

## Misure acustiche nelle sale

### Università degli Studi di Parma Corso di Fisica Tecnica

#### Parte prima: Osservazioni introduttive

L'analisi dell'acustica di una sala e la misurazione dei parametri acustici che la caratterizzano si compie sollecitando il sistema con un segnale impulsivo e ricavandone così la risposta all'impulso.

#### Parte seconda: Descrizione dell'esperimento

La tecnica di misura più tradizionale per ricavare la risposta all'impulso della sala, oggetto della nostra analisi, è basata sulla simulazione del segnale impulsivo attraverso l'uso di colpi di pistola a salve.

A tale scopo si può utilizzare una pistola a tamburo, sulla punta della quale è montato un diffusore d'alluminio tutto forellato, in modo che il suono emesso abbia un fronte di propagazione abbastanza uniforme.

Chi spara deve avere inoltre l'accortezza di proteggersi le orecchie con delle cuffiette oppure con degli appositi tappi antirumore che filtrano molto le alte frequenze, lasciando passare di più le basse.

La misurazione della risposta all'impulso della sala deve avvenire in assenza di sistemi di amplificazione accesi (per esempio radiomicrofoni).

La risposta della sala viene registrata utilizzando un piccolo registratore stereo digitale, chiamato in gergo tecnico dat (digital audio tape), mentre come microfoni si possono utilizzare un paio di cuffie dotate di due microfoni stereo molto piccoli che si devono collocare all'imboccatura del condotto uditivo.

Questo microfono consente di fare una registrazione su due canali dove ciascun segnale, ciascun canale destro e sinistro, presenta il suono all'ingresso del condotto uditivo.

Una volta effettuati gli spari i dati relativi alla coda sonora che ne deriva sono registrati sulla cassetta del dat.

Questa registrazione digitale viene trasferita sulla scheda audio del computer dove vi si opererà in digitale.

Nel caso in cui non si fosse dotati di una scheda audio professionale con l'ingresso in digitale si è costretti a fare il trasferimento della registrazione in analogico e poi ad effettuare una nuova conversione A/D peggiorando la qualità dei dati.

Per trasferire la registrazione dalla cassetta del dat al computer ci si avvale di un editor di forme d'onda, il più comune è Cool Edit Pro, con questo programma si genera un'onda dello stesso formato con cui il segnale è stato registrato sul dat (il dat, normalmente, può registrare massimo a 48 KHz stereo 16 bit), si collega poi il cavetto del dat con l'ingresso della scheda audio e si effettua la registrazione.

Cool Edit Pro è un programma che consente di registrare i suoni e di elaborarli in molti modi diversi preparandoli ad esempio per farne poi un CD, è quindi un

software molto usato negli studi di registrazione e nelle radio private dove c'è necessità di campionare i suoni e di modificarli in vari modi: allungarli, accorciarli, filtrarli, riverberarli, ecc...

Una volta che si hanno le risposte all'impulso sul computer le si va a salvare su disco, tipicamente queste registrazioni vengono salvate su un computer in formato .wav (.wav è il formato tipico dei file audio su Windows).

Il formato .wav può contenere un qualsivoglia numero di canali con qualunque frequenza di campionamento e qualunque risoluzione come numero di bit.

Cool Edit è in grado di supportare una vasta gamma di formati "avanzati" dei file .wav, sia a 24 che a 32 bit (3 e 4 byte), quindi sostanzialmente è in grado di salvare qualunque tipo di formato non solo di file .wav ma anche di molti altri tipi di file del suono, i più comuni sono:

- .aif, il formato più comune sulle macchine Unix oppure Macintoshes.
- .voc, il formato della Sound Blaster.

E' un formato obsoleto perché la Sound Blaster è una scheda audio obsoleta, serve solo per la compatibilità col passato.

- .tim, il formato del sistema Mlissa, sistema che ha fatto la storia delle misure acustiche.

Il nome di questa estensione è un'abbreviazione della parola inglese time, sta a indicare che questi file sono segnali nel dominio del tempo.

E' importante mantenere la compatibilità con questo formato soprattutto perché il software di Mlissa è molto utilizzato anche oggi in quanto, pur trattandosi di un vecchio programma DOS privo di interfaccia grafica, è in grado di fare dei tipi di elaborazione che di fatto anche i programmi più moderni sotto Windows non sono mai riusciti ad eguagliare.

Tutti questi formati vengono supportati da Cool Edit Pro grazie all'esistenza di molti programmini addizionali che sono, dal punto di vista tecnico, delle DLL (dynamic link library), cioè delle librerie a link dinamico che vengono scritte e compilate in maniera indipendente dal programma principale.

Ogni DLL viene salvata nella stessa directory del programma principale, in questo caso Cool Edit, e viene resa operativa ogni volta che il programma aprendosi la rileva.

In generale le DLL del Cool Edit sono di due tipi: quelle aventi estensione .flt (i filter, che nella terminologia del Cool Edit sono filtri d'ingresso e d'uscita, cioè di salvataggio e di lettura da disco, filtri di importazione) e quelle aventi estensione .xfm (xfm è l'acronimo di transform, i filtri veri e propri che processano il segnale).

Il file aif.flt, per esempio, è la DLL che serve a leggere e a scrivere i file in formato .aif, mentre tim.flt è quella che rende in grado Cool Edit Pro di leggere e scrivere i file nel formato .tim della scheda Mlissa, quindi, quando si è in presenza di un formato sconosciuto a Cool Edit, è sufficiente aggiungere al programma la DLL corrispondente e questi diventa così in grado di leggere e di scrivere qualunque tipo di formato. In questo modo si possono estendere le funzionalità di Cool Edit Pro.

## **Parte terza: Analisi dei dati sperimentali**

Siamo ora in possesso della risposta dell'ambiente chiuso ai nostri spari e dalla risposta all'impulso si possono estrarre un grande quantitativo di informazioni sull'acustica dell'ambiente, come i tempi di riverberazione e molti altri parametri acustici caratteristici della sala.

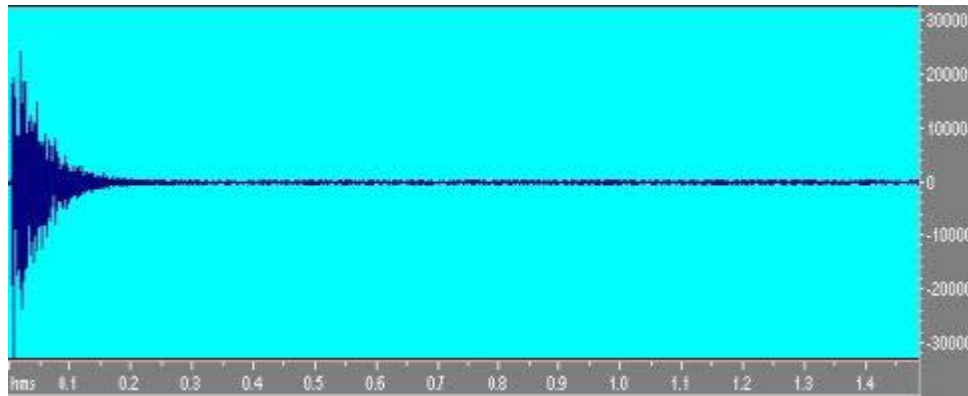


Figura 1 – Risposta all'impulso dell'ambiente.

## - Tempi di riverberazione

Sulla curva di decadimento di una sorgente sonora stazionaria si definisce il tempo di riverberazione come il tempo necessario al decadimento di 60 dB, si indica infatti con  $T_{60}$ .

Attraverso il procedimento matematico noto come l'integrazione all'indietro di Schroeder è possibile in maniera molto semplice e veloce il calcolo del decadimento di un suono stazionario interrotto (tempo di riverbero) in una sala mediante la misura della risposta all'impulso.

Quest'operazione d'integrazione all'indietro viene svolta nella nostra esperienza da Acoustical Parameters, un'ulteriore funzione di Cool Edit Pro.



Figura 2 – Integrale di Schroeder.

In Acoustical Parameters ci viene richiesta una serie di parametri tra cui l'intervallo in decibel su cui estrapolare la pendenza della curva di decadimento, e quindi calcolare un particolare tempo di riverberazione, chiamato dal programma  $T_{USER}$ , in quanto basato su dati forniti dall'utente.

In teoria noi dovremmo seguire la definizione di Sabine e calcolare il tempo di riverbero sull'intervallo 0 - 60 dB, ma in situazioni reali non si verifica mai un decadimento sonoro di 60 dB.

Nel caso illustrato in figura 3 è stato scelto l'intervallo da -5 a -15 dB rispetto al livello della sorgente stazionaria a regime, quindi un range di soli 10 dB anziché 60, il valore così misurato si chiama in gergo tecnico  $T_{10}$ .

Quando la sorgente stazionaria viene spenta il livello a regime decresce fino a raggiungere il livello minimo del rumore di fondo ( $L_0$ ), ad esempio il rumore dell'impianto di ventilazione della stanza.

In teoria si dovrebbe considerare il punto sul piano L - t in cui il livello è pari al livello a regime (-0 dB) e il punto in cui si ha un decadimento di 60 dB, in pratica, come già detto, non sempre si ha un decadimento di 60 dB, allora si fa in modo che il computer consideri il punto nel quale si è raggiunto un decadimento di -5 dB e quello in cui si ha un decadimento di -15 dB e gli si fa calcolare la pendenza del tratto congiungente, in modo che riportando questa pendenza ad un decadimento teorico di 60 dB, estrapolandola dal risultato ottenuto, si arrivi a misurare il tempo di riverbero su questo segmento estrapolato ( $T_{10}$ ).

Il  $T_{10}$  non è, dunque, il tempo necessario ad un decadimento di 10 dB, è comunque il tempo necessario ad un decadimento di 60 dB, però estrapolato da un tratto lungo il quale il livello decresce di 10 dB.

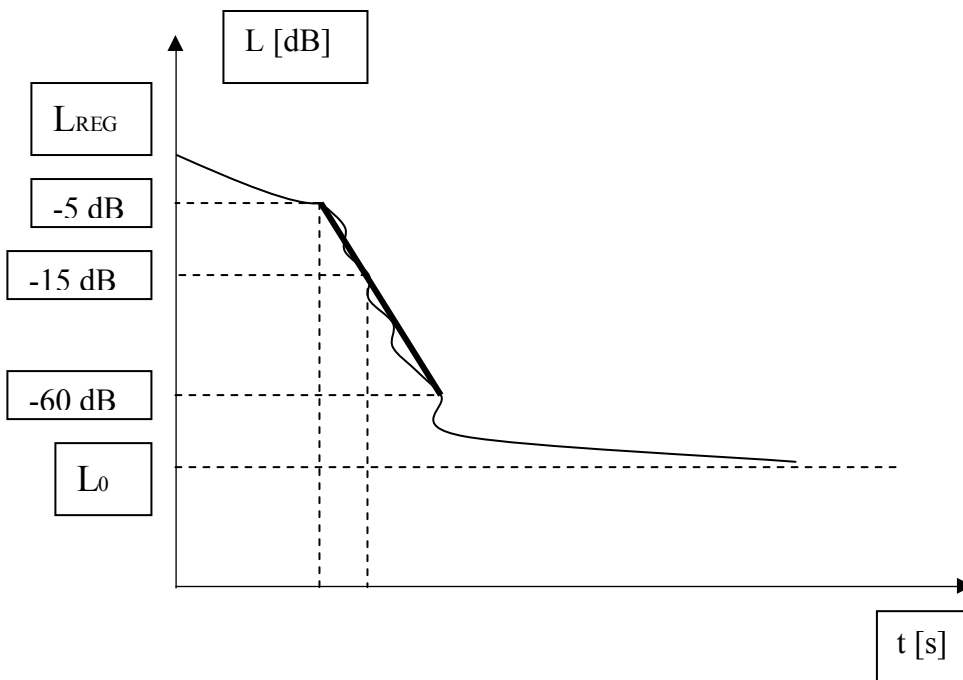


Figura 3 – Misura del tempo di riverbero sulla curva di decadimento.

Analogamente si può fare questa estrapolazione prendendo due punti aventi livello -5 e -25 e questo ci darà quello che si chiama il  $T_{20}$ , oppure si può considerare i due punti aventi livello -5 e -35 in modo da ottenere il  $T_{30}$ .

Il tempo di decadimento del primo tratto della curva di decadimento stessa, da -0 a -10 dB, si chiama edt (early decay time).

Tutti questi parametri ( $T_{10}$ ,  $T_{20}$ ,  $T_{30}$ ) sono sempre tempi per un decadimento di 60 dB, solo che vengono estrapolati da un intervallo lungo 10, 20 oppure 30 dB.

Quindi in una stanza non esiste un unico valore del tempo di riverbero, ma ne esistono tanti, esiste l'EDT, esiste il  $T_{10}$ , esiste il  $T_{20}$ , esiste il  $T_{30}$ .

Se il decadimento fosse lineare tutti questi parametri avrebbero lo stesso valore, che è quello che chiamiamo normalmente il  $T_{60}$ , cioè il tempo di riverbero di Sabine; in realtà, poiché per gli ambienti reali la curva di decadimento è solitamente una linea curva che cambia spesso concavità, non necessariamente questi valori sono coincidenti e quindi noi troveremo facilmente, nella nostra analisi di una sala, dei valori di EDT diversi, ad esempio, dai valori di  $T_{30}$ .

La variazione del tempo di riverbero in funzione del range di decadimento considerato è un indicatore del tipo di campo sonoro, più i valori dei vari parametri sono vicini tra loro, più il campo si dice sabiniano, cioè ubbidisce alla teoria di Sabine; la presenza, invece, di valori molto diversi tra l'EDT e il  $T_{30}$  è indice del contrario.

Acoustical Parameters riporta i valori dei vari tempi di riverbero (l'EDT, il  $T_{10}$  (nel nostro caso coincidente con il  $T_{USER}$ ), il  $T_{20}$  e il  $T_{30}$ ) tutti in un'unica tabella (figura 4).

#### OCTAVE BAND ACOUSTICAL PARAMETERS

	Band	Lin	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
Parameters												
C50 [db]		7.554	4.121	10.25	7.583	4.832	8.746	7.321	5.862	8.12	9.469	12
C80 [db]		13.48	12.39	18.65	12.71	10.39	14	14.86	11.28	14.76	15.48	19.69
D50 [%]		85.06	72.09	91.38	85.15	75.26	88.22	84.37	79.41	86.64	89.85	94.06
TS [ms]		27.89	41.96	21.68	33.48	36.33	32.26	29.27	30.74	28.5	23.49	22.87
EDT [s]		0.3425	0.3191	0.226	0.3534	0.4178	0.2593	0.3305	0.4187	0.3195	0.2912	0.2255
RT20[s]		0.3174	0.6298	0.2825	0.343	0.4307	0.3156	0.3125	0.3052	0.3062	0.2888	0.2278
r RT20		0.9986	0.9625	0.9751	0.9682	0.9863	0.9962	0.9913	0.9914	0.9965	0.9985	0.9959
RT30 [s]		0.3325	0.6633	0.3402	0.3957	0.4487	0.3182	0.334	0.3147	0.3134	0.2911	-
r RT30		0.9983	0.9878	0.9827	0.957	0.9947	0.9956	0.9949	0.9964	0.9985	0.9986	-
RTU [s]		0.3257	0.4439	0.3748	-	0.3819	0.3072	0.2947	0.3671	0.284	0.2958	0.2476
r RTU		0.9978	0.8523	0.9575	-	0.9551	0.9626	0.9773	0.9939	0.9937	0.995	0.9877
Noise Correction		Yes	yes	yes	yes	Yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes

Figura 4 – Tabella di Acoustical Parameters.

In questa tabella compaiono altri cinque parametri molto importanti per capire la qualità acustica di una sala, la loro importanza varia a seconda della funzione della

sala, sono infatti due i principali tipi di informazione che il canale acustico trasmette tra le persone: il parlato e la musica.

Sebbene questi due tipi di informazione abbiano requisiti diversi, i parametri che si utilizzano per la valutazione degli ambienti sono in parte gli stessi.

Il tempo di riverberazione è già di per sé un indicatore della qualità della sala, valori estremi del tempo di riverbero (molto bassi o molto alti) sono infatti indicatori di un difetto acustico.

Per ogni tipo di edificio esistono valori ottimali del tempo di riverberazione, suggeriti in funzione della frequenza sonora e in funzione delle dimensioni del locale.

I requisiti acustici per gli edifici di utilizzo scolastico, ad esempio, sono fissati nel decreto ministeriale del 18/12/1975; questo è un decreto importantissimo, in quanto, in assenza di altri decreti, si fa riferimento a questi parametri anche per altri tipi di edifici pubblici (tribunali, ospedali).

In questo decreto vengono normalizzati, tra le altre cose, anche i tempi di riverberazione (vedi figura 5). I tempi di riverberazione ottimali sono dati in funzione della frequenza da una curva "a campana rovesciata" che mostra come il valore minimo del tempo di riverbero si ha intorno ai 2000 Hz; è tollerato un aumento del tempo di riverbero verso le basse frequenze, che normalmente si verifica, ed è tollerato anche un aumento verso le alte, che normalmente non si verifica, perché l'assorbimento dell'aria diventa un elemento rilevante.

Quindi la norma mi impone dei valori limite sul tempo di riverbero.

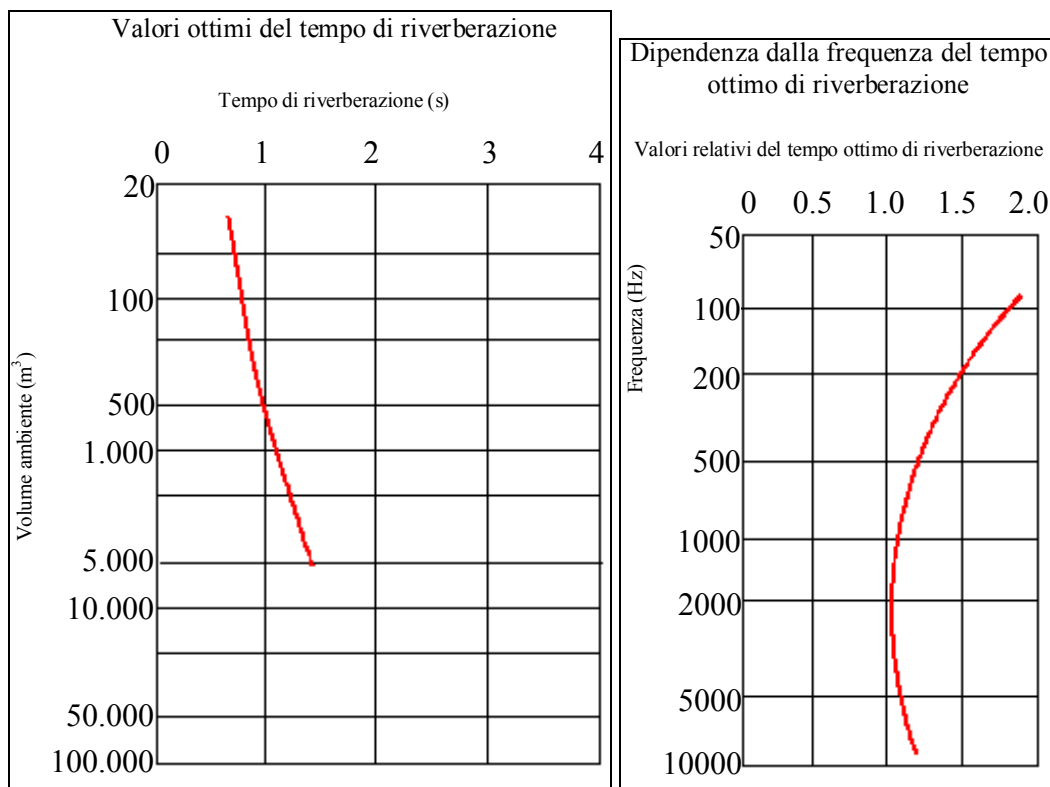


Figura 5 – Grafici A e B tratti dal D.M. del 18/12/1975 (dati non ufficiali: fare riferimento alla documentazione originale).

Il grafico B rappresenta i valori ottimali del tempo di riverberazione per un ambiente che ha un volume di mille metri cubi.

Se l'ambiente ha un volume più grande o più piccolo è consentita una variazione, in proporzione al volume, dei valori limite del tempo di riverbero definiti dalla stessa "campana rovesciata" traslata verso l'alto o verso il basso.

Il decreto ministeriale del 1975 fissa per le aule scolastiche parametri molto selettivi, in Italia le aule scolastiche che rispettano questa norma si calcola che non siano più del 5%; paesi, invece, molto avanti nella protezione dei loro cittadini dal rumore sono l'Australia e la Nuova Zelanda.

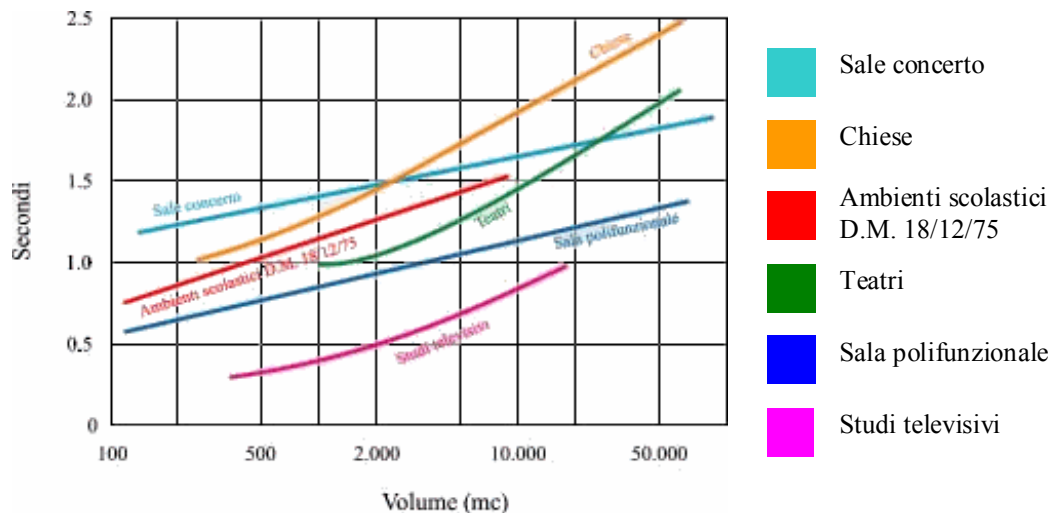


Figura 6 – Tempo di riverberazione ottimale in funzione del volume e dell'utilizzo dell'ambiente.

## - Indice di definizione

La norma tecnica che definisce il calcolo degli altri parametri acustici, oltre al tempo di riverberazione, è la norma ISO 3382 del 1997, è quindi una norma abbastanza recente, questo è dovuto al fatto che nel settore del calcolo dei parametri acustici si è verificata un'evoluzione molto rapida soprattutto nell'ultimo decennio che ha reso la precedente versione della norma (datata 1989) completamente obsoleta, in quanto, nel frattempo, erano state introdotte nuove tecniche di misura e definiti nuovi parametri acustici.

Questa evoluzione, se possibile, negli ultimi quattro anni si è ulteriormente accelerata, per cui le tecniche di misura descritte nella norma del '97 sono oggi già obsolete.

La tecnica di misura dei parametri acustici prevista nella norma del 1997 è, però, una tecnica molto economica, richiede soltanto, come abbiamo già visto, un semplice registratorino digitale (dat) e una pistola a salve, è quindi diventata, anche se è un po' obsoleta, la tecnica standard per la misurazione dei parametri acustici nelle sale.

I parametri stessi sono poi facili da calcolare in quanto sono tutti parametri basati sul rapporto tra energia utile ed energia dannosa:

$$\frac{E_{UTILE}}{E_{DANNOSA}}$$

In una risposta all'impulso si intende la prima parte (il suono diretto e le prime riflessioni che arrivano in breve ritardo rispetto al suono diretto) come suono utile e la coda riverberante come dannosa; questo perché il nostro sistema uditivo integra su un certo periodo e le prime riflessioni servono a rafforzare l'unicità del suono diretto e a rendere il trasferimento dell'informazione più chiaro e più preciso mentre la coda riverberante, pur essendo energia sonora che contribuisce in maniera rilevante al livello complessivo, non contribuisce al trasferimento dell'informazione (vedi figura 7).

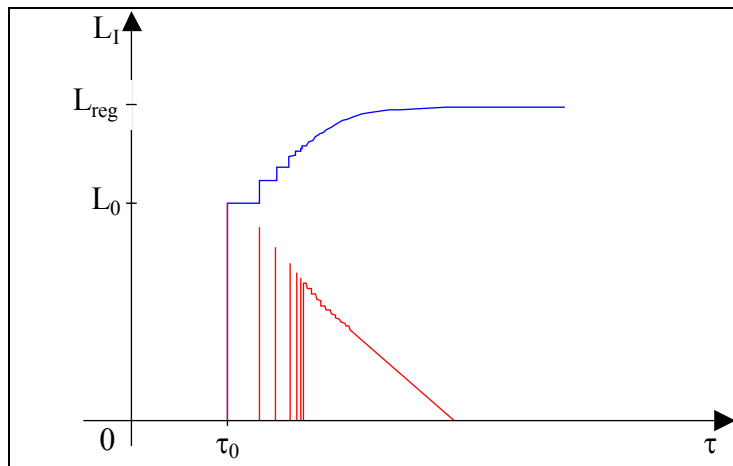


Figura 7 – Risposta impulsiva (in rosso) e sua integrazione nel tempo (in blu).

Tutti questi parametri acustici vengono descritti dal rapporto fra due integrali, quello a numeratore è l'energia utile, quello a denominatore l'energia dannosa.

In questi rapporti tra energia utile ed energia dannosa il valore ottimale non è, come si potrebbe pensare, infinito; esiste un valore ottimale finito per questi parametri, come esiste un valore ottimale finito del tempo di riverbero.

Esistono, inoltre, valori ottimali diversi per il parlato e per la musica. Per la musica, infatti, un certo impastamento dei suoni, una certa fusione delle note, un certo intorbidamento spaziale del suono risulta un pregio, mentre non lo è, evidentemente, dal punto di vista dell'udibilità della parola.

Il primo parametro acustico che venne introdotto fu la Definizione:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50ms} p^2(\tau) d\tau}{\int_0^{\infty} p^2(\tau) d\tau}$$

L'energia in questa formula è espressa come il quadrato della pressione.

La Definizione fu definita da uno studioso tedesco; nel campo dell'acustica delle sale (room acoustic) i tedeschi sono sempre stati la prima potenza mondiale.

Il simbolo D esteso con il pedice 50 sta a ricordare che il suono che viene assunto come utile al trasferimento dell'informazione è quello presente nei primi 50 ms.



Questo parametro, per come è definito, è una grandezza adimensionale, un numero, che può variare da 0 a 1; nel caso di presenza di solo suono diretto vale 1, nel caso, assurdo, di completa assenza di suono diretto ed esclusiva presenza di campo riverberante il valore limite del rapporto tende a 0.

Questo è un indice che venne definito primariamente con lo scopo di caratterizzare le sale destinate alla parola (come ad esempio le aule scolastiche), per le sale destinate a questo utilizzo i valori ottimali dell'indice di definizione sono all'incirca 0,7 / 0,8 (70 – 80 %).

### - Indice di chiarezza $C_{50}$

Un'altra grandezza che viene definita nella norma ISO3382 è l'indice di chiarezza.

L'indice di chiarezza venne definito da Reimer e Muller, altri due studiosi tedeschi.

La sua definizione è:

$$C_{50} = 10 \cdot \log \frac{\int_0^{50ms} p^2(\tau) d\tau}{\int_{50ms}^{\infty} p^2(\tau) d\tau}$$

Nel rapporto che compare nella definizione dell'indice di chiarezza a numeratore vi è l'energia utile e a denominatore l'energia dannosa: ciò rende questo parametro molto funzionale, perché comprende in sé la definizione del proprio valore ottimale.

Valori di chiarezza positivi (1, 2 dB) indicano un campo sonoro molto chiaro, troppo chiaro dopo i 2 dB; viceversa valori negativi (-1, -2 dB) indicano un campo sonoro poco chiaro, e valori inferiori ai -2 dB sono considerati eccessivamente bassi.

Quindi l'intervallo ottimale, per questo parametro, è dai -2 ai +2 dB.

### - Indice di chiarezza $C_{80}$

Quando si analizza una sala che ha anche una funzione musicale (si possono infatti avere sale che hanno la doppia funzione: tipicamente un auditorium) il parametro  $C_{50}$  non è più il parametro corretto,  $C_{50}$  è un parametro corretto solo per il parlato, per la musica, siccome vogliamo un suono più legato, più mescolato, accettiamo riflessioni più tardive; una riflessione, infatti, che arriva 70 ms dopo il suono diretto è già dannosa per il parlato, ma è ancora utile per la musica: di conseguenza, per l'utilizzo musicale, si definisce un ulteriore indice di chiarezza, chiamato  $C_{80}$ :

$$C_{80} = 10 \cdot \log \frac{\int_0^{80ms} p^2(\tau) d\tau}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(\tau) d\tau}$$

Nel rapporto vi è a numeratore l'energia utile (si considera tale, in questo caso, il suono da 0 a 80 ms) e a denominatore l'energia dannosa (il suono da 80 ms all'infinito).

Una proprietà importante della definizione dell'indice di chiarezza, valida anche per il  $C_{80}$ , è che porta in sé la definizione del proprio valore ottimale.

Il  $C_{80}$  ha lo stesso intervallo ottimale del  $C_{50}$ : (-2 dB, +2 dB).

L'indice di chiarezza, così come definito dagli studiosi tedeschi Reimer e Muller, si presta ad una critica abbastanza fondata formulata per la prima volta dallo studioso americano Meranek.

Questa critica si basa sul fatto che, seguendo la definizione dell'indice di chiarezza, data in precedenza, nello svolgere l'analisi acustica di una sala, si arriverà ad una incongruenza, ad un assurdo tra il parametro ricavato matematicamente e la realtà fisica della stanza.

Si troverà, infatti, un punto della stanza in cui vi è una riflessione tardiva di 79 ms, costituente energia ancora utile al trasferimento dell'informazione, movendosi di poco da quel punto e rilevando così quella riflessione dopo 81 ms, in realtà, il nostro sistema uditivo, non avendo assolutamente un millisecondo di risoluzione, non ha percepito la benché minima e apprezzabile differenza e in effetti non è praticamente cambiato niente in realtà, ma il valore numerico misurato attraverso la definizione di indice di chiarezza cambia notevolmente, perché nella formula l'energia riflessa a 79 ms stava a numeratore mentre a 81 ms finisce a denominatore.

Questo fa in modo che mappando i valori di chiarezza nell'ambito della sala si riscontrino improvvisamente delle brusche variazioni anche di 1 - 1,5 dB.

Questo è chiaramente un artefatto numerico (dato dal fatto che ci debba essere un limite di integrazione fisso) perché noi ci troviamo in un contesto stazionario. Per ovviare a questo problema Meranek propose una transizione incrociata (illustrata in figura 8):

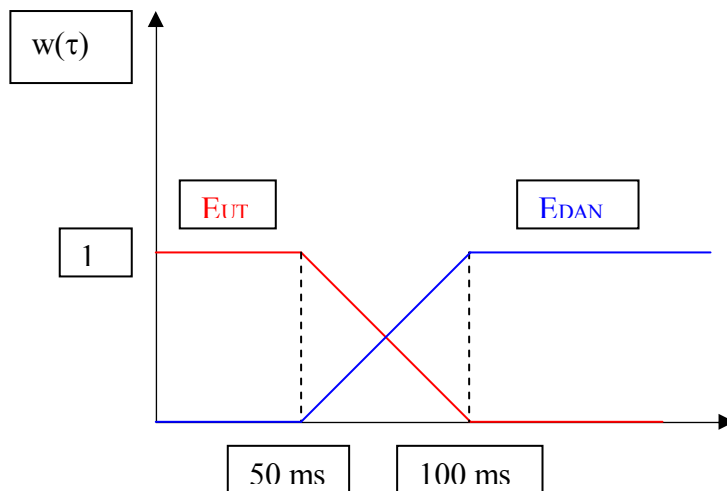


Figura 8 – Transizione incrociata proposta da Meranek.

La funzione  $w(\tau)$  vale 1 fino a 50 ms, tra i 50 e i 100 ms decresce linearmente, fino a raggiungere il valore nullo dopo 100 ms, questo per il calcolo dell'energia utile. Per l'energia dannosa  $w(\tau)$  vale 0 fino a 50 ms, sale linearmente tra i 50 e i 100 ms, fino a raggiungere il valore unitario dopo i 100 ms.

Attraverso questa transizione incrociata è possibile calcolare il rapporto presente nelle formule dell'indice di chiarezza e dell'indice di definizione con un limite di integrazione che, nell'intervallo da 50 a 100 ms, non è più fisso ma è variabile e ricavabile dal grafico di figura 8.

Purtroppo però all'interno del gruppo di lavoro che formulò la norma ISO i tedeschi la facevano da padroni, con Muller capo dell'acustica mondiale, e quindi l'indice di chiarezza venne definito con l'estremo di integrazione fisso e non venne adottato questo criterio, anche se migliore.

## - Tempo baricentrico

Il tempo baricentrico  $t_s$ , ennesimo parametro acustico definito da uno studioso tedesco, è definito in questo modo nella ISO3382:

$$t_s = \frac{\int_0^{\infty} \tau \cdot p^2(\tau) d\tau}{\int_0^{\infty} p^2(\tau) d\tau}$$

Il tempo baricentrico è un parametro importante, perché, pur mantenendo il concetto di rapporto energetico, tuttavia è un parametro dimensionalmente omogeneo che non presenta il margine di decadimento ma la quantità di energia che possiede la coda riverberante rispetto al campo diretto, quindi rappresenta la distribuzione dell'energia rispetto al suono diretto.

Purtroppo non vi è ancora accordo su quali siano i valori ottimali di questo parametro per quanto riguarda il parlato, in campo musicale, invece, per la musica sinfonica tedesca il valore suggerito è 100 ÷ 130 ms.

Una sala con tali caratteristiche è molto riverberante, cioè è dotata di scarsa chiarezza.

A Vienna, a Berlino esistono dei teatri privi di palcoscenico, sale rettangolari dove l'orchestra suona al centro e tutt'attorno vi sono le gradinate: questi teatri si chiamano Concert Hall, sale da concerto.

Nelle Concert Hall si fa una musica diversa da quella che si fa nei nostri teatri, per questo tipo di sale vengono normalmente graditi valori più elevati del tempo baricentrico, perché in queste sale non c'è quel filtro costituito dal boccascena, o dalla presenza della buca d'orchestra.

Il suono diretto, tendenzialmente, sarebbe sempre troppo forte (ci sono delle persone che si trovano a 4 - 5 metri dagli orchestrali), da qui sorge la necessità di una maggiore presenza del campo riverberante, in modo da controbilanciare l'eccessiva crudezza ed asprezza del suono.

## - Strenght

Il quinto e ultimo (venne inserito all'ultimo, in appendice) parametro acustico definito nella norma ISO3382 è la Strenght (simbolo: G).

Questo parametro, probabilmente il più importante di tutti, altro non è che il livello sonoro.

La definizione esatta della Strenght è:

$$G = L_p - L_{p,10m}$$

G è quindi, semplicemente, il livello di pressione normalizzato rispetto al livello della mia sorgente sonora misurata a 10 m di distanza in campo libero, quindi all'aperto, senza la riflessione della sorgente.

A sua volta  $L_{p,10m}$  si può esprimere come:

$$L_{p,10m} = L_w - 11 - 20 \log 10 = L_w - 31$$

da cui:

$$G = L_p - L_w + 31$$

La Strength G è, quindi, sostanzialmente, la differenza fra il livello di pressione ( $L_p$ ) e il livello di potenza ( $L_w$ ), offsettata di 31 dB.

I valori ottimali della G, fortunatamente, sono all'incirca gli stessi valori ottimali dell'indice di chiarezza.

Fra tutti i parametri acustici di cui si è fin qui parlato, questo è l'unico sul quale si ha effetto accendendo o spegnendo il sistema di amplificazione della sala, una differenza così significativa è influente per tutti gli altri parametri e questo significa che sono tutti parametri meno significativi rispetto a questo, che è indubbiamente il più importante.

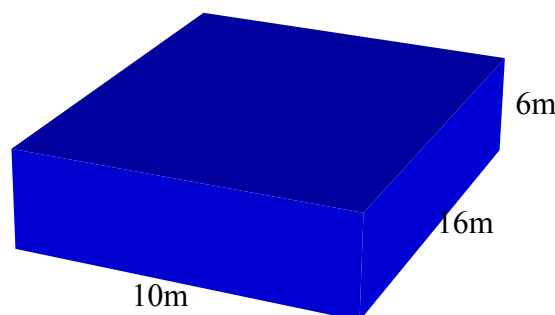
Anche gli altri parametri hanno la loro importanza soprattutto quando il problema non è sentire poco ma è sentire bene, luoghi dove la funzione acustica è lo scopo stesso dell'esistenza dell'edificio.

### Parte quarta: Esercizio applicativo

In questo esercizio viene illustrato come il valore della Strength sia legato al tempo di riverbero.

Questo legame rende possibile trasformare il requisito posto dal decreto del '75 in termini di tempo di riverbero, in un corrispondente vincolo sulla Strength.

**Figura:**



**Dati:**

Volume della stanza

$$V = 1000 \text{ m}^3$$

Superficie interna totale

$$S = 632 \text{ m}^2$$

$T_{30}$  a 1000Hz  
 $L_w$  della sorgente (pistola)

$T_{30} = 1,43$  s  
 $L_w = 120$  dB  
 $Q = 1$   
 $L_{p, 8 m, SALA} = ?$

**Svolgimento:**

Determino  $\bar{\alpha}$  (coefficiente di assorbimento medio dell' ambiente):

$$T_{30} = 1,43 = 0,161 \frac{V}{\bar{\alpha} \cdot S} \Rightarrow \bar{\alpha} = 0,161 \frac{V}{T_{30} \cdot S} = 0,161 \frac{1000}{1,43 \cdot 632} = 0,178 .$$

Determino  $\bar{\alpha} \cdot S$  :

$$\bar{\alpha} \cdot S = 112,6 m^2 .$$

A questo punto andiamo a calcolare il livello sonoro che si sviluppa se la sorgente sonora si trova ad una distanza di 8 m dal microfono ( $L_{p, 8 m, SALA}$ ):

$$L_{p, 8 m, SALA} = L_w + 10 \log \left[ \frac{Q}{4\pi d^2} + \frac{4}{\alpha S} \right] = 120 + 10 \log \left[ \frac{1}{4\pi \cdot 8^2} + \frac{4}{112,6} \right] = 105,65 dB .$$

$\begin{matrix} 90,8 & & 105,5 \\ \text{SUONO} & & \text{CAMPO} \\ \text{DIRETTO} & & \text{RIVERBERANTE} \\ \hline 1 & 4 & 4 & 4 & 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 3 \end{matrix}$   
 CAMPO SEMIRIVERBERANTE

Il risultato è completamente riverberante, questo vuol dire che siamo molto lontani dalla distanza critica, calcoliamola:

$$d_{CRITICA} = \sqrt{\frac{1}{4\pi} \cdot \frac{112,6}{4}} = 1,49 m .$$

Se noi siamo a una distanza maggiore della distanza critica conta solo il campo riverberante.

Determino ora il livello diretto:

$$G = L_{DIR} - L_w + 31 = 90,8 - 120 + 31 = 1,8 dB$$

$$L_{DIR} = 120 - 11 - 20 \log 8 = 90,94 dB .$$