

# Il decibel

Massimiliano Salfi

[salfi@dmf.unict.it](mailto: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	$10^n$

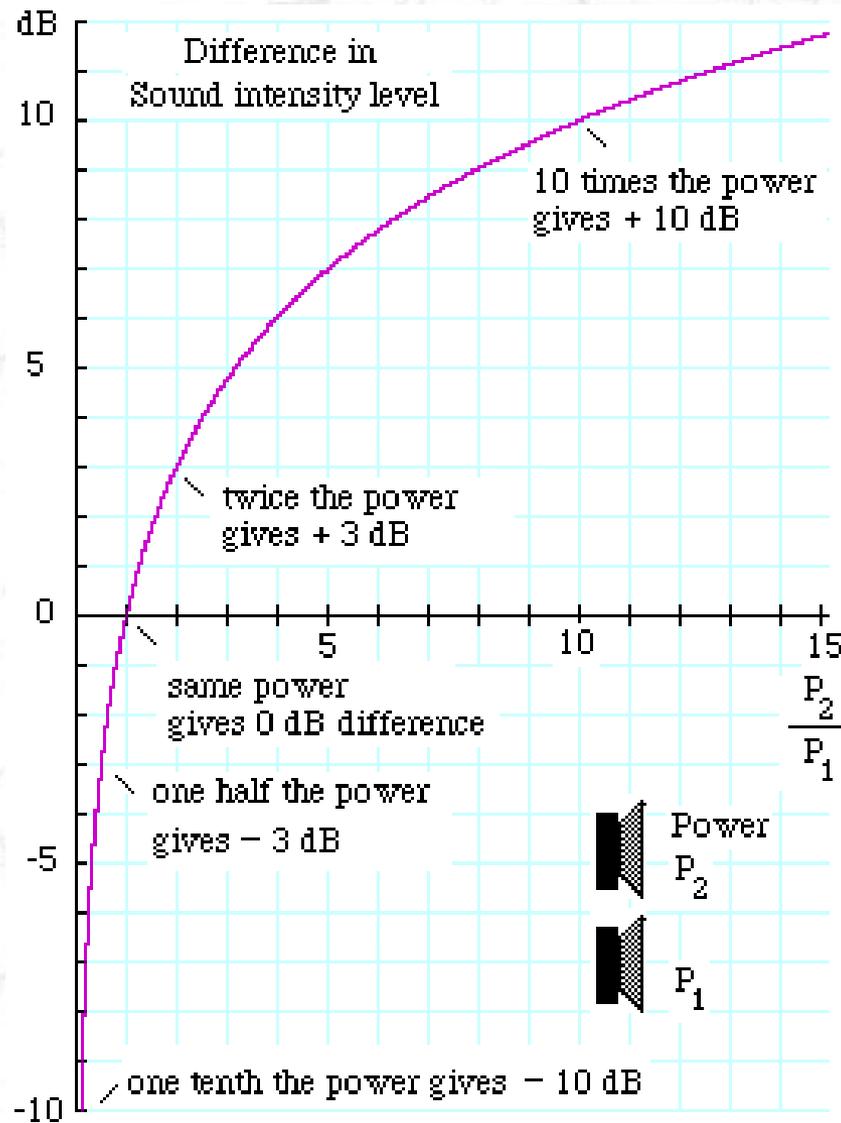
# Il concetto di decibel

- 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  $\text{dB}_{\text{spl}}$  (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  $\mu\text{Pa}$  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  $\mu\text{Pa}$ , non esercita nessuna pressione sonora percepibile dall'apparato uditivo.
- Invece, una pressione sonora di 10Pa genera un certo numero di  $\text{dB}_{\text{spl}}$  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)	110
	musica da film (a 6 metri)	100
	fortissimo di musica classica	90
	traffico stradale intenso (a 1,5 metri)	80
	cabina di un jet (Cruise)	70
	conversazione (a un metro)	60
	casa (notte)	50
	auditorium silenzioso	40
	studio di registrazione vuoto	30
	fischiettare leggero (a 1,5 metri)	20
	studio di registrazione estremamente silenzioso	10
	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  $\text{dB}_{\text{spl}}$ , 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  $600 \Omega$ . Come valore di riferimento per la potenza, invece, veniva preso  $1 \text{ mW}$ , 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) $\text{dB}_u$ (Voleggio)

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

Per il calcolo del  $\text{dB}_u$  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 dB<sub>u</sub> è la seguente:

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

c) dB<sub>v</sub> (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) $\text{dB}_{\text{fs}}$ (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  $\text{dB}_{\text{fs}}$  e il valore più alto è sempre  $0 \text{ dB}_{\text{fs}}$ . 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 <sub>u</sub>	1.2 V
Semi-Professionale	-10 dB <sub>v</sub>	0.32 V
Broadcast	6-8 dB <sub>u</sub>	1.55 V-1.95 V
HiFi-Utente medio	-10 dB <sub>u</sub>	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.

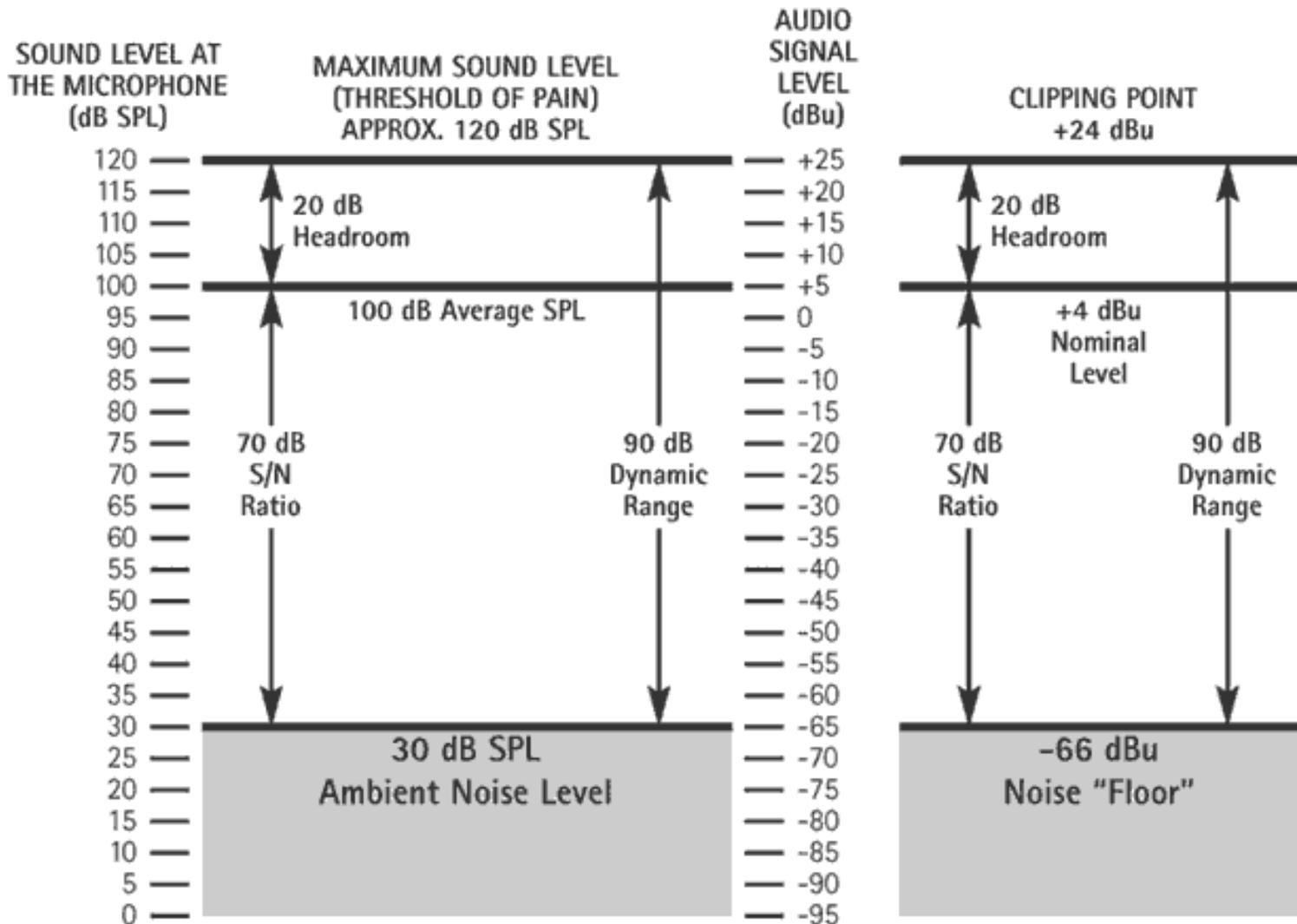
# Dynamic Range (Dinamica)

- 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  $30\text{dB}_{\text{spl}}$ .

# Dynamic Range (Dinamica)

- Suoni che producono un numero di  $\text{dB}_{\text{spl}}$  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  $\text{dB}_{\text{spl}}$  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  $\text{dB}_{\text{spl}}$  (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  $-66\text{dB}_u$ .
- 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  $20\text{dB}_u$  per mantenere le proporzioni con il caso reale.
- Facendo un po' di conti otteniamo un SNR di  $70\text{dB}_u$  e dunque una dinamica di  $90\text{dB}_u$ . Con questi valori fissati saremmo sicuri di poter riprodurre correttamente qualsiasi suono compreso tra i valori di  $30\text{dB}_{\text{spl}}$  e  $120\text{dB}_{\text{spl}}$  cioè con una dinamica di  $90\text{dB}_{\text{spl}}$ .

# 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  $\text{dB}_{\text{spl}}$ , 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  $\text{dB}_u$  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,  $+4\text{dB}_u$  (1.2V), mentre sull'Hi-Fi di casa  $-10\text{dB}_u$  (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  $\text{dB}_{\text{fs}}$  .