Università degli studi di Bologna
Facoltà di Ingegneria

49498 - Acustica Applicata e Illuminotecnica L (A-K)

Dispensa n. 2

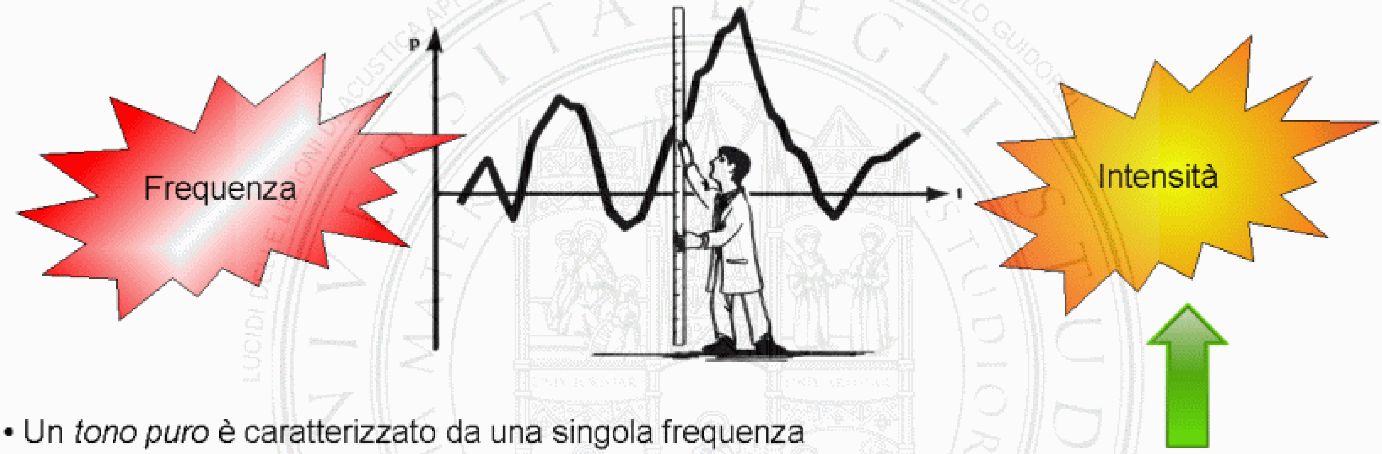
LIVELLI SONORI E DEFINIZIONE DI DECIBEL

Docente: Paolo Guidorzi

Rev. 9 gennaio 2008

Indice

I suoni sono caratterizzati da due componenti fondamentali:



- Un *tono puro* è caratterizzato da una singola frequenza
- I suoni reali sono composti da più frequenze, che ne determinano il *timbro*
- L'intensità di un suono è determinata dall'ampiezza della perturbazione della pressione sonora

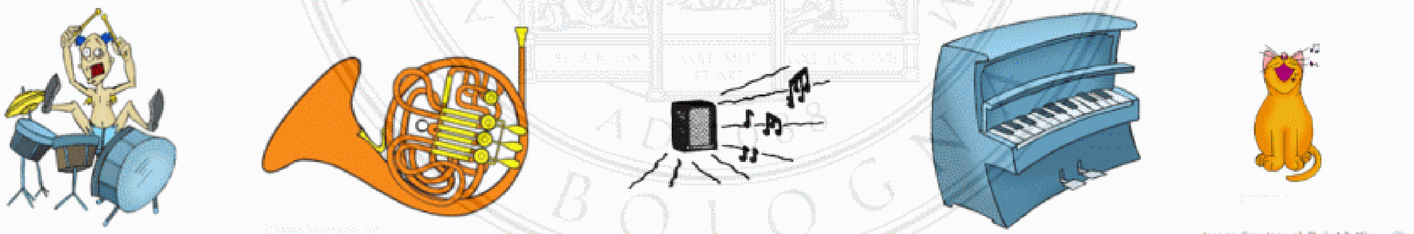


Image Courtesy of Brüel & Kjær

Il sistema uditivo umano medio può udire suoni con ampiezze che variano da 20 milionesimi di Pa (soglia di udibilità) a 100 - 200 Pa (soglia del dolore)

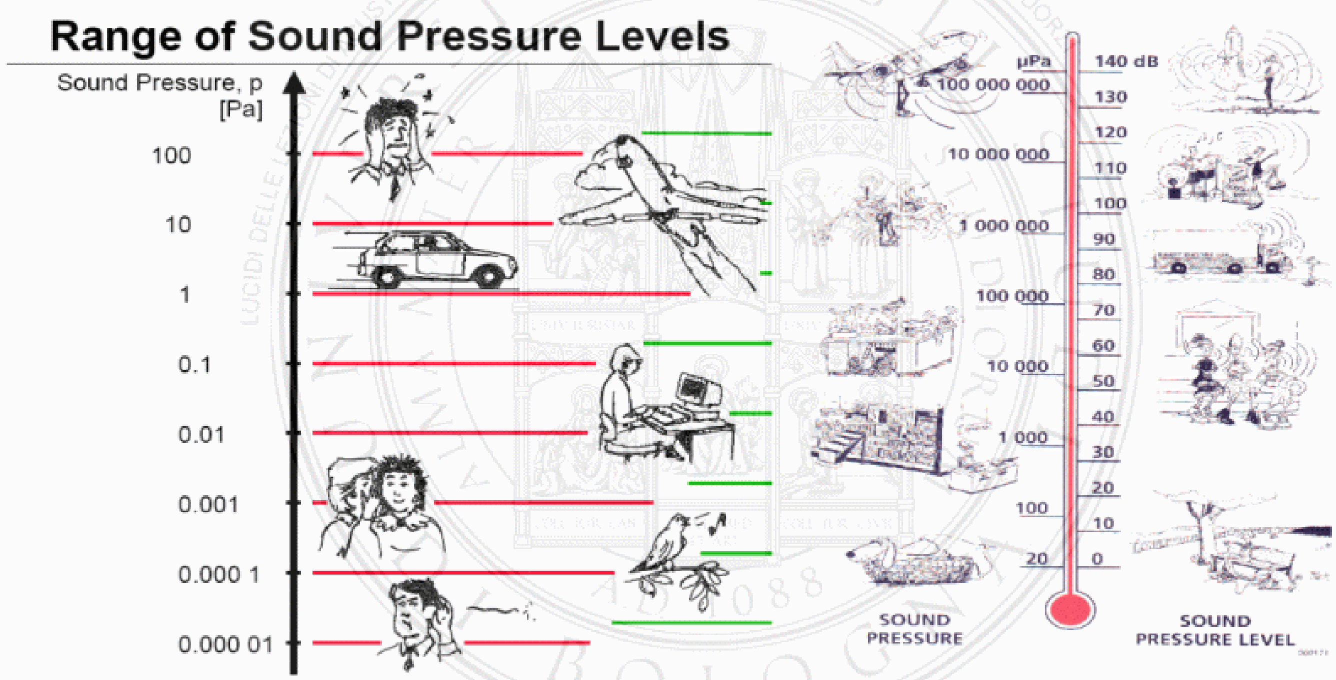
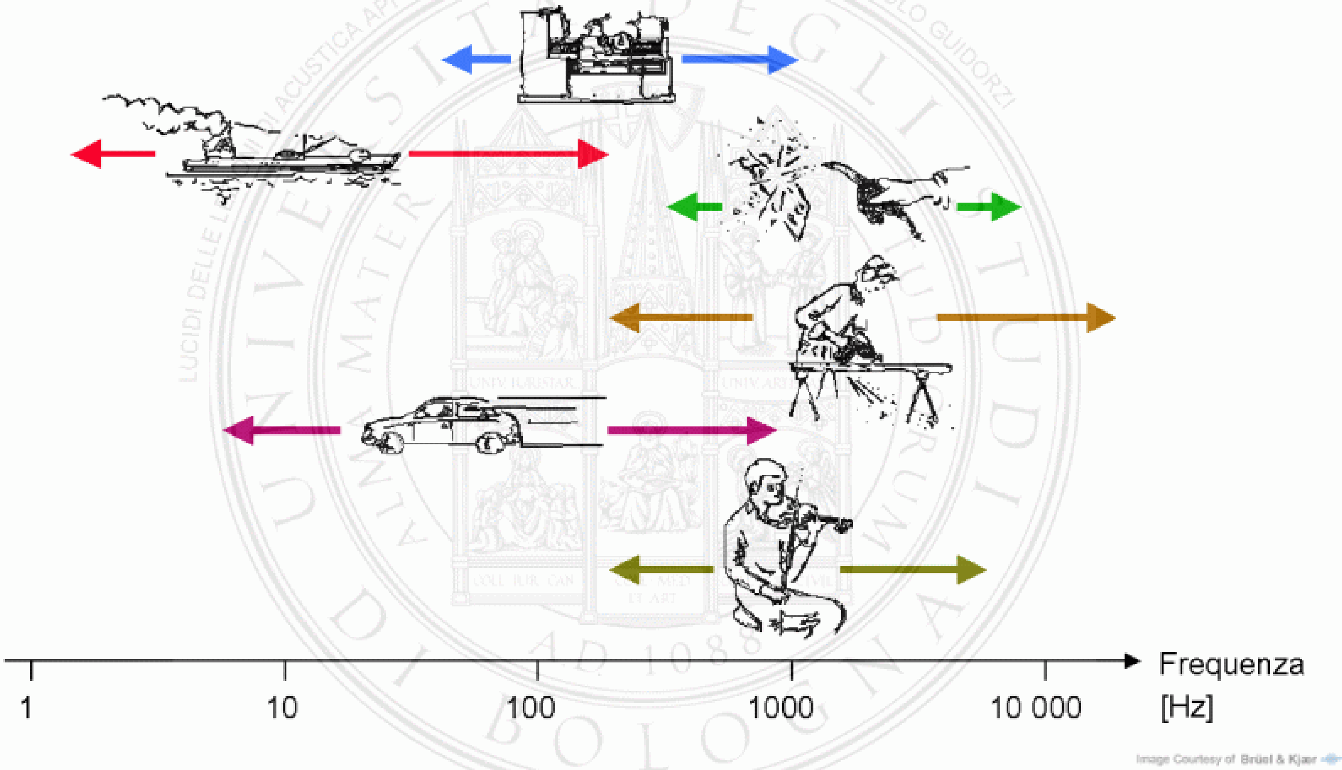
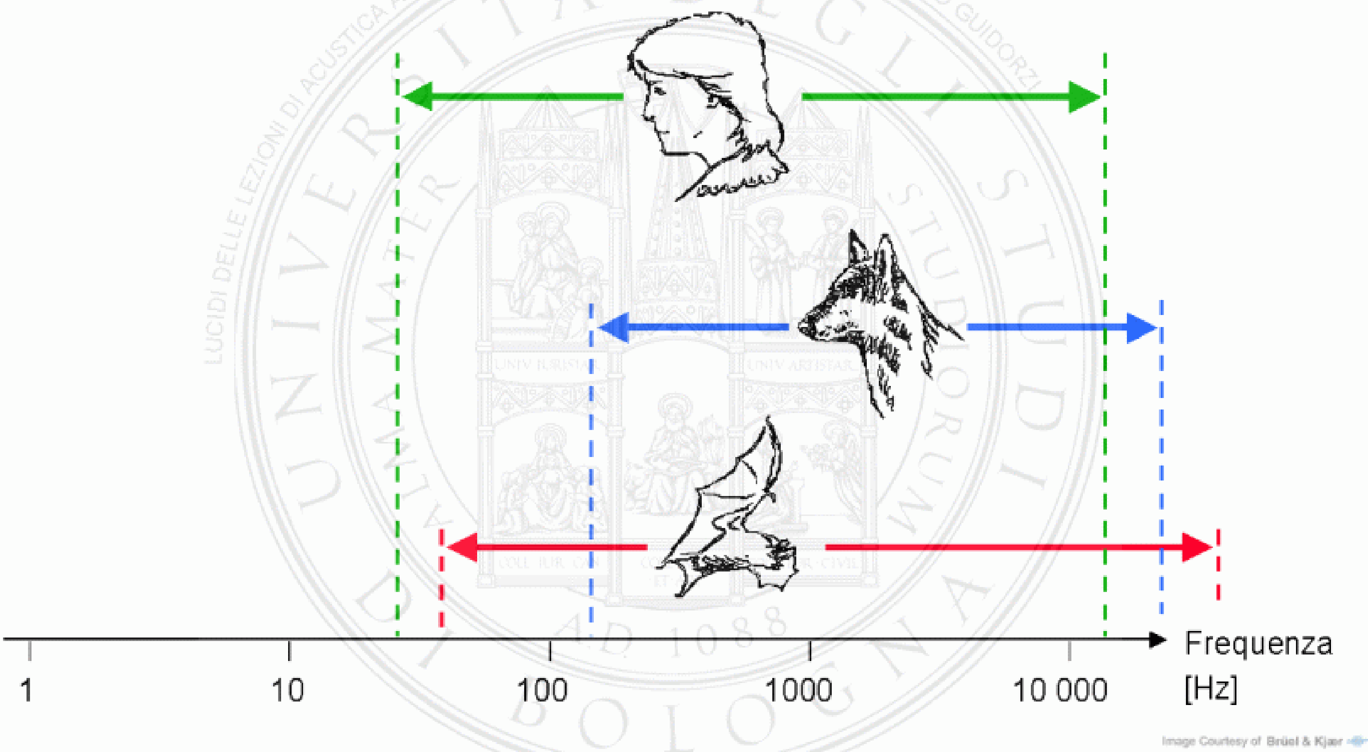


Image Courtesy of Brüel & Kjær

Le sorgenti sonore generano suoni in un certo campo di frequenze



Il sistema uditivo umano medio percepisce suoni compresi tra 20 e 20000 Hz.



- I “numeri” in gioco per caratterizzare i suoni coprono un range molto ampio:

$$20 \cdot 10^{-6}\ \text{Pa} \ \div\ 200\ \text{Pa}$$

$$\text{Dinamica: } \frac{p_{\max}}{p_{\min}} = \frac{200}{20 \cdot 10^{-6}} = 10^{7} = 10.0000.000$$

- La risposta alle intensità dello stimolo uditivo dell'orecchio umano non e' lineare

Scala dei decibel

- La potenza di una sorgente sonora è proporzionale al quadrato della pressione acustica.

$$I = \frac{p_{eff}^{2}}{\rho_0 c} \quad \Rightarrow \quad W = I \cdot S \propto p_{eff}^{2}$$

- Si misura p (efficace) ma per caratterizzare l'energia associata al fenomeno sonoro si utilizza p^2

$$p(t) \Rightarrow p^{2}(t)$$

- Si normalizza per il quadrato del valore di riferimento p_0 corrispondente alla soglia di udibilità

$$\Rightarrow \frac{p^{2}(t)}{p_0^{2}} \qquad p_0 = 20\mu Pa$$

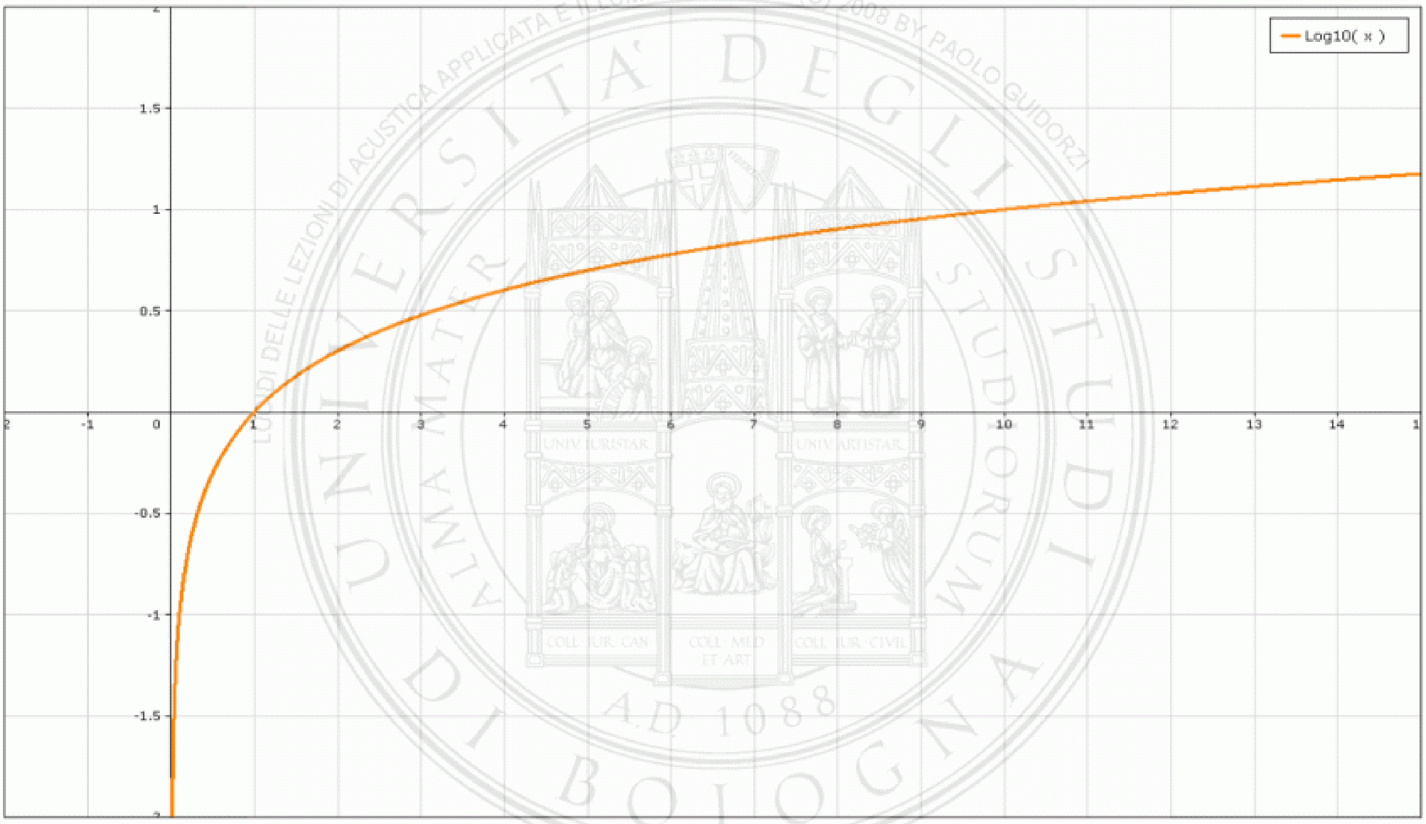
- Si comprime la dinamica con la funzione logaritmo

$$\Rightarrow \log_{10}\left[\frac{p(t)}{p_0}\right]^{2} \quad \text{bel [B]}$$

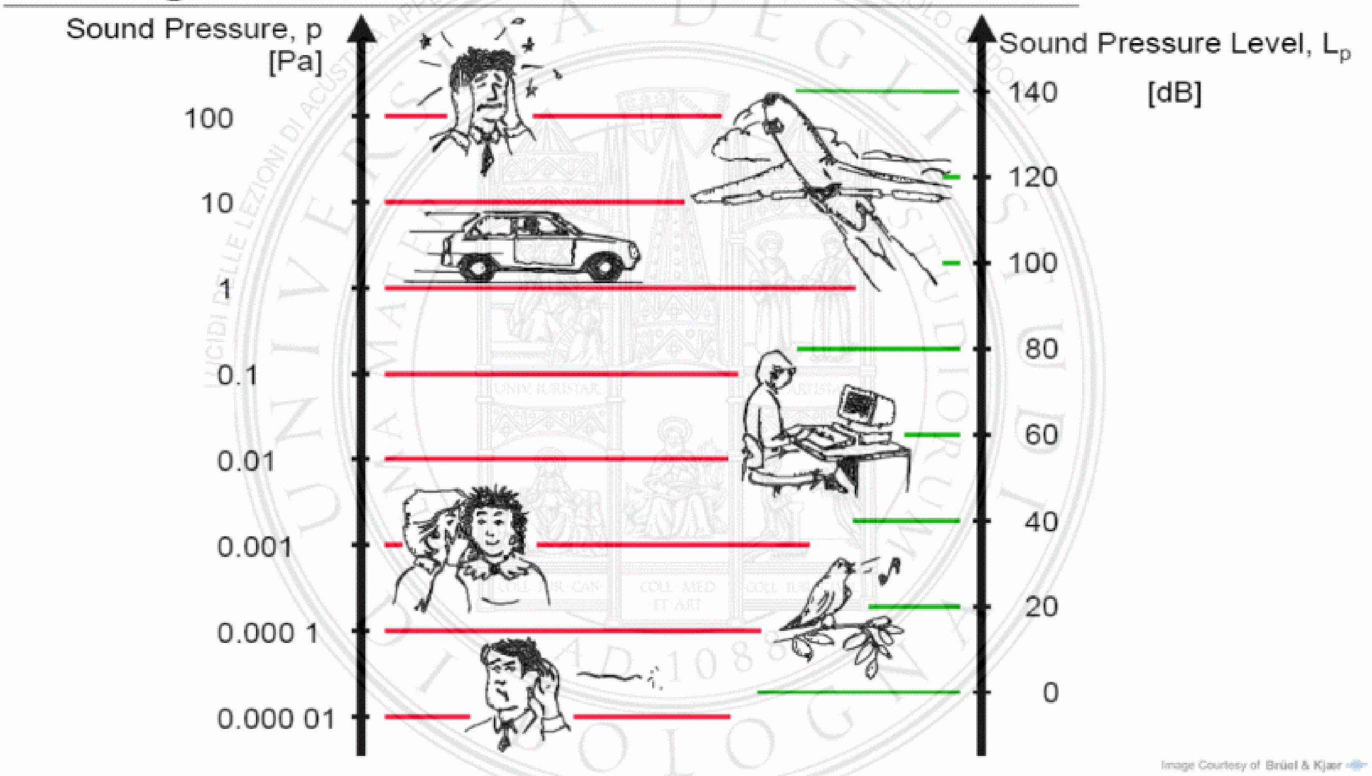
- Si espande di nuovo la dinamica di un fattore 10

$$\Rightarrow L_p = 10\log_{10}\left[\frac{p(t)}{p_0}\right]^{2} = 20\log_{10}\left[\frac{p(t)}{p_0}\right] \quad \text{decibel [dB]}$$

Livello di pressione L_p

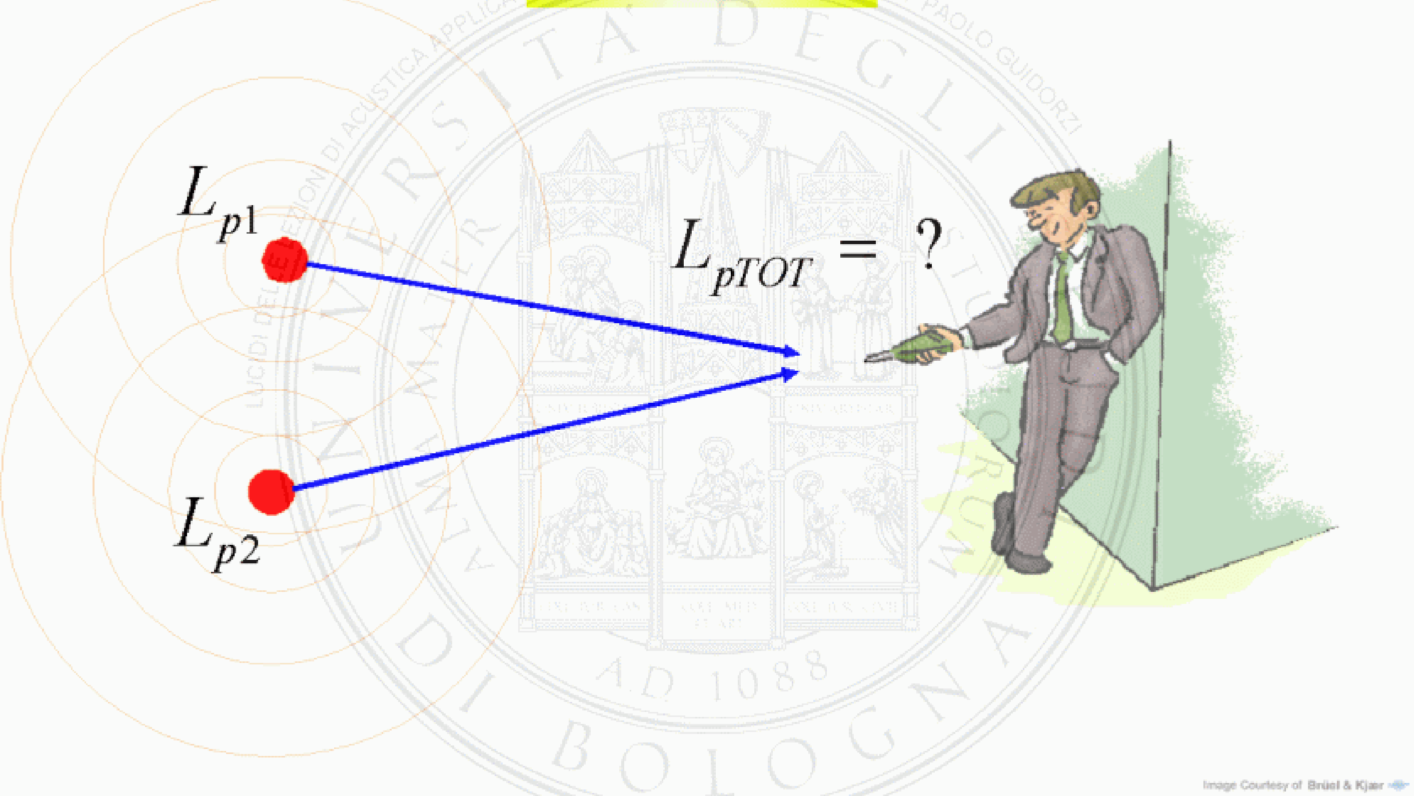


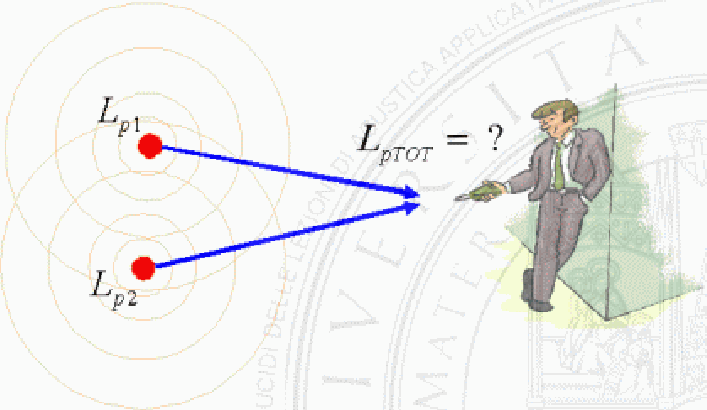
Range of Sound Pressure Levels



Variazione del Livello Sonoro (dB)	Variazione della Sensazione percepita
3	Appena percepibile
5	Differenza percettibile
10	Forte il doppio (o 1/2)
15	Grandi variazioni
20	Forte 4 volte (o 1/4)

Somma di livelli in dB





$$L_{p1} = 80 \text{ dB}$$

$$L_{p2} = 80 \text{ dB}$$

$$L_{pTOT} = 160 \text{ dB ?}$$

NO!

I livelli in dB non si sommano direttamente ma occorre fare la somma dei contenuti energetici

Proprietà dei logaritmi

$$\log_{10}(x \cdot y) = \log_{10}(x) + \log_{10}(y)$$

$$\log_{10}\left(\frac{x}{y}\right) = \log_{10}(x) - \log_{10}(y)$$

$$\log_{10}(x)^{y} = y \cdot \log_{10}(x)$$

OK

$$\log_{10}(x \pm y) = \log_{10}(x) \pm \log_{10}(y)$$

$$\log_{10}(x \cdot y) = \log_{10}(x) \cdot \log_{10}(y)$$

NO!

$$L_p = 10\log_{10}\left[\frac{p(t)}{p_0}\right]^2 \Rightarrow \frac{L_p}{10} = \log_{10}\left[\frac{p(t)}{p_0}\right]^2 \Rightarrow 10^{\frac{L_p}{10}} = \left[\frac{p(t)}{p_0}\right]^2$$

$$\Rightarrow \quad p^2(t) = p_0^2 \cdot 10^{\frac{L_p}{10}}$$

Contenuto energetico

$$p_{TOT}^2(t) = p_1^2(t) + p_2^2(t) = p_0^2\left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}}\right)$$

$$L_{pTOT} = 10\log_{10}\left(\frac{p_{TOT}^2(t)}{p_0^2}\right) = 10\log_{10}\left(\frac{p_1^2(t)+p_2^2(t)}{p_0^2}\right) = 10\log_{10}\left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}}\right)$$

$$L_{pTOT} = 10\log_{10}\left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}}\right)$$

$$L_{p1} = 80 \text{ dB}$$

$$L_{p2} = 80 \text{ dB}$$

$$L_{pTOT} = 10\log_{10}\left(10^{\frac{80}{10}} + 10^{\frac{80}{10}}\right) = 10\log_{10}\left(10^8 + 10^8\right) = 10\log_{10}\left(2\cdot 10^8\right) =$$

$$= 10\log_{10}(2) + 10\log_{10}\left(10^8\right) = 10\cdot 0{,}3 + 8\cdot 10\log_{10}(10) = 3 + 80\cdot 1 = 83$$

$$\log_{10}(2) \cong 0{,}3$$

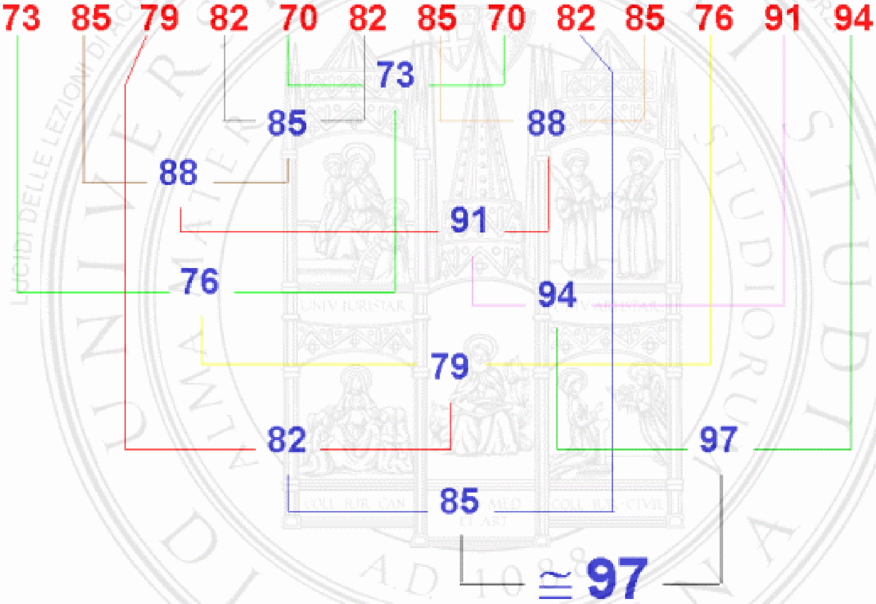
$\Rightarrow$ **80 dB + 80 dB = 83 dB**

Data la sottostante serie di L_p in dB, calcolare la somma risultante:

73 85 79 82 70 82 85 70 82 85 76 91 94

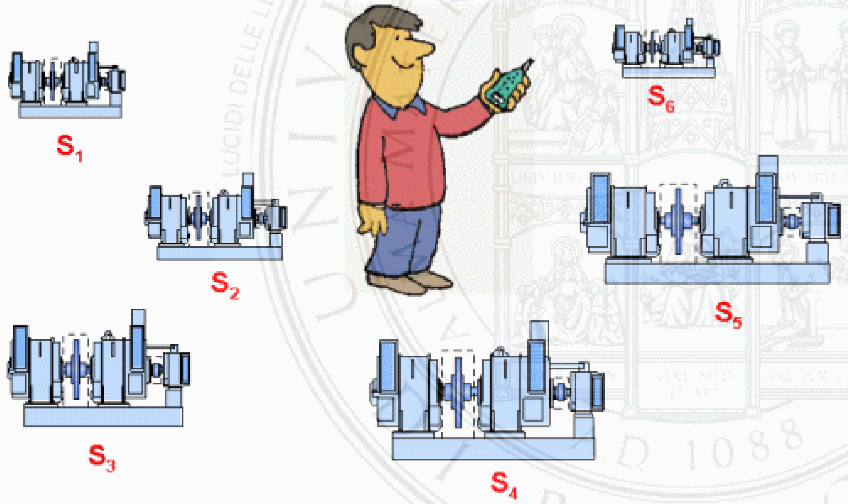
Data la sottostante serie di L_p in dB, calcolare la somma risultante:

73 85 79 82 70 82 85 70 82 85 76 91 94



Se si devono sommare più sorgenti, si effettua la somma energetica:

$$L_{pTOT} = 10\log_{10}\left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \ldots + 10^{\frac{L_{pN}}{10}}\right) = 10\log_{10}\sum_{k=1}^{N} 10^{\frac{L_{pk}}{10}}$$



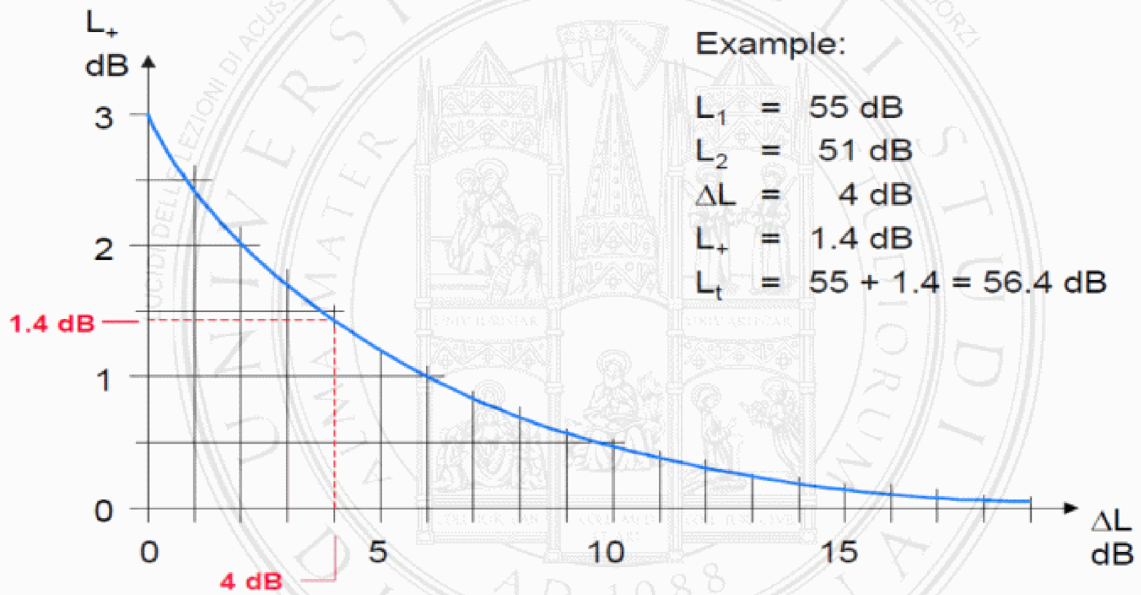
Dati:

Lp_1 = 80 dB Lp_4 = 85 dB
Lp_2 = 83 dB Lp_5 = 90 dB
Lp_3 = 87 dB Lp_6 = 77 dB

Lp_{tot} = 93.4 dB

Image Courtesy of Brüel & Kjær

Addition of dB Levels



Example:

L_1 = 55 dB
L_2 = 51 dB
ΔL = 4 dB
L_+ = 1.4 dB
L_t = 55 + 1.4 = 56.4 dB

BA 7666-11, 27   860512/2

Brüel & Kjær

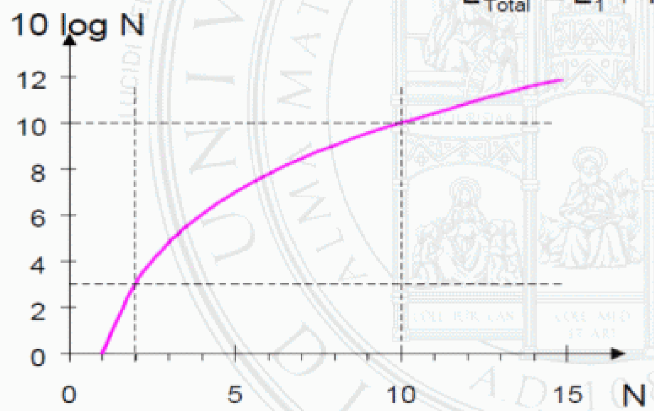
Image Courtesy of Brüel & Kjær

Addition of many dB values

Addition of sound levels : $L_1 + L_2 \ldots\ldots + L_N = ?$

For $L_1 = L_2 = L_3 \ldots\ldots = L_N$

$L_{Total} = L_1 + 10 \log N$



Examples:

N = 2: $L_{Total} = L_1 + 3$ dB

N = 10: $L_{Total} = L_1 + 10$ dB

BA 7666-11, 30

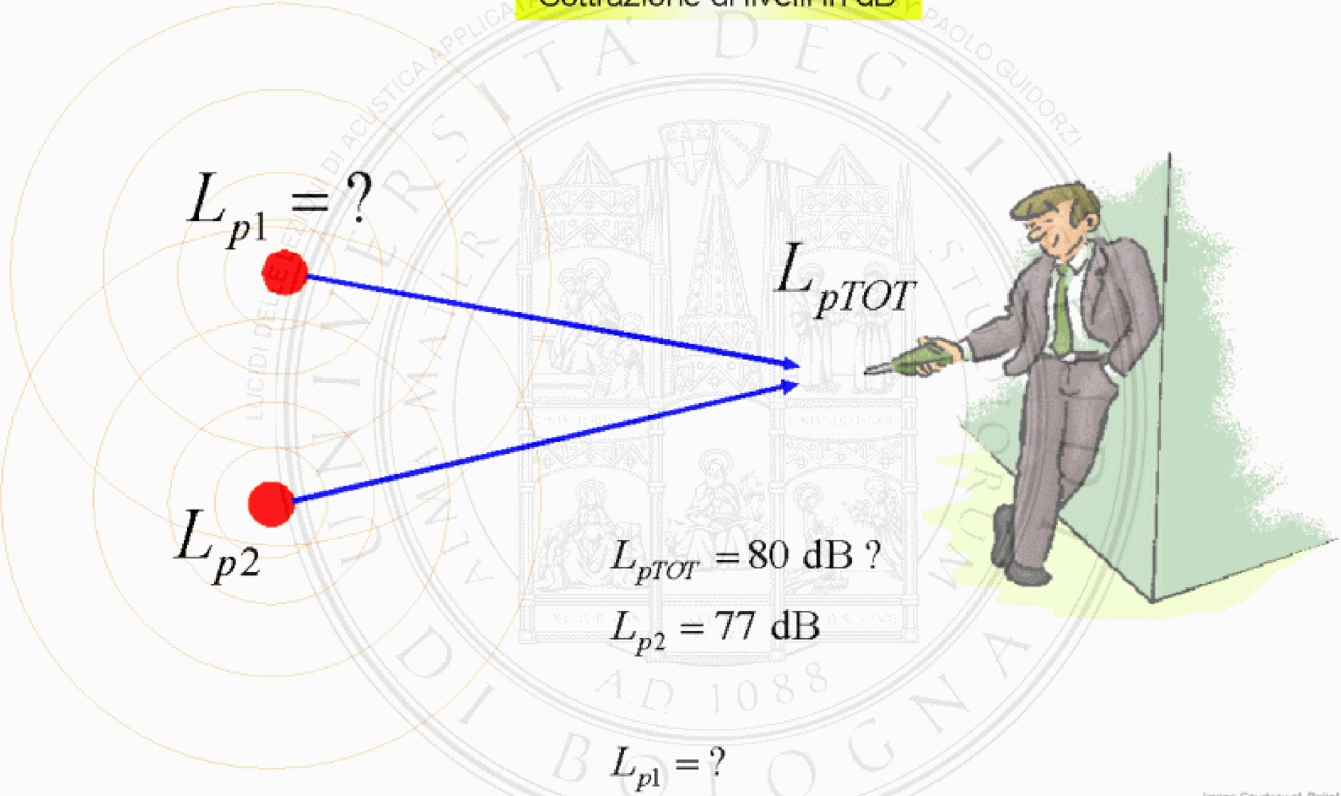
Brüel & Kjær

Image Courtesy of Brüel & Kjær

Cose da ricordare a proposito della somma di livelli in dB

- Sommando due livelli uguali (raddoppio di potenza sonora) il livello in dB aumenta di 3 dB
- Un incremento di 3 dB può derivare da un raddoppio di potenza di una sorgente o dal raddoppio del numero di sorgenti
- Un decremento di 3 dB può derivare dal dimezzamento della potenza di una sorgente o dal dimezzamento del numero di sorgenti
- Se la differenza in dB tra due livelli è maggiore di 10 dB allora la loro somma sarà circa uguale al livello più alto (provare a fare il calcolo usando la formula)
- La somma delle energie va effettuata quando le sorgenti non sono coerenti (nessuna relazione di fase tra loro). Se due sorgenti sono di uguale potenza, coerenti e in fase, la loro somma porta a un incremento di livello in dB di 6 dB.
- 0 dB non significa silenzio! Corrisponde alla soglia di udibilità umana media.

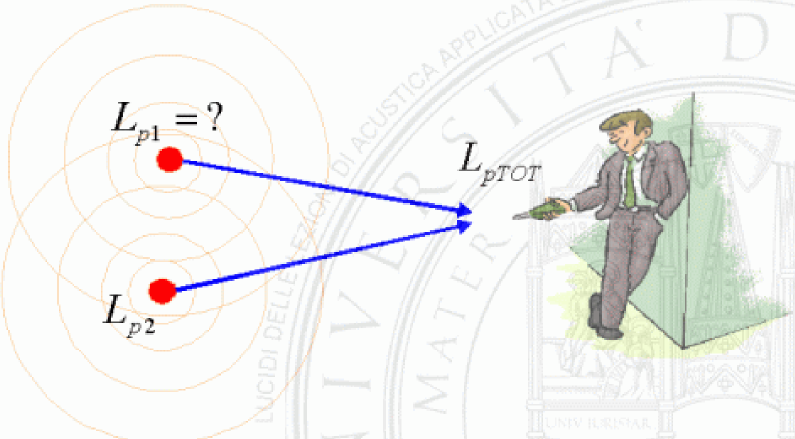
Sottrazione di livelli in dB



$$L_{pTOT} = 80 \text{ dB ?}$$

$$L_{p2} = 77 \text{ dB}$$

$$L_{p1} = ?$$



$$L_{pTOT} = 80 \text{ dB ?}$$

$$L_{p2} = 77 \text{ dB}$$

$$L_{p1} = ?$$

$$L_{p1} = 10\log_{10}\left(10^{\frac{L_{pTOT}}{10}} - 10^{\frac{L_{p2}}{10}}\right) = 10\log_{10}\left(10^{\frac{80}{10}} - 10^{\frac{77}{10}}\right) = 10\log_{10}\left(10^{8} - 10^{7,7}\right) =$$

$$10\log_{10}\left(10^{7,7}\right) = 77 \text{ dB}$$

Si poteva anche calcolare a mente pensando che 77 dB + 77 dB = 80 dB

Problema: voglio misurare il rumore prodotto da una sorgente *in situ* ma non è possibile eliminare il rumore di fondo (ad esempio all'interno di in un'industria o nei pressi di una strada). E' però possibile accendere e spegnere la sorgente di cui si vuole misurare il livello sonoro.

Sia il **livello di rumore ambientale** L_{S+N} il livello sonoro prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti nel luogo, ovvero comprendente sia il rumore di fondo che il rumore prodotto dalla sorgente che voglio misurare.

Sia il **livello di rumore residuo** L_N il livello sonoro che si rileva quando si esclude la specifica sorgente da misurare.

Quando la differenza tra il livello di rumore ambientale e residuo è meno di 3 dB, il livello della sorgente specifica L_S non è misurabile perché il rumore di fondo è troppo alto.

$$L_{S+N} - L_N \le 3\ \text{dB} \Rightarrow L_S \text{ non misurabile}$$

$$L_{S+N} - L_N \ge 10\ \text{dB} \Rightarrow L_N \text{ trascurabile } (L_S \cong L_{S+N})$$

$$0\ \text{dB} \le L_{S+N} - L_N \le 10\ \text{dB} \Rightarrow L_S = 10\log_{10}\left(10^{\frac{L_{S+N}}{10}} - 10^{\frac{L_N}{10}}\right)$$

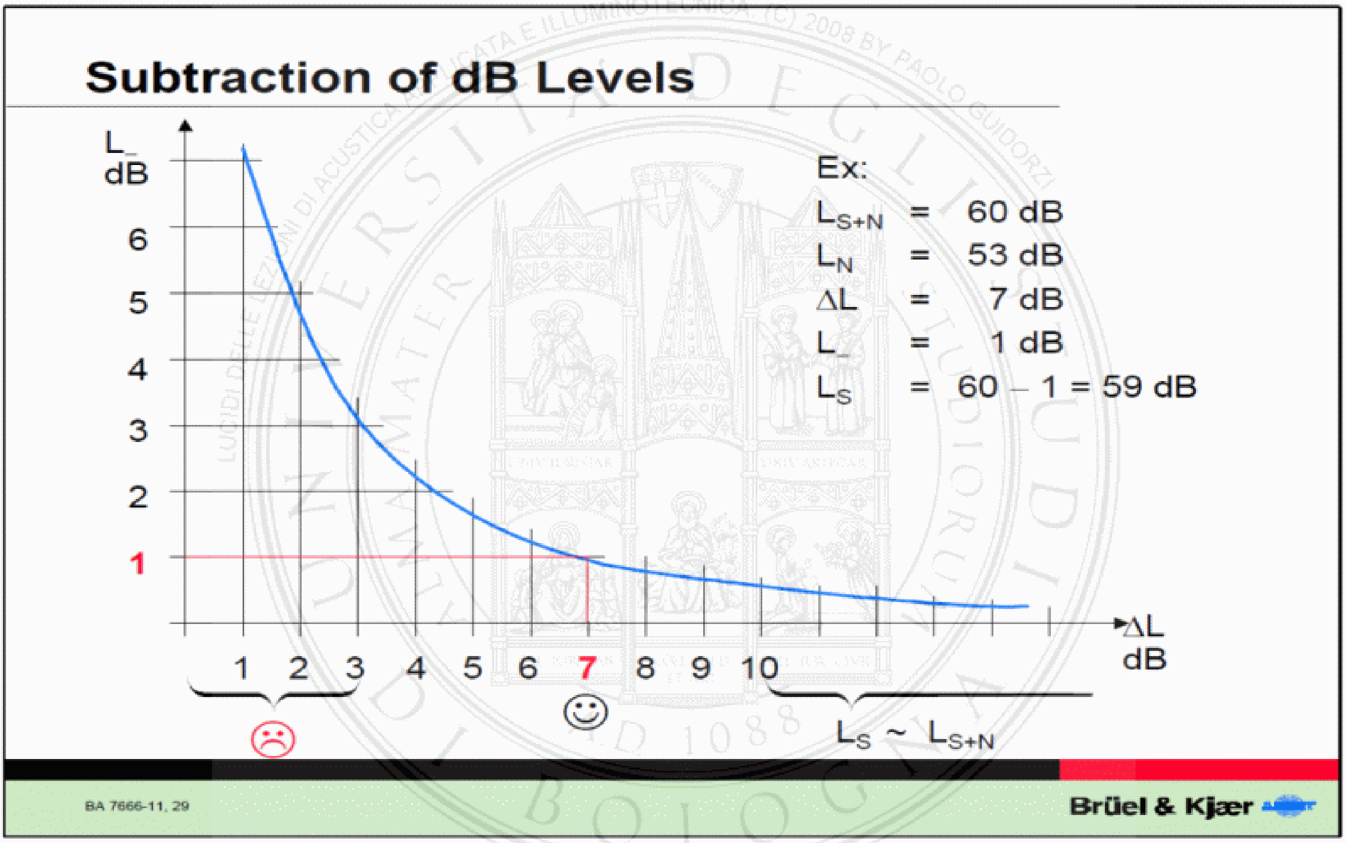
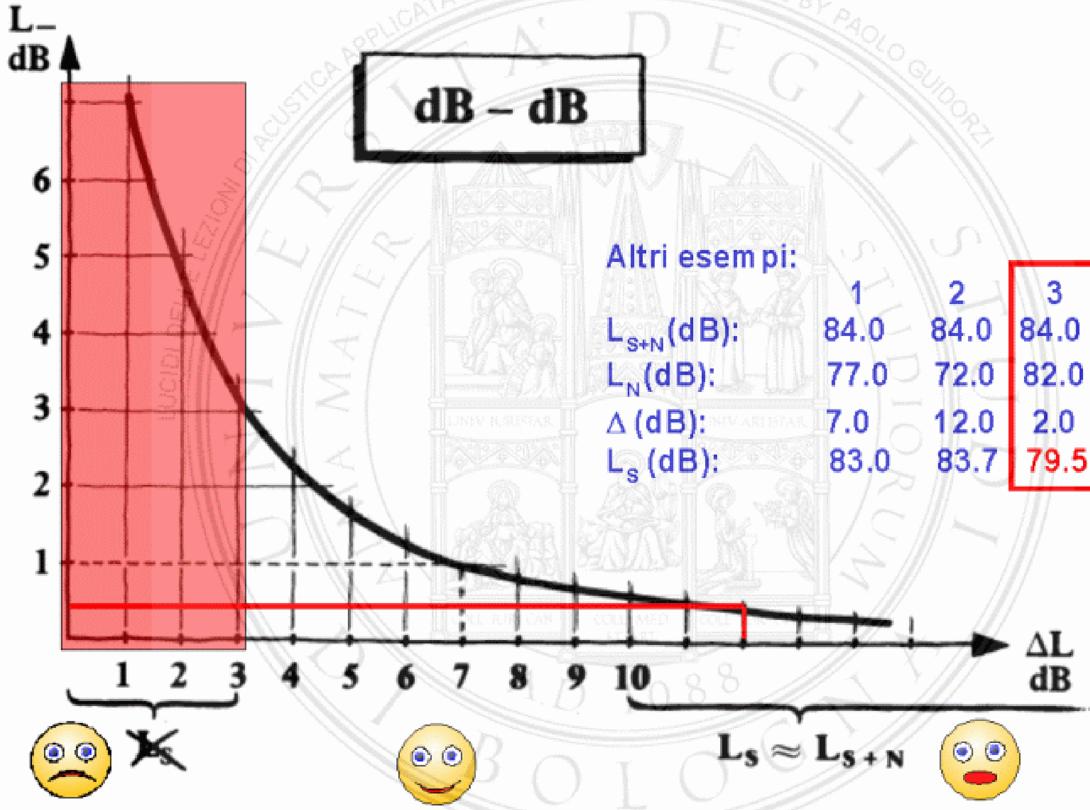


Image Courtesy of Brüel & Kjær



Altri esempi:

	1	2	3	
L_{S+N}(dB):	84.0	84.0	84.0	(± 0.5)
L_N(dB):	77.0	72.0	82.0	(± 0.5)
Δ (dB):	7.0	12.0	2.0	1 ÷ 3
L_S (dB):	83.0	83.7	79.5	77 ÷ 81

ACUSTICA APPLICATA E ILLUMINOTECNICA (C) 2008 BY PAOLO GUIDORZI

Esempi di somme e sottrazioni di livelli in dB

80 dB + 90 dB = ?

$$L_{pTOT} = 10\log_{10}\left(10^{\frac{80}{10}} + 10^{\frac{90}{10}}\right) = 10\log_{10}\left(10^8 + 10^9\right) =$$

$$= 10\log_{10}\left(100.000.000 + 1.000.000.000\right) = 10\log_{10}\left(1.100.000.000\right) =$$

$$= 10 \cdot 9{,}04 \cong 90$$

80 dB + (-80) dB = ?

$$L_{pTOT} = 10\log_{10}\left(10^{\frac{80}{10}} + 10^{-\frac{80}{10}}\right) = 10\log_{10}\left(10^8 + 10^{-8}\right) =$$

$$= 10\log_{10}\left(100000000 + 0{,}00000001\right) = 10\log_{10}\left(100000000{,}00000001\right) \cong 80$$

Esempi di somme e sottrazioni di livelli in dB

80 dB - (-80) dB = ?

$$L_{pTOT}=10\log_{10}\left(10^{\frac{80}{10}}-10^{-\frac{80}{10}}\right)=10\log_{10}\left(10^{8}-10^{-8}\right)=$$

$$=10\log_{10}\left(100000000\text{-}0{,}00000001\right)=10\log_{10}\left(99999999{,}99999999\right)\cong 80$$

Verifica del risultato precedente (facendo il calcolo esatto all'ultimo decimale):

$$10\log_{10}\left(99999999{,}99999999\right)=79{,}999999999999999565705518096748$$

$$80\text{ dB}-79{,}999999999999999565705518096748\text{ dB}=?$$

$$10\log_{10}\left(10^{8}\text{-}10^{7{,}999999999999999565705518096748}\right)=10\log_{10}\left(100000000\text{-}99999999{,}99999999\right)$$

$$=10\log_{10}\left(0{,}00000001\right)=10\log_{10}\left(10^{-8}\right)=\boxed{-\ 80\text{ dB}}$$

Esempi da ricordare a memoria

80 dB + 80 dB = 83 dB
77 dB + 77 dB = 80 dB
80 dB - 77 dB = 77 dB
80 dB + 90 dB ≅ 90 dB
80 dB + (-80) dB ≅ 80 dB
80 dB - (-80) dB ≅ 80 dB
80 dB - 80 dB = 

$$10\log(2)\cong 3{,}01\cong 3$$
$$10\log(3)\cong 4{,}77\cong 4{,}8$$
$$10\log(5)\cong 6{,}99\cong 7$$
$$10\log(10)=10$$

$$\mathrm{p}=1\mu\mathrm{Pa}=10^{-6}\,\mathrm{Pa}\ \Rightarrow\ L_p=20\log_{10}\left(\frac{10^{-6}}{2\cdot 10^{-5}}\right)=20\log_{10}(0{,}05)\cong -26\text{ dB}$$

$$\mathrm{p}=20\mu\mathrm{Pa}=2\cdot 10^{-5}\,\mathrm{Pa}\ \Rightarrow\ L_p=20\log_{10}\left(\frac{p}{p_0}\right)=20\log_{10}(1)=0\text{ dB}$$

$$\mathrm{p}=1\text{ Pa}\ \Rightarrow\ L_p=20\log_{10}\left(\frac{p}{p_0}\right)=20\log_{10}\left(\frac{1}{2\cdot 10^{-5}}\right)\cong 94\text{ dB}\qquad(\leftarrow 93{,}97\text{ dB})$$

$$\mathrm{p}=100\text{ kPa}\ \Rightarrow\ L_p=20\log_{10}\left(\frac{p}{p_0}\right)=20\log_{10}\left(\frac{10^{5}}{2\cdot 10^{-5}}\right)\cong 194\text{ dB}\qquad(\leftarrow 193{,}97\text{ dB})$$

Esercizi da fare senza il calcolatore

$$\log(2) \cong 0,3$$

- $\log_{10}\left(10^{-3}\right) = ?$
- $\log_{10}\left(10^{12}\right) = ?$
- $\log_{10}\left(2 \cdot 10^{12}\right) = ?$
- $\log_{10}\left(200\right) = ?$
- $\log_{10}\left(200\right) - \log_{10}\left(10\right) = ?$
- $\log_{10}\left(2^{10}\right) = ?$

[redacted]

Caso generale di somma o sottrazione di N sorgenti:

$$L_{pTOT} = 10\log_{10}\left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} \pm 10^{\frac{L_{p2}}{10}} \pm \ldots \pm 10^{\frac{L_{pN}}{10}}\right) = 10\log_{10}\sum_{k=1}^{N} \pm 10^{\frac{L_{pk}}{10}}$$

Livelli di potenza e intensità

$$L_W = 10\log_{10}\left(\frac{W}{W_0}\right) \quad \text{dB} \qquad W_0 = 10^{-12}\,[\text{W}]$$

$$L_I = 10\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \text{dB} \qquad I_0 = 10^{-12}\left[\text{W/m}^2\right]$$

Dalla relazione che lega pressione acustica e intensità si può ricavare:

$$\langle I \rangle = \frac{p_{eff}^2}{\rho_0 c} \quad \left[\frac{W}{m^2}\right] \Rightarrow L_I = 10\log\frac{p_{eff}^2}{\rho_0 c \cdot I_0} \quad \text{dB}$$

Se $\rho_0 c$ = 400 rayl (impedenza dell'aria a 39 gradi, pressione 101325 Pa), il valore numerico del **livello di pressione** e del **livello di intensità** coincidono.

$$L_I = 10\log\frac{p_{eff}^2}{400\cdot 10^{-12}} = 10\log\frac{p_{eff}^2}{\left(20\cdot 10^{-6}\right)^2} = 10\log\frac{p_{eff}^2}{p_0^2} = L_p \ (\text{dB})$$

Per valori di temperatura e pressione vicini a quelli citati, la differenza tra valori numerici di livello di intensità e livello di pressione è di frazioni di dB e quindi accettabile ai fini pratici.

$$\langle I \rangle = \frac{p_{eff}^2}{\rho_0 c} = \frac{p_{MAX}^2}{2\rho_0 c}$$

Sorgente	Intensità (W/m²)	Liv. di pressione (dB)
Aereo Jet	100	140
Soglia del dolore	1	120
Sirena	$1\cdot 10^{-2}$	100
Traffico stradale	$1\cdot 10^{-5}$	70
Conversazione	$3\cdot 10^{-6}$	65
Bisbiglio	$1\cdot 10^{-10}$	20
Foglie mosse dal vento	$1\cdot 10^{-11}$	10
Soglia di udibilità	$1\cdot 10^{-12}$	1

Livello di densità

$$D = \frac{I}{c}$$

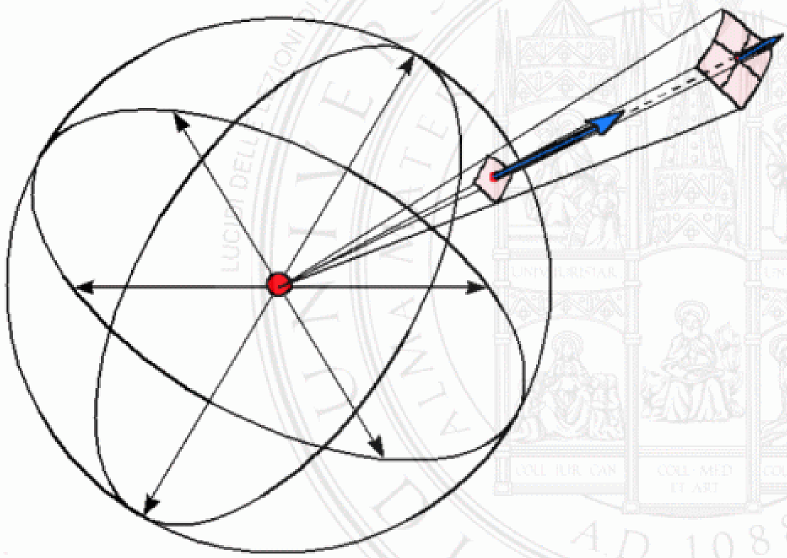
$$L_D = 10\log_{10}\left(\frac{D}{D_0}\right) \quad \text{dB} \qquad D_0 = 2{,}94 \cdot 10^{-15}\left[\frac{\text{J}}{\text{m}^3}\right]$$

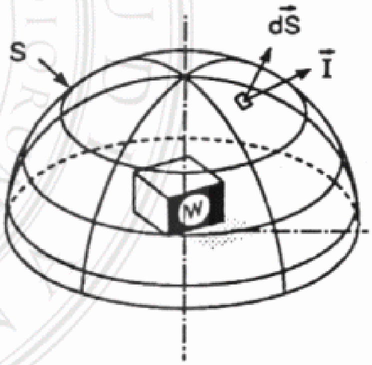
In condizioni normali e per un'onda piana progressiva, i valori numerici del **Livello di Pressione**, del **Livello di Intensità** e del **Livello di Densità** coincidono o sono molto simili e quindi si possono considerare uguali ai fini pratici.

Nel caso generale il livello di intensità è minore del livello di densità.

L'intensità è una grandezza vettoriale $\vec{I} = p\vec{u}$ e dipende quindi dalla direzione.

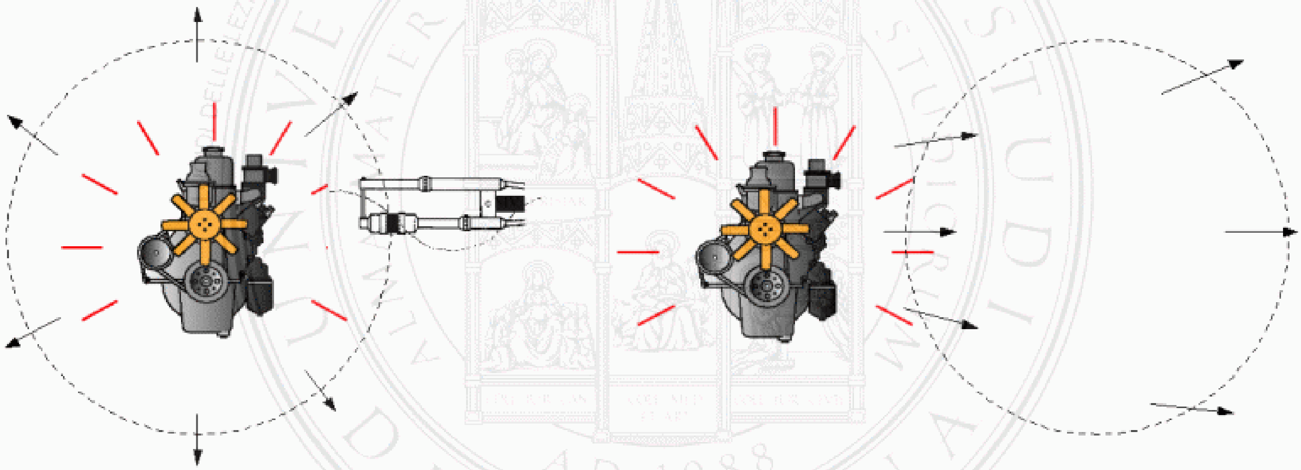
$$W = \int_S \vec{I} \cdot \vec{n}\, dS = I \cdot S$$





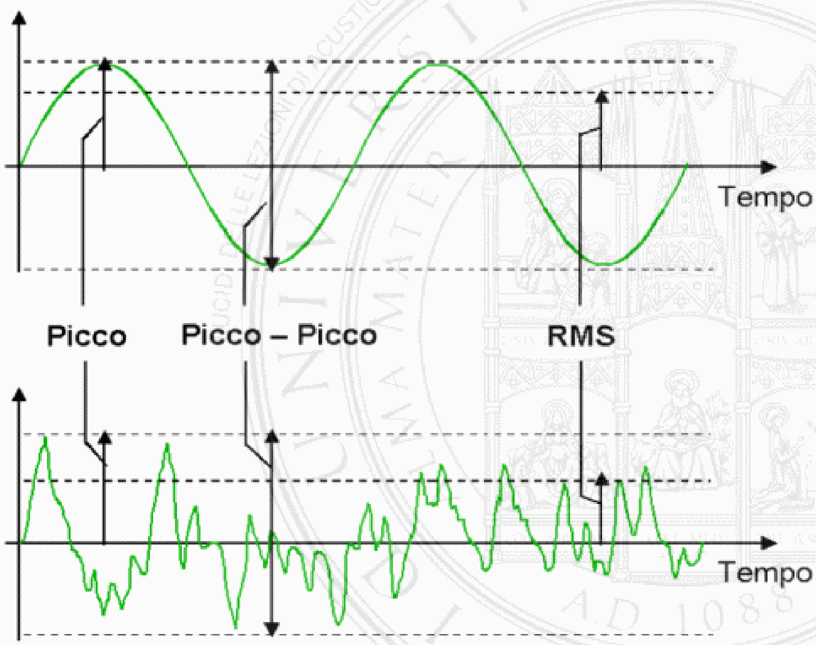
$$W = \int_S \vec{I} \cdot \vec{n}\, dS$$

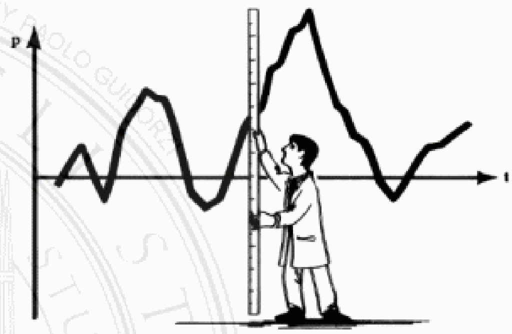
$$W = \int_S \vec{I} \cdot \vec{n}\, dS = 0$$



Sorgente stazionaria

Descrizione del fenomeno sonoro





$$p_{eff} = p_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T p^2 dt}$$

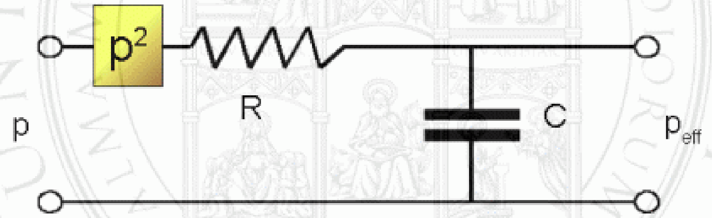
Gli strumenti di misura implementano due diverse soluzioni di integrazione dei valori istantanei di pressione acustica:

$$p_{eff} = p_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T p^2 dt}$$

- INTEGRAZIONE ESPONENZIALE
- INTEGRAZIONE LINEARE

INTEGRAZIONE ESPONENZIALE

Il termine integrazione esponenziale deriva dagli *antichi* strumenti analogici, nei quali l'integrazione avveniva mediante un circuito RC



La risposta di tale circuito ha andamento temporale esponenziale e dipende dal prodotto RC.

Caratteristiche dell'integrazione esponenziale:
- riduce l'ampiezza delle oscillazioni di un fenomeno non stazionario
- segue l'evoluzione del fenomeno nel tempo
- fenomeni con durata inferiore alla costante di tempo producono un errore di ampiezza inversamente proporzionale alla durata del fenomeno stesso

Costanti di tempo secondo IEC 1672 (ha sostituito IEC 651):

Slow = 1000 ms
Fast = 125 ms
Impulse = 35 ms
Peak (non energetica) < 50 μs

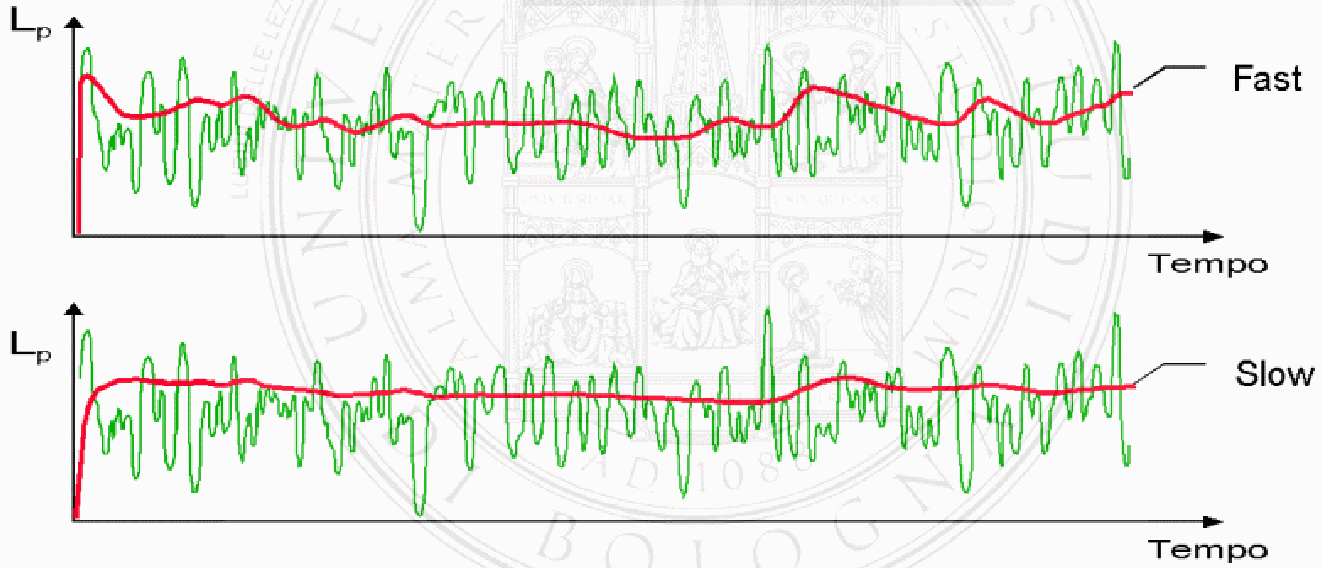
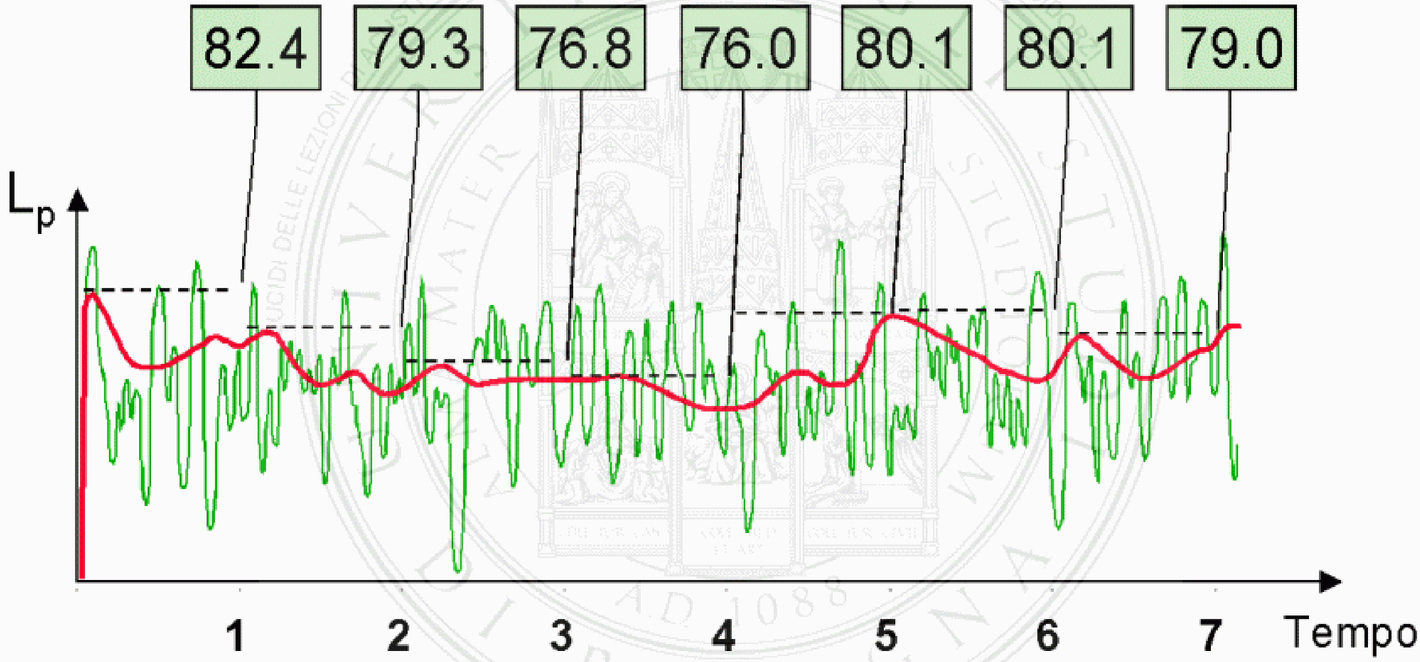
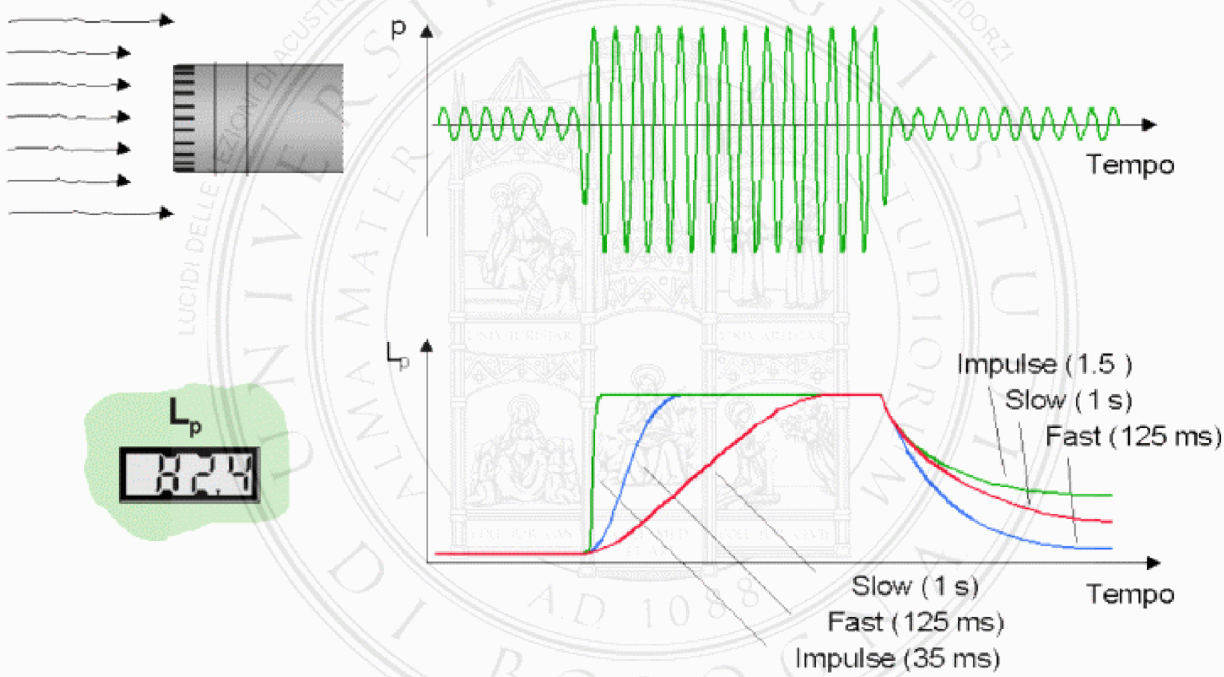


Image Courtesy of Brüel & Kjær

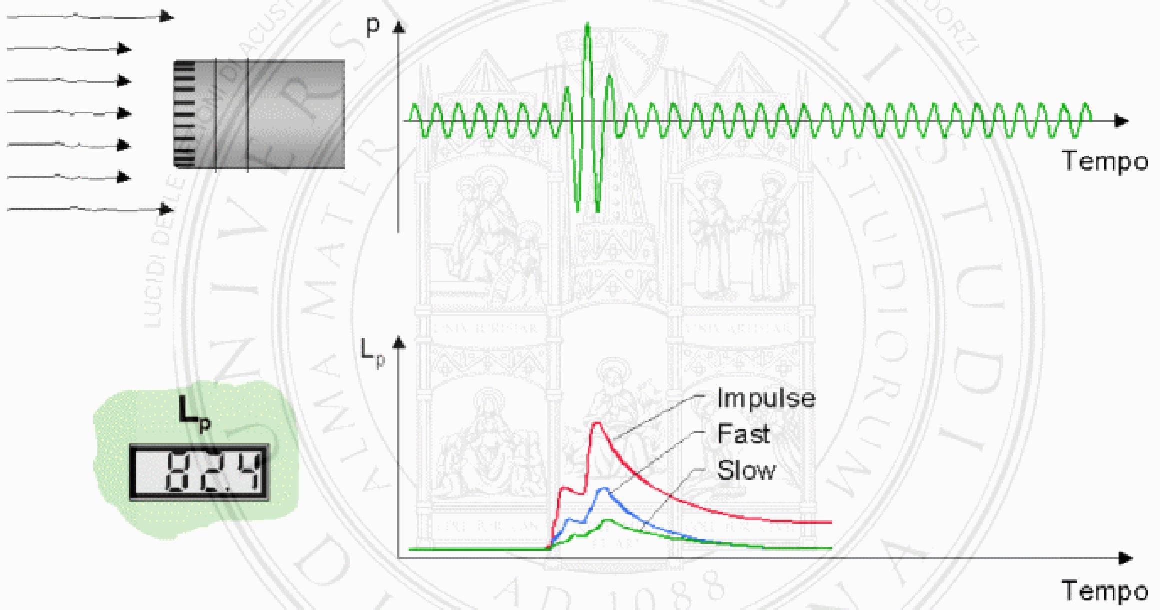
Lettura sul display digitale dello strumento di misura



Risposta dello strumento

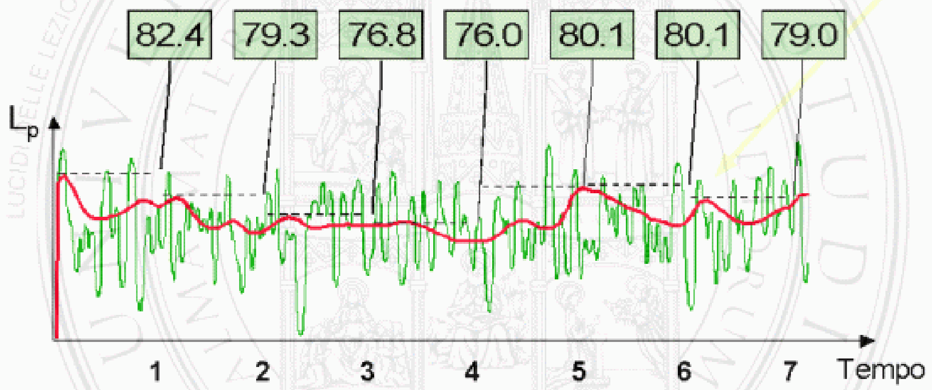


Risposta dello strumento



INTEGRAZIONE LINEARE

Il livello di pressione visualizzato dallo strumento di misura, filtrato dall'integratore esponenziale utilizzando la costante di tempo (Slow, Fast, ..) più adatta all'evento sonoro da misurare, è continuamente variabile nel tempo.



Per caratterizzare un fenomeno sonoro variabile nel tempo T mediante un unico valore si introduce il **Livello sonoro continuo equivalente** $L_{eq,T}$ che rappresenta il contenuto energetico, nel tempo di misura T, del fenomeno variabile nel tempo. Il livello equivalente si calcola mediante l'integrazione lineare.

INTEGRAZIONE LINEARE

$$L_{eq,T} = 10\log_{10}\left\{\frac{1}{T}\int_0^T\left(\frac{p(t)}{p_0}\right)^2 dt\right\} \quad [\text{dB}]$$

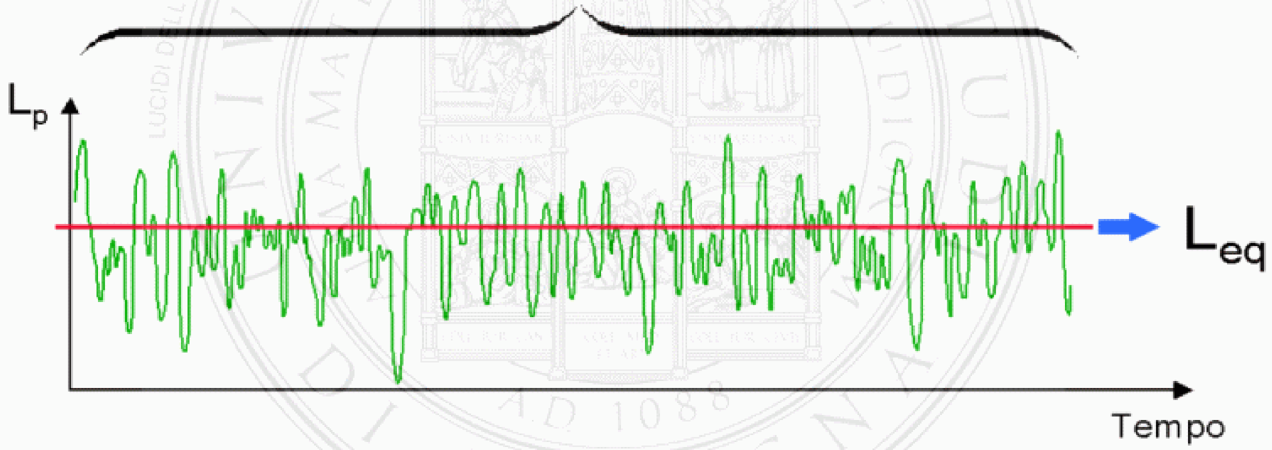
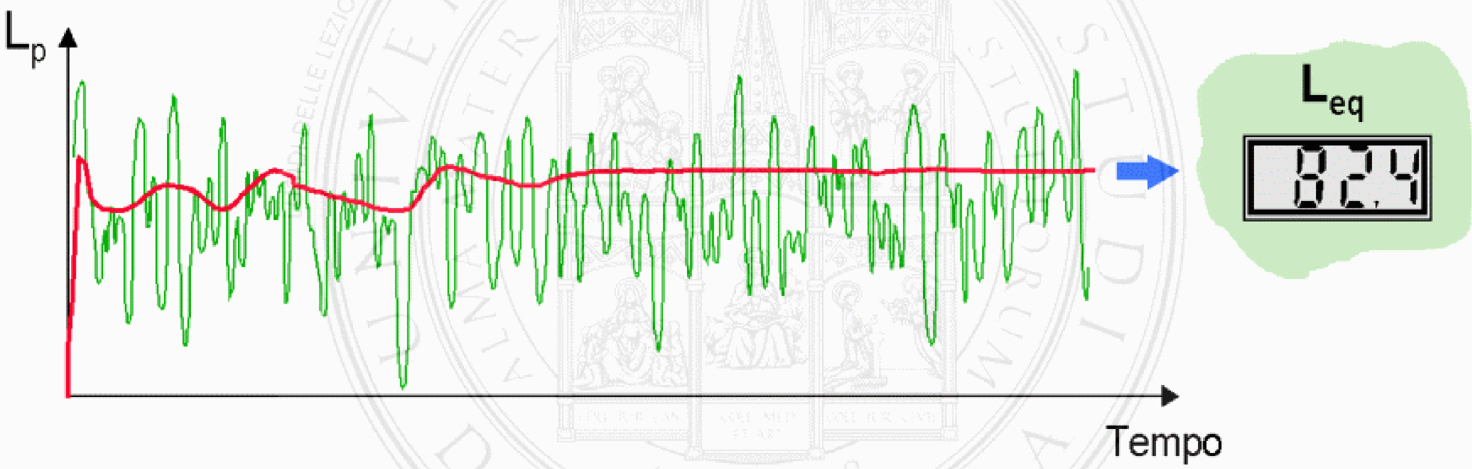


Image Courtesy of Brüel & Kjær

INTEGRAZIONE LINEARE

"Il $L_{eq,T}$ rappresenta il contenuto energetico, nel tempo di misura T, del fenomeno variabile nel tempo"



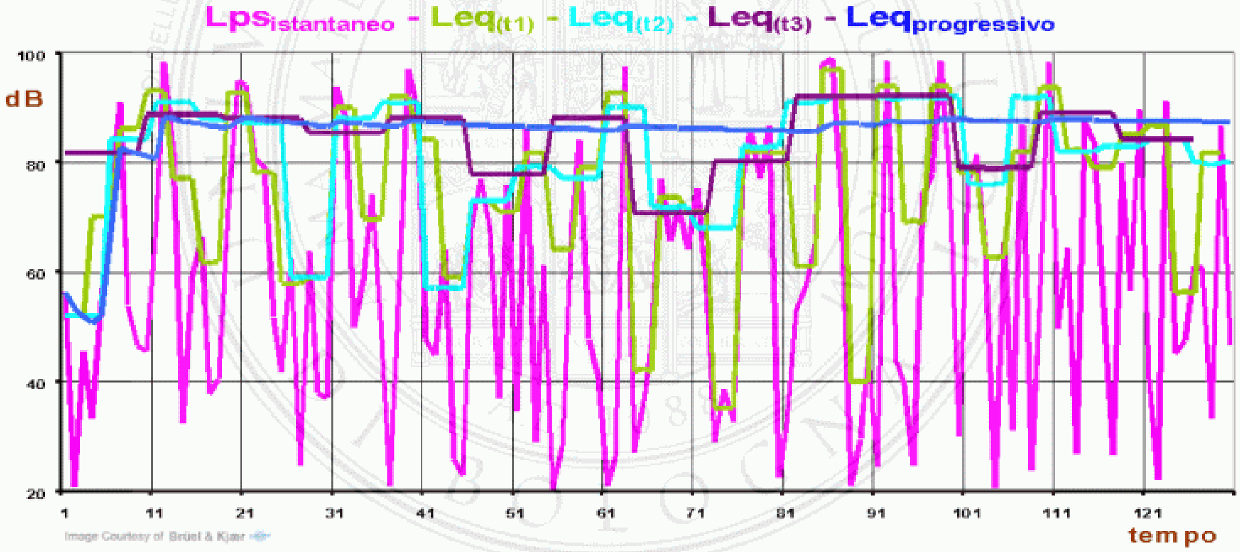
Il $L_{eq,T}$ va sempre associato al tempo di misura T.

Image Courtesy of Brüel & Kjær

INTEGRAZIONE LINEARE

$L_{eq,T}$ progressivo: si lascia T libero di aumentare, fino a ricoprire l'intero periodo di misura. Ottengo un unico valore di $L_{eq,T}$ che fornisce l'esatto contenuto energetico del fenomeno sonoro, dall'inizio alla fine della misura.

Short Leq: il tempo di media lineare T si fissa molto breve, secondi o frazioni di secondo, e dalla sequenza di valori ottenuti si possono ricostruire gli altri descrittori, quali il $L_{eq,T}$ progressivo



Università degli studi di Bologna
49498 - ACUSTICA APPLICATA E ILLUMINOTECNICA L (A-K)
Ing. Paolo Guidorzi
LIVELLI SONORI E DEFINIZIONE DI DECIBEL
8 - Integrazione esponenziale e lineare: L_{eq}

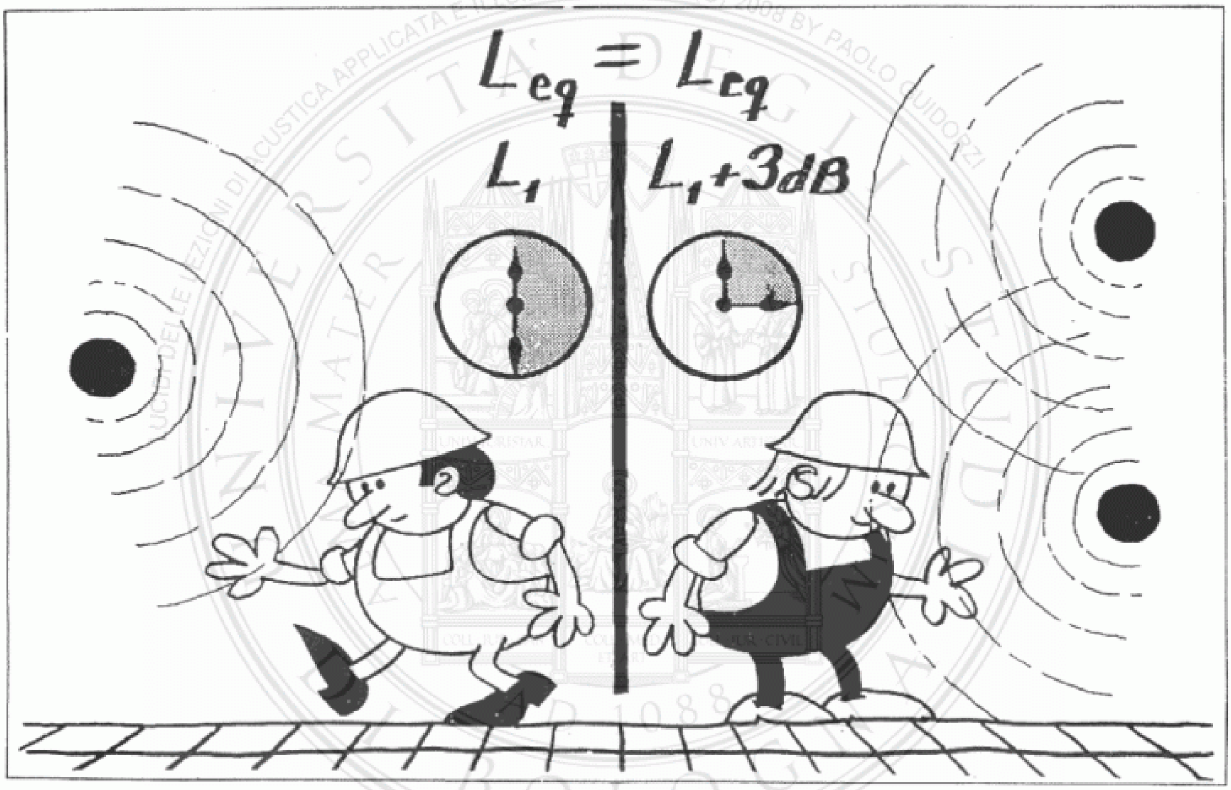
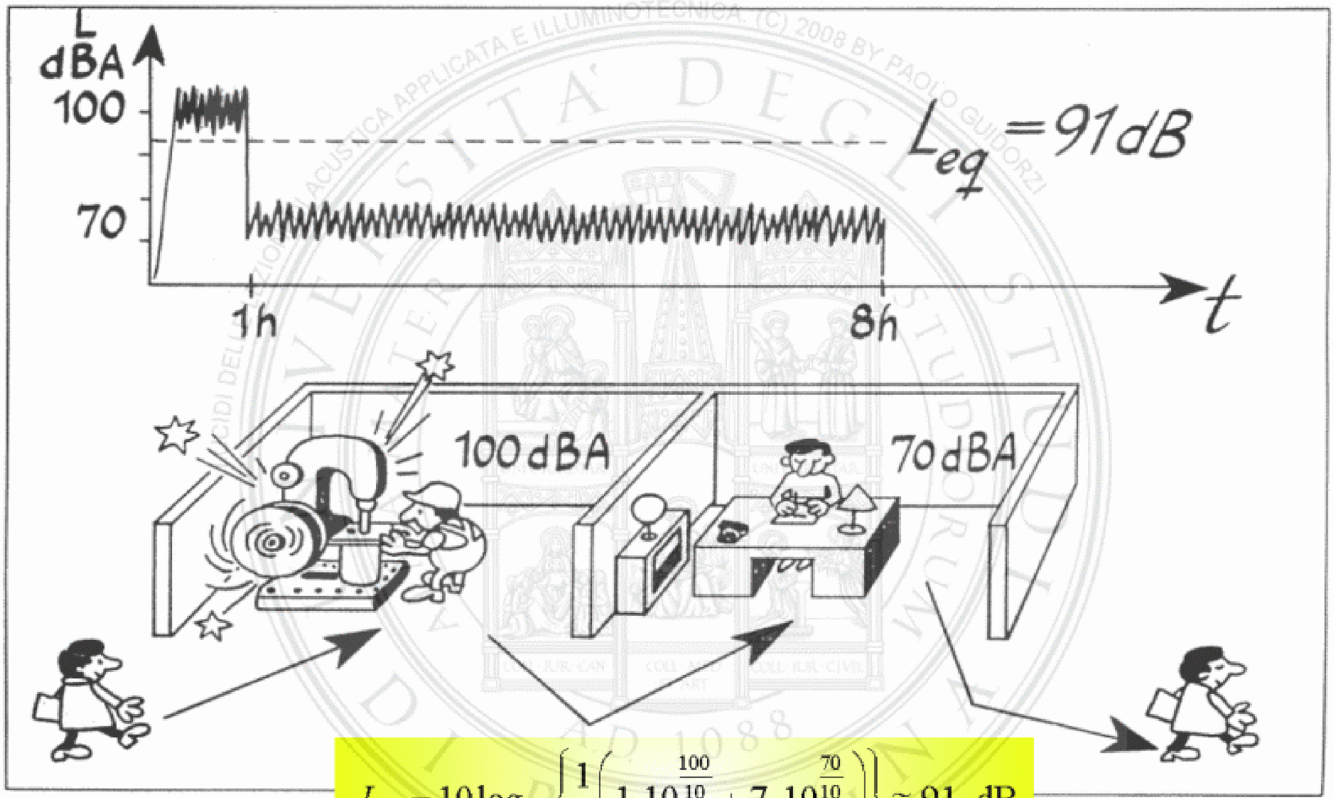


Image Courtesy of Brüel & Kjær



$$L_{eq} = 10\log_{10}\left\{\frac{1}{8}\left(1\cdot 10^{\frac{100}{10}} + 7\cdot 10^{\frac{70}{10}}\right)\right\} \cong 91 \ \ \text{dB}$$

Image Courtesy of Brüel & Kjær

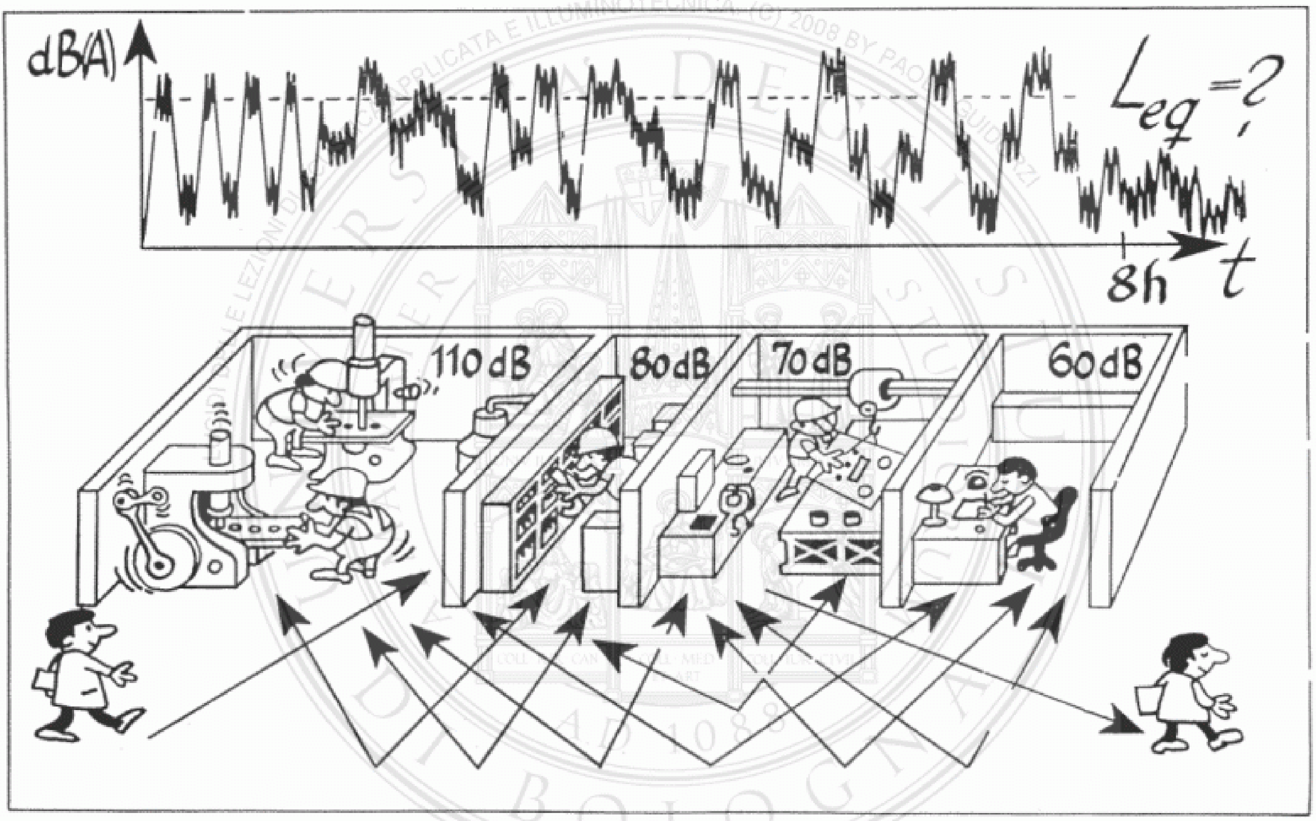
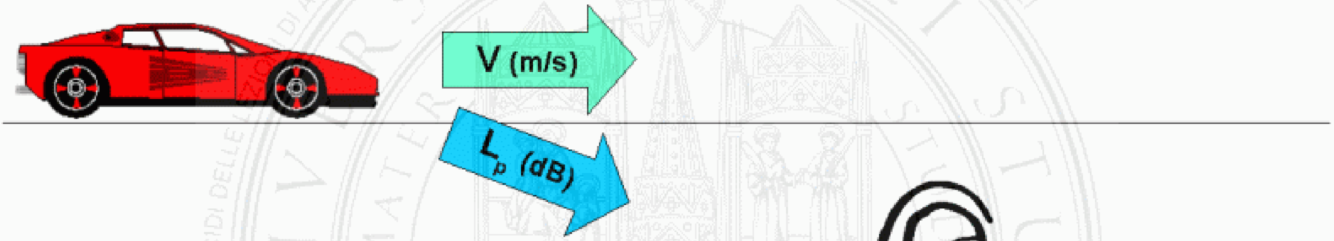


Image Courtesy of Brüel & Kjær

SEL



Disturbo = Energia percepita
Energia percepita = $L_{eq,T}$

se $T_1 \neq T_2$ disturbo ?

Image Courtesy of Brüel & Kjær

LUCIDI DELLE LEZIONI DI ACUSTICA APPLICATA E ILLUMINOTECNICA (C) 2008 BY PAOLO GUIDORZI

ORIGINE DEL SEL

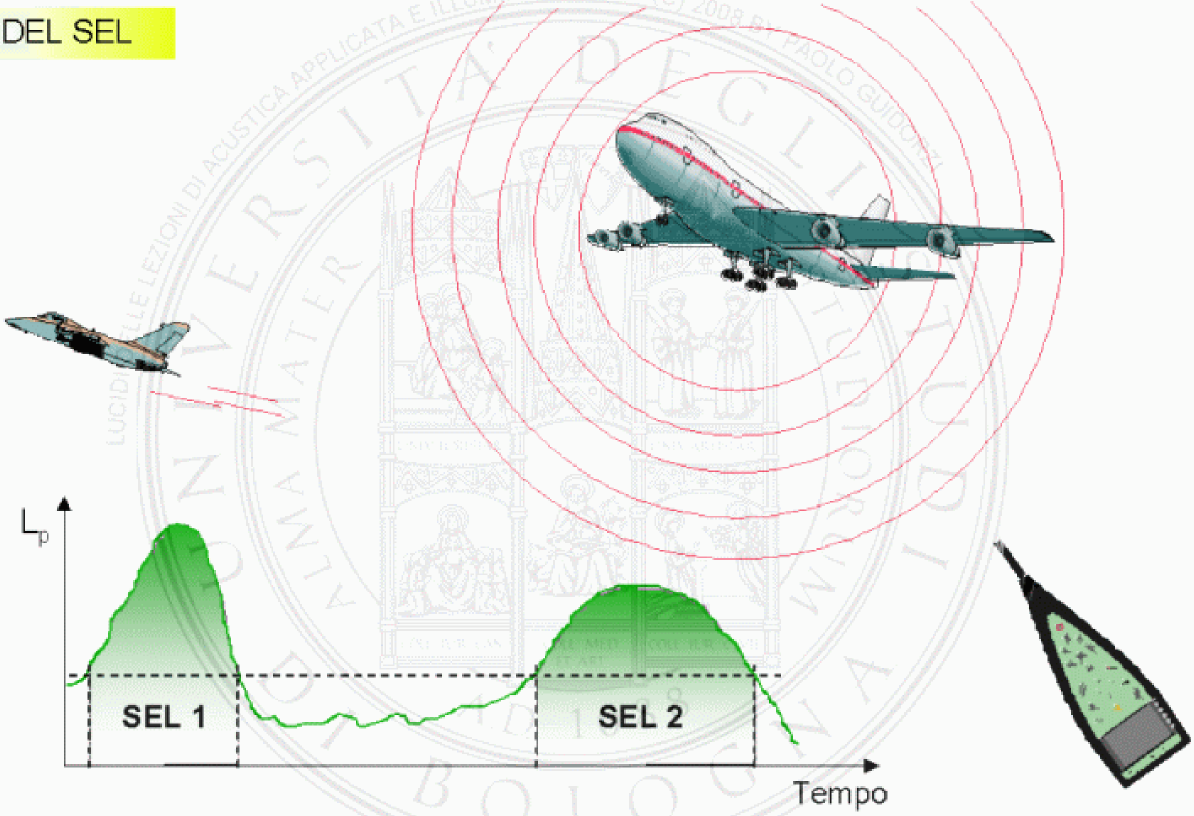
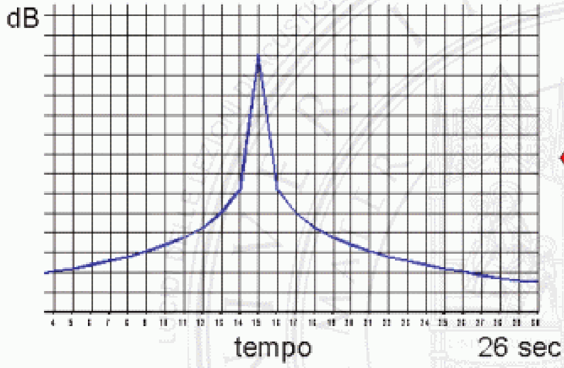
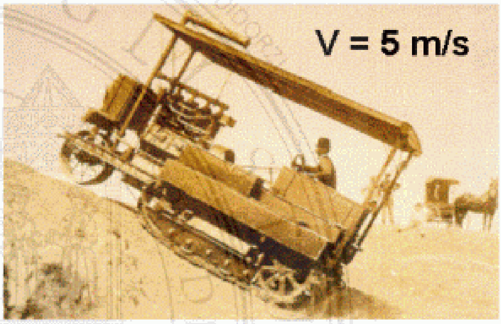
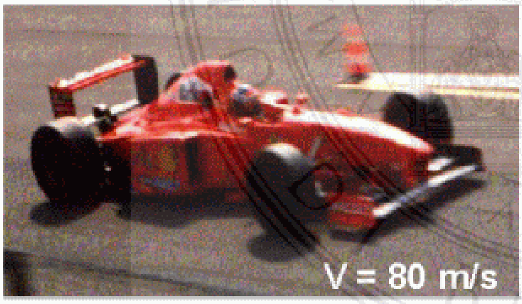


Image Courtesy of Brüel & Kjær

SEL: DESCRITTORE DI UN FENOMENO DI DURATA VARIABILE







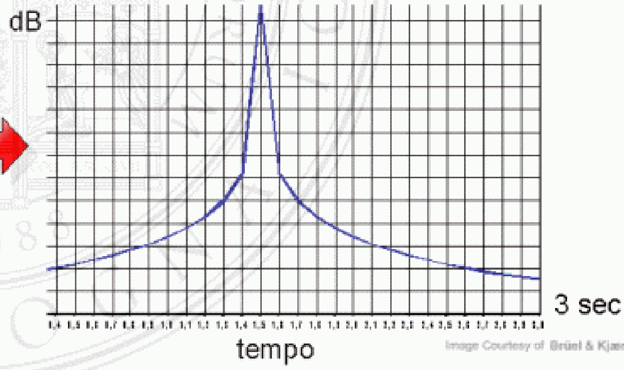


Image Courtesy of Brüel & Kjær

Università degli studi di Bologna
49498 - ACUSTICA APPLICATA E ILLUMINOTECNICA L (A-K)
Ing. Paolo Guidorzi
LIVELLI SONORI E DEFINIZIONE DI DECIBEL
9 - Il SEL

SEL

$$SEL = 10\log_{10}\left\{\frac{1}{T_0}\int_0^{T_0}\left(\frac{p(t)}{p_0}\right)^2 dt\right\} \quad [\mathrm{dB}] \qquad T_0 = 1\ \mathrm{s}$$

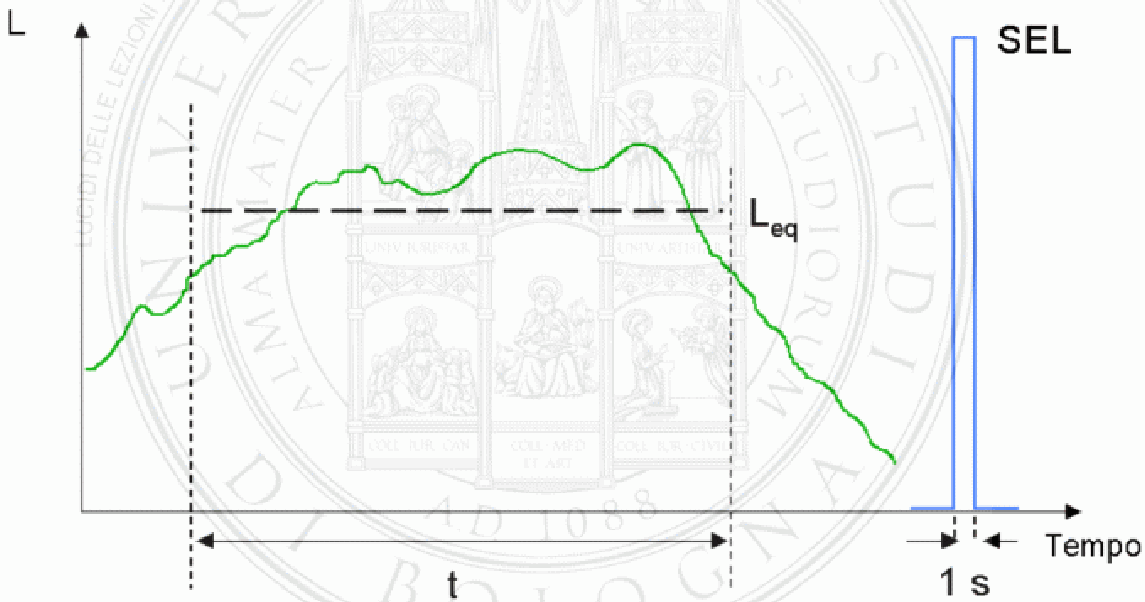
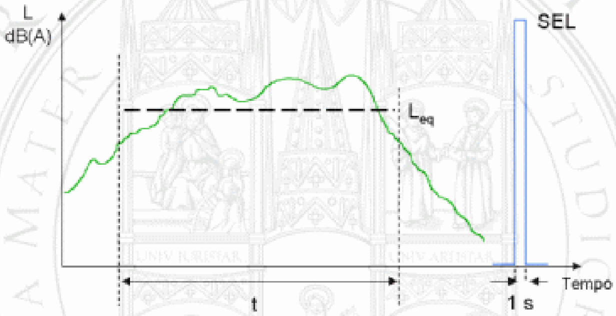


Image Courtesy of Brüel & Kjær

SEL

$$SEL = 10\log_{10}\left\{\frac{1}{T_0}\int_0^{T_0}\left(\frac{p(t)}{p_0}\right)^2 dt\right\} \quad [\mathrm{dB}] \qquad T_0 = 1\ \mathrm{s}$$



Il SEL (Sound Exposure Level o **Single Evevent Level**) comprime la quantità di energia dell'evento sonoro nel tempo di 1 secondo. E' usato per confrontare i contenuti energetici di eventi sonori di durate differenti.

Si può calcolare a partire dal livello equivalente:

$$SEL = L_{eq,T} + 10\log_{10}\frac{T}{T_0} \quad [\mathrm{dB}] \qquad T_0 = 1\ \mathrm{s}$$

Image Courtesy of Brüel & Kjær

Cosa c'è *dentro* ai suoni?
Per scoprirlo occorre fare l'ANALISI IN FREQUENZA..

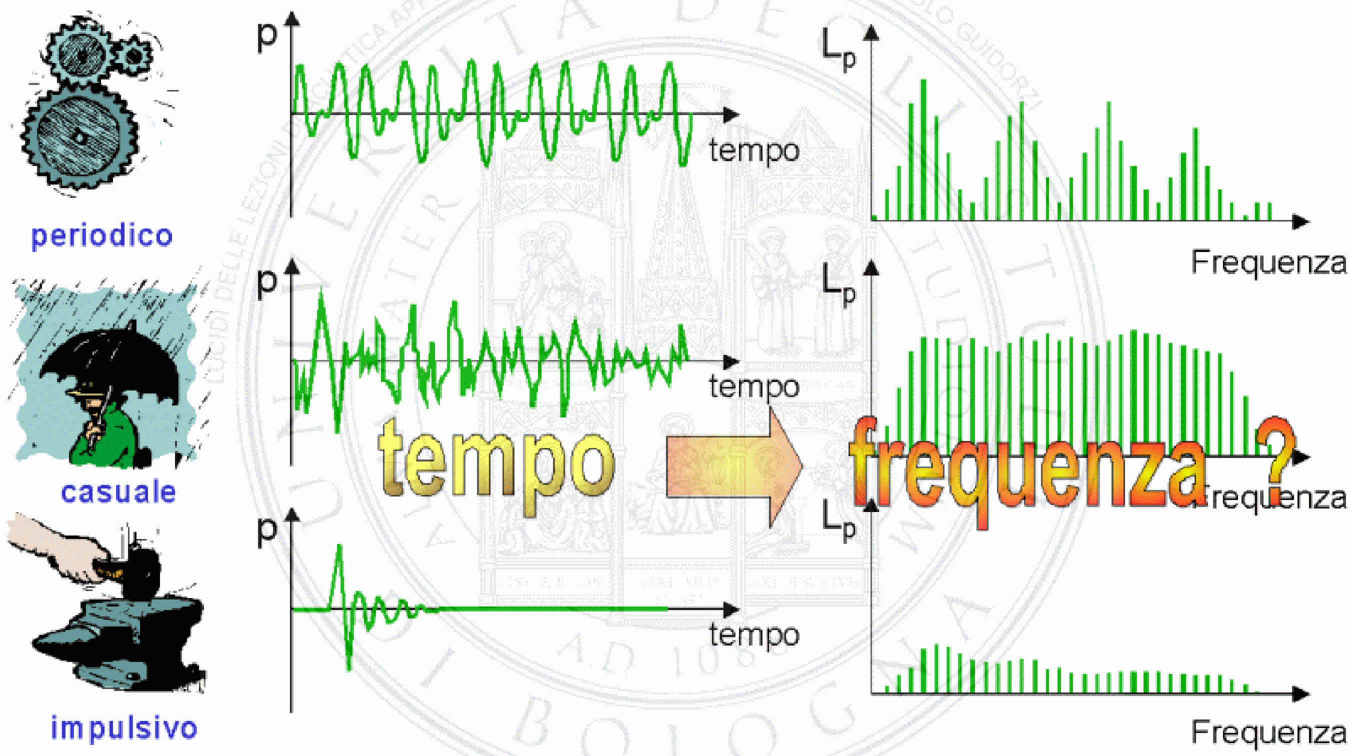


Image Courtesy of Brüel & Kjær