

# Analisi del segnale sonoro

## Premessa

Si dicono **toni puri** i suoni caratterizzati da una sola frequenza (quelle generate da un diapason ad esempio). Questo tipo di suoni sono rappresentabili facilmente con un **oscillogramma** (parleremo di forma d'onda) o con l'**analisi spettrale** (parleremo di spettro sonoro) in quanto la singola frequenza è rappresentabile come una sinusoidale semplice (ottenuta grazie al variare dell'ampiezza dell'onda nel tempo) o una singola riga spettrale (di altezza equivalente al livello sonoro e in posizione indicante il tono puro).

La verità è che però in natura sono praticamente assenti suoni di questo tipo; basti pensare anche soltanto alle note suonate da un pianoforte per capire che i suoni sono molto più che semplici sinusoidi. Un suono caratterizzato da più frequenze è considerato un **suono complesso** e grazie alla matematica è possibile rappresentare tale onda periodica come una somma di oscillazioni sinusoidali semplici (Legge di Fourier).

**Teorema di Fourier:** Per il teorema del matematico Jean-Baptiste Fourier (1769-1830) è possibile analizzare una oscillazione periodica complessa in una serie di componenti di frequenza: ovvero una funzione continua periodica è esprimibile come una somma di semplici armoniche le cui frequenze sono multipli interi di una funzione data. Grazie a Fourier riusciamo a rappresentare anche suoni complessi in forma di spettro sonoro.

## Cos'è e a cosa serve

L'analisi in frequenza ha lo scopo di definire il contenuto di un suono complesso, in particolare in presenza di **rumori** (ovvero frequenze con altezze e caratteristiche diverse rispetto a quelle all'interno dell'ambito della sorgente) si occupa di una definizione più attenta della composizione dinamica del suono.

Per analizzare in frequenza un rumore si utilizzano dei **filtri**, cioè dei sistemi elettronici in grado di vedere l'energia solo in uno specifico intervallo di frequenza, chiamato **banda**.

- un **rumore bianco** è un segnale con la stessa energia a tutte le frequenze considerate in banda stretta
- un **rumore rosa** è un segnale con la stessa energia a tutte le frequenze in banda di ampiezza percentuale costante

## Bande

Una banda è caratterizzata da due **frequenze di taglio** e una **frequenza centrale** (o **nominale**), e nell'analisi per bande il filtro utilizzato è definito dalla sua **larghezza di banda** (ovvero  $\Delta f$ ):

- nel caso di un filtro a **banda di ampiezza costante** si effettua l'analisi con bande che avranno tutte la stessa ampiezza (ad es. 400 Hz, 1000 Hz...)
  - filtro a **banda stretta** : si fa variare la frequenza centrale della banda per misurare in successione l'ampiezza di ciascuna armonica, ma perché il filtro estragga ciascuna armonica singolarmente la sua larghezza di banda deve essere inferiore all'intervallo di frequenza che separa due armoniche adiacenti;
- nel caso di un filtro a **banda di ampiezza percentuale costante** si effettua l'analisi con bande che avranno tutte lo stesso rapporto tra le due frequenze di taglio (ad esempio nel caso di bande con ampiezza 1/1 ottava, le due frequenze dovranno essere  $f_s/f_i = 2$ ).

Chiaramente per visualizzare la costanza nella larghezza delle bande per l'analisi spettrale con banda di ampiezza costante è preferibile un **asse delle frequenze lineare**, mentre per l'analisi con banda di ampiezza percentuale costante è il caso di utilizzare l'**asse delle frequenze logaritmico**.

Va tenuto presente che il livello spettrale di una banda di  $1/n$  di ottava è calcolabile in rapporto con quello relativo alla banda di 1 ottava con la stessa frequenza centrale

- $L_{sp} = L_b$  (livello banda di 1 ottava) -  $10\log(n)$  (con  $1/n$  = larghezza della banda da calcolare)
- $L_{sp} = L_b - 10\log(\Delta f)$  (per passare dal livello di una banda qualsiasi ad un'altra)

Il valore delle frequenze di taglio di una banda di  $1/1$  ottava o  $1/3$  di ottava è facilmente calcolabile grazie alla frequenza centrale in quanto l'ampiezza della banda dei filtri ad un'ottava è del 71% della frequenza centrale c.a. (per quelle a  $1/3$  è del 23% c.a.).

### Tipi di filtro

Un filtro è un dispositivo che opera una trasformazione sulla struttura spettrale di un segnale, trasmettendone una parte ed eliminandone le parti restanti. In altre parole un filtro ha la proprietà di agire sulla ampiezza delle componenti, lasciando inalterata la loro frequenza.

Esistono quattro modalità tipiche di trasformare un segnale con un'operazione di filtraggio:

- Se il filtro trasmette solo le armoniche aventi frequenza inferiore alla cosiddetta frequenza di taglio, si parla di filtraggio **passa-basso**;
- si parla invece di filtraggio **passa-alto** quando sono trasmesse solo le armoniche di frequenza superiore a quella di taglio.
- Quando le armoniche trasmesse sono quelle di frequenza compresa fra due frequenze di taglio si parla di filtraggio **passa-banda**;
- se le armoniche comprese fra due frequenze di taglio vengono eliminate si tratta di un filtraggio **elimina-banda (notch)**.

### Filtri ideali e filtri reali

Le trasformazioni spettrali descritte sono realizzate da **filtri ideali**; un filtro passa basso ideale trasmette senza attenuazione tutte le frequenze inferiori alla frequenza di taglio, ed elimina completamente tutte quelle superiori.

In realtà non esistono filtri ideali: ogni filtro «reale» inizia ad attenuare (leggermente) in prossimità della frequenza di taglio e dopo di questa opera una attenuazione progressiva (più o meno marcata) e non una drastica eliminazione.

- nel caso dei **filtri reali** la frequenza di taglio è definita come la frequenza a cui il filtro attenua di **3 dB** il livello di ampiezza massimo;
- inoltre il tasso di attenuazione oltre la frequenza di taglio viene chiamata **pendenza** e si misura in dB per ottava (dB/oct). Quanto più la pendenza di un filtro è grande, tanto più esso si avvicina al corrispondente filtro ideale.