

Il decibel

Massimiliano Salfi

salfi@dmf.unict.it

Il concetto di decibel

- Il concetto di decibel entra in gioco ogni volta che ci troviamo a misurare una grandezza legata alla teoria del suono.
- L'orecchio umano percepisce la pressione sonora in maniera logaritmica, anziché lineare, quindi risulta conveniente esprimere le grandezze legate all'ampiezza del suono in un'unità di misura logaritmica: il *decibel*.

Il concetto di decibel

- La tabella seguente evidenzia la diversa corrispondenza tra due grandezze X e Y legate da una relazione lineare e logaritmica:

| Scala lineare | | Scala logaritmica | |
|---------------|-----|-------------------|--------|
| Y | X | Y | X |
| 1 | 1 | 1 | 10 |
| 2 | 2 | 2 | 100 |
| 3 | 3 | 3 | 1000 |
| ... | ... | ... | ... |
| n | n | n | 10^n |

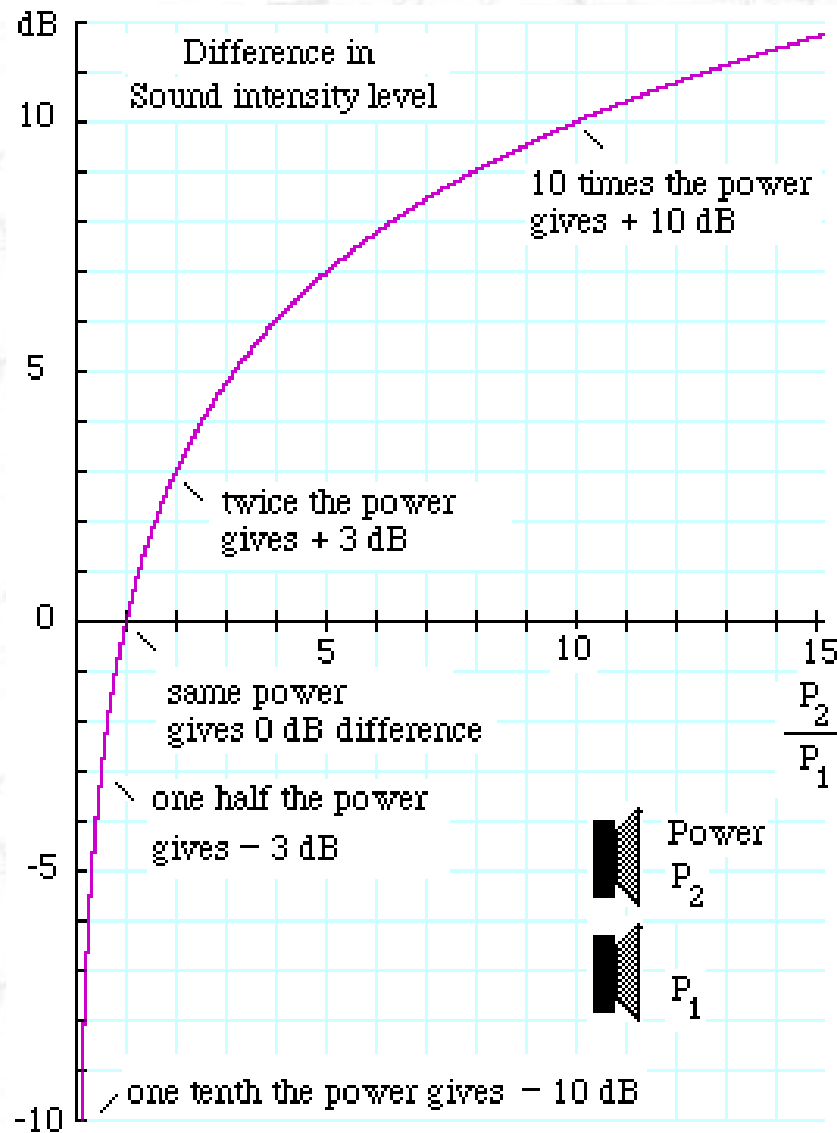
Il concetto di decibel

- Il decibel (dB) viene utilizzato per misurare il livello sonoro.
- Dati due altoparlanti, supponiamo che il primo stia suonando un suono con potenza P_1 , mentre il secondo la stessa versione, più “rumorosa”, con potenza pari a P_2 . La differenza in decibel tra i due segnali è definita come segue:

$$10 \cdot \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \text{ dB}$$

Quindi, se il secondo produce il doppio della potenza del primo, otteniamo una differenza pari a 3 dB, mentre se il secondo produce dieci volte la potenza del primo, otteniamo una differenza pari a 10 dB.

Il concetto di decibel



Il concetto di decibel

Riassumendo, quindi, il decibel relativo ad una grandezza X generica, viene espresso nella forma:

$$dB_X = 10 \cdot \log\left(\frac{X}{X_0}\right)$$

che misura la variazione in decibel della grandezza X , rispetto ad un valore di riferimento fissato X_0 .

I decibel nel mondo dell'audio

- Il suono, in genere, viene misurato ricorrendo a microfoni ed alla loro risposta (che è approssimativamente proporzionale alla pressione sonora P).
- Tuttavia, il comportamento della potenza in un'onda sonora è differente rispetto a quello della pressione, ed in particolare è proporzionale al quadrato della pressione.

I decibel nel mondo dell'audio

- La grandezza che si incontra più comunemente lavorando con i segnali audio è il dB_{spl} (spl: sound pressure level, o livello di pressione sonora).
- $\log x^2 = 2 \log x$, quindi:

$$\text{dB}_{\text{spl}} = 20 \cdot \log\left(\frac{P_{r1}}{P_{r0}}\right)$$

P_{r0} è il valore di riferimento per la pressione (pari a $20 \mu\text{Pa}$, essendo la pressione misurata in Pascal), detta *soglia di udibilità umana*, considerata la pressione al di sopra della quale l'orecchio umano comincia a percepire un suono.

I decibel nel mondo dell'audio

- 20 μPa è dunque un valore di riferimento per la pressione sonora in un ambiente in assenza di onde acustiche.
- Ciò significa che una pressione sonora di 20 μPa , non esercita nessuna pressione sonora percepibile dall'apparato uditivo.
- Invece, una pressione sonora di 10Pa genera un certo numero di dB_{spl} pari al risultato seguente:

$$20 \cdot \log\left(\frac{P}{20\mu\text{Pa}}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{10 \cdot \text{Pa}}{20\mu\text{Pa}}\right) = 114\text{dB}_{\text{spl}}$$

I decibel nel mondo dell'audio

| | | |
|--|---|-----|
| | colpo di pistola Colt 45 (a 8 metri) | 140 |
| | sirena 50 HP (a 30 metri) | 130 |
| | soglia del dolore | 120 |
| monitor di una control room di uno studio di registrazione | musica rock (a 3 metri) | 120 |
| | musica da film (a 6 metri) | 110 |
| | fortissimo di musica classica | 100 |
| | traffico stradale intenso (a 1,5 metri) | 90 |
| | cabina di un jet (Cruise) | 80 |
| | conversazione (a un metro) | 70 |
| | casa (notte) | 50 |
| | auditorium silenzioso | 40 |
| | studio di registrazione vuoto | 30 |
| | fischiettare leggero (a 1,5 metri) | 20 |
| | studio di registrazione estremamente silenzioso | 20 |
| | stormire di foglie | 10 |
| | camera anecoica* | 10 |
| | soglia di udibilità | 0 |

NOTA: Un SPL negativo, per quanto teoricamente possibile, non è dato. Per definizione si colloca sotto la soglia di udibilità.

*Si noti che una camera anecoica può essere molto rumorosa: il fatto che un ambiente non rifletta il suono internamente non vuol dire che blocchi i suoni provenienti dall'esterno.

Legge della distanza inversa

- Se ad una distanza d_1 dalla sorgente sonora misuriamo una pressione sonora di $\text{dB}_{\text{spl}1}$, ad una distanza $d_2 > d_1$ avremo una pressione sonora data dalla formula:

$$\text{dB}_{\text{spl}2} = \text{dB}_{\text{spl}1} - 20 \cdot \log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

Esempio: se $d_1 = 1\text{m}$ e a questa distanza dalla sorgente sonora misuriamo $\text{dB}_{\text{spl}1} = 100$, avremo alla distanza $d_2 = 2\text{m}$ una pressione sonora:

$$\text{dB}_{\text{spl}2} = 100 - 20 \cdot \log\left(\frac{2}{1}\right) = 100 - 6.02 = 94\text{dB}_{\text{spl}}$$

Legge della distanza inversa

Regola empirica:

ogni volta che ci allontaniamo dalla sorgente sonora raddoppiando la distanza, riscontriamo una caduta pari a circa $6 \text{ dB}_{\text{spl}}$. Viceversa se ci avviciniamo dimezzando la distanza, percepiamo un aumento della pressione sonora di circa $6 \text{ dB}_{\text{spl}}$.

Combinazioni di sorgenti sonore

- Combinando più sorgenti sonore, ognuna delle quali genera una certa quantità di dB_{spl} , non è possibile sommare semplicemente questi valori, ma bisogna utilizzare la formula seguente:

$$\text{dB}_{\text{splT}} = 10 \cdot \log(10^{\text{dB}_{\text{spl1}} / 10} + 10^{\text{dB}_{\text{spl2}} / 10})$$

Ad esempio, considerando due sorgenti sonore uguali di $90 \text{ dB}_{\text{spl}}$ risulta:

$$\text{dB}_{\text{splT}} = 10 \cdot \log(10^9 + 10^9) = 93 \text{ dB}_{\text{spl}}$$

Combinazioni di sorgenti sonore

Regola empirica:

sommando due sorgenti sonore uguali si ottiene un incremento di $3 \text{ dB}_{\text{spl}}$ (e non pari al doppio!)

Dunque se abbiamo un impianto di altoparlanti che produce una pressione acustica di $90 \text{ dB}_{\text{spl}}$, aggiungendo un secondo impianto analogo otterremo una pressione acustica complessiva pari a $93 \text{ dB}_{\text{spl}}$; per arrivare a $96 \text{ dB}_{\text{spl}}$ dovremo aggiungere altri due impianti ed arrivare a quattro.

Grandezze elettriche espresse in decibel

- In dB vengono espresse anche una serie di grandezze elettriche impiegate nella pratica.

a) dB_m (Potenza)

Agli inizi veniva utilizzato per misurare i rapporti di potenza sulle linee telefoniche. In genere tali circuiti avevano un'impedenza pari a 600Ω . Come valore di riferimento per la potenza, invece, veniva preso 1 mW , da cui:

$$dB_m = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{0.001 \text{ Watt}}\right)$$

Grandezze elettriche espresse in decibel

- Da questa formula possiamo ricavarne una equivalente, in cui compaiono tensioni al posto di potenze.

Dalla legge di Ohm si ha:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Ponendo $R=R_1=R_2$ si ha:

$$dB_m = 10 \cdot \log \left[\frac{\frac{V_2}{R}}{\frac{V_1}{R}} \right]^2 = 20 \cdot \log \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

Grandezze elettriche espresse in decibel

b) dB_u (Vontaggio)

Questo valore è stato introdotto per la necessità di dover considerare circuiti con impedenze diverse da 600 Ohm. La 'u' di dB_u indica che il valore è di tipo 'unloaded', cioè indipendente dal carico.

Per il calcolo del dB_u si considera una tensione che incorpora una potenza di riferimento pari a 1 mW e una resistenza di riferimento pari a 600 Ohm:

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow V = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{0.001\text{W} \times 600\Omega} = \sqrt{0.6} = 0.775\text{V}$$

Grandezze elettriche espresse in decibel

La formula finale per il calcolo del dBu è la seguente:

$$\text{dB}_u = 20 \cdot \log\left(\frac{V}{0.775}\right)$$

c) dB_v (Vtaggio)

In questo caso il vtaggio di riferimento viene preso pari a 1 Volt, dunque si usa la formula:

$$\text{dB}_v = 20 \cdot \log\left(\frac{V}{1\text{Volt}}\right)$$

Grandezze elettriche espresse in decibel

d) dB_{fs} (Full Scale)

Questo tipo di dB viene utilizzato in contesti digitali ed è un po' anomalo in quanto non viene ottenuto dal rapporto con una grandezza di riferimento, ma in base ad un calcolo effettuato sull'ampiezza dei campioni.

In una scala digitale l'unità di misura è il dB_{fs} e il valore più alto è sempre 0 dB_{fs} . Oltre questo valore si ha distorsione digitale.

Standard Operating Level

- Una catena audio è composta dall'insieme degli stadi che un segnale audio attraversa per essere trasformato in ciò di cui abbiamo bisogno.
- Ogni stadio riceve in ingresso un segnale elettrico, lo manipola e restituisce in uscita il risultato della manipolazione che ha operato.
- Ciò che esce da questo stadio, andrà verosimilmente all'ingresso di uno stadio successivo che opererà una nuova trasformazione e così via.

Standard Operating Level

- Cosa succede se l'uscita di uno stadio risulta essere ad un voltaggio molto maggiore del voltaggio che lo stadio successivo è in grado di gestire in ingresso?
- il secondo stadio si troverà a manipolare un segnale troppo alto per cui non è stato tarato: introduzione di una distorsione .
- Ma cosa si aspetta il secondo stadio?
- Ogni componente audio lavora intorno ad un certo SOL e otterremo il massimo delle sue prestazioni, facendolo interagire con altri componenti che lavorano allo stesso SOL.

Standard Operating Level

| Contesto di operatività | dB | Volt |
|-------------------------|---------------------|---------------|
| Professionale | +4 dB _u | 1.2 V |
| Semi-Professionale | -10 dB _v | 0.32 V |
| Broadcast | 6-8 dB _u | 1.55 V-1.95 V |
| HiFi-Utente medio | -10 dB _u | 0.25 V |

- Ogni contesto ha una sua misura in dB.
- Per l'ambito professionale il voltaggio relativo allo SOL è 1.2 V, mentre nel campo hi-fi è pari a 0.25 V.
- Il primo segnale ha un'ampiezza circa pari a 5 volte quella del secondo e dunque permette una riproduzione molto più fedele.
- Ovviamente la qualità costa; circuiti che lavorano con voltaggi più alti sono più costosi.

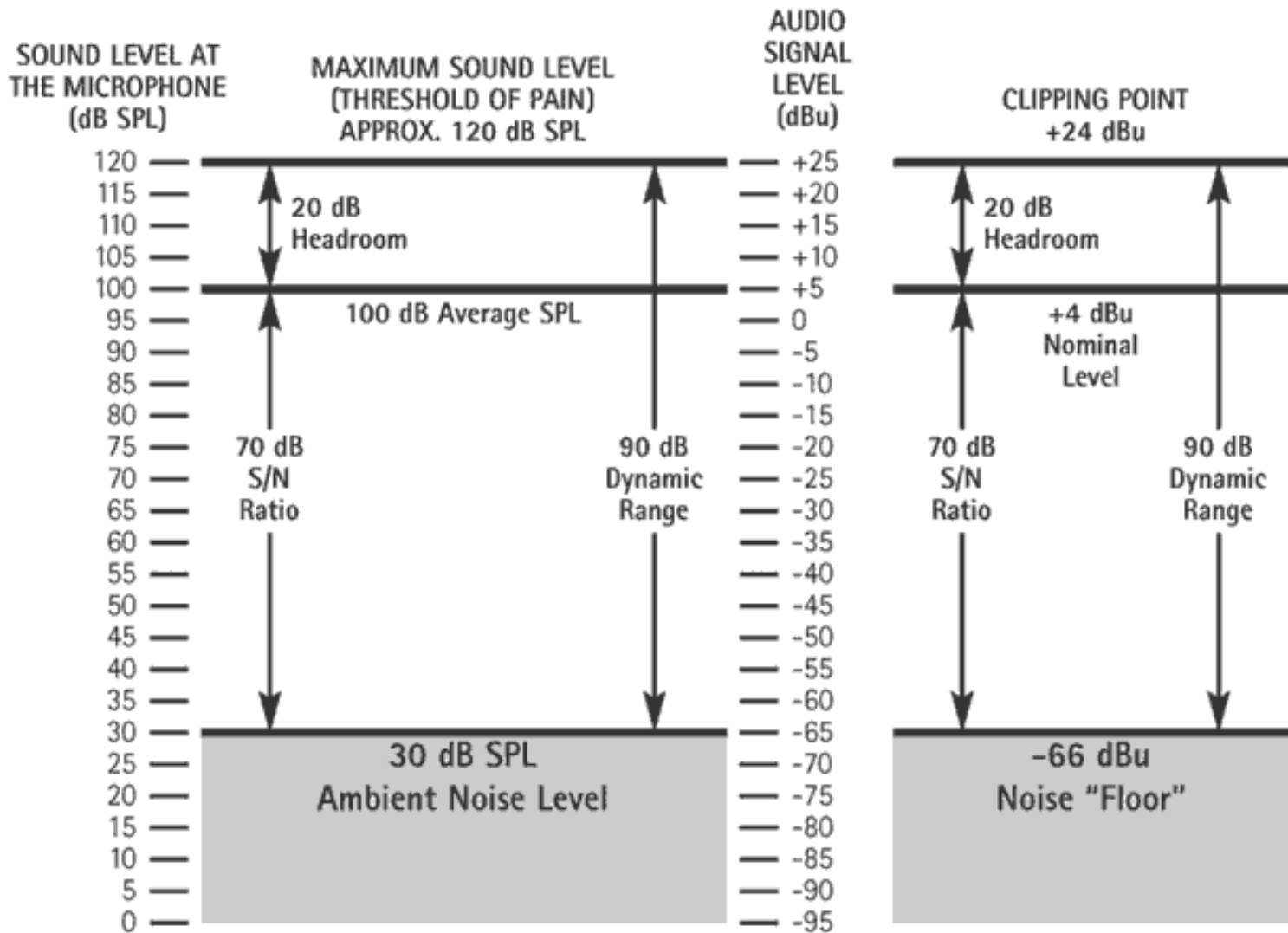
Dynamic Range (Dinamica)

- Per Dynamic Range si intende l'intervallo, misurato in dB (quale dB poi varia a seconda del contesto), tra il valore minimo che il segnale audio può assumere e quello massimo.
- In natura i suoni hanno una certa dinamica. Un refolo di vento ha una dinamica piccola perché il suo valore massimo in dB non è molto superiore a quello che si ha in assenza di suono. La dinamica del suono generato da un uragano invece è molto più ampia.
- Inoltre, in natura è sempre presente un rumore di fondo che possiamo attestare, in un ambiente cittadino mediamente rumoroso, a circa 30dB_{spl} .

Dynamic Range (Dinamica)

- Suoni che producono un numero di dB_{spl} inferiore a 30 possono essere trascurati, nel senso che non vengono percepiti con chiarezza essendo mascherati dal rumore di fondo.
- Inoltre, la maggior parte dei suoni non va oltre i 100 dB_{spl} e dunque assesteremo su questo valore il nostro SOL.
- Può capitare che per brevi periodi vengano prodotti suoni di intensità maggiore, diciamo non oltre un valore massimo di 120 dB_{spl} (valore che corrisponde approssimativamente alla soglia di dolore per l'orecchio umano).

Dynamic Range (Dinamica)



Dynamic Range (Dinamica)

- La differenza in dB tra lo SOL e il rumore di fondo, viene chiamata rapporto segnale rumore (Signal to Noise Ratio) e dà una misura di quanto un suono sia "più forte" del rumore di fondo.
- La differenza in dB tra il valore massimo della dinamica e lo SOL viene detta headroom. La somma in dB tra l'headroom e il SNR è il dynamic range, ossia la dinamica (fare riferimento alla parte sinistra della figura precedente).
- Una volta definito questo insieme di valori in ambito fisico, possiamo vederne l'equivalente elettrico (parte a destra della figura).
- Innanzitutto focalizziamo l'attenzione sul rumore. Qualsiasi apparato elettrico è affetto da rumore (per esempio il rumore termico dei componenti elettronici, o il naturale fruscio di un nastro magnetico).

Dynamic Range (Dinamica)

- Supponiamo di aver misurato un valore del rumore di fondo pari a -66dB_u .
- Il nostro SOL, dato che vogliamo lavorare con attrezzature professionali, sarà $+4\text{dB}_u$ (equivalente dei $100\text{dB}_{\text{spl}}$), mentre come headroom possiamo prendere 20dB_u per mantenere le proporzioni con il caso reale.
- Facendo un po' di conti otteniamo un SNR di 70dB_u e dunque una dinamica di 90dB_u . Con questi valori fissati saremmo sicuri di poter riprodurre correttamente qualsiasi suono compreso tra i valori di 30dB_{spl} e $120\text{dB}_{\text{spl}}$ cioè con una dinamica di 90dB_{spl} .

Dynamic Range (Dinamica)

- I brani da discoteca vengono compressi fino ad arrivare ad avere una dinamica massima di 30 dB. Quindi con 90 dB di dinamica a disposizione si possono fare grandi cose!
- Se consideriamo un'orchestra, si va da valori molto bassi di dB_{spl} , nelle parti in cui “sussurra” un solo strumento, a valori molto alti quando per esempio tutti gli strumenti suonano insieme in un crescendo trionfale. Con 90 dB_u a disposizione è possibile registrare tutti questi suoni di intensità così diversa con la stessa fedeltà.
- Ora si possono comprendere meglio i valori della tabella dei voltaggi: valori di SOL maggiori (e dunque voltaggi più alti), sono più lontani dal rumore di fondo e dunque consentono una dinamica maggiore.

Misuratori di dB

Ne esistono di vario tipo:

a) Vu Meters

Nei Vu Meters lo zero indica sempre lo SOL: per le apparecchiature professionali, $+4dB_u$ (1.2V), mentre sull'Hi-Fi di casa $-10dB_u$ (0.25V). I Vu meters danno una misura del RMS del segnale, ossia del suo valore efficace, e vengono utilizzati per apparecchiature analogiche, soprattutto sui registratori. Non sono fatti per visualizzare tutti i transienti del segnale, data anche la massa inerziale degli indicatori.

Misuratori di dB

b) PPM

PPM sta per Peak Program Meter e come dice il nome, fornisce una misura dei valori di picco del segnale e non del valore efficace. Inoltre il misuratore segue tutti i transienti del segnale e viene impiegato soprattutto per misure su segnali digitali. L'unità di misura è il dB_{fs} .