

PARTE III

PARAMETRI ACUSTICI E MISURE

In partnership with



LEZIONE 3.1

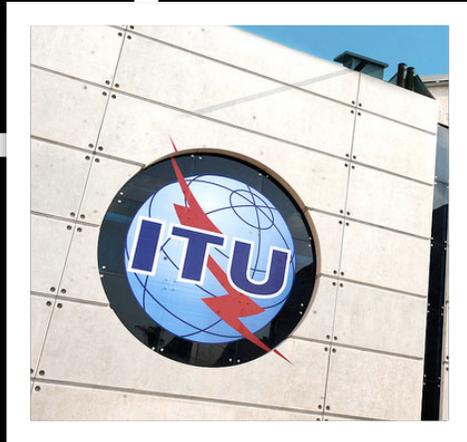
STANDARD E REQUISITI ACUSTICI PER UNO STUDIO – SETUP E MISURA

In partnership with



AES

Audio Engineering Society



AES TECHNICAL COUNCIL

Document AESTD1001.1.01-10

“Multichannel surround sound systems and operations”

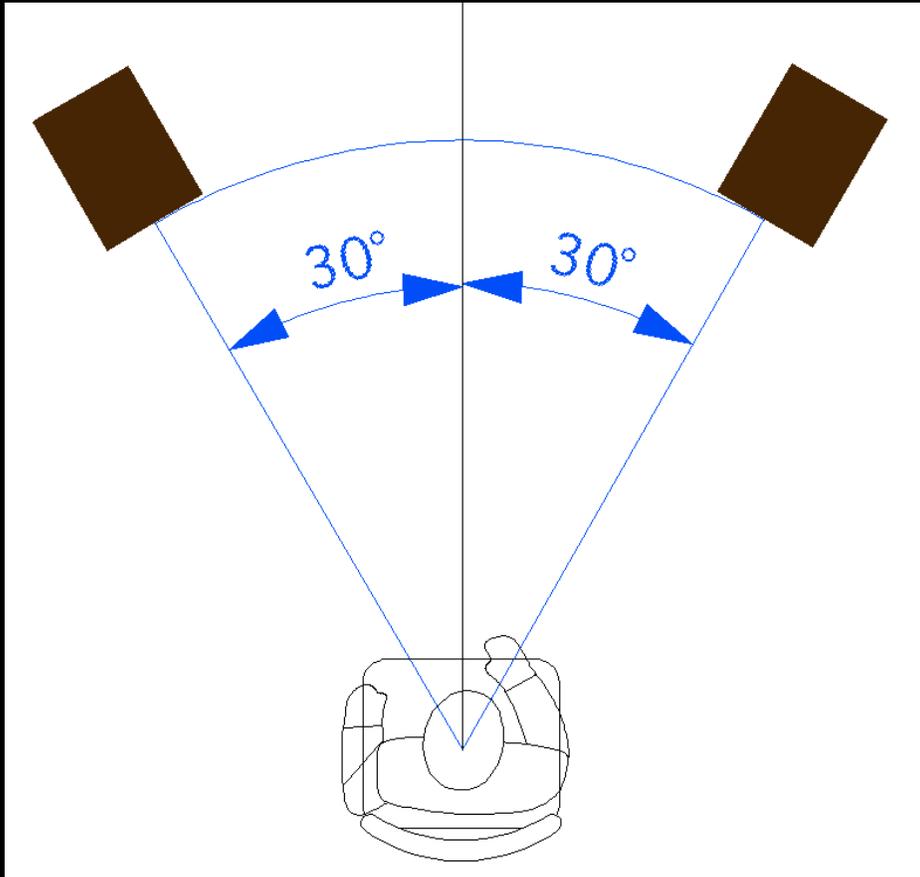
ITU-R BS 775-1 (Geneva, 1992-94)

“Multichannel stereophonic sound system with and without accompanying picture”

ITU-R BS 1116-1 (Geneva, 1994-97)

“Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems”

STEREO



Molti lavori di ricerca sono stati fatti negli ultimi 50 anni per determinare il migliore angolo di posizione di due altoparlanti riproducenti materiale stereo.

Per riprodurre un centro mono virtuale l'angolazione migliore è 60°.

TRIANGOLO EQUILATERO

Loudspeakers indirizzati con asse acustico verso il punto d'ascolto

Parameter	Units/Conditions	Value
Room size (floor surface area) Mono/2-channel stereo Multichannel	S [m ²]	>30 >40
Room proportions	<i>l</i> = length <i>w</i> = width <i>h</i> = height	$1.1 w/h \leq l/h \leq 4.5 w/h - 4$, with $l/h < 3$ and $w/h < 3$ (Ratios within $\pm 5\%$ of integer values are considered unsatisfactory.)
Base width 2-channel stereo Multichannel	<i>B</i> [m]	2.0–4.0 2.0–4.0
Basis angle 2-channel stereo Multichannel	[deg] referred to L/R	60 60
Listening distance 2-channel stereo Multichannel	<i>D</i> [m]	2 m–1.7 <i>B</i>
Listening zone (radius) 2-channel stereo Multichannel	<i>R</i> [m]	0.8 0.8
Loudspeaker height (from acoustic center) 2-channel stereo Multichannel (all)	<i>h</i> [m]	≈ 1.2 ≈ 1.2
Distance to surrounding reflecting surfaces 2-channel stereo Multichannel	<i>d</i> [m]	≥ 1 ≥ 1

Dimensioni
Proporzioni
Angoli
Distanze
Altezza casse
Distanza dalle pareti
riflettenti

Parameter	Units/Conditions	Value
Direct sound Amplitude/frequency response	Free-field propagation measurements	For tolerance borders see Table 3 (reference monitor)
Reflected sound Early reflections	0–15 ms (in region 1–8 kHz)	< –10 dB relative to direct sound
Temporary diffusion of reverberant sound field	Avoidance of significant anomalies in sound field	No flutter echoes, no sound coloration, etc.
Reverberation time	T_m [s] = nominal value in region of 200 Hz to 4 kHz V = listening room volume V_0 = reference room volume (100 m ³)	$\approx 0.25 (V/V_0)^{1/3}$ (Reverberation time decay and tolerance borders are shown in Figure 3.)
Stationary sound field Operational sound level curve	50 Hz–2 kHz 2 kHz–16 kHz	± 3 dB ± 3 dB from –3 to –6 dB (in accordance with tolerance field, see Figure 4)
Background noise		Ideally <NR10; never >NR15
Reference listening level (relative to defined measurement signal)	Input signal: pink noise, –18 dBFS (rms)	78 dBA (rms slow) (per channel)*

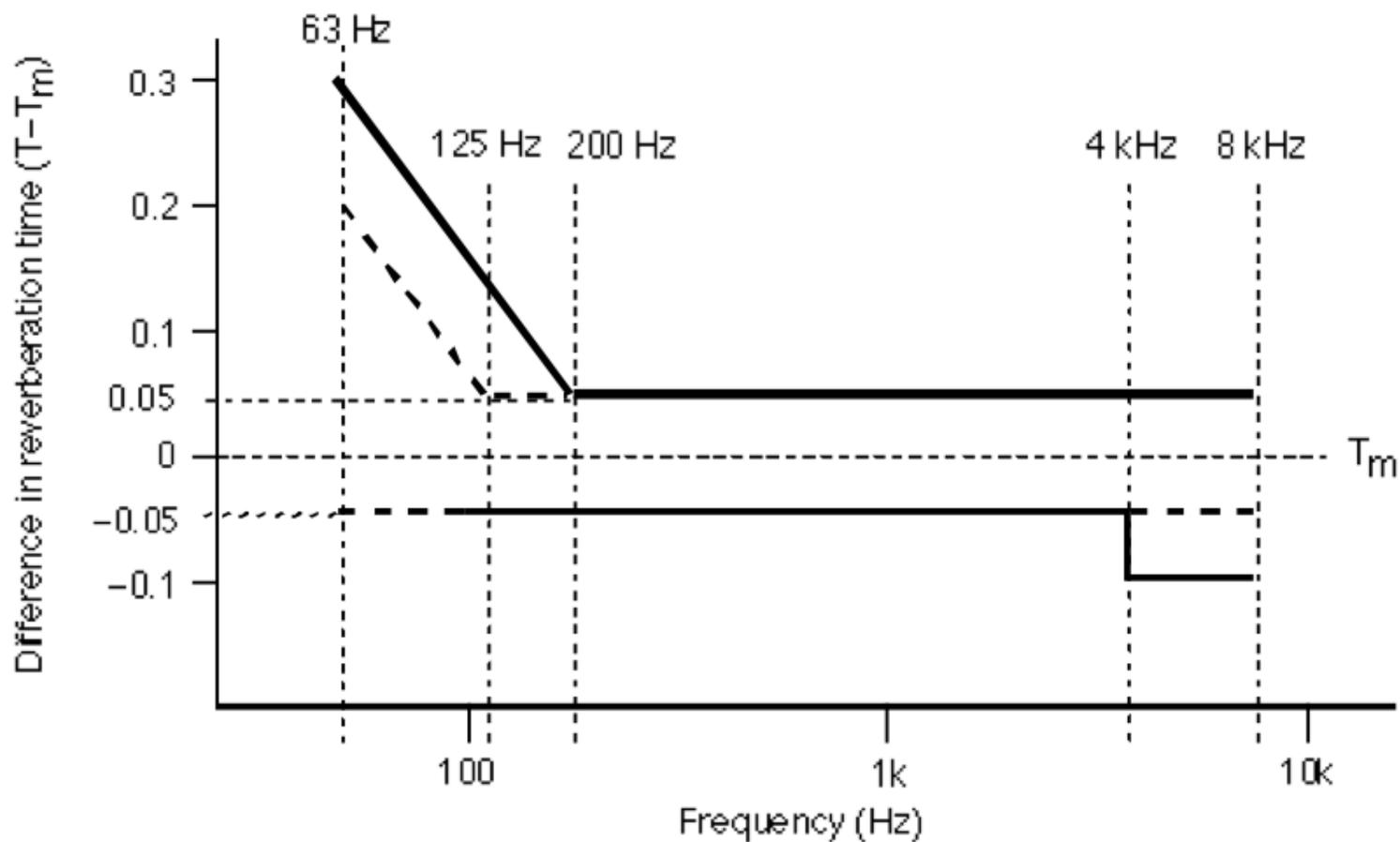
Parametri da raggiungere:

Risposta in frequenza

Tempo di riverberazione (dipende dalla dimensione)

Rumore di fondo

Tempo di riverberazione



**Tempo di
riverberazione
(dipende dalla
dimensione)**

$$T_m = 0.25 (V/V_0)^{1/3}$$

dove $V_0 = 100 \text{ m}^3$

**quindi per una sala
di 100 m^3 $RT = 0.25\text{s}$
di 50 m^3 $RT = 0.20\text{s}$
di 30 m^3 $RT = 0.17\text{s}$**

Figure 3. Tolerance mask for reverberation time, relative to arithmetic average value T_m . (Based on international recommendations, but extended to lower frequencies, with smaller tolerances in the range of 63–125/200 Hz.)

AES

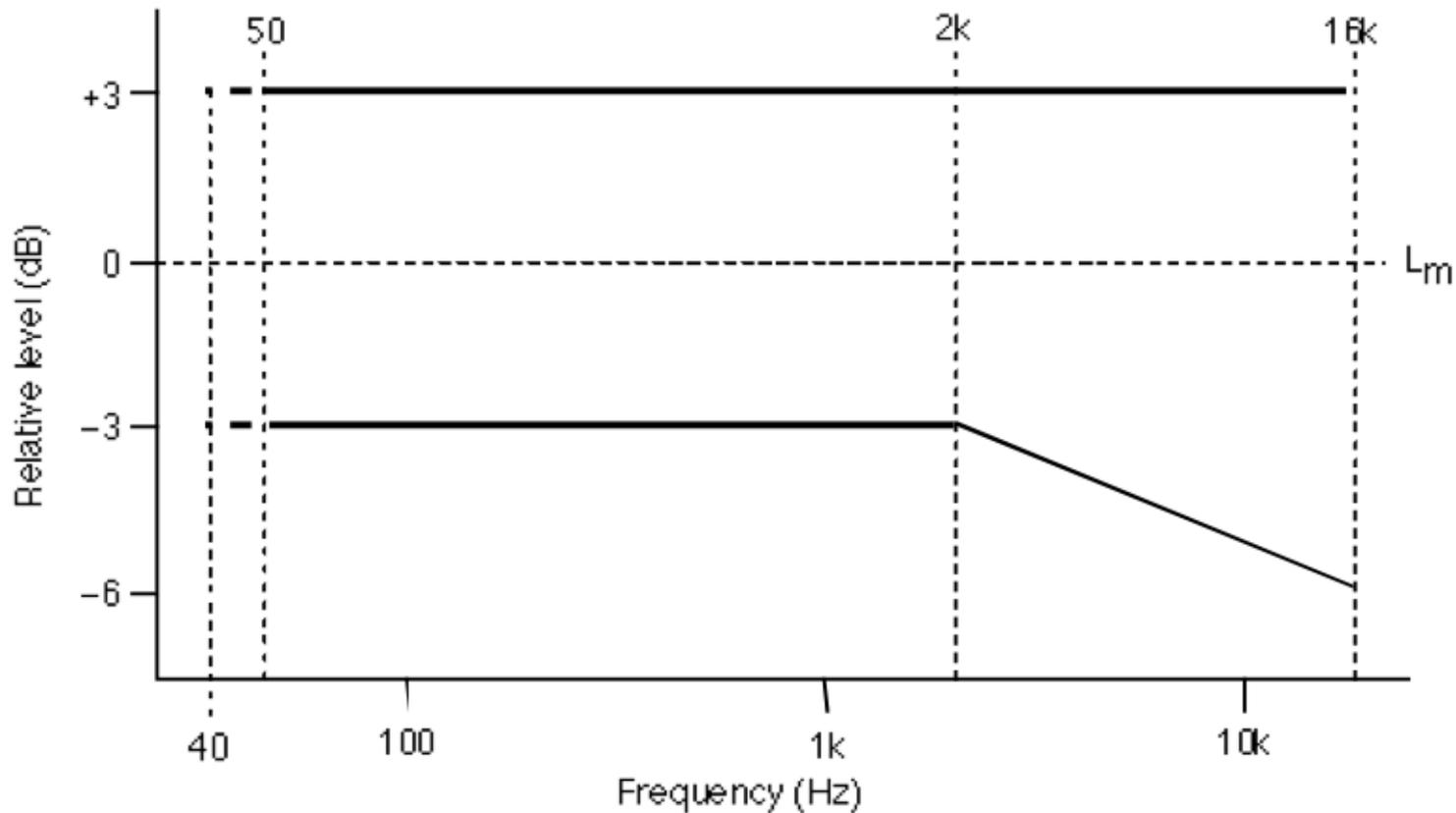


Figure 4. Tolerance limits of operational room response curve, relative level. (Based on international recommendations but extended to lower frequencies.)

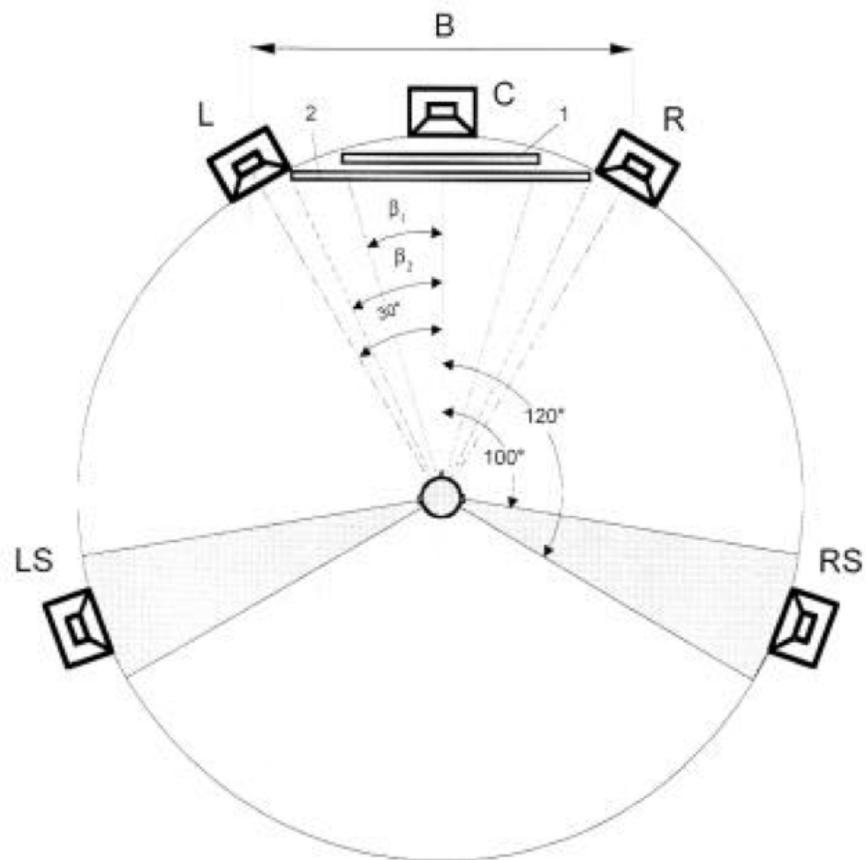
Maschera per la risposta in frequenza ottimale.

La tolleranza è molto stretta e generalmente non si riesce a raggiungere senza equalizzazione, neanche nelle sale più belle.

Multi canale 5.1

La risoluzione del sistema orecchio/cervello è di circa 3 gradi sopra l'orizzonte d'ascolto delle orecchie e da 3 a 10 gradi sotto tale orizzonte.

È fortemente raccomandato che gli altoparlanti siano collocati ad uguale distanza dalla posizione d'ascolto e risultino simmetrici i percorsi acustici rispetto l'ambiente. In altri termini tutte le sorgenti del suono devono avere lo stesso tempo di arrivo nella posizione d'ascolto.



Screen 1: Listening distance = $3H$ ($2\beta_1 = 33^\circ$)

Screen 2: Listening distance = $2H$ ($2\beta_2 = 48^\circ$)

H : Screen height

B : Loudspeaker basis width

Figure 1. Reference loudspeaker setup with loudspeakers L/C/R and LS/RS, in combination with picture reproduction installation (in accordance with ITU-R BS. 775-1)

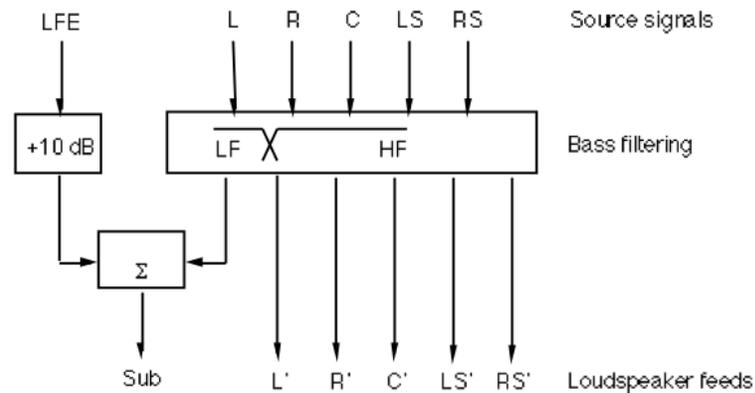


Figure 2. Derivation of combined subwoofer and LFE signals.

Disposizione delle casse, stereo (L/R) e 5.1

<i>Acoustical Center</i>	<i>Angle</i>	<i>Height</i>	<i>Tilt</i>
C	0°	1.2m*	0°*
L, R	±30°	1.2m	0°
LS, RS	±100–120°	≥1.2m	≤ 15°

* Depending on shape, type, and size of screen.

Posizionamento sul piano verticale

Il nostro cervello a un'elevata capacità di localizzare informazioni sul piano orizzontale ma non è altrettanto selettivo sul piano verticale.

La posizione e la conformazione delle orecchie ne danno ragione.

Specifiche ITU: Posizione ideale è che per i tre monitor centrali gli assi acustici siano posti alla stessa distanza.

La localizzazione verticale ha una tolleranza di 7 gradi.

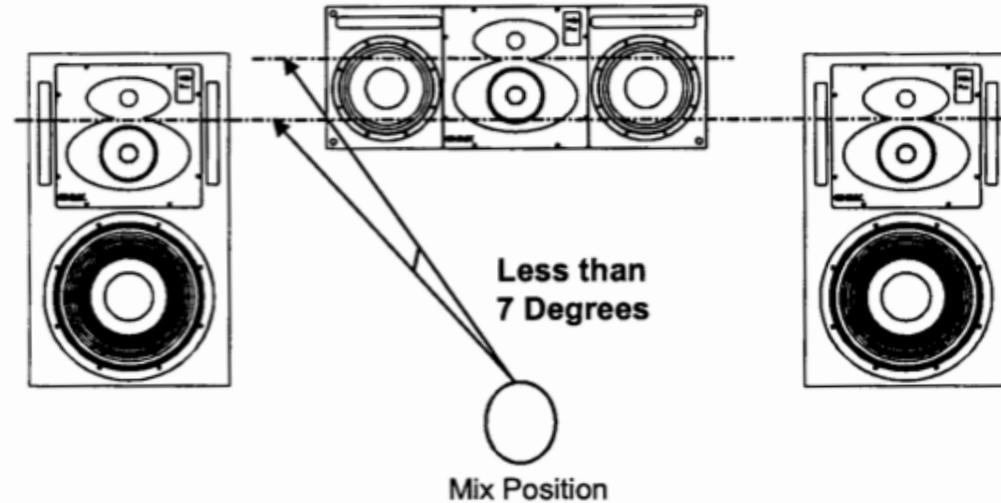


Fig.8: Tolleranza della localizzazione virtuale del sistema orecchio/cervello applicate al posizionamento del monitor.

Entro 7 gradi abbiamo quindi una localizzazione incerta. In altri termini due sorgenti possono essere posizionate con leggere variazioni verticali senza che il cervello noti tale variazione.

Le norme ITU sono rigide per quanto riguarda le altezze dei tre monitor frontali che devono essere alla medesima altezza, ma sono più elastiche per gli altoparlanti surround.

Questi possono essere collocati più in alto dei monitor frontali e inclinati verso il basso, verso la posizione d'ascolto sino ad un angolo di 15°

Quando sono impiegati i Big-monitors bisogna tenere conto che l'interazione con il pavimento al di sotto dei 400 Hz può essere un serio problema se gli altoparlanti sono troppo in basso.

Più grandi sono i monitor, più lontano dal pavimento devono essere collocati: viene comunemente impiegata una sovra altezza massima di $15\div 20^\circ$ rispetto alle orecchie nelle installazioni stereo.

Posizionamento near-field monitors

- **tutti gli altoparlanti devono essere dello stesso tipo**
- **sebbene sia una pratica diffusa i monitors non dovrebbero essere posti sopra il meter-bridge della consolle**
- **nei locali piccoli anche i monitor devono essere piccoli e vanno collocati il più possibile a ridosso delle pareti onde evitare le cancellazioni di fase**
- **nei locali ampi devono stare lontano dalle pareti perché in questo modo migliora il rapporto energetico diretto/riverberante, ma attenzione alle cancellazioni!**

Posizionamento dei main-monitors

- **devono essere montati a filoparete per raggiungere la migliore prestazione (Flush Mount, Sound Wall, Baffle etc.)**
- **se non fosse possibile, dovranno essere collocati a ridosso di una superficie onde evitare cancellazioni a basse frequenze, ma per i monitor più grandi non è possibile perché la profondità della cassa è abbastanza grande da porre l'altoparlante ad una distanza tale da produrre comunque cancellazioni alle basse frequenze**

Posizionamento del subwoofer

- **posizionato molto vicino alla parete frontale e leggermente spostato dalla mezzeria della stanza onde evitare il punto di minima pressione della stazionaria trasversale (scelta sempre ottimale)**
- **in un angolo vicino alla parete frontale e ad una laterale. Questa posizione massimizza l'efficienza per il carico angolare, però questa scelta ha dei detrattori, soprattutto se la frequenza di taglio del subwoofer non è così bassa...**

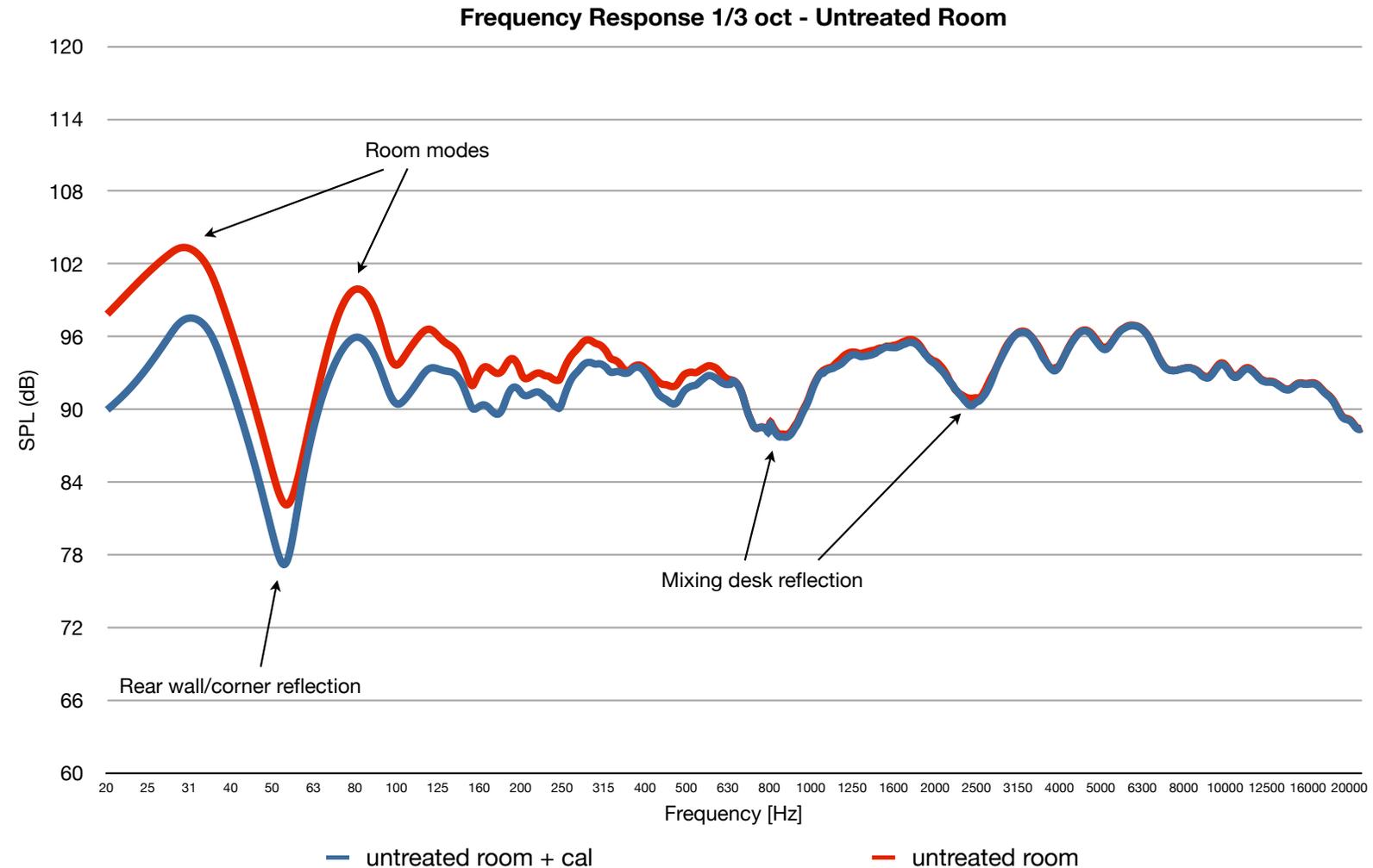
LEZIONE 3.2

RISPOSTA IN FREQUENZA, COME UTILIZZARLA E COSA INTERPRETARE

In partnership with



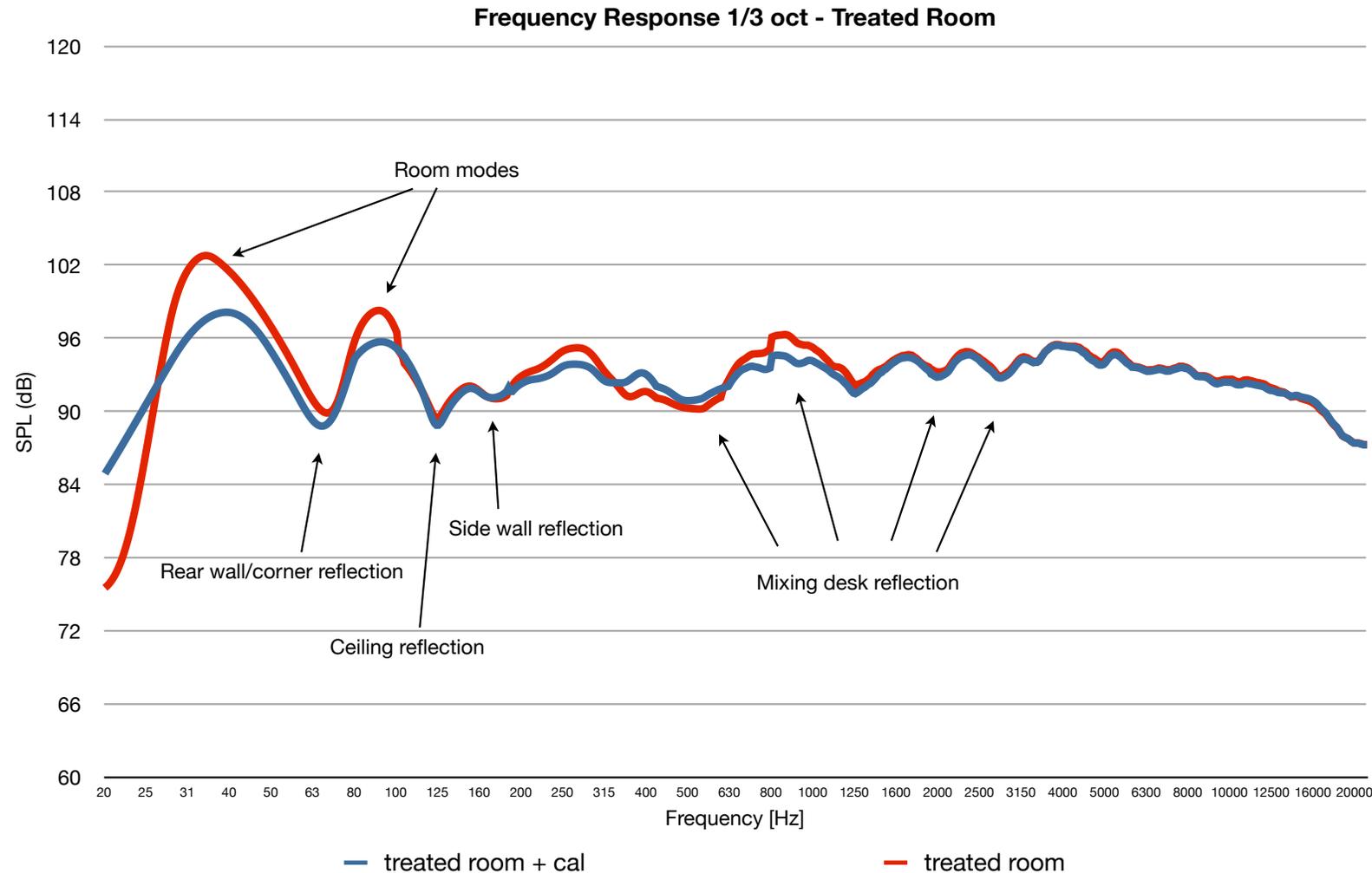
Analisi di una FR



Analisi di una FR di una sala non trattata, con problemi alle basse frequenze.

L'autocalibrazione (GENELEC) non riesce a risolvere il problema del buco.

Analisi di una FR



Analisi di una FR di una sala lievemente trattata.

L'autocalibrazione (GENELEC) riesce a migliorare gli effetti alle basse frequenze.

Tipici problemi

- 20÷200 Hz – room modes (modi di risonanza di una stanza)
BOOMING, ENFASI
- 20÷200 Hz – loudspeaker boundaries effects (cassa pareti)
DIPS, CANCELLAZIONI
- 200÷500 Hz interazioni con tavolo
- 400÷2000 Hz interazioni con il banco o la console o i monitor
(video)
CANCELLAZIONI
- >2000 Hz problemi al tweeter? asse acustico non direzionato
bene verso il punto d'ascolto.

Analisi di una FR

- Ricordarsi di non guardare solo la risposta in frequenza (FR), ma contemporaneamente guardare anche il tempo di riverberazione.
—> **BISOGNA EFFETTUARE QUINDI UN'ANALISI SIA NEL REGIME DEI TEMPI (RT) CHE NELLE FREQUENZE (FR) PER AVERE UN'IDEA COMPLETA DELLA QUALITA' SONORA.**
- Molti effetti riscontrabili nella FR possono essere ricondotti a una grande quantità di fenomeni fisici: modi di una stanza, interazione cassa/pareti, posizione d'ascolto, risonanze particolari... con l'esperienza si può capire meglio a cosa ci si deve riferire.

LEZIONE 3.3

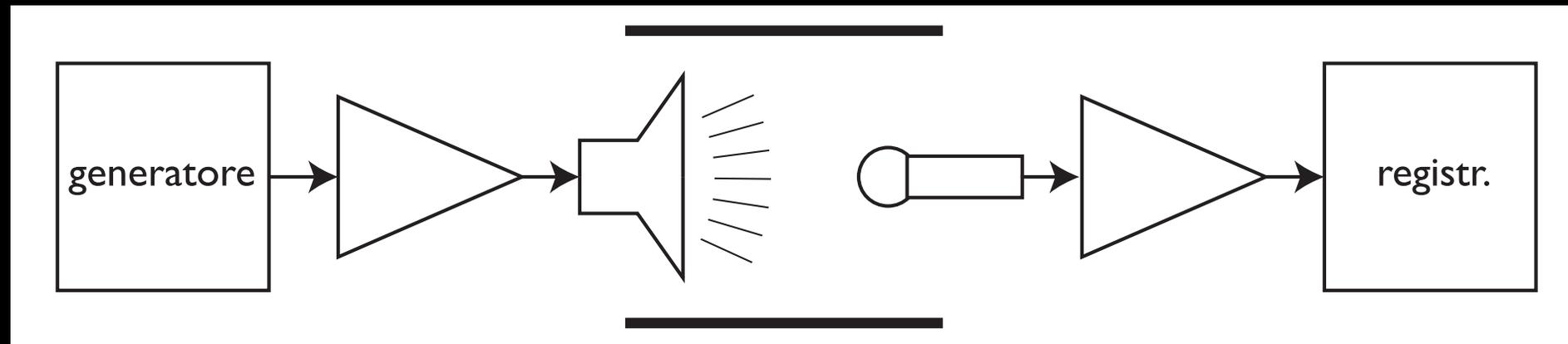
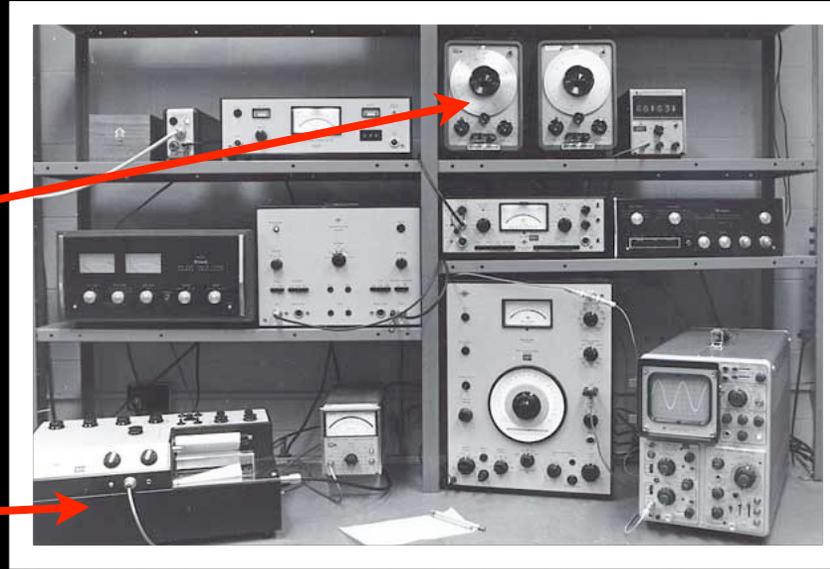
TECNICHE DI MISURA PER L'ACUSTICA DEGLI STUDI

In partnership with

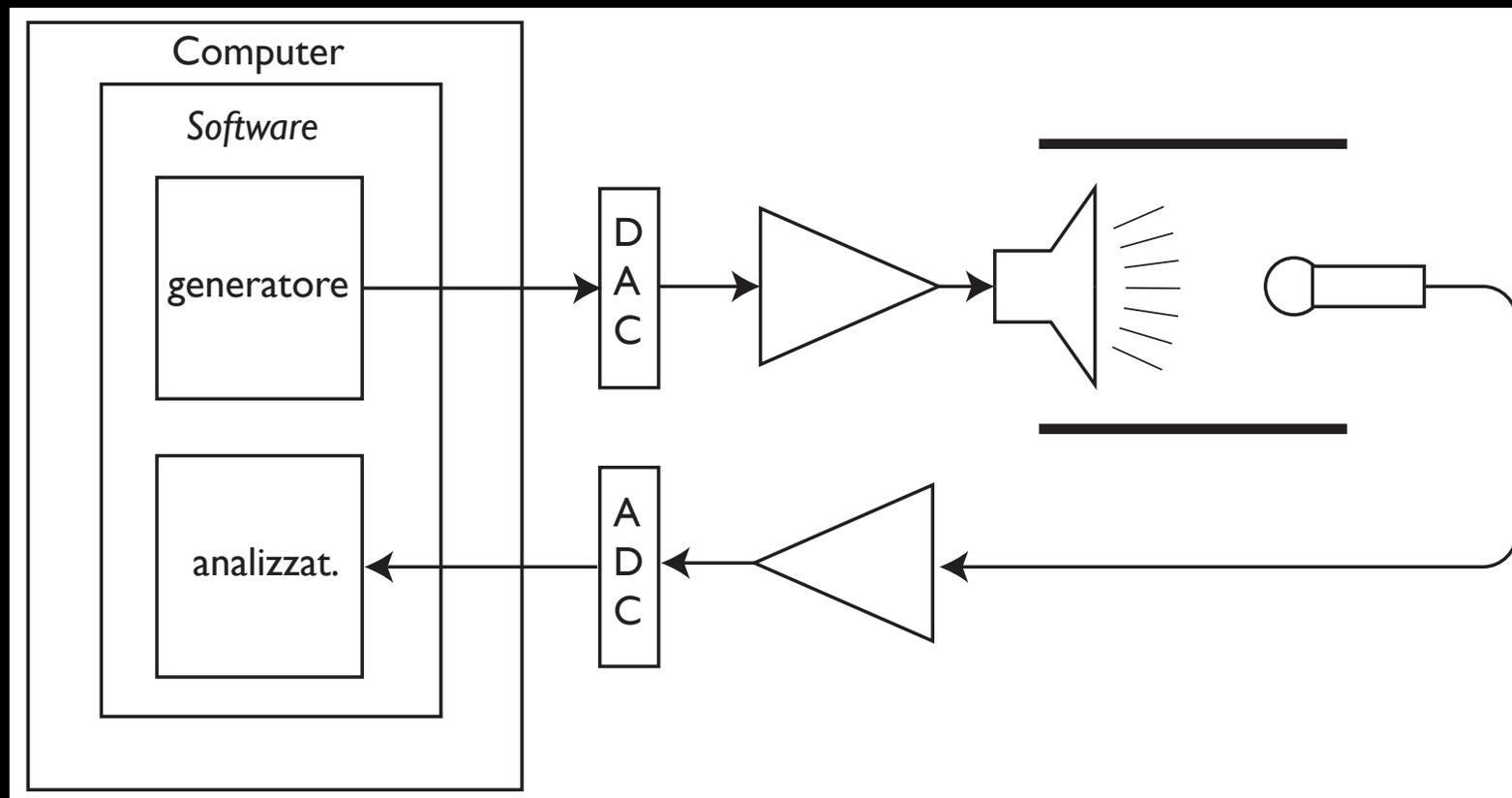


Strumentazione

Prima dell'avvento della tecnologia digitale si usavano generatori di segnali analogici e le misure erano visualizzate su registratori a carta



Attualmente i segnali sono generati e analizzati nel dominio digitale, da opportuni *software* installati sul computer che controlla la misura.



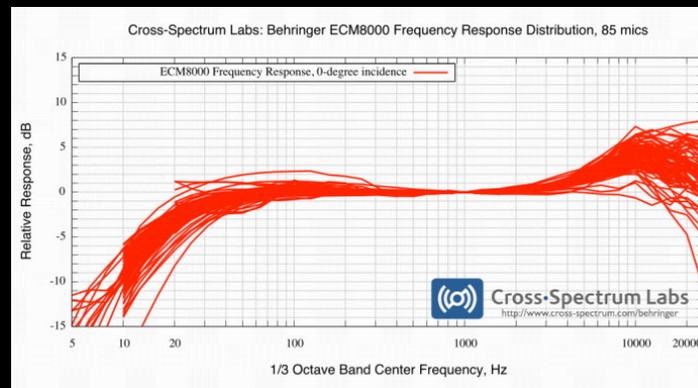
Strumentazione: microfono



Behringer ECM 8000

costo 30÷50 €

**buon prodotto, con una certa varianza nella risposta
non si hanno i certificati di taratura né cartacei né con file**



Strumentazione: microfono



Mellab MYc-3

costo circa 250 €

**ottimo prodotto + ottimo chassis robusto e portabile
certificati di taratura cartacei + file**



Beyerdynamics MM1

costo circa 180 €

**ottimo prodotto
certificati di taratura cartacei + file**



Earthworks M30

costo circa 750 €

**ottimo prodotto
certificati di taratura cartacei + file**

Strumentazione: scheda audio

in generale la scheda audio può essere la stessa che usate per la produzione musicale.

Tra le schede più usate:

Presonus Audiobox 22VSL - 250 €

Focusrite Scarlett 2i2 - 133 €

Roland UA-55 QuadCapture - 230 €

RME Fireface UC - 1000 €

RMS Fireface UFX - 2099 €

Strumentazione: software misura

Per scopi amatoriali
(e spesso anche per le situazioni professionali)
sicuramente la scelta migliore è
[Room Eq Wizard](#)
multipiattaforma e freeware.

Altri software MAC: Fuzzmeasure.

Altri software WIN: ARTA, CLIO (Hw+Sw), RoomCapture, Easera.

Decadimento del suono stazionario interrotto

Si misura il decadimento sonoro dopo l'interruzione di un suono continuo prolungato.

I segnali di test vengono emessi tipicamente a 90 dB sonori e spesso il rumore di fondo raggiunge livelli di circa 20 ÷ 30 dB quindi risulta difficile stimare un decadimento di 60 dB per misurare l'RT60.

NORME ISO: RT60 è definito come due volte il tempo misurato in un decadimento da -5 a -35 dB sotto il valore iniziale del livello sonoro.

dato che le curve di decadimento spesso presentano doppie pendenze o curvature non trascurabili, questa definizione operativa non corrisponde con quella di Sabine.

Misura dell'RT60 a diverse frequenze

due metodi di misura:

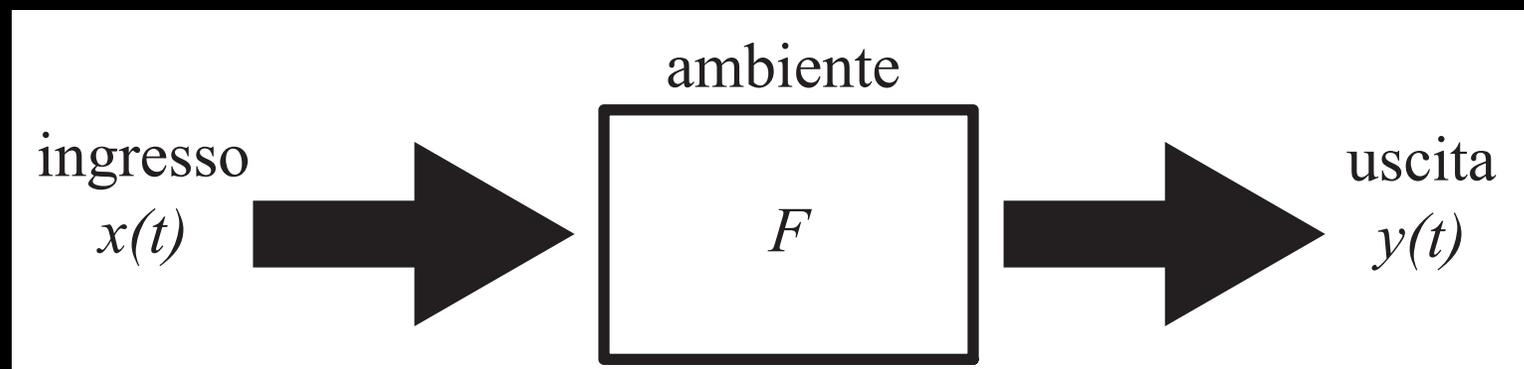
1. zona per zona, usando segnali con contributi solo su una fascia ristretta di frequenze
2. in un'unica operazione, usando segnali a larga banda ed analizzando spettralmente il segnale acquisito

il secondo metodo è molto più veloce ma la potenza viene dispersa su tutte le frequenze ed il rapporto segnale rumore si riduce

Tecniche impulsive

Si possono calcolare l'RT60 e tutti gli altri parametri se si è determinata direttamente o indirettamente la risposta dell'ambiente a un suono impulsivo.

Schematizzazione ambiente acustico come “scatola nera” la cui risposta è lineare e invariante nel tempo:



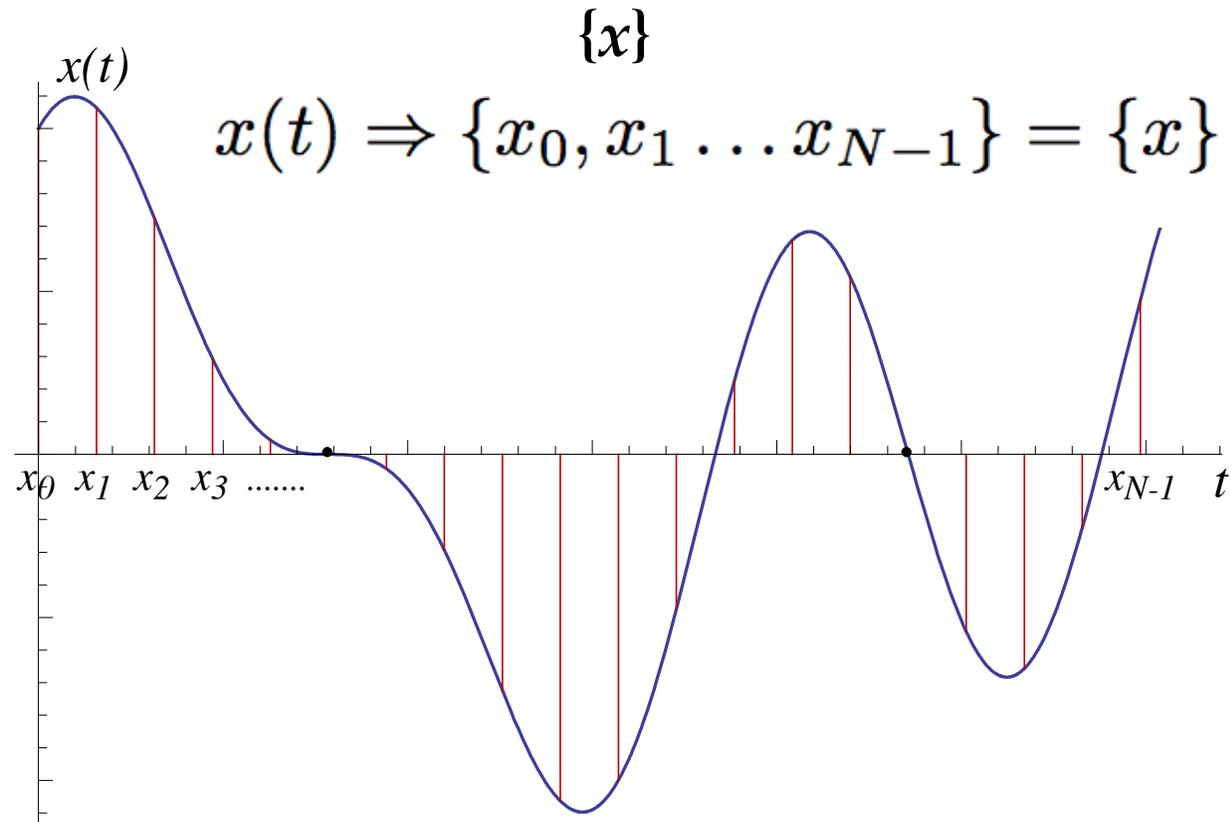
Risposta all'impulso

Per un sistema lineare e tempo-invariante la risposta $y(t)$ a un segnale qualsiasi $x(t)$ si può calcolare se si conosce la risposta $h(t)$ a un segnale impulsivo (Delta di Dirac) come convoluzione fra $x(t)$ e $h(t)$

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) h(t - \tau) d\tau = x(t) * h(t)$$

Dominio discreto

Passando al dominio discreto, al posto di un segnale continuo $x(t)$ avremo una sequenza di valori campionati



Nel dominio discreto si può esprimere la risposta $\{y\}$ a un segnale $\{x\}$ tramite la convoluzione digitale con la risposta all'impulso $\{h\}$

$$\{y\} = \{x\} * \{h\} = \{y\} : y_i = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x_k h_{i-k}$$

dove si intendono le sequenze estese in entrambe le direzioni con valori nulli.

Un caso particolare si ha quando il segnale si ripete periodicamente con periodo N (o lo si estende idealmente in modo da considerarlo periodico) e la risposta all'impulso ha lunghezza $< N$. In questo caso

$$\{y\} = \{x\} * \{h\} = \{x\} \hat{*} \{h\} \quad : \quad y_i = \sum_{k=0}^{N-1} x_k h_{\eta(i-k)}$$

dove l'operatore $\hat{*}$ rappresenta la convoluzione ciclica e

$$\eta(i - k) = \begin{cases} i - k & \text{se } i - k \geq 0 \\ N + i - k & \text{se } i - k < 0 \end{cases}$$

Nelle stesse condizioni si definisce anche la correlazione ciclica:

$$\{y\} = \{f\} \hat{\circ} \{g\} \quad : \quad y_i = \sum_{k=0}^{N-1} f_k g_{\eta(i+k)}$$

**Da un punto di vista teorico,
misurando la risposta $\{h\}$ del
sistema a un impulso $\{\delta\}$ avremmo
le informazioni necessarie a
calcolare
qualsiasi parametro fisico**

Nel dominio digitale la determinazione della risposta all'impulso è particolarmente semplice

Il segnale in ingresso, quello in uscita e la risposta all'impulso sono legate tra loro:

$$\{y\} = \{x\} * \{h\} \quad \text{convoluzione digitale}$$

Conoscendo il segnale di ingresso (e la sua inversa) e misurando quello di uscita di un sistema si può determinare la sua IR:

$$\{y\} * \{x^{-1}\} = \{h\} * \{x\} * \{x^{-1}\} = \{h\} * \{\delta\} = \{h\}$$

Basta quindi immettere come segnale di test una $\{\delta\}$ e registrare il segnale di uscita:

$$y_0 = 1 \cdot h_0 + 0 \cdot h_1 + 0 \cdot h_2 + \dots = h_0$$

$$y_1 = 0 \cdot h_0 + 1 \cdot h_1 + 0 \cdot h_2 + \dots = h_1$$

$$y_2 = 0 \cdot h_0 + 0 \cdot h_1 + 1 \cdot h_2 + \dots = h_2$$

...

Perché non usare quindi sempre una $\{\delta\}$?

Il problema è legato all'impossibilità, per qualsiasi genere di altoparlante, di riprodurre un segnale impulsivo brevissimo e sufficientemente intenso senza considerevoli distorsioni in frequenza e fase.

Si introducono quindi varie tecniche che sfruttano sequenze continue e differenti algoritmi per ottenere l'IR:

Rumore bianco: segnale casuale con spettro piatto su tutto l'intervallo di frequenze considerato (20 ÷ 20000 Hz).

Rumore rosa: segnale casuale con stessa energia per ogni ottava, quindi con spettro piatto su tutto l'intervallo di frequenze considerato (20 ÷ 20000 Hz) in scala logaritmica. Le componenti a bassa frequenza hanno potenza maggiore.

Sequenze MLS

Sine-sweep

Si passa dal dominio del tempo a quello delle frequenze usando la **trasformata di Fourier** e il **teorema della convoluzione**

$$\mathcal{DF} [\{y\}] = \{Y\} = \mathcal{DF} [\{x\} \hat{*} \{h\}] = \{X\}\{H\}$$

$$\mathcal{DF}^{-1} [\{H\}] = \mathcal{DF}^{-1} \left[\frac{\{Y\}}{\{X\}} \right] = \{h\}$$

$\{H\}$ **funzione di trasferimento**

$\{h\}$ **risposta all'impulso IR**

Misura dell'IR con sequenze MLS

(Maximum Length Sequence)

Segnale pseudo-casuale

Proprietà del segnale MLS: tramite la correlazione ciclica con se stesso si produce la sequenza δ .

Utilizzando una sequenza MLS in ingresso $\{x\}$: campionando l'uscita ed effettuando una correlazione circolare tra i due, si ottiene l'IR:

$$\text{se } \{y\} = \{h\} \hat{*} \{x\} \quad \text{e} \quad \frac{1}{N} \{x\} \hat{\circ} \{x\} = \{\delta\}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{N} \{y\} \hat{\circ} \{x\} = \{h\} \hat{*} \left[\frac{1}{N} \{x\} \hat{\circ} \{x\} \right] = \{h\} \hat{*} \{\delta\} = \{h\}$$

il segnale deve essere più lungo dell'IR ed emesso almeno 2 volte per raggiungere la situazione di regime

PRO dell'MLS

- Si può calcolare la correlazione circolare con la trasformata veloce di Hadamard (FHT).
- MLS è un segnale deterministico: ripetendo la misura ed effettuando una serie di medie del segnale in uscita si fa aumentare il rapporto segnale-rumore di 3 dB ogni volta che si raddoppia il numero di medie.

CONTRO dell'MLS

- Dipendenza dalla non linearità del sistema. Se il sistema non è perfettamente lineare appaiono “artefatti” sistematici che non possono essere diminuiti neanche mediando più misure.
- Se le sequenze sono più lunghe si aumenta il rapporto s/r, ma se sono troppo lunghe gli effetti dovuti ad una non perfetta tempo-invarianza diventano predominanti.

PRO del sine-sweep

- Il segnale inverso dello sweep è proprio esso stesso invertito sull'asse dei tempi. Quindi con il segnale invertito e il segnale di uscita sarà possibile calcolare l'IR con un'operazione di deconvoluzione.
- La risposta ad un singolo sweep non ripetuto è pressoché uguale a quella che si ha con una ripetizione periodica: non è necessario emettere il segnale di test 2 volte. Si dimezzano i tempi di misura.
- Ottimo rapporto s/r (circa 20 dB meglio dell'MLS).
- Il *sine-sweep* è molto meno soggetto ad artefatti causati dalla non perfetta linearità e tempo-invarianza del sistema

CONTRO del sine-sweep

- maggiore complessità dell'algoritmo di analisi, richiede maggiore potenza di calcolo [$O(N^2)$] rispetto alle altre tecniche.

IR e RT60

I tempi di riverberazione misurati direttamente dal decadimento della risposta all'impulso sono leggermente inferiori a quelli prodotti dal decadimento da rumore stazionario e non coincidono con la definizione data da Sabine.
Con l'emissione di un suono impulsivo non si raggiunge la densità di energia sonora di regime in tutto l'ambiente.

La legge di decadimento riverberante è ricostruibile attraverso un integrale della risposta all'impulso:

Integrale di Schroeder
$$S(t) = \int_t^{\infty} h^2(t) dt$$

che corrisponde all'energia che rimane nell'IR al tempo t.

Mettendo in grafico il rapporto espresso in dB tra l'integrale di Schroeder e il massimo valore misurato al $t = 0$ si deriva una curva di decadimento analoga a quella che si ottiene con il decadimento del rumore stazionario interrotto.

LEZIONE 3.4

CASO PRATICO DI MISURA IN UNO STUDIO

In partnership with

