

ACUSTICA APPLICATA E ILLUMINOTECNICA

PARTE I FONDAMENTI DI ACUSTICA APPLICATA

CAPITOLO 8 INTRODUZIONE ALL'ACUSTICA DELLE SALE

APPROFONDIMENTO I.8.4.1: TECNICA DI MISURA DELLA RISPOSTA ALL'IMPULSO

La *tecnica della risposta all'impulso* analizza le caratteristiche acustiche della sala con un approccio tipico di un modello di tipo black-box, un sistema cioè che può essere descritto analizzando il comportamento in uscita a uno stimolo in ingresso noto: la sala, ricevuto in ingresso uno stimolo sonoro noto, fornisce in uscita il campo sonoro misurabile in ciascun punto della stessa (Figura I.8.4.1.1).



Figura I.8.4.1.1
Sistema
equivalente della
sala secondo il
modello black-box.

Sotto le ipotesi di *linearità* e *tempo invarianza* del sistema “acustica della sala”, secondo le quali:

- l'uscita generata dalla combinazione lineare di due o più ingressi è uguale alla combinazione lineare delle uscite generate dai singoli ingressi;
- l'uscita generata da un segnale ritardato nel tempo è uguale all'uscita generata dal segnale originale, ritardata nel tempo della stessa quantità.

Il comportamento del sistema, nel dominio del tempo, è espresso dalla **risposta impulsiva** ($h(t) = f[\delta(t)]$), che rappresenta l'uscita del sistema a un'eccitazione impulsiva in ingresso ($x(t) = \delta(t)$), con ($\delta(t)$) che corrisponde alla funzione impulso unitario o **Delta di Dirac** (Figura I.8.4.1.2).



Figura I.8.4.1.3
Esempio di
andamento della
risposta impulsiva
 $h(t)$ in un punto di
una sala.

È inoltre possibile dimostrare che, sotto le ipotesi di linearità e tempo invarianza del sistema, nota la risposta impulsiva della sala è possibile determinare la risposta ($y(t)$) a un generico segnale d'ingresso ($x(t)$) mediante l'integrale di convoluzione tra l'ingresso ($x(t)$) e la risposta all'impulso ($h(t)$) del sistema (equazione I.8.4.1.1):

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau)h(t - \tau)d\tau = x(t) \otimes h(t) \quad (\text{I.8.4.1.1})$$

Ricordando il teorema della convoluzione è possibile esprimere la risposta della sala nel dominio della frequenza secondo l'espressione I.8.4.1.2:

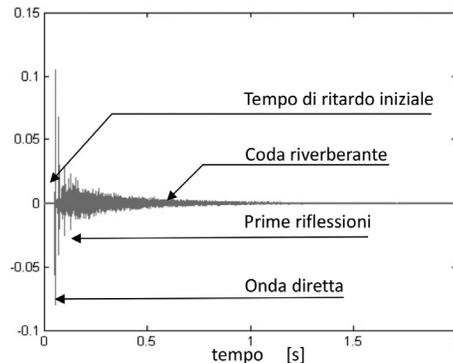
$$Y(\omega) = H(\omega)X(\omega) \quad (I.8.4.1.2)$$

dove $H(\omega)$ rappresenta la trasformata di Fourier della risposta all'impulso $(h(t))$ e prende il nome di **risposta in frequenza del sistema**.

La risposta impulsiva, così definita, rappresenta "l'impronta digitale" dell'acustica della sala, per la coppia di posizioni sorgente ascoltatore, essendo in grado di sintetizzare in modo compiuto le caratteristiche acustiche della sala. Essa fornisce l'andamento temporale della pressione sonora in un punto della sala come conseguenza dell'emissione di una eccitazione acustica di tipo impulsivo generata in un altro punto della sala.

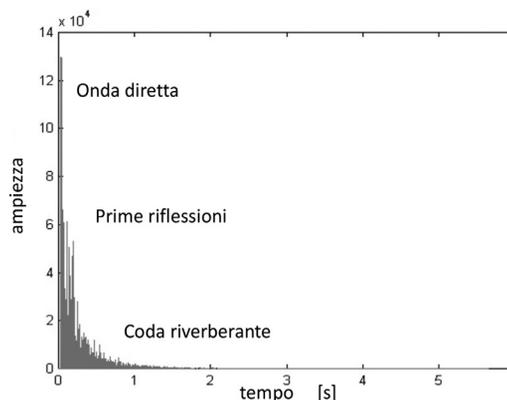
In Figura I.8.4.1.3 si riporta un esempio di andamento della risposta all'impulso $(h(t))$ per una sala di grandi dimensioni dalla quale è possibile individuare l'istante d'arrivo dell'onda diretta, delle prime riflessioni e dell'estensione della coda riverberante.

Figura I.8.4.1.2
La risposta impulsiva $h(t)$



Elevando al quadrato la risposta all'impulso è possibile ottenere l'**ecogramma** della pressione sonora, funzione che rappresenta l'andamento nel tempo della energia sonora $(p^2(t))$ che raggiunge un punto della sala come conseguenza dell'emissione di una eccitazione acustica di tipo impulsivo generata in un altro punto della sala. In Figura I.8.4.1.4 si riporta un esempio di ecogramma.

Figura I.8.4.1.4
Esempio di andamento dell'ecogramma della pressione sonora in un punto di una sala.



L'eccitazione acustica di tipo impulsivo, che in linea teorica dovrebbe avere l'andamento nel tempo della funzione delta di Dirac, può essere generata, in fase di misura, utilizzando sorgenti sonore impulsive come un colpo di pistola o l'esplosione di un petardo o di un palloncino. Le sorgenti utilizzate devono essere in grado di produrre, in tutti i punti di misura della, una variazione della pressione sonora sufficiente ampia all'interno di tutto lo spettro di frequenze di interesse: il rumore di fondo presente nella sala si sovrappone infatti al segnale di uscita rischiando di pregiudicare la corretta valutazione della risposta impulsiva. Per questo motivo, con l'avvento dell'elettronica digitale e la possibilità di utilizzare, per la misura, strumentazione in grado di generare il segnale di test e acquisire simultaneamente la risposta all'impulso, sono stati sviluppati dei segnali acustici speciali, per eccitare acusticamente l'ambiente, che permettono un miglioramento sensibile del rapporto segnale/rumore. Questi segnali, il cui utilizzo è previsto dalla famiglia di norme internazionali UNI EN ISO 3382 "Misurazione dei parametri acustici degli ambienti", sono:

- il segnale MLS (*Maximum Level Sequency*): segnale deterministico costituito dalla ripetizione di una sequenza binaria;
- il segnale *Sine Sweep*, segnale costituito da un tono puro la cui frequenza viene fatta aumentare nel tempo con un determinato andamento; il segnale Sweep può essere anche di tipo logaritmico, caratterizzato da maggiore energia alle basse frequenze.

Le tecniche di misura della risposta all'impulso che sfruttano, come segnale di eccitazione della sala, il segnale MLS o il segnale *Sine Sweep* misurano in realtà la risposta in frequenza della sala ($H(\omega)$) e richiedono quindi l'utilizzo di strumentazione in grado di realizzare la trasformata inversa di Fourier allo scopo di ricavare la risposta all'impulso della sala ($h(t)$).