni, degli strumenti e delle apparecchiature per misurarli, registrarli, riprodurli, della natura del processo auditivo e della progettazione di auditorii dotati di buona audizione. L'acustica ebbe per la prima volta solide basi teoriche e matematiche con Hermann Helmholtz (1821-1894). Il suo lavoro fu successivamente ampliato da Lord Rayleigh (1842-1919). Rispetto alla loro impostazione le nostre conoscenze fondamentali di acustica hanno progredito di ben poco salvo i perfezionamenti dei moderni strumenti e metodi di misura.

Il termine suono viene usato in senso soggettivo per indicare la sensazione di stimolo registrata dai terminali del nervo acustico di un osservatore, ed in senso oggettivo quando ci si riferisce alle onde di compressione nell'aria che possono eccitare il nervo acustico. Le onde nei solidi e nei liquidi si chiamano anch'esse sonore quando hanno frequenze nell'intervallo di udibilità.

Una sorgente di onde sonore nell'aria è sempre dovuta al movimento vibratorio di qualche corpo a contatto con l'aria, come, per esempio, le corde di un pianoforte, o il diaframma di un tamburo o di un altoparlante. Negli strumenti a fiato il "corpo" vibrante è la stessa colonna d'aria. Abbiamo già studiato in dettaglio un moto vibratorio, il moto armonico di un pendolo o di un corpo pesante sospeso ad una molla. Le vibrazioni di molle, colonne d'aria, e diaframmi sono analoghe, ma più complesse, e implicano sia i concetti di moto ondulatorio che quello di vibrazione semplice. Incominceremo a fare un'analisi del moto ondulatorio in una corda tesa, per la sua relativa semplicità e per il fatto che una corda costituisce la parte di innumerevoli strumenti musicali.

### Il suono

Il fenomeno del suono è tra quelli più vicini alla nostra esperienza sensoriale diretta. Una definizione approssimativa di suono può essere quella di rapida variazione di pressione prodotta in un mezzo elastico dalla vibrazione di un corpo materiale (detta *sorgente sonora*), che risulti percepibile attraverso gli organi dell'udito umano. Essa è inoltre una forma di trasporto di energia meccanica che avviene senza trasporto di materia. Tale trasporto per potersi compiere necessita di un mezzo, il quale deve essere dotato di massa ed elasticità, come ad esempio l'aria.



## Acustica Architettonica

L'acustica architettonica tratta sostanzialmente del controllo della riverberazione, dell'isolamento e del controllo del rumore e della distribuzione e dell'assorbimento del suono. Essa mira alla intelligibilità del parlato, alla libertà da rumori esterni indesiderati e alla ricchezza della musica.

### Ambienti riverberanti e semiriverberanti

Sostanzialmente possiamo dividere gli ambienti in due categorie, che si differenziano tra loro in base ad alcune proprietà.

Avremo:

- **ambienti riverberanti**

Gli ambienti riverberanti sono delle sale appositamente costruite che hanno un coefficiente di assorbimento nullo e sono munite di schermi atti a rendere uniforme la distribuzione del suono nell'ambiente.

Le pareti sono in grado di riflettere molto bene le onde sonore e quindi ad ogni riflessione le onde sonore subiscono perdite molto basse.

Queste riflessioni producono una distribuzione di energia acustica uniforme così che in ogni punto della sala si ha l'impressione che il suono arrivi da tutte le direzioni.

Normalmente sono camere di dimensioni non elevate e hanno la prerogativa di essere non regolari.

Esse vengono utilizzate per la determinazione del coefficiente di riduzione del rumore, per controllare il rendimento di materiali e strutture, etc..

#### - **ambienti semiriverberanti**

La maggior parte degli ambienti comuni sono di tipo semiriverberante.

A differenza degli ambienti riverberanti, gli ambienti semiriverberanti assorbono parte delle onde emesse dalla sorgente e di conseguenza si ha una perdita di energia.

#### **PARAMETRI CARATTERISTICI DELL'AMBIENTE**

Alcuni parametri caratteristici dell'ambiente, sono:

- $T_R$  = tempo di riverbero
- $L_m$  = libero cammino medio
- $\alpha$  coefficiente d'assorbimento medio dell'ambiente

#### **Tempo di riverbero**

Il tempo di riverbero nelle camere riverberanti è abbastanza alto, generalmente dell'ordine di 3-4 secondi.

Per misurare il tempo di riverbero ci sono due metodi:

##### 1) metodo che si basa sul regime stazionario interrotto

Supponiamo di porre una sorgente omnidirezionale all'interno di un ambiente.

Al tempo  $t = 0$  accendiamo la sorgente e la lasciamo accesa per un certo intervallo di tempo in modo da saturare l'ambiente e successivamente la spegniamo bruscamente.

Se andiamo a costruire un diagramma dei livelli sonori in funzione del tempo, avremo una situazione del tipo:

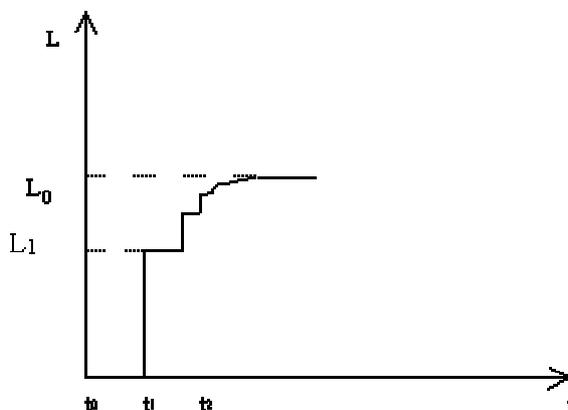


Fig.4 – livello sonoro all'accensione di una sorgente staz.

Al tempo  $t_1$  arriva il fronte diretto, che assume il valore  $L_1$ .

A questo punto il livello rimane costante finché al tempo  $t_2$  non arriva il suono prodotto dalla prima riflessione che va a sommarsi al suono dell'onda diretta così che il livello raggiunge il valore  $L_2$ .

Come prima il livello rimane costante finché al tempo  $t_3$  non arriva la seconda riflessione la quale fa salire di un gradino ancora l'intensità.

Via via che il tempo passa questi gradini diventano sempre più piccoli in quanto ad un suono forte si somma un suono sempre più debole e di conseguenza si raggiungerà un livello costante (che abbiamo identificato nel grafico con  $L_0$ ) che rappresenta la condizione di equilibrio energetico di un ambiente.

Nel momento in cui spegniamo la sorgente si verifica la situazione opposta.

Viene dapprima a mancare l'energia del suono diretto, però mentre questa all'atto di accensione aveva causato un brusco aumento del livello sonoro (in quanto si era passato dal silenzio totale al suono improvviso emanato dalla sorgente) adesso l'abbassamento che ne deriva è di entità molto modesta.

Ancora più modesto è l'abbassamento dovuto al primo raggio riflesso, così che dopo un primo tratto a gradini la curva tende a zero con un andamento rettilineo.

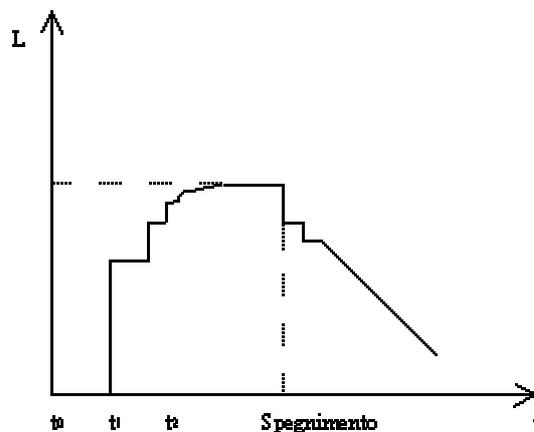


Fig 5 - Spegnimento di una sorgente stazionaria

Nel momento in cui viene spenta la sorgente vi è un brusco calo del livello sonoro:

$$L_D = 10 \log \left( \frac{D}{D_0} \right)$$

$D_0$  densità sonora.

Agli inizi del XX secolo W. Sabine definì il **tempo di riverbero** come il *tempo necessario affinché la pressione acustica nell'ambiente diminuisca di 60 dB, in seguito allo spegnimento della sorgente.*

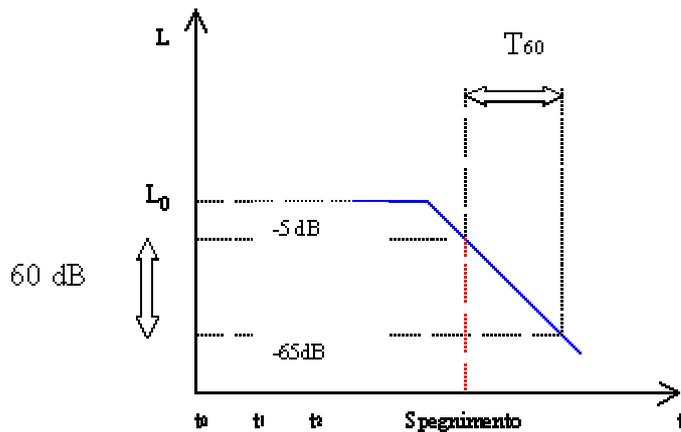


Fig. 6 – calcolo del tempo di riverbero

Viene indicato con il termine  $T_{60}$ .

Seguendo le disposizioni della normativa si usa far partire il cronometro quando il livello è sceso di 5 dB, in modo da evitare il tratto scalinato, e si ferma quando è sceso di 65 dB complessivamente.

Rimane da fare una piccola considerazione.

Dal momento che 60 dB è un'escursione abbastanza elevata spesso si considerano, per il calcolo del tempo di riverbero, intervalli minori i più comuni dei quali sono ad esempio 20 dB o 30 dB.

In questo modo avremo il  $T_{20}$  e il  $T_{30}$ .

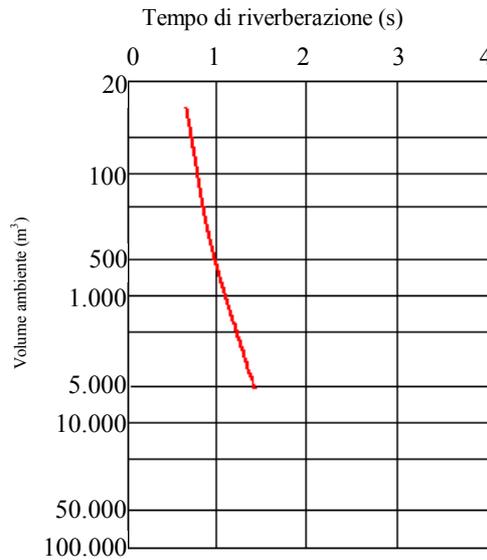
Attenzione: il  $T_{20}$  (tempo che impiega il livello sonoro a decadere di 20 dB) non equivale ad 1/3 del  $T_{60}$  ma deriva da una estrapolazione fatta su una misura di 20 dB.

Il rapporto tra un tempo di riverbero e l'altro è del tipo:

$$T_R = \frac{60\Delta T}{\Delta L_P}$$

I valori ottimali di  $T_r$  dipendono dall'uso a cui è finalizzato l'ambiente:

Ambiente	$T_{opt}$ (secondi)
Aula scolastica piccola	0,5
Aula scolastica grande	1
Cinema	0,7 ÷ 0,8
Teatro d'opera (musica lirica)	1,3 ÷ 1,5
Sala da concerto (musica sinfonica)	1,7 ÷ 2,3
Chiesa (musica sacra)	2,5 ÷ 5



Valori ottimi del tempo di riverberazione.

## Riverberazione

La *riverberazione* è la persistenza del suono in un ambiente chiuso, dopo che la sorgente sonora ha cessato di irradiare, a causa della riflessione continuata del suono sulle pareti. Come vibrazione libera di risonanza con smorzamento, la riverberazione dipende dalle dimensioni e dalla forma dell'ambiente e dalla frequenza del suono.

Il *tempo di riverberazione*  $T$  ad una data frequenza è il tempo necessario (in secondi) perché la pressione acustica scenda a  $10^{-6}$  volte il suo valore originario (ossia per un calo di 60 db) dopo che la sorgente ha cessato di irradiare.

$$T = 0,161 V/a \quad \text{secondi (unità metriche)}$$

$$T = 0,049 V/a \quad \text{secondi (unità metriche)}$$

dove  $V$  è il volume dell'ambiente in  $m^3$  o  $ft^3$  e  $a$  è l'assorbimento totale del suono nell'ambiente in sabin metrici o sabin. Se il tempo di riverberazione è troppo corto, il suono può non essere abbastanza forte in tutto l'ambiente. Se è troppo lungo, si avranno degli echi.

Benché in teoria la massima intelligibilità si abbia con il minimo tempo di riverberazione, tempi di riverberazione troppo piccoli fanno diminuire l'intensità del suono nell'ambiente e quindi portano a scarsa intelligibilità. Il tempo di riverberazione è quindi una misura importante di una buona acustica ambientale.

La *camera di riverberazione* (o sala eroica o viva) è una sala appositamente costruita con pareti che praticamente hanno un assorbimento acustico nullo e munita di schermi girevoli a forma di pale atti a rendere uniforme la distribuzione del suono nell'ambiente. Le pareti riflettono molto bene le onde sonore e quindi le onde sonore subiscono ad ogni riflessione perdite molto basse. Queste riflessioni producono una distribuzione di energia acustica uniforme cosicché in ogni punto della sala (purché non troppo vicino alle pareti né alla sorgente) si ha l'impressione che il suono arrivi da tutte le direzioni. La camera di riverberazione viene impiegata per misurare la potenza acustica complessiva sviluppata da un sistema, per determinare il coefficiente di riduzione del rumore, per controllare il rendimento di materiali e strutture fonoisolanti e per tarare microfoni.

L'*aumento* di intensità acustica di una camera di riverberazione è dato da

$$I(t) = \frac{W}{a} (1 - e^{-(ac/4V)t}) \quad [\text{W/m}^2]$$

E il decremento di intensità acustica è analogamente dato da

$$I(t) = \frac{1}{4} E_0 c e^{-(ac/4V)t} \quad [\text{W/m}^2]$$

Dove  $W$  è la potenza acustica sviluppata in watt,  $a$  è l'assorbimento acustico totale in sabin metrici,  $c$  è la velocità del suono in m/s,  $V$  è il volume della sala in  $\text{m}^3$  e  $E_0$  è la densità di energia acustica in  $\text{joule/m}^3$  quando la sorgente smette di irradiare.

## Livello sonoro

L'energia sonora associata ai fenomeni acustici che l'orecchio umano può percepire varia in un campo di valori molto ampio. Ad un fruscio di foglie che libera una potenza sonora dell'ordine di microwatt, si può contrapporre, all'estremo opposto, il rumore emesso da un aereo a reazione di linea che raggiunge valori dell'ordine di grandezza del megawatt. Da questa constatazione discende l'opportunità di utilizzare una scala logaritmica, che faccia corrispondere al valore della grandezza in esame, il logaritmo del rapporto tra quello stesso valore ed un valore predeterminato, cosiddetto di "riferimento". L'argomento del logaritmo è adimensionale e la nuova scala di misura, così ottenuta, esprime appunto il Livello rispetto al valore di riferimento della grandezza considerata.

<i>Potenza sonora di alcune tipiche sorgenti sonore</i>		
POTENZA SONORA [Watt]	LIVELLI DI POTENZA SONORA [db rif. 10 <sup>-12</sup> watt]	
100.000.000	200	razzo saturno
1.000.000	180	
10.000	160	jet di linea
100	140	grande orchestra
1	120	martello pneumatico
0,01	100	
0,000,1	80	voce urlata
0,000,001	60	conversazione
0,000,000,01	40	
0,000,000,000,1	20	voce sussurrata
0,000,000,000,001	0	

Nella tabella sono riportati i valori, in W, della potenza sonora emessa da alcune tipiche sorgenti sonore ed i corrispondenti Livelli in db.

Il Livello sonoro rispetta la seguente formula:

$$L = L_w + 10 \log \left[ \frac{Q}{4\pi 10^2} + \frac{4}{\sum \alpha_i \cdot S_i} \right]$$

Dalla quale si può ricavare il *livello sonoro relativo* (Stergth):

$$L_p - L_w$$

$$G = L_p - L_{p_2}$$

Dove  $L_{p_2}$  è il livello di pressione riferito ad un campo libero rilevato a 10m di distanza dalla sorgente.

$$L_{p_2} = L_w + 10 \log \left[ \frac{1}{4\pi \cdot 10^2} \right]$$

$$L_{p2} = L_w - 31 \text{ db}$$

$$G = L_{p1} - L_w + 31 \text{ db}$$

In generale G è positivo negli ambienti chiusi, mentre  $(L_p - L_w)$  è generalmente negativo.

## Isolamento e riduzione del rumore

Quando è impossibile per ragioni economiche ridurre alla sorgente il rumore fino ad un livello accettabile, si ricorre all'isolamento acustico. L'isolamento si può ottenere sfruttando o l'assorbimento acustico o la riduzione della trasmissione acustica.

Negli edifici, i rumori trasmessi via aria entrano attraverso aperture e fessure, porte o finestre poco ermetiche, prese d'aria e condotti di scarico d'aria. Ciò pone in vibrazione anche pannelli e pareti. I rumori trasmessi via aria possono essere ridotti interrompendo le loro vie di trasmissione, usando materiali assorbenti e circondando direttamente la sorgente con apparecchiature o protezioni che assorbano bene il suono (ad es. schermi sonori e silenziatori).

La *perdita di trasmissione* TL è la riduzione del rumore trasmesso dall'aria. Essa è definita come differenza in decibel tra l'energia acustica che colpisce la superficie che divide due spazi e l'energia acustica trasmessa. Non può essere misurata direttamente ma viene calcolata misurando i livelli di pressione acustica sui due lati della superficie.

$$TL = 10 \log \frac{\sum S}{\sum S_\tau} = (SPL)_1 - (SPL)_2 \text{ db}$$

Dove S è l'area della superficie in  $m^2$  e  $\tau$  è il coefficiente di trasmissione del suono.

I rumori prodotti dalle strutture sono vibrazioni di corpi elastici. Essi si propagano attraverso pareti, pavimenti, soffitti, colonne, travi, tubazioni, condotti ed altre strutture solide. Dato che la quantità di energia che essi trasportano è molto maggiore di quella dei rumori trasmessi via aria, questi rumori devono essere soppressi alla sorgente. Le loro vie di trasmissione devono essere interrotte inserendo giunti elastici, camere di espansione o trappole del rumore. Le pareti devono presentare delle discontinuità ripiene di materiale assorbente.

Quando le macchine producono dei rumori, ciò significa che sono mal bilanciate, hanno tolleranze eccessive, flussi turbolenti o presentano altri fenomeni di funzionamento improprio. La maggior parte dei rumori prodotti da macchine può essere ridotta e attenuata riprogettando meglio le

macchine o usando contenitori a prova di suono rivestiti di materiale assorbente. In caso di necessità si devono introdurre filtri acustici come marmitte, camere di espansione, risonatori, filtri idraulici e trappole del suolo. Le sorgenti devono essere isolate in modo appropriato e montate su basamenti antivibrazione onde evitare la trasmissione del suono e della vibrazione.

Il rumore da urto può essere ridotto usando tappeti per ammortizzare le aree dei pavimenti che sono isolati dalle strutture portanti tramite giunti elastici.

La *media spaziale del livello di pressione acustica*  $L_s$  è definito come

$$L_s = 10 \log \frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{np_0^2} \quad \text{db}$$

Dove  $p_n$  sono le pressioni acustiche in  $\text{N/m}^2$  e  $p_0 = 0,00002 \text{ N/m}^2$  è la pressione acustica di riferimento.

## **Assorbimento del suono**

L'assorbimento del suono è un processo in cui l'energia acustica è trasformata in parte in calore (tramite l'attrito e la resistenza viscosa dei pori e delle fibre dei materiali acustici) e in parte in vibrazione meccanica dei materiali.

Nelle sale e negli edifici i suoni indesiderati possono essere assorbiti con drappaggi, tappeti, assorbitori spaziali sospesi e pannelli assorbenti intercambiabili. Pannelli sottili con trappole d'aria dietro di essi sono usati per assorbire le basse frequenze. Risonatori di Helmholtz e assorbitori a pannello-risonatore sono dispositivi più efficaci per assorbire suoni che hanno le loro frequenze di risonanza. Le marmitte impediscono la trasmissione del suono ma permettono all'aria di fluire liberamente.

Il *coefficiente di assorbimento del suono*  $\alpha$  di un materiale è definito come la frazione decimale dell'assorbimento perfetto del materiale stesso; ad esempio  $\alpha = 0,6$  significa un assorbimento del 60%. Esso è il rendimento di un materiale nell'assorbire energia acustica di una data frequenza e varia con l'angolo di incidenza e lo spessore del materiale. Lo spazio aperto è a volte assunto come standard di coefficiente di assorbimento unitario.

$\alpha$  si ottiene facendo la media statistica dei rapporti tra energia assorbita e energia incidente a tutti i possibili angoli di incidenza. Il coefficiente medio di assorbimento del suono  $\bar{\alpha}$  si determina facendo la media dei coefficienti di assorbimento su tutte le superfici assorbenti di un dato ambiente.

L'assorbimento del suono  $a$  in *sabin* è l'area complessiva equivalente di materiale perfettamente assorbente in  $\text{ft}^2$ . Analogamente 1 *sabin metrico* è un metro quadrato di materiale ad assorbimento perfetto.

Il *fattore di riduzione del rumore* (noise reduction factor) RF è dato da

$$\mathbf{RF} = \mathbf{TL} + 10 \log (a/S) \text{ db}$$

Dove TL è la perdita di trasmissione in decibel,  $a$  è l'assorbimento complessivo del suono in sabin e S è l'area della parete divisoria in  $\text{ft}^2$ .

La differenza di livello di rumore può essere espressa come

$$(\text{db})_{\text{prima}} - (\text{db})_{\text{dopo}} = 10 \log \frac{a_{\text{dopo}}}{a_{\text{prima}}} \text{ db}$$

dove le  $a$  sono assorbimenti del suono in sabin.

I materiali acustici usati per l'assorbimento del suono sono caratterizzati da rendimento di riduzione, porosità, resistenza al flusso, costante di propagazione e fattore di struttura. Si devono considerare inoltre anche altri fattori come la resistenza alla fiamma, la riflessione della luce, la maggiore o minore facilità alla verniciatura, l'esposizione alle intemperie, la non igroscopicità, l'isolamento termico, il peso, la facilità di installazione e l'aspetto.

In generale l'intensità acustica che si ha in un ambiente è inversamente proporzionale alla quantità di assorbimento acustico che si ha nello stesso ambiente. Se l'ambiente è molto grande mentre l'assorbimento acustico complessivo è molto piccolo, si deve considerare anche l'assorbimento del suono nell'aria.

Una *camera anecoica* ( o camera sorda) è caratterizzata da cunei o lunghe piramidi molto assorbenti montate sulle pareti della camera per assorbire tutta l'energia acustica incidente. Essa simula il *campo aperto* o spazio illimitato. L'isolamento completo dal suono si può ottenere costruendo la camera anecoica con un pavimento sospeso appoggiato sopra un'altra camera su supporti antivibrazioni. In una camera anecoica si possono eseguire misure accurate e coerenti delle caratteristiche acustiche di strumenti, tarature assolute di microfoni e determinazioni della distribuzione della radiazione di altoparlanti.

Il decremento di intensità acustica in una camera anecoica è dato da

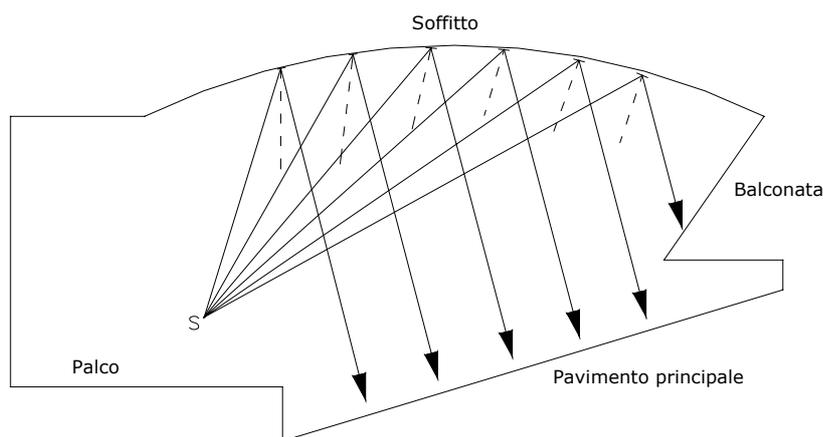
$$\mathbf{I(t)} = \mathbf{I_0 e^{(Sc/4V) \ln(1-\alpha) t} \text{ [W/m}^2\text{]}}$$

Dove  $I_0$  è l'intensità acustica in watt/m<sup>2</sup> quando la sorgente smette di irradiare, S la superficie complessiva delle pareti in m<sup>2</sup>, c la velocità del suono nell'aria in m/s, V il volume della camera in m<sup>3</sup> e  $\bar{\alpha}$  il coefficiente di assorbimento medio del suono nella camera.

## Distribuzione del suono

La distribuzione del suono dà la variazione del livello di pressione acustica in funzione della posizione in un dato ambiente chiuso. Per assicurare una crescita e una diminuzione graduale del suono, sale e edifici sono progettati in modo che il suono sia distribuito casualmente, superfici riflettenti e diffusori.

Per studiare la distribuzione del suono si usano modelli analitici con raggi luminosi, ultrasuoni e onde ordinarie. Si può usare anche la costruzione grafica delle onde sonore di prima riflessione su varie sezioni trasversali come indicato in figura.



## Disegno sala

### Acustica delle sale

Una sala acusticamente ben progettata presenta una buona intelligibilità dei suoni di sufficiente intensità (tempo di riverberazione ottimale), assenza di rumori estranei indesiderati (isolamento acustico e riduzione) e buona distribuzione del suono.

Se il suono arriva ad un ascoltatore per due vie di lunghezza troppo diversa esso produce uno spiacevole effetto tremolante detto *eco*. Un *tremolio* del genere si ha in un ambiente tra una coppia di pareti parallele opposte che siano lisce e molto riflettenti. Il suono viene riflesso avanti e indietro tra le due pareti producendo echi multipli. La *focalizzazione* del suono è la concentrazione del suono in un punto di un ambiente prodotta dalla riflessione delle onde sonore su superfici curve o circolari. Il risultato è una distribuzione ineguale del suono. Un *angolo morto* è una zona con deficienza di suono, cioè dove non si sente praticamente niente, a causa dell'interferenza di due o più onde sonore. Data la diffrazione del suono, cioè il fatto che le onde sonore aggirano un ostacolo,

l'ostacolo può rivelarsi una efficace barriera alla trasmissione del suono se le sue dimensioni sono paragonabili alla lunghezza d'onda dell'onda sonora. Dall'altra parte dell'ostacolo in questo caso si forma una *ombra acustica*.

La progettazione acustica delle sale deve promuovere le onde oblique dato che esse si smorzano più rapidamente ma deve ostacolare le onde assiali dato che queste sono più persistenti.

L'*articolazione percentuale*, usata a volte per classificare la intelligibilità delle sale, è determinata dalla forma e dal rumore della sala, dalla riverberazione e dall'intensità sonora soggettiva.

La *costante della sala* R è un altro strumento per classificare e confrontare l'acustica di una sala:

$$R = \frac{S}{1 - \bar{\alpha}} \text{ [ft}^2\text{]}$$

Dove S è l'area complessiva delle pareti della sala in ft<sup>2</sup>, e  $\bar{\alpha}$  è il coefficiente di assorbimento medio del suono.

## Chiarezza

Il nostro orecchio ha la capacità di distinguere suoni a distanza di 50 ÷ 80 ms.

Tutte le riflessioni che arrivano a meno di 50 ÷ 80 ms da un suono diretto, rinforzano questo suono.

Se le riflessioni arrivano a più di 80 ms da un suono diretto si sente l'*eco* (flutter echo : eco ripetuto)

50 ms : per il parlato

80 ms : per la musica

L'energia che arriva prima dei 50 ms si chiama *energia utile*, mentre l'energia che arriva oltre i 50 ms prende il nome di *energia dannosa*.

La chiarezza è dunque data dal rapporto tra energia utile fratto quella dannosa.

$$C = \frac{EnUtile}{EnDannosa}$$

E si può calcolare con la seguente formula:

$$C_{80} = 10 \log \frac{\sum_{0 \rightarrow 80ms} p^2}{\sum_{80 \rightarrow \infty ms} p^2}$$

L'intervallo ottimale è  $\pm 1$  db.

L'alternativa alla *chiarezza* è il *tempo baricentrico*.

## Tempo baricentrico

Il tempo baricentrico ( $t_s$ ) è una grandezza continua e varia continuamente nello spazio.  $T_s$  è il punto dove si equilibra l'*energia utile* e l'*energia dannosa*.

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$$

$$T_s = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} i \Delta t \cdot p^2}{\sum_{i=0}^{\infty} p^2}$$

Per il parlato  $t_s$  è compreso tra 30 e 70 ms ; per la musica invece  $t_s$  è compreso tra 70 e 120 ms.

## Coefficiente di correlazione IACC (Inter Aural Cross Correlation)

È un numero compreso tra 0 e 1.

Il valore di IACC ottimale è  $0,2 \div 0,3$ .

Viene misurato con la testa di una macchina speciale ma risulta essere molto complicato da calcolare.

## Lateral fraction Lf

È più facile da misurare e soprattutto da calcolare rispetto all' IACC.

Si misura attraverso l'utilizzo di due microfoni:

- Microfono omnidirezionale  $\Theta$
- Microfono icosinusoidale a forma di  $\infty$

$$\text{Posso valutare : } Lf = \frac{EnMic\infty}{EnMic\Theta}$$

La normativa dice che per ogni microfono esiste un intervallo di misurazione :

- Microfono omnidirezionale =  $5 \div 80$  ms
- Microfono a forma di  $\infty$  =  $0 \div \infty$  ms

$$Lf = \frac{E\infty[5 \div 80ms]}{E\text{omni}[0 \div \infty ms]} < 1$$

L' Lf ottimale deve essere alto.

$$L_f \cong 1 - IACC$$

## NOMENCLATURA

**a** = assorbimento del suono (sabin o sabin metrici)

**c** = velocità del suono nell'aria (m/s)

**E<sub>0</sub>** = densità di energia acustica (J/m<sup>3</sup>)

**I** = intensità acustica (W/m<sup>2</sup>)

**IL** = livello di intensità (db)

**L** = cammino libero medio (m)

**L<sub>s</sub>** = livello di pressione acustica media nello spazio (db)

**m** =  $2\alpha$ , coefficiente di assorbimento nell'aria (neper/m)

**p** = pressione acustica (N/m<sup>2</sup>)

**R** = costante acustica della sala (m<sup>3</sup> o ft<sup>2</sup>)

**RF** = fattore di riduzione del rumore (db)

**S** = area (m<sup>2</sup>)

**SPL** = livello di pressione acustica (db)

**T** = tempo di riverberazione (s)

**TL** = perdita per trasmissione (db)

**V** = volume (m<sup>3</sup>)

**W** = potenza acustica (W)

**ρ** = densità (Kg/m<sup>3</sup>)

**α** = coefficiente di assorbimento acustico

$\bar{\alpha}$  = coefficiente di assorbimento acustico medio

$\alpha_e$  = coefficiente di assorbimento acustico efficace

$\tau$  = coefficiente di trasmissione acustica