

CONSERVATORIO DI MUSICA DI SANTA CECILIA  
DI ROMA

---

ELETTROACUSTICA E SISTEMI ELETTROACUSTICI II

Pasquale Citera

BIENNIO DI II LIVELLO IN MUSICA ELETTRONICA

paxxx06@gmail.com

# Studio dell'acustica dell'aula Bianchini

*Durante il corso di Elettroacustica e sistemi elettroacustici II, abbiamo affrontato il problema dell'acustica degli ambienti ed abbiamo appreso alcuni tra i principali strumenti di calcolo usati nello studio e calcolo del riverbero. Ora queste conoscenze acquisite sono applicate al calcolo del riverbero e allo studio dell'acustica dell'aula Bianchini, il laboratorio di musica elettronica del Conservatorio.*

NELLO studio dell'acustica degli ambienti bisogna intanto fare una distinzione preliminare importante, ovvero non vi è la stessa percezione o delle onde acustiche in ambienti con di grandi o ridotte dimensioni. Si indica infatti con "acustica dei grandi ambienti" (*Large room acoustics*) lo studio di quegli spazi dove la propagazione del suono è diffusa, cioè il gran numero di riflessioni fa sì che il suono sia il risultato di una somma statistica del totale delle frequenze. Mentre con "acustica dei piccoli ambienti" (*Small room acoustics*) si indica lo studio degli spazi dove, il suono è correlato strettamente ai valori di frequenza e alle risonanze che le onde sonore provocano nella stanza.

Lo studio dell'acustica dell'aula Bianchini fa, ovviamente, parte della se-

conda sfera di studi. Per una completa conoscenza del comportamento delle onde sonore in un piccolo ambiente è utile calcolare diversi valori.

I più importanti sono *il tempo di riverberazione*, *la costante della stanza*, *la frequenza critica*, *la distanza critica* e *le frequenze modali*.

## Il tempo di riverberazione

IL riverbero è l'insieme delle riflessioni che un'onda sonora subisce, se generata in ambienti chiusi, dove cioè il suono, nel suo propagarsi, incontra numerosi ostacoli che ne deviano il percorso, riflettendone una

parte ed assorbendone un'altra. È detto *tempo di riverberazione* il tempo che intercorre tra l'istante in cui cessa il suono all'origine e l'istante in cui il suono delle riflessioni dell'ambiente si riduce di 60 dB. Viene indicato con  $RT_{60}$ . La formula per calcolare il tempo di riverberazione è stata scritta da Wallace Clement Sabine nel 1895 ed è espressa dalla seguente equazione:

$$RT_{60} = \frac{0,161V}{S\alpha}$$

dove

0,161 è una costante derivata dalla velocità del suono,

$V$  è il volume dell'ambiente in  $mt^3$ ,  
 $S$  è la superficie totale dell'ambiente in  $mt^2$ ,

$\alpha$  è il coefficiente medio d'assorbimento.

Il coefficiente  $\alpha$  è dato dalla formula

$$\alpha = \frac{I_a}{I}$$

dove  $I_a$  è l'intensità del suono assorbito

ed  $I$  è l'intensità del suono incidente. Il coefficiente  $\alpha$ , quindi dipende dal materiale usato nel rivestimento delle superfici ed è ricavabile dalle tabelle esplicative dei coefficienti dei diversi materiali calcolati a frequenze diverse. Dato che ogni ambiente è formato da rivestimenti composti da diversi materiali, il coefficiente sarà la media di tutti i coefficienti presi singolarmente, secondo la formula:

$$\alpha = \frac{S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + \dots + S_n\alpha_n}{S}$$

dove  $S_n$ ... sono le superfici totali dei diversi materiali,  
e  $\alpha_n$ ... sono i rispettivi coefficienti

d'assorbimento.

### Costante della stanza

Conoscendo il coefficiente d'assorbimento medio e le dimensioni dell'ambiente è possibile ricavare una grandezza chiamata *costante della stanza* ottenuta dalla formula

$$R = \frac{S\alpha}{1-\alpha}$$

### Frequenza critica

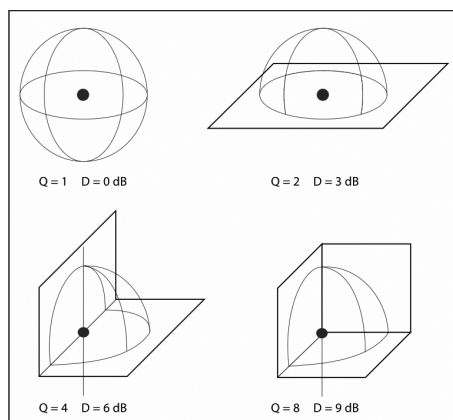
Un altro importante dato che va calcolato è la cosiddetta *frequenza critica*, vale a dire quella frequenza, sopra della quale il comportamento delle onde sonore segue criteri statistici, indipendenti dalle singole frequenze, propri dell'acustica dei grandi ambienti, e si calcola con la seguente equazione:

$$f_c = 2000\sqrt{\frac{RT_{60}}{V}}$$

Questo dato, attraverso la sua equazione inversa, stabilisce i volumi minimi degli ambienti per permettere l'intelligibilità del parlato o della musica.

### Distanza critica

Aumentando la distanza dalla sorgente sonora, il suono originario cala d'intensità mentre il suono riverberato aumenta. Il punto d'eguaglianza dei due livelli, oltre il quale, allontanandosi ulteriormente il livello del riverbero è superiore a quello del suono originario, è chiamata *distanza critica*. La distanza critica è in relazione anche con un'altra grandezza, la direttività della sorgente, che indica quanto la diffusione sferica del suono è limitata da barriere. A seconda delle barriere presenti è rappresentata in modi diversi. (fig.1)



La formula della distanza critica è

$$r = 0,141\sqrt{RQ}$$

dove

$r$  è la distanza critica

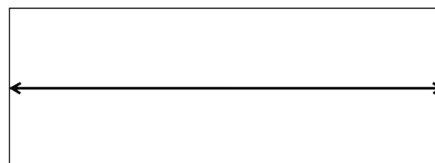
0,141 è una costante

$R$  è la costante della stanza

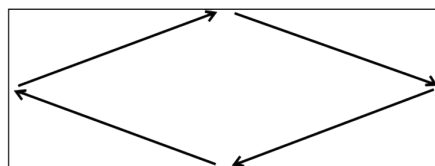
$Q$  è la direttività della sorgente (in rapporto ad una sfera)

### Onde stazionarie e modi di risonanza

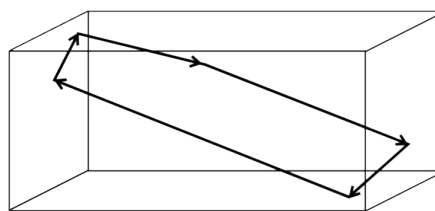
Un'onda sonora che viene emessa all'interno di un ambiente chiuso, è soggetta a riflessioni delle superfici che incontra lungo la sua propagazione. Quando queste riflessioni coincidono per fase e direzionalità con il suono originario, si creano le cosiddette *onde stazionarie*. Ogni ambiente ha le proprie onde stazionarie chiamate *frequenze modali* o *eigenmodes* dipendenti dalle dimensioni e dalla conformazione dell'ambiente. I modi, a seconda di quante pareti investono nel processo di risonanza, sono detti *assiali* se attraversano un solo asse della stanza, (fig.2)



*tangenziali*, se investono quattro pareti, (fig.3)



*oblique*, se investono tutte e sei le pareti (fig.4)



È possibile calcolare tutte le frequenze modali con la formula

$$F = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{p^2}{L^2} + \frac{q^2}{W^2} + \frac{r^2}{H^2}}$$

dove

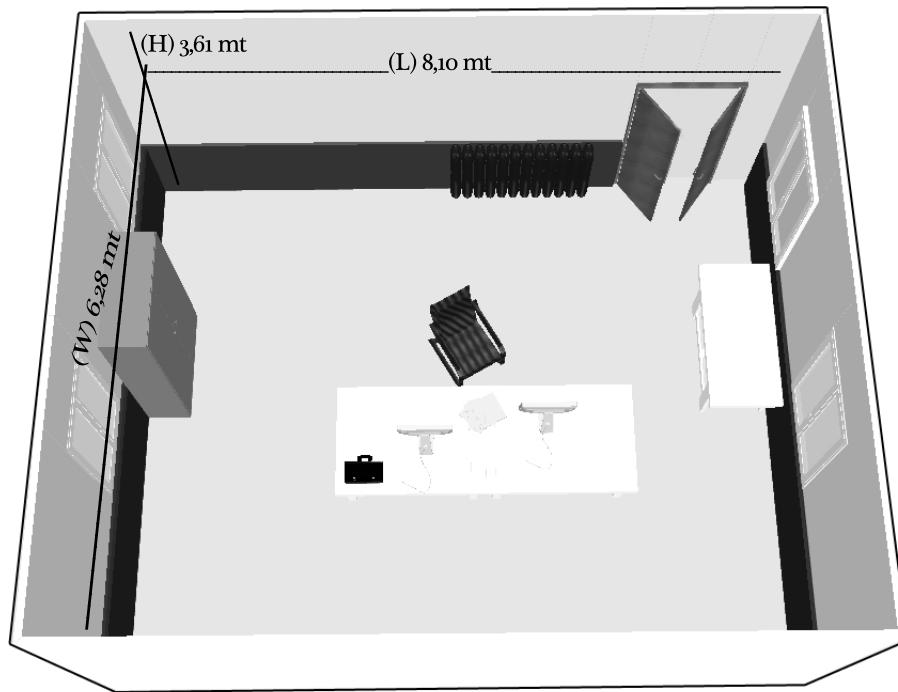
$c$  indica la velocità del suono,

$L, W, H$  sono le dimensioni della stanza (larghezza, profondità, altezza)

$p, q, r$  sono i numeri interi che definiscono l'ordine ed il tipo di frequenza modale.

### Le caratteristiche dell'aula

Quindi, conoscendo le dimensioni dell'aula di musica elettronica, i materiali e le superfici che i diversi materiali occupano, possiamo calcolare tutti i parametri citati.



Queste le dimensioni dell'aula del laboratorio di musica elettronica R.Bianchini:

- profondità (W) = mt 6,28
- larghezza (L) = mt 8,10
- altezza (H) = mt 3,61

La stanza è composta dai seguenti materiali :

- pavimento in parquet (superficie di  $54,67 m^2$ )
- soffitto rivestito in pannelli acustici (superficie di  $54,67 m^2$ )
- pareti rivestite in intonaco (superficie di  $62,16 m^2$ )
- boiserie mt 1,09 da terra (superficie di  $30,93 m^2$ )

- porta in legno (superficie di  $3,06 m^2$ )

- finestre in vetro (superficie totale di  $11,06 m^2$ )

La superficie totale  $S$  è di  $216,567 m^2$  ed il volume  $V$  è di  $197,36 m^3$ .

Date queste misurazioni e dalle medie dei coefficienti d'assorbimento dei diversi materiali, l'aula di musica elettronica avrà le seguenti caratteristiche:

**tempo di riverberazione** di  $0,52^{s1}$ ,  
**frequenza critica** sui 102,66 Hz,  
**distanza critica** attorno ai 2,20 mt,  
**costante della stanza** pari a 242.86.

$$^1RT_{60} = \frac{0,161(197,36)}{216,567(0,28)} = 0,5240041188$$

Per ultimo, conoscendo le tre dimensioni della stanza, possiamo calcolare le **frequenze modali**.

Di seguito una tabella con i primi 20 modi.

Modi	Frequenze(Hz)	L	W	H	Tipologia
1	20,46	1	0	0	assiale
2	26,39	0	1	0	assiale
3	56,29	1	0	1	tangenziale
4	42,47	2	0	0	assiale
5	25,48	0	1	0	assiale
6	63,83	2	0	1	tangenziale
7	33,17	1	1	0	tangenziale
8	54,03	0	1	1	tangenziale
9	58,05	1	1	1	obliquo
10	95,29	0	0	2	assiale
11	63,70	3	0	0	assiale
12	49,53	2	1	0	tangenziale
13	97,63	1	0	2	tangenziale
14	79,55	3	0	1	tangenziale
15	68,72	2	1	1	obliquo
16	104,33	2	0	2	tangenziale
17	98,64	0	1	2	tangenziale
18	68,61	3	1	0	tangenziale
19	110,06	1	1	2	obliquo
20	84,94	4	0	0	assiale

**Pasquale Citera 10/2012**