



Acustica

Parte 2

Prof. Filippo Milotta
milotta@dmi.unict.it



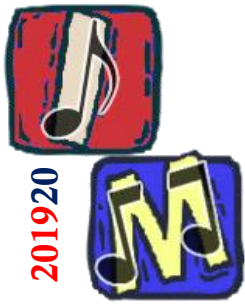
Ampiezza dei suoni

L'ampiezza o intensità di un'onda sonora determina il volume a cui questa viene percepita.

In particolare:

- ad un'ampiezza elevata corrisponde un volume alto;
- viceversa il suono risulterà più debole.

L'ampiezza o intensità è il parametro fisico che descrive il contenuto energetico trasportato dall'onda. Nel caso delle onde sonore questa energia è legata in maniera direttamente proporzionale alla variazione di pressione locale.



Ampiezza dei suoni

- Perché non misurarla in metri?
 - Siamo nell'ordine dei micron (10^{-6})
- **Sound Pressure Level (SPL)**
 - Variazione della pressione dell'aria
 - Il silenzio corrisponde alla pressione atmosferica
 - Le variazioni si aggirano attorno a 1/1.000.000 della pressione atmosferica al livello del mare
 - Sono comunque rilevabili dai diaframmi dei microfoni (e dal nostro timpano)
- **Sound Intensity Level (SIL)**

Rispetto alla pressione /
rarefazione delle particelle

Rispetto all'energia (intensità)
trasportata dall'onda

Ampiezza

Pressione, un esempio classico

$$pressione = \frac{Forza}{Superficie}$$



■ Donna:

- ❑ Peso: 50Kg (~500N)
- ❑ Area del tacco: 2cm²
- ❑ Pressione
 - 500/0,0002=2.500.000 N/m²



■ Elefante:

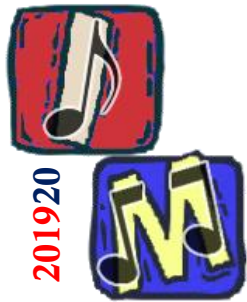
- ❑ Peso: 1.000Kg (~10.000N)
- ❑ Area ricoperta: 0,1m²
- ❑ Pressione
 - 10.000/0,1=100.000 N/m²

$$1Kg \cong 10N$$



Ampiezza – Pressione

- Pressione atmosferica: 100.000 Newton/m²
- Per misurare l'ampiezza della pressione si dovrebbe misurare la sua differenza media rispetto alla pressione atmosferica, tuttavia...
 - La media di valori positivi e negativi tenderebbe a 0
- Consideriamo la Radice Quadrata della *Pressione Quadratica Media* (**Root Mean Square, RMS**)
 - Tipicamente calcolata su un ciclo completo dell'onda



RMS

- Dati i seguenti valori campionati di ampiezza:
- -1, 2, -3, 1, 0, 3
- Calcolare l'RMS

$$\begin{aligned} RMS &= \sqrt{\frac{(-1^2) + 2^2 + (-3^2) + 1^2 + 0^2 + 3^2}{6}} = \\ &= \sqrt{\frac{1 + 4 + 9 + 1 + 9}{6}} = \sqrt{\frac{24}{6}} = \sqrt{4} = 2 \end{aligned}$$



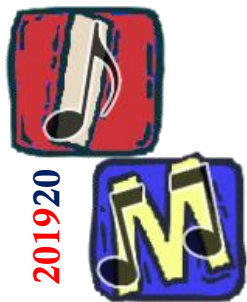
Ampiezza – Pressione

Soglie di udibilità

Calcolate grazie a
un tono puro da
1000Hz

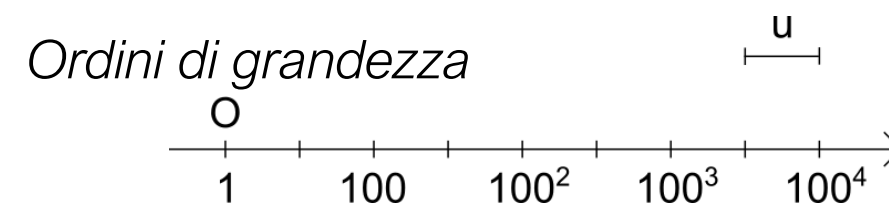
- Da studi statistici si è scoperto che
 - ❑ La soglia MIN di udibilità è circa $2,5 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ (**=25 μPa**)
 - ❑ La soglia MAX di udibilità è circa 30 N/m^2
 - ❑ La soglia MAX è 1.000.000 di volte più grande della MIN
- Poiché il loro rapporto è così elevato conviene schiacciare la scala di riferimento
- -> Scala logaritmica

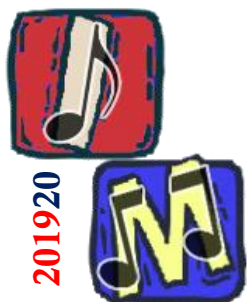
Un'unità di misura con questa
proprietà è il **Decibel**



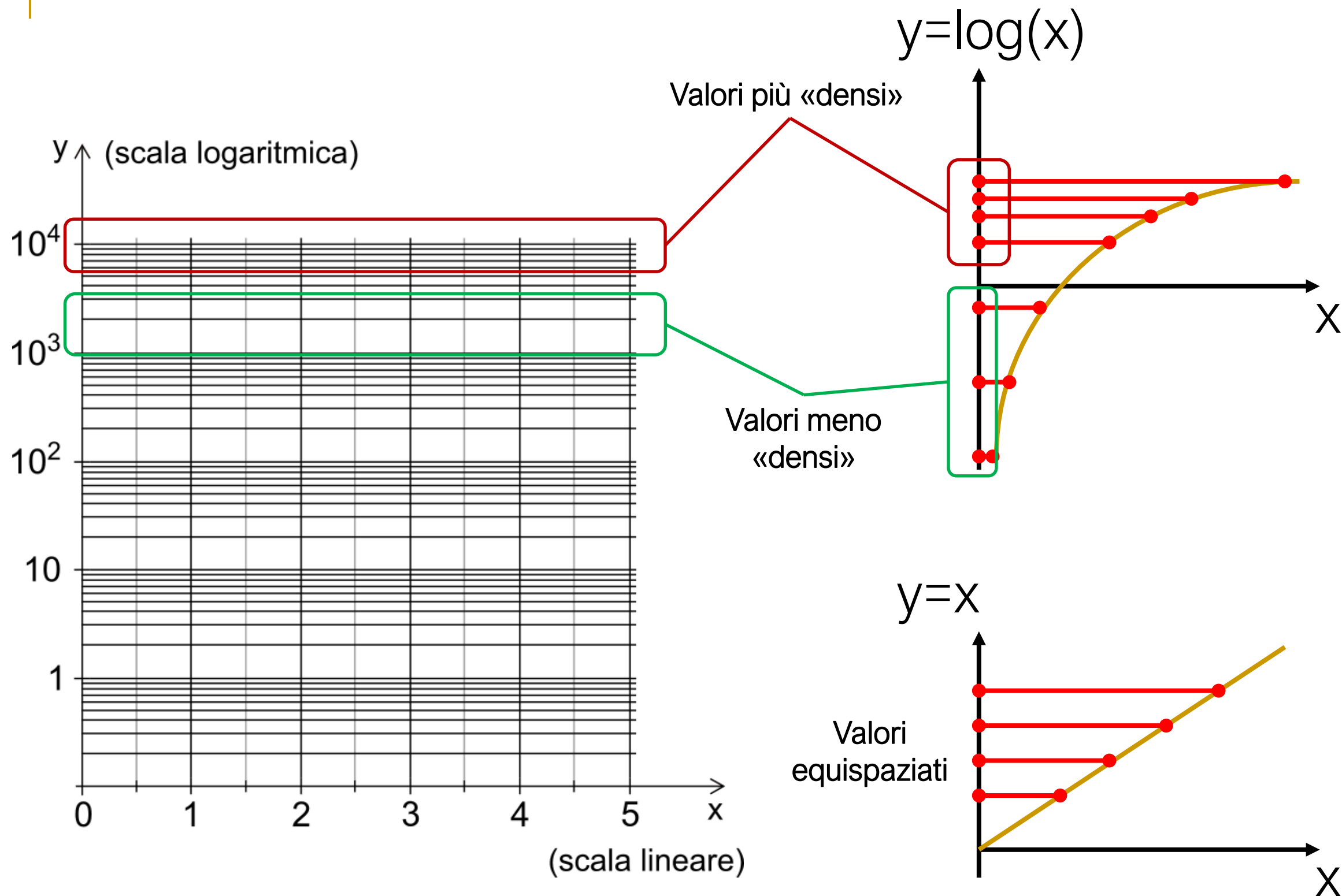
Nota sui logaritmi (dal testo)

- Il logaritmo di un numero x in base b è l'esponente a cui deve essere elevata b per ottenere x
 - $\log_b x = a$ se $x = b^a$
- Un valore di una scala logaritmica quindi aumenta di 1 quando aumenta di 1 l'esponente
 - Passare da a ad $a+1$ su una scala logaritmica significa passare da $x = b^a$ a $x = b^{a+1}$ sulla scala lineare corrispondente.
- Esempio:
 - Se $b=10$, passare da $x_1=100$ a $x_2=1000$ sulla scala lineare, corrisponde ad aumentare di 1 sulla scala logaritmica ($100=10^2$ e $1000=10^3$)
 - Si noti che aumenta di 1 anche a passare da 1.000 a 10.000
- Per cui la scala logaritmica tende ad appiattire gli incrementi per valori elevati





Saper riconoscere la scala logaritmica





Decibel

Il decibel (dB) è una unità di misura *relativa* che sfrutta il logaritmo per comprimere il range di variazione della grandezza fisica che descrive. Corrisponde ad un decimo di **bel**.

- E' un'unità di misura *relativa* poiché serve a misurare il *rapporto* tra grandezze *omogenee*.
- Infatti, siano x_1 e x_2 grandezze omogenee, si definisce il loro ***rapporto espresso in decibel come:***

$$R_{dB} = 10 \log_{10} \frac{x_1}{x_2}$$



Decibel ... e grandezze simili

Sono unità di misura *relative* basate su logaritmo:

| Nome | Simbolo | Definizione |
|---------|---------|---|
| Bel | B | $R_B = \log_{10} \frac{x_1}{x_2}$ |
| Decibel | dB | $R_{dB} = 10 \log_{10} \frac{x_1}{x_2}$ |
| Neper | Np | $R_{Np} = \log_e \frac{x_1}{x_2}$ |

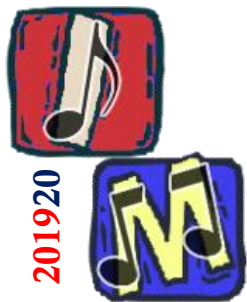


Decibel - Caratteristiche

Le caratteristiche del decibel si possono riassumere nei seguenti punti:

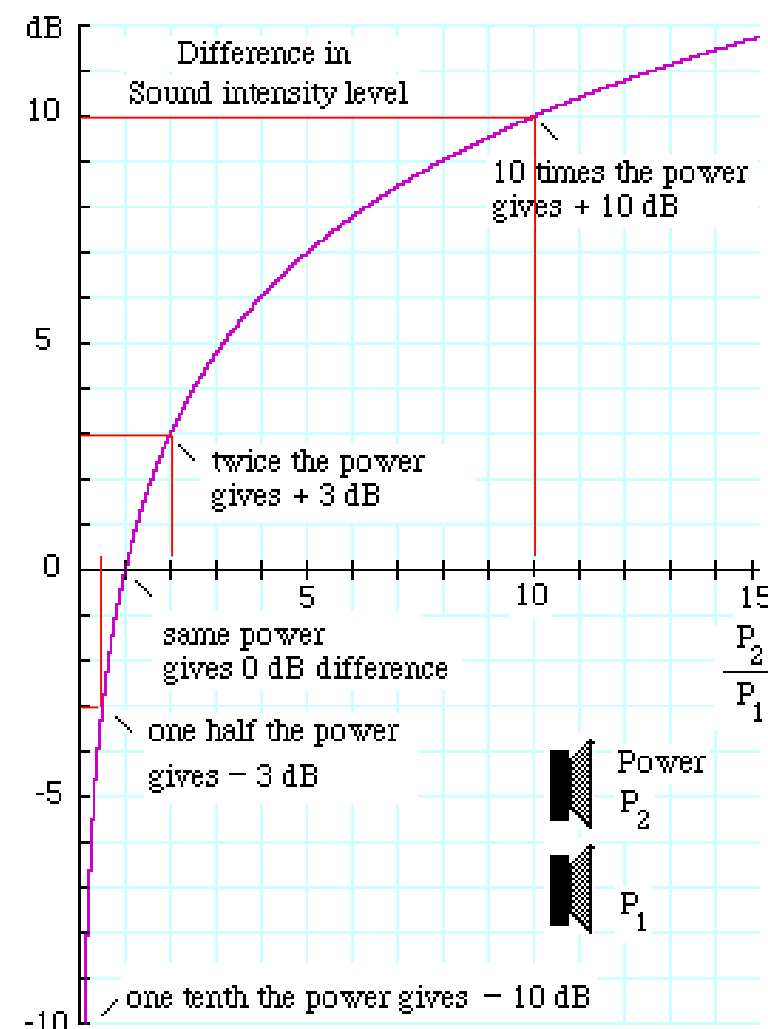
- E' adimensionale, infatti il rapporto tra le due grandezze omogenee è sempre un numero puro.
- L'unità di misura originaria va spesso specificata, per poter capire cosa effettivamente si sta misurando.
- Il logaritmo comprime il range di variazione delle grandezze, trasformando gli aumenti *moltiplicativi* in aumenti *additivi*, cioè i prodotti in somme.

$$\log_b (a \cdot c) = \log_b (a) + \log_b (c)$$



Decibel - Caratteristiche

- Un aumento di **10 dB** corrisponde ad un aumento della grandezza originale di un fattore 10 (cioè di *1 ordine di grandezza*).
- Ad un raddoppio corrisponde invece un aumento di circa **3 dB**.



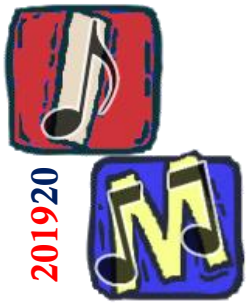


Decibel - Esempio

Supponiamo di aver investito 5.000€, ed aver aumentato il nostro capitale fino a 200.000€. Quanti decibel abbiamo guadagnato?

$$G_{dB} = 10 \log_{10} \frac{x_1}{x_2} = 10 \log_{10} \frac{200000\text{€}}{5000\text{€}} \cong 16 \text{ dB}$$

Quindi ad un aumento di un fattore 40, corrisponde un guadagno di 16 dB.



Decibel - Uso

- L'unità di misura originale di solito si specifica come **pedice**. Nell'esempio precedente abbiamo quindi misurato $dB_{\text{€}}$.
- Sarebbe comodo usare il decibel come unità di misura **assoluta**. Per farlo, basta fissare il denominatore del rapporto ad un valore di riferimento.
- In effetti nel caso dell'intensità sonora si userà questo stratagemma.



Decibel assoluto

Come scegliere le grandezze di riferimento? Ci sono due possibilità:

- 1) Scegliamo come valore di riferimento l'unità della grandezza originale.
- 2) Scegliamo un valore che sia significativo per una qualche motivazione teorica o pratica. Nel caso delle onde sonore la scelta sarà di questo tipo.

In ogni caso, nulla ci vieta di scegliere arbitrariamente il valore di riferimento.

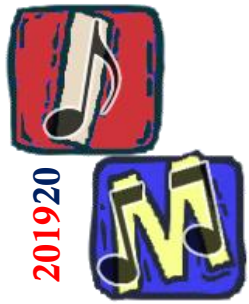


Decibel assoluto - Esempio

Il puntatore laser che stiamo utilizzando ha una potenza di $5mW$ (milli Watt). A quanti **decibel assoluti** corrisponde questa potenza?

Poiché ci viene richiesta una misura in **decibel assoluti** per un potenza espressa in Watt, prendiamo come valore di riferimento l'unità, ossia $1 W$. Quindi $x_2 = 1 W$

$$P_{dB_W} = 10 \log_{10} \frac{x_1}{1 W} = 10 \log_{10} \frac{5 mW}{1 W} \cong -23 dB_W$$



Decibel assoluto - Esempio

Il puntatore laser che stiamo utilizzando ha una potenza di 500 mW . A quanti decibel assoluti corrisponde questa potenza prendendo come riferimento i laser da 5 mW ?

Poiché ci viene richiesta una misura in decibel assoluti e come riferimento i laser di potenza 5 mW , prendiamo $x_2 = 5 \text{ mW}$.

$$P_{dB_W} = 10 \log_{10} \frac{x_1}{5 \text{ mW}} = 10 \log_{10} \frac{500 \text{ mW}}{5 \text{ mW}} \cong 20 \text{ dB}_W$$



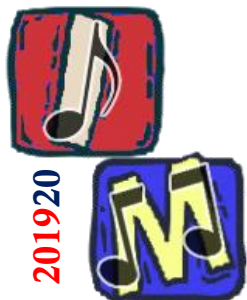
Ampiezza – Decibel SPL

L'ampiezza di un'onda sonora viene tipicamente misurata in decibel SPL (Sound Pressure Level), simbolo **dB_{SPL}**.

In particolare, sia p la pressione sonora (in pascal - Pa) di un suono, si definisce livello di pressione sonora:

$$SPL = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0}$$

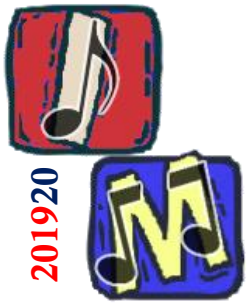
Dove p_0 è la pressione di riferimento, pari a 25 µPa. Questa grandezza non è casuale, ma rappresenta la **soglia minima di udibilità per un tono puro a 1000 Hz**.



Ampiezza – Decibel SPL

| | Suono | SPL (dB) |
|---|--|------------|
| ! | Eruzione del Krakatoa (del 1883) | 300 |
| | Interno di un tornado | 250 |
| | Massimo rumore prodotto in laboratorio | 210 |
| | Lancio di un missile (a 50 m) | 200 |
| | Rottura istantanea del timpano | 170 |
| | Jet al decollo (a 50 m) | 130 |
| ! | Dolore fisico | 130 |
| | Concerto rock al chiuso | 110 |
| | Schianto del fulmine | 110 |
| | Urlo | 100 |
| | Martello pneumatico (3 m) | 90 |
| | Traffico cittadino | 70-80 |
| | Ufficio o ristorante (affollati) | 60-65 |
| | Conversazione (1 m) | 50 |
| | Teatro o chiesa (vuoti) | 25-30 |
| | Bisbiglio (1 m) | 15 |
| | Fruscio di foglie | 10 |
| | Zanzara vicino all'orecchio | 10 |
| | Soglia dell'udito (a 1000 Hz) | 0 |
| ! | Camera anecoica | -10 |

La scelta di una scala logaritmica è motivata dall'enorme range in cui può variare la pressione sonora. Suoni fino a 100 Pa di pressione (che provocano dolore fisico al timpano) non sono rari in certi ambienti. Non è strano quindi, avere a che fare con variazioni da 25×10^{-6} Pa a 100 Pa, ossia di parecchi ordini di grandezza.



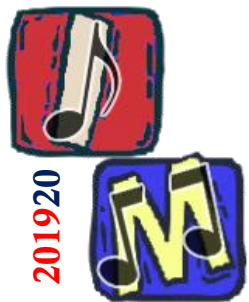
Ampiezza – Decibel SIL

L'ampiezza di un'onda sonora può anche essere misurata in funzione dell'intensità attraverso una superficie di un metro quadro. In questo caso si utilizzano i decibel SIL (Sound Intensity Level), simbolo **dB_{SIL}**

In particolare, sia I l'intensità di un suono ($\frac{W}{m^2}$), si definisce livello di intensità sonora:

$$SIL = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

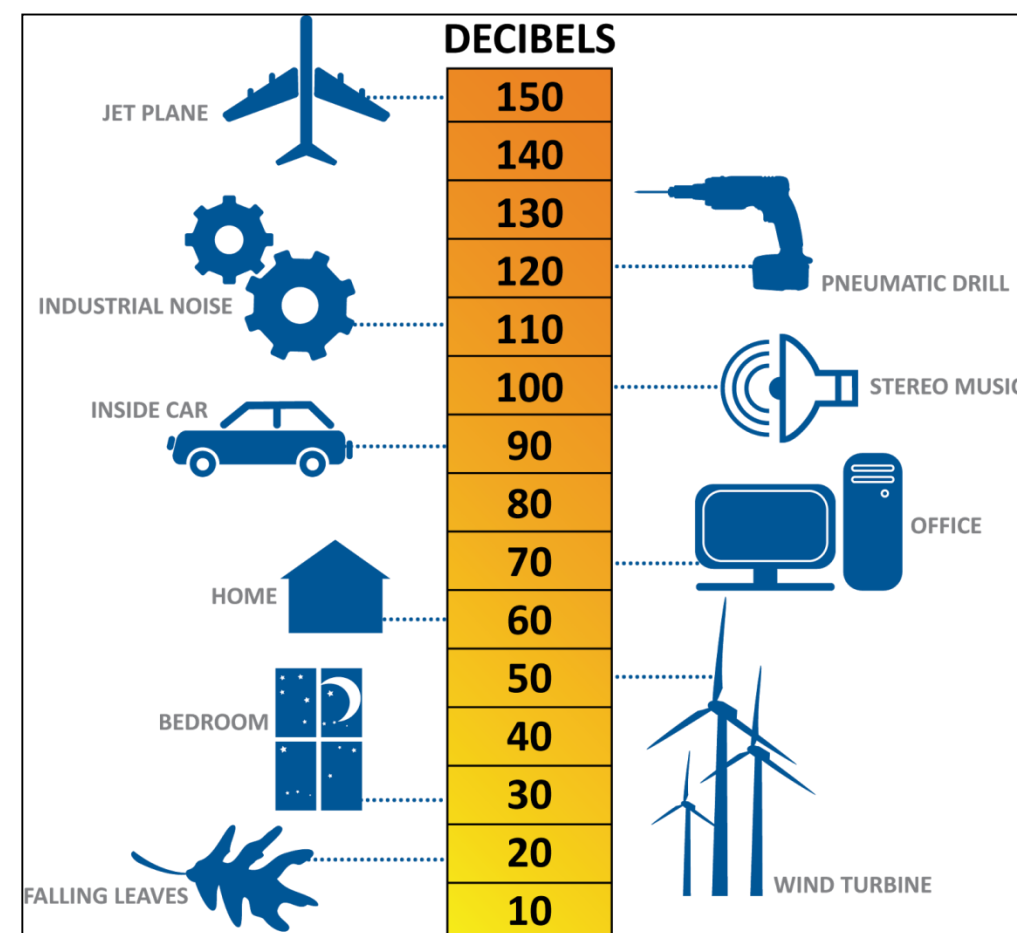
Dove I_0 è l'intensità associata alla soglia minima di udibilità, pari a $10^{-12} \frac{W}{m^2}$. Sebbene in alcuni casi i valori SPL e SIL coincidano, essi hanno comunque un significato fisico differente.



Ampiezza – Decibel

Range di valori tipici

- Il rapporto tra l'intensità del suono alla soglia del dolore fisico e il minimo suono udibile è di circa 1000 miliardi, cioè 10^{12}
 - Quindi la scala dei decibel ha portato a una gamma di valori che andrà da 0 a 120dB circa
 - ($>120\text{dB}$ se superiamo la soglia del dolore)





Correlare SPL e SIL

$$\begin{aligned}SPL &= 20 \log \frac{p}{p_0} = \\&= 10 \times 2 \log \frac{p}{p_0} = \\&= 10 \times \log \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = \\&= 10 \log \frac{I}{I_0} = SIL\end{aligned}$$

Decibel SPL e la musica

| Suono | SPL (dB) |
|--|------------|
| Eruzione del Krakatoa (del 1883) | 300 |
| Interno di un tornado | 250 |
| Massimo rumore prodotto in laboratorio | 210 |
| Lancio di un missile (a 50 m) | 200 |
| Rottura istantanea del timpano | 170 |
| Jet al decollo (a 50 m) | 130 |
| Dolore fisico | 130 |
| Concerto rock al chiuso | 110 |
| Schianto del fulmine | 110 |
| Urlo | 100 |
| Martello pneumatico (3 m) | 90 |
| Traffico cittadino | 70-80 |
| Ufficio o ristorante (affollati) | 60-65 |
| Conversazione (1 m) | 50 |
| Teatro o chiesa (vuoti) | 25-30 |
| Bisbiglio (1 m) | 15 |
| Fruscio di foglie | 10 |
| Zanzara vicino all'orecchio | 10 |
| Soglia dell'udito (a 1000 Hz) | 0 |
| Camera anecoica | -10 |

- La musica che ascoltiamo deve stare all'interno di questo piccolo intervallo
 - L'intensità media si aggira sui 70dB
 - Valori per musica a basso volume sono 40, 50, 60 dB
 - Valori per musica ad alto volume sono 80, 90, 100 dB
 - Le orchestre suonano fra 65 e 80 dB