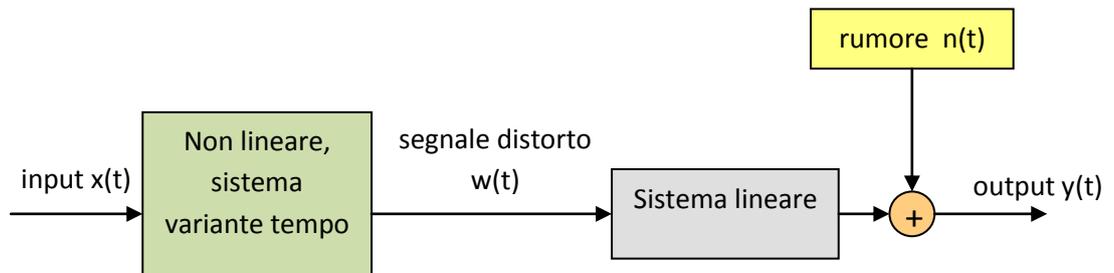


MISURA DELLA RISPOSTA ALL'IMPULSO

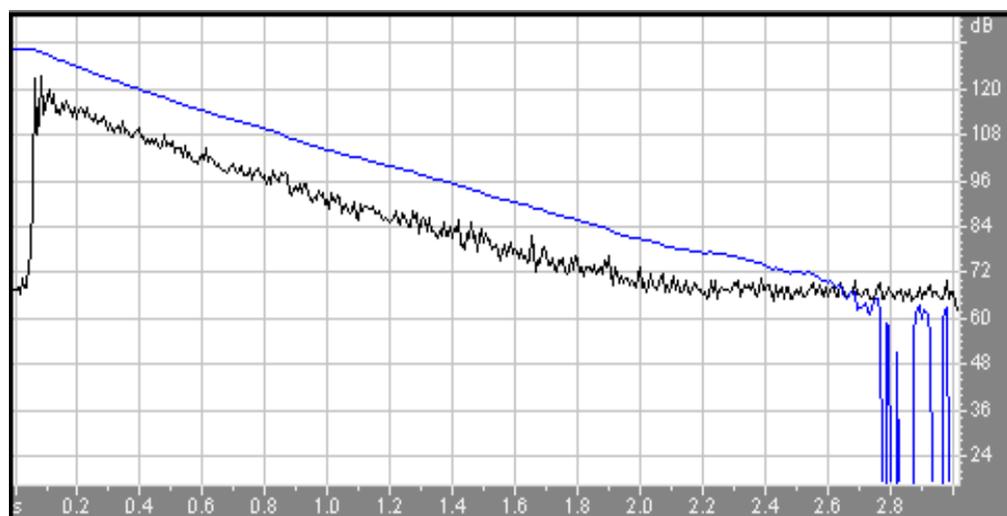
La risposta all'impulso di una sala rappresenta il segnale che esce da un microfono, una volta che una sala viene eccitata dalle emissioni di un impulso. La risposta all'impulso serve per **valutare l'acustica di un interno**. La stanza è considerata come una black box nella quale **entra un input ed esce una output**.



Un segnale di ingresso $x(t)$ non si propaga direttamente nell'ambiente, ma passa attraverso un altoparlante che distorce il segnale in modo non lineare. La stanza viene eccitata non con un input $x(t)$, ma con un segnale $w(t)$ già distorto. La propagazione acustica nella stanza è un fenomeno generalmente lineare, la cui risposta impulsiva lineare è detta $h(t)$. Il rumore $n(t)$ si sovrappone sul segnale output in uscita $y(t)$.

La risposta all'impulso ci serve per **misurare il tempo di riverbero** e si ottiene ricostruendo matematicamente il decadimento del rumore frazionario, attraverso l'integrale inverso di Schroeder.

Nell'esempio, misurando la risposta all'impulso della sala, si ottiene una **curva nera** che ha **tendenza positiva e negativa** e che rappresenta in dB la forma d'onda della risposta all'impulso, sulla quale non posso calcolare il tempo di riverbero. Si ottiene anche una **curva blu**, che **monotonamente decade**, sulla quale è possibile calcolare il tempo di riverbero mediante l'integrazione all'indietro di Schroeder.



METODI TRADIZIONALI

- **Palloncino** _ al variare della dimensione si ottengono spettri diversi. Per ottenere una risposta a bassa frequenza il diametro deve essere grande. Sono di **facile utilizzo**, ma comportano **problemi igienici**, se gonfiati a fiato. Inoltre il suono prodotto non è elevato e bisogna farne esplodere tanti.



- **Pistola a salve** _ lo **spettro è molto più regolare** rispetto a quello del palloncino ed è una **perfetta campana** con la massima energia alle frequenze centrali. Solitamente il rumore di fondo è più alto a basse frequenze.



- **Clappatore _ metodo migliore come risposta di frequenza e riproducibilità.** Economico e pratico. L'impulso è piatto, lo spettro è buono, ma ha scarsa omnidirezionalità se non a basse frequenze.



METODI ELTETTROACUSTICI

METODO MLS (Maximum Length Sequence) è un metodo inventato nei primi anni 70.

- **MLSSA** _ è il primo apparecchio elettroacustico con sistema di misura con tecnica MLS lanciato sul mercato nel 1989.
- **CLIO system** _ un sistema che ha sostituito MLSSA.

Il metodo MLS è un **segnale binario**, positivo o negativo, ottenuto con uno "shift-register", la cui forma d'onda del segnale emesso può assumere solo due valori.

La risposta all'impulso h può essere ricavata dal segnale y in uscita dal sistema, attraverso una **deconvoluzione**.

$$h = \frac{1}{L + 1} \cdot \tilde{M} \cdot y$$

Nella pratica si genera il segnale che viene emesso e registrato e con la deconvoluzione ottengo la risposta all'impulso. Bisogna emettere il segnale e contemporaneamente campionare la risposta. In traccia 1 si mette il segnale MLS (x), in traccia 2 si cattura la risposta (y).

Il segnale è un segnale periodico e riproducibile, quindi **si può scegliere il periodo** per avere il **migliore rapporto segnale-impulso**. La prima ripetizione è da scartare, ma le altre 15 vanno mediate e si ottiene un segnale pulito anche da un rumore di fondo alto.

Con questo metodo **si guadagna 1/8** rispetto ai metodi impulsivi. La non linearità degli altoparlanti crea dei **picchi che sembrano echi**, ma in realtà sono un artefatto della tecnica MLS. Per alcune misurazioni questi picchi possono creare dei problemi.

METODO ESS (Exponential Sine Sweep)

Per questo metodo basta un PC e una scheda audio esterna, un altoparlante omnidirezionale e un microfono in grado di leggere le tre componenti cartesiane e la pressione.

Analogamente, come per il segnale MLS, si genera il segnale Sweep e poi lo si deconvolve. Il **segnale Sweep** è una **sinusoide** la cui **frequenza** è resa **variabile esponenzialmente nel tempo**. Originariamente si usavano segnali lineari, che arrivavano subito alle alte frequenze.

Inizialmente anziché fare una “sweepata” lineare con pendenza costante, si facevano tre “sweepate” con tre pendenze diverse.

Per ricavare la risposta all'impulso dalla “sweepata” in teoria bisognerebbe fare la deconvoluzione. Invece si convolve con un segnale $z(t)$ che sia inverso del segnale $x(t)$ emesso.

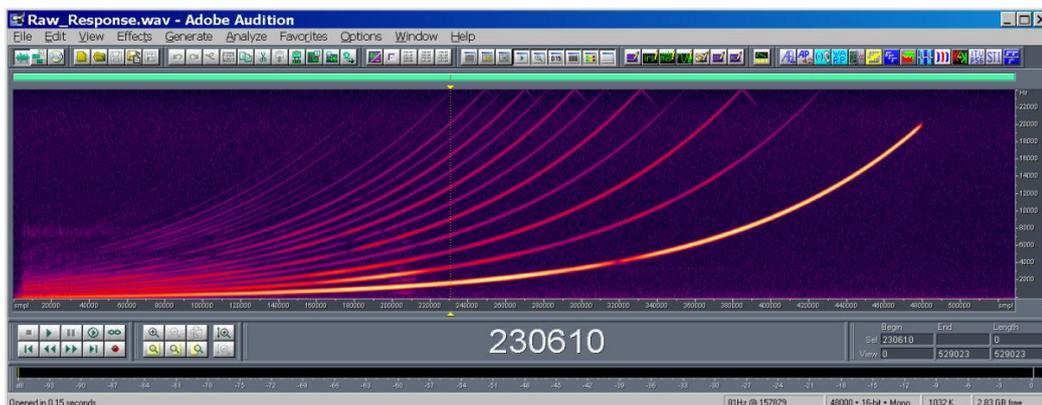
Lo spettro di una “sweepata” lineare è **piatto e bianco**, mentre quello di una “sweepata” esponenziale è **rosa e decresce di 3 dB per ottava**. C'è un accumulo di energia alle basse frequenze e meno energia alle alte frequenze, mentre la potenza rimane costante.

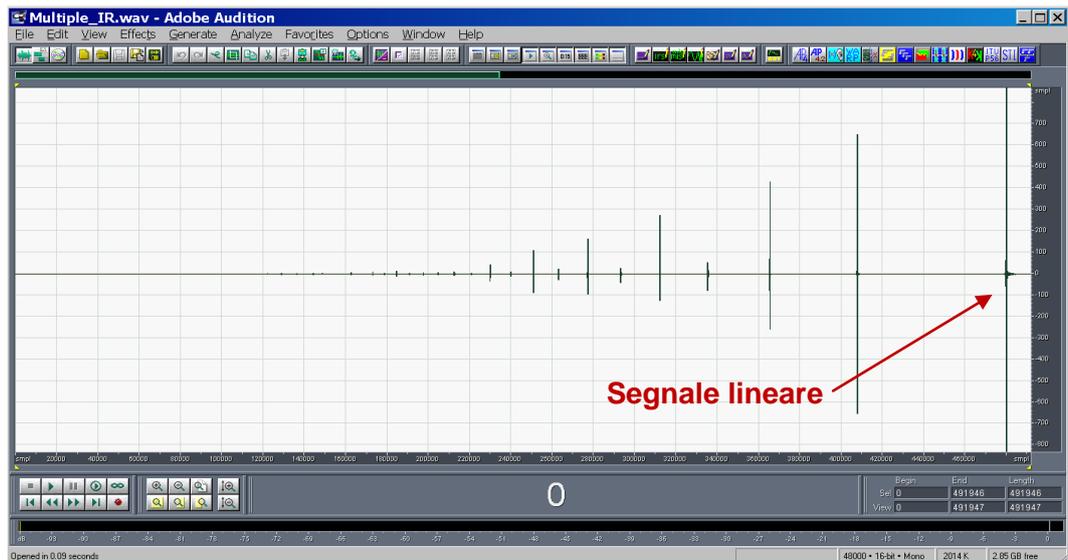
Per ottenere uno spettro piatto si deve **riequalizzare**. Bisogna rovesciare il segnale sull'asse dei tempi e applicare un guadagno variabile in funzione del tempo, sempre con legge esponenziale con cui varia la frequenza. Infine si toglie energia alle alte frequenze e si dà più energia alle basse frequenze, ottenendo così uno spettro piatto.

Nello **Sweep inverso** la **frequenza cala** e l'ampiezza non è più costante. Nell'analisi delle frequenze lo spettro **crece di 3 dB per ottava** per equalizzare la “sweepata” originaria.

Vantaggi:

Se si ottenesse un risultato con tante armoniche (e quindi tante distorsioni) con il metodo MLS si vedrebbero delle risposte all'impulso farlocche che sporcherebbero la misurazione. Nel metodo ESS le componenti armoniche si trasformano in risposte all'impulso che giacciono prima della risposta lineare, perché sono frequenze più alte del segnale lineare. Dal risultato della deconvoluzione, con la “sweepata” esponenziale, si può prendere **l'ultimo impulso** che è quello **lineare**, mentre le precedenti sono le armoniche, le quali possono essere studiate separatamente. Con la “sweepata” esponenziale dunque è possibile **dividere le armoniche** dal segnale lineare, con il metodo MLS questo non era possibile.





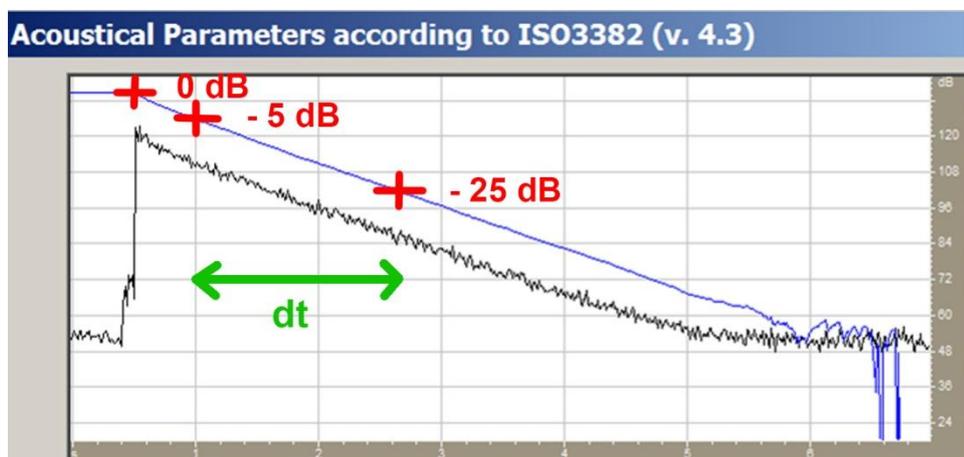
Oggi tutti i sistemi di misura moderni utilizzano la “sweepata” esponenziale. Il vantaggio è una misura con uno **spettro piatto**, con un **ottimo rapporto segnale-rumore** a tutte le frequenze e **privo** di prodotti di **distorsione**.

CALCOLO T_{20} SECONDO LA NORMA ISO3382

Si fa l'integrazione di Schroeder e, dalla curva blu, si va a misurare il tempo di riverbero. Quello che si calcola è T_{20} e non T_{60} , perché, nonostante le migliorie, un decadimento pulito di 70 dB non si può ottenere (70 perché si deve arrivare ancora con un segnale misurabile che è almeno 10 dB più alto del rumore di fondo). Si **scende di 5 dB** rispetto al rumore stazionario e poi si **misura un dt di 20 dB**.

$$T_{20} = 3 \cdot dt$$

T_{20} è **sempre** il tempo che serve per cui il suono **decada di 60 dB**, stimato in questo **tratto dt** della curva di Schroeder.



PARAMETRI ACUSTICI TEMPORALI E SPAZIALI

L'impulso del suono può essere separato in due frazioni:

- **Frazione iniziale** → **ENERGIA UTILE** (Aiuta il suono diretto e non viene percepito come eco)
- **Frazione finale** → **ENERGIA DANNOSA** (Viene percepita come eco distinto)

Il **punto di separazione** tra l'energia utile e quella dannosa sta a:

- **50 ms** per il **parlato** (emisfero sinistro)
- **80 ms** per la **musica** (emisfero destro)

Per l'ascolto della musica il tempo di integrazione si allunga e il punto di separazione si sposta.

Sono stati definiti una serie di **parametri acustici oggettivi**, alcuni facilmente riconducibili al concetto di energia utile ed energia dannosa, come la chiarezza e la definizione.

Tabella 15.2 Definizione dei descrittori acustici oggettivi utilizzati nelle comparazioni				
Descrittori acustici oggettivi	Simboli, unità	Definizione o espressione matematica	Proposto da	Attributi soggettivi in letteratura
Tempo di riverberazione	RT_{60} (s)	Pendenza della linea best fit del decadimento del livello sonoro tra -5 e -25 dB o a -35 dB, estrapolato a -60 dB	Sabine 1923	Riverberazione - Vivezza
Early Decay Time	EDT (s)	Pendenza della linea di best fit del decadimento del livello sonoro da 0 a -10 dB, estrapolato a -60 dB.	Jordan 1975	Riverberazione - Vivezza
Chiarezza	$C80$ (dB)	$C80 = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt}$	Reichardt 1975	Chiarezza musicale
Definizione	$D-50$ (%)	$D = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$	Thiele 1953	Speech intelligibility & sound definition
Rapporto segnale/rumore	S/N (dB)	$S/N = 10 \log \frac{\int_0^{95ms} \alpha(t) p^2(t) dt}{\int_{95ms}^{\infty} p^2(t) dt}$	Lochner e Burger 1964	Speech intelligibility
Speech Transmission Index	STI (ratio)	$STI = [(S/N)_{media} + 15]/30$	Steeneken e Houtgast 1980	Speech intelligibility

PARAMETRI ENERGETICI

- RT_{60} (s) è legato alla **quantità**.
- EDT (s) è valutato nell'**intervallo di decadimento iniziale**.

Quando questo crolla vuol dire che c'è solo il suono diretto, allora la forma geometrica della sala è sbagliata. Non c'è sinergia tra ascoltatore ed oratore.

- **C80 (dB)**
- **D-50 (%)**

La chiarezza e la definizione sono parametri simili. Entrambi si ottengono tramite un **rapporto tra energia utile e dannosa**.

C80 è utilizzato per descrivere la **musica**, mentre **D-50** per il **parlato**. Esiste anche un **C50** per il parlato espresso in dB, poiché in Italia si preferisce esprimere i valori in dB piuttosto che in %. Questi **valori** sono **ottimali** quando **variano tra +/-1** (energia utile ed energia dannosa sono uguali).

- **S/N (dB)** è il **rapporto segnale-rumore**.
- **STI (ratio)** è l'indice di **trasmissione del parlato**.

I primi due sono relativi al tempo di riverbero, mentre gli ultimi due sono parametri relativi al parlato.

- **TEMPO BARICENTRICO T_s (s)** indica il **baricentro dell'energia sonora**. È il **tempo che separa l'energia iniziale dall'energia tardiva**. Esso è **influenzato dal suono diretto**; vicino alla sorgente il tempo si riduce, mentre lontano dalla sorgente il tempo si allunga. Il suo **valore ottimale** è **50 ms** per il **parlato** e **80 ms** per la **musica**.

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

- **STRENGTH (dB)** è **livello sonoro** riferito al **livello di potenza della sorgente**, **dipende solo dall'ambiente** e non dalla sorgente. È un **valore di livello relativo** che dice quanto il livello prodotto dal campo riverberante della sala è forte rispetto al campo che avrebbe prodotto la stessa sorgente a 10 m di distanza in campo libero.

$$G = SPL - L_w + 31$$

PARAMETRI SPAZIALI

Questi parametri richiedono l'uso di **microfoni stereo** per catturare **l'energia spaziale**.

- **IACC** (Inter Aural Cross Correlation) utilizza come microfoni la **testa binaurale** con la quale si misurano due segnali, quello destro e quello sinistro, che sono la risposta all'impulso. Il **valore ottimale** è **0.3**.
- **LATERAL FRACTION** usa **due normali microfoni** da studio di registrazione. Uno omnidirezionale a forma di O e l'altro a forma di 8 che misura la pressione e la velocità. Il suo **valore ottimale** è **>0.7**.

Questi parametri sono parametri **poco standardizzati**, infatti usando vari manichini si trovano valori diversi. Lo stesso accade per i microfoni. Essi **non sono riproducibili** e **conviene misurarli solo nella banda di ottava di 1 kW**.