Università degli Studi di Milano

Facoltà di Medicina e Chirurgia

Corso di laurea

Scuola di Specializzazione in Audiologia e Foniatria

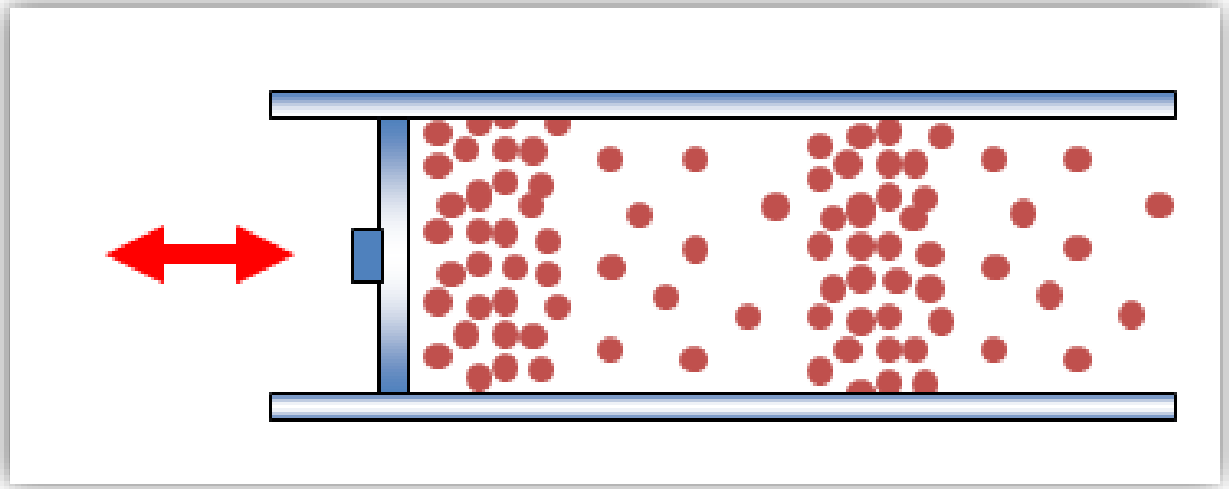
Corso di Fisica A.A. 2022-2023

Docente: Marie Claire Cantone

3. FENOMENI ONDULATORI

ONDE SONORE

Onda sonora - onda meccanica longitudinale prodotta da vibrazioni elastiche che si propagano in un mezzo solido, liquido o gassoso.



Es. - un pistone mobile produce in un gas variazioni di pressione e di densità, creando zone di rarefazione seguite da zone di compressione.

ONDE SONORE

Il suono è un'onda la cui sorgente è un corpo che vibra, come le corde di una chitarra o le corde vocali.

Le vibrazioni si trasmettono in un mezzo elastico, es. aria, legno …

Il suono è un'onda longitudinale, generata da **successive compressioni e rarefazioni del mezzo in cui si propaga.**

ONDE SONORE

Il suono è un'onda la cui sorgente è un corpo che vibra, come le corde di una chitarra o le corde vocali.

Le vibrazioni si trasmettono in un mezzo elastico, es. aria, legno …

Il suono è un'onda longitudinale, generata da **successive compressioni e rarefazioni del mezzo in cui si propaga**.

NOTA:

senza un mezzo materiale (nel vuoto) il suono non si propaga, es. *non si sente il suono di un campanello* ***in un ambiente sotto vuoto***

ONDE SONORE

Il suono è un'onda la cui sorgente è un corpo che vibra, come le corde di una chitarra o le corde vocali.

Le vibrazioni si trasmettono in un mezzo elastico, es. aria, legno …

Il suono è un'onda longitudinale, generata da successive compressioni e rarefazioni del mezzo in cui si propaga.

NOTA:

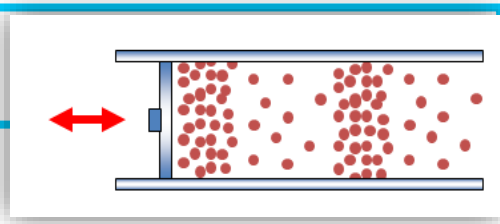
senza un mezzo materiale (nel vuoto) il suono non si propaga, es. *non si sente il suono di un campanello* ***in un ambiente sotto vuoto***

Le onde sonore possono essere descritte in termini di:

frequenza e ampiezza

Il suono in genere è il risultato della sovrapposizione di un certo numero di onde con frequenza e ampiezza variabile

ONDE SONORE

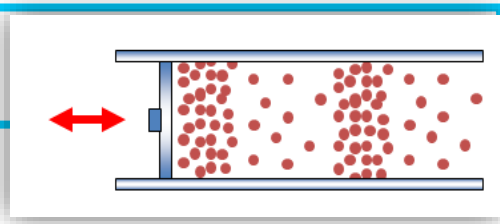


Le particelle del mezzo, in cui si propaga l'onda sonora, subiscono spostamenti creando zone di compressione e di rarefazione.

La velocità di propagazione del suono varia in funzione del mezzo di propagazione.

In generale più il materiale è denso e maggiore è la velocità delle onde sonore al suo interno.

ONDE SONORE



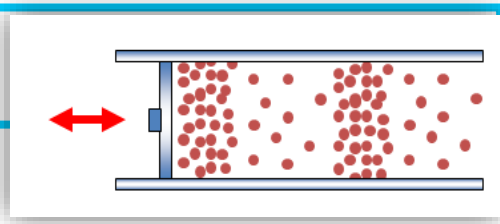
Le particelle del mezzo, in cui si propaga l'onda sonora, subiscono spostamenti creando zone di compressione e di rarefazione.

La velocità di propagazione del suono varia in funzione del mezzo di propagazione.

In generale più il materiale è denso e maggiore è la velocità delle onde sonore al suo interno.

Materiale	Velocità di propagazione del suono (m/s)
Alluminio	6420
Granito	6000
Acciaio	5960
Vetro Pyrex	5640
Rame	5010
Plastica	2680
Acqua dolce (20 °C)	1482
Acqua dolce (0 °C)	1402
Idrogeno (0 °C)	1284
Elio (0 °C)	965
Aria (20 °C)	343
Aria (0 °C)	331

ONDE SONORE



Le particelle del mezzo, in cui si propaga l'onda sonora, subiscono spostamenti creando zone di compressione e di rarefazione.

La velocità di propagazione del suono varia in funzione del mezzo di propagazione.

In generale più il materiale è denso e maggiore è la velocità delle onde sonore al suo interno.

- **Nell'acqua il suono è quasi 5 volte più veloce che nell'aria.**
- **Il suono è molto lento rispetto alla luce (v=300 000 km/s).**

es. un tuono . . . .

Materiale	Velocità di propagazione del suono (m/s)
Alluminio	6420
Granito	6000
Acciaio	5960
Vetro Pyrex	5640
Rame	5010
Plastica	2680
Acqua dolce (20 °C)	1482
Acqua dolce (0 °C)	1402
Idrogeno (0 °C)	1284
Elio (0 °C)	965
Aria (20 °C)	343
Aria (0 °C)	331

ONDE SONORE

Il suono è prodotto da vibrazioni, **un'onda di compressioni e decompressioni che si propaga fra le particelle del mezzo (solido, liquido, gas).**

Quando il **primo strato** del mezzo è colpito dall'onda sonora, **assorbe l'energia e si comprime**. Poi si riespande e **cede l'energia al successivo strato,** che a sua volta l'assorbe comprimendosi, ecc. . . . . .

La rapidità con la quale ogni strato si comprime e si riespande, è la velocità di trasmissione.

Questa velocità di trasmissione dipende dalla comprimibilità del fluido:

ONDE SONORE

Il suono è prodotto da vibrazioni, **un'onda di compressioni e decompressioni che si propaga fra le particelle del mezzo (solido, liquido, gas).**

Quando il **primo strato** del mezzo è colpito dall'onda sonora, **assorbe l'energia e si comprime**. Poi si riespande e **cede l'energia al successivo strato,** che a sua volta l'assorbe comprimendosi, ecc. . . . . .

La rapidità con la quale ogni strato si comprime e si riespande, è la velocità di trasmissione.

Questa velocità di trasmissione dipende dalla comprimibilità del fluido:

-**in un gas** le particelle sono debolmente legate e quindi si avrà una **propagazione lenta**; propagazione tanto più lenta quanto minore è la pressione del gas.

-**in un solido** si ha maggiore densità; uno strato poco comprimibile cede in tempi più brevi l'energia allo strato successivo, quindi si ha **maggiore velocità di propagazione**

ONDE SONORE

Il suono è prodotto da vibrazioni, un'onda di compressioni e decompressioni che si propaga fra le particelle del mezzo (solido, liquido, gas).

Quando il primo strato del mezzo è colpito dall'onda sonora, assorbe l'energia e si comprime. Poi si riespande e cede l'energia al successivo strato, che a sua volta l'assorbe comprimendosi, ecc. . . . . .

L'acqua è meno comprimibile dell'aria, **nell'acqua il suono si propaga più velocemente che nell'aria**.

pressione del gas.

-**in un solido** si ha maggiore densità; uno strato poco comprimibile cede in tempi più brevi l'energia allo strato successivo, quindi si ha maggiore velocità di propagazione

ONDE SONORE

Un suono è un'onda periodica che è caratterizzata da :

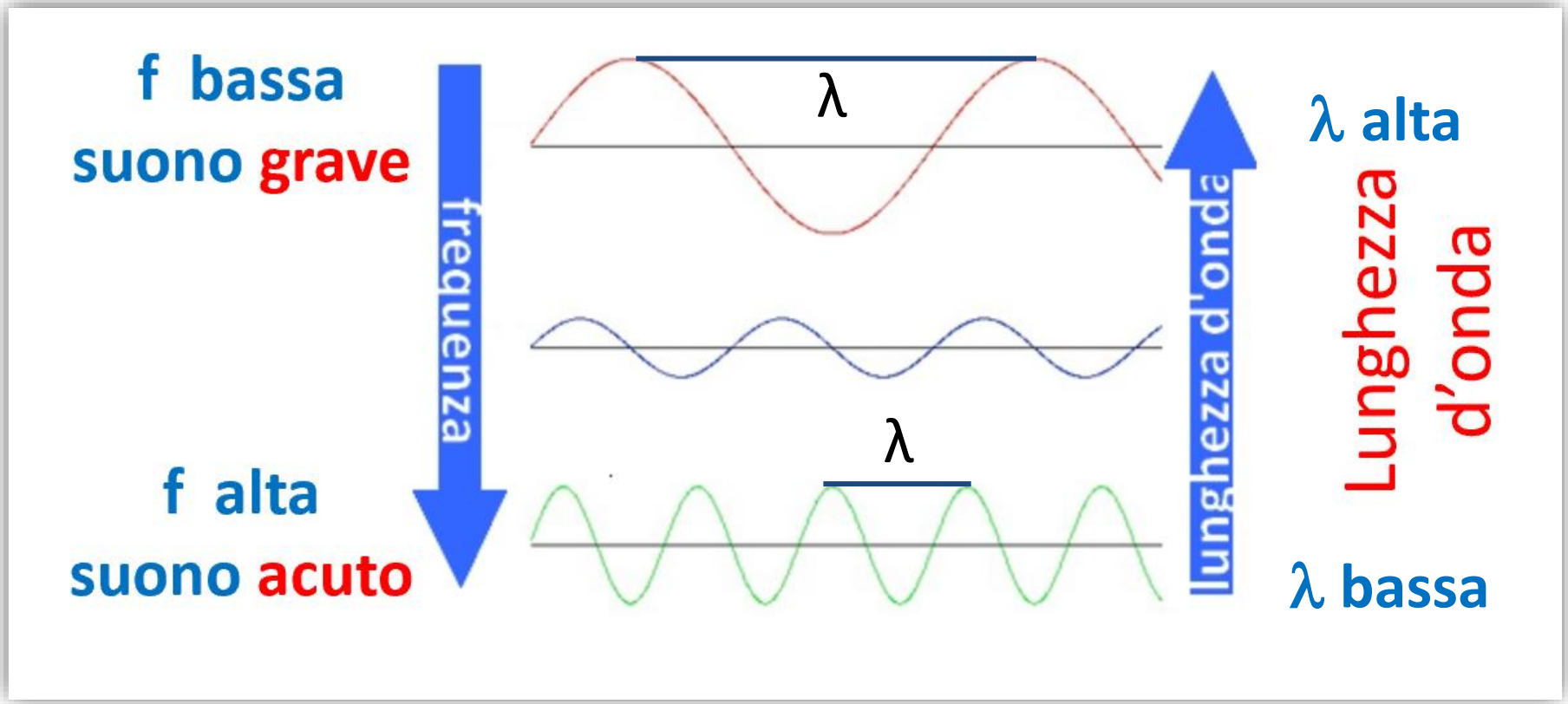
1) altezza, 2) intensità, 3) timbro.

ONDE SONORE

Un suono è un'onda periodica che è caratterizzata da :

1) altezza, 2) intensità, 3) timbro.

Altezza del suono dipende dalla frequenza e distingue un suono acuto da un suono grave.



ONDE SONORE

Un suono è un'onda periodica che è caratterizzata da :

1) altezza, 2) intensità, 3) timbro.

Altezza del suono dipende dalla frequenza e distingue un suono acuto da un suono grave.

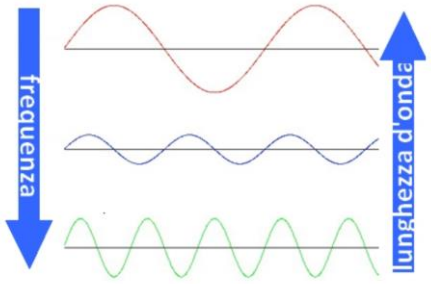
Un suono con una **frequenza alta** è interpretato come un **suono alto/acuto**, mentre un suono con frequenza bassa è interpretato come basso/grave.

Le note musicali corrispondono a precise frequenze sonore.

La frequenza standard corrispondente al **'La'** è fissata a 440 Hz.

grave

acuto



*Es. la corda più **sottile** di una chitarra può oscillare con una **frequenza maggiore** di quella di una corda spessa e quindi produce un suono più **acuto***

ONDE SONORE

Intensità distingue un suono ad alto volume da uno a basso volume.

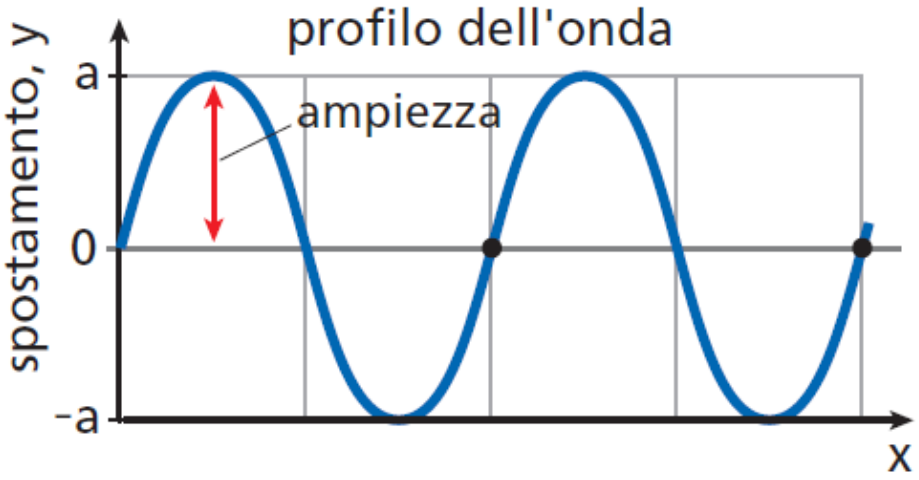
La intensità cresce all'aumentare dell'*ampiezza* dell'onda : onde di **ampiezza maggiore** creano compressioni e rarefazioni dell'aria più marcate e, quindi, **trasportano più energia**: il suono si sente meglio.

ONDE SONORE

Intensità distingue un suono ad alto volume da uno a basso volume.
La intensità cresce all'aumentare dell'***ampiezza*** dell'onda : onde di **ampiezza maggiore** creano compressioni e rarefazioni dell'aria più marcate e, quindi, **trasportano più energia**: il suono si sente meglio

---

*L'**ampiezza*** dell'onda periodica è la differenza tra il valore massimo della grandezza che oscilla e il valore di equilibrio.

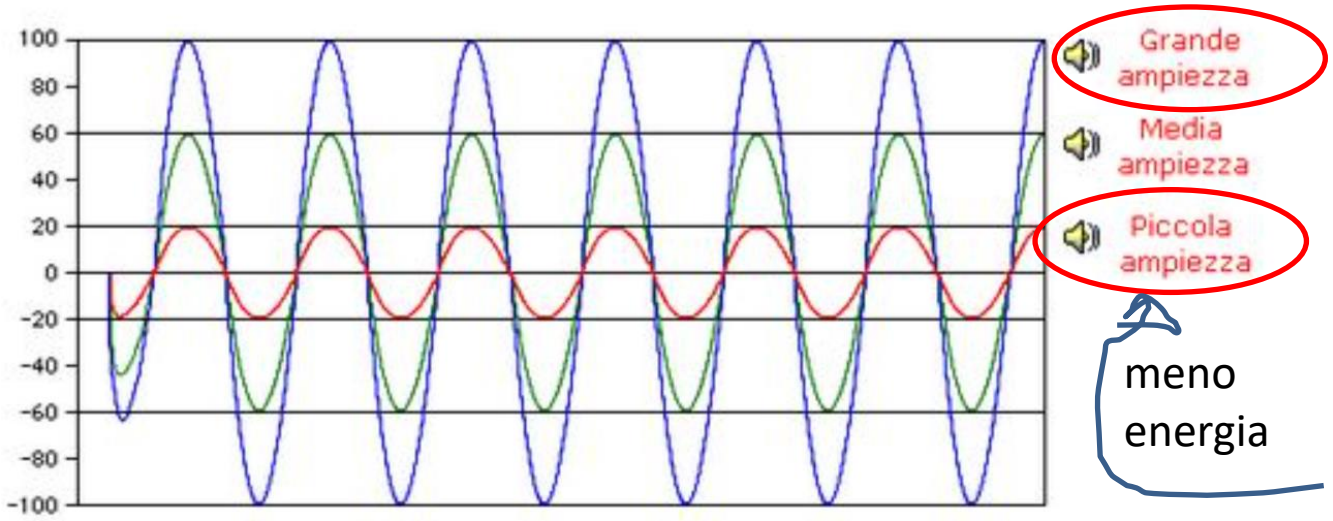


ONDE SONORE

Intensità distingue un suono ad **alto volume** da uno a **basso volume**.
La intensità cresce all'aumentare dell'*ampiezza* dell'onda : onde di **ampiezza maggiore** creano compressioni e rarefazioni dell'aria più marcate e, quindi, **trasportano più energia**: il suono si sente meglio

---

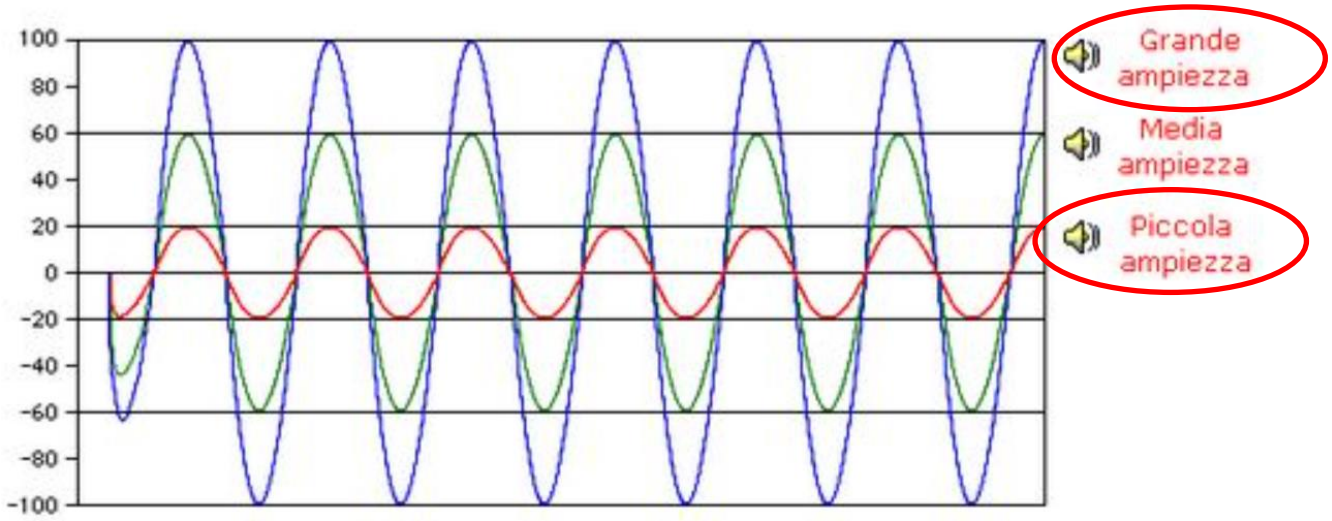
*L'**ampiezza*** dell'onda periodica è la differenza tra il valore massimo della grandezza che oscilla e il valore di equilibrio.



ONDE SONORE

Intensità distingue un suono ad **alto volume** da uno a **basso volume**.
La intensità cresce all'aumentare dell'*ampiezza* dell'onda : onde di **ampiezza maggiore** creano compressioni e rarefazioni dell'aria più marcate e, quindi, **trasportano più energia**: il suono si sente meglio

*L'**ampiezza*** dell'onda periodica è la differenza tra il valore massimo della grandezza che oscilla e il valore di equilibrio.



Intensità indica l'energia per unità di tempo che arriva su una superficie posta perpendicolarmente all'onda sonora.

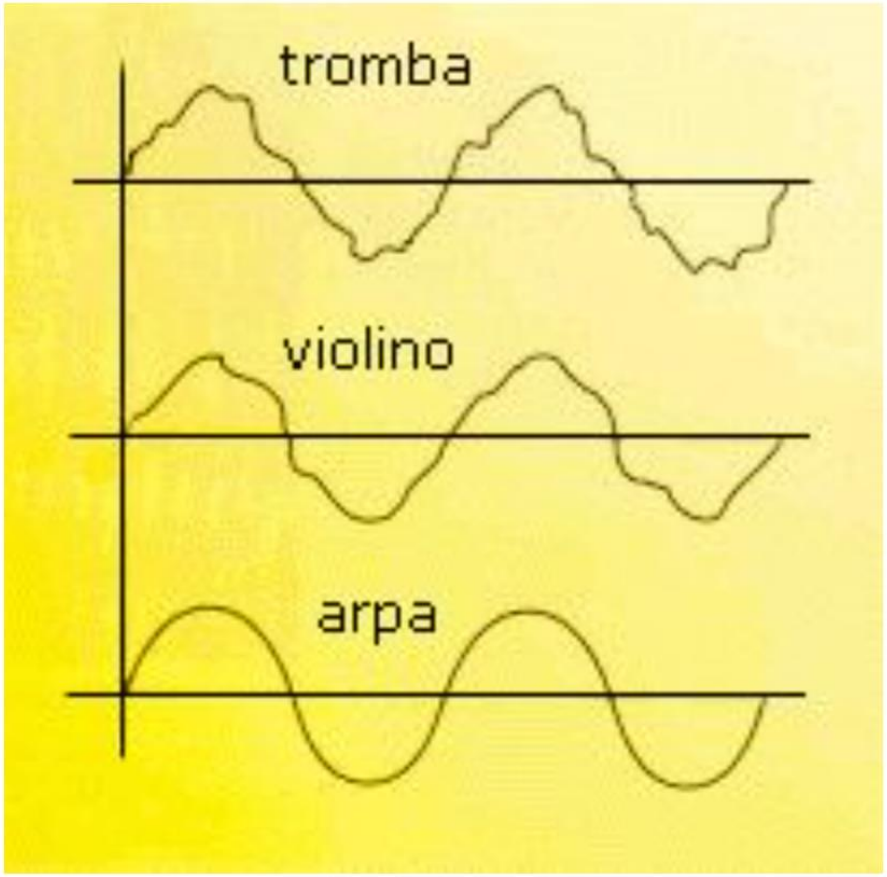
Intensità si misura in $J/(s\ m^2)$ oppure W/m^2

ONDE SONORE

Timbro dipende dalla forma dell'onda.

Suoni con la stessa altezza possono avere timbri diversi, in quanto caratterizzati da una forma diversa.

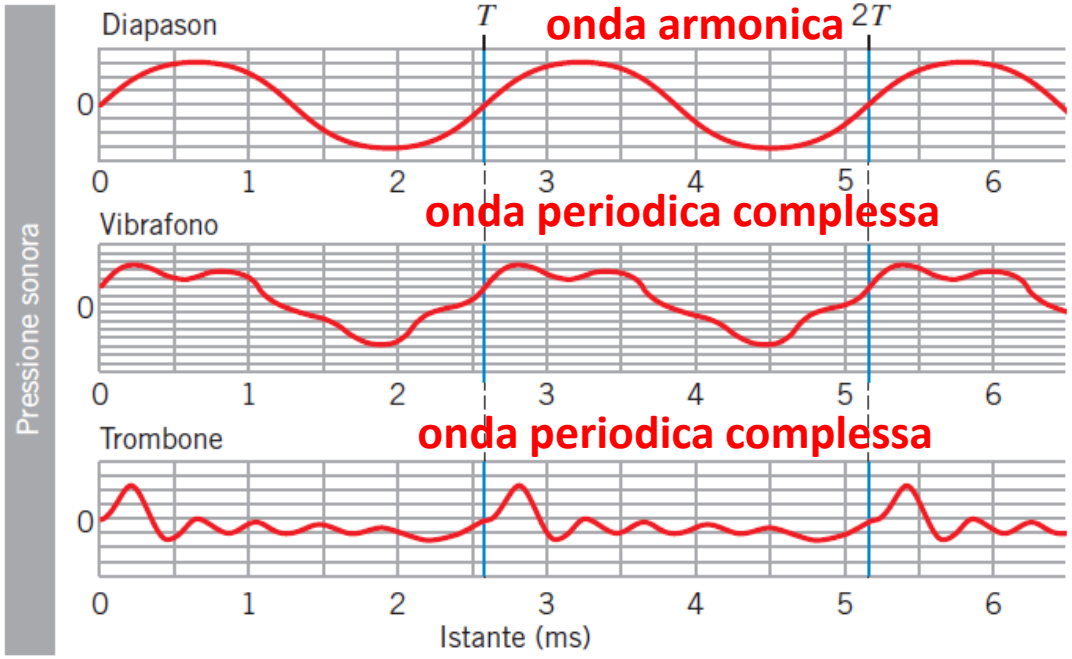
Il **timbro** è la **qualità che distingue un suono** da un altro, è **la stessa nota emessa da due strumenti diversi**.



stessa altezza ma timbri diversi

ONDE SONORE

Timbro dipende dalla legge periodica con cui oscillano le particelle quando vengono investite dalla onda sonora.





diapason

vibrafono

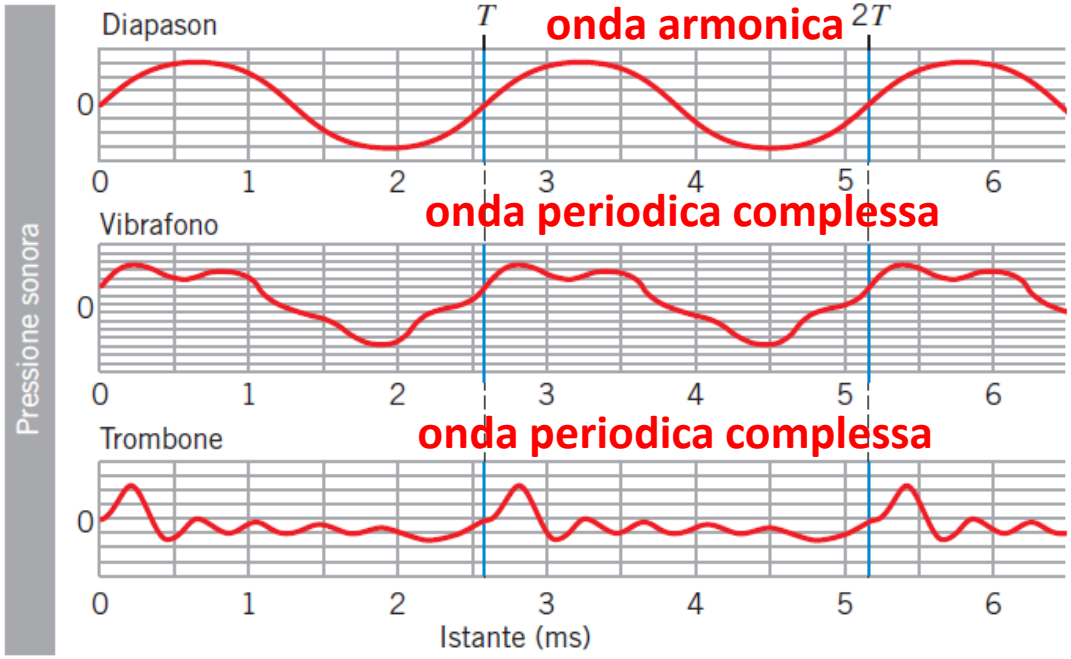




trombone

ONDE SONORE

Timbro dipende dalla legge periodica con cui oscillano le particelle quando vengono investite dalla onda sonora.





diapason

vibrafono





trombone

Ogni strumento musicale ha un suo timbro. Figura mostra le forme d'onda sonore per una stessa nota (*sol*) **emessa da tre diversi strumenti.**

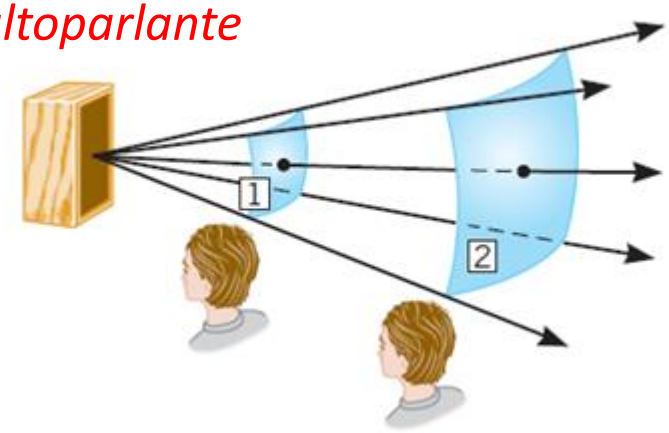
Le tre onde hanno lo stesso periodo (T = 2,6 millisecondi) **ma forme diverse**

Potenza sonora

Le onde sonore trasportano energia.

Questa energia può compiere lavoro come ad es. **indurre la vibrazione del timpano dell'orecchio.**

altoparlante



Potenza sonora

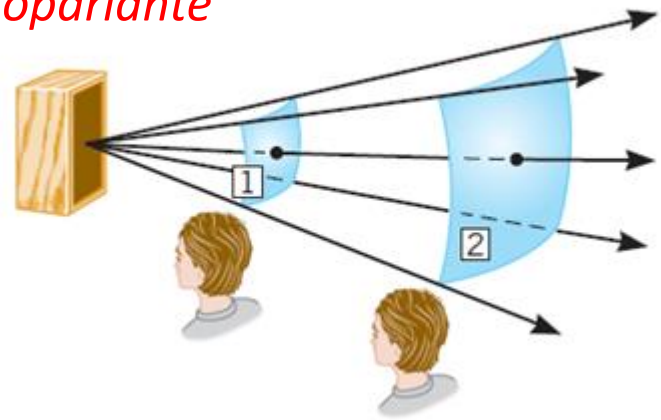
Le onde sonore trasportano energia.

Questa energia può compiere lavoro come ad es**. indurre la vibrazione del timpano dell'orecchio.**

La **Potenza** è la quantità di energia trasportata in un secondo

1 W = 1 J/s [P] = [**X Y Z??**]

altoparlante



Potenza sonora

Le onde sonore trasportano energia.

Questa energia può compiere lavoro come ad es. indurre la vibrazione del timpano dell'orecchio.

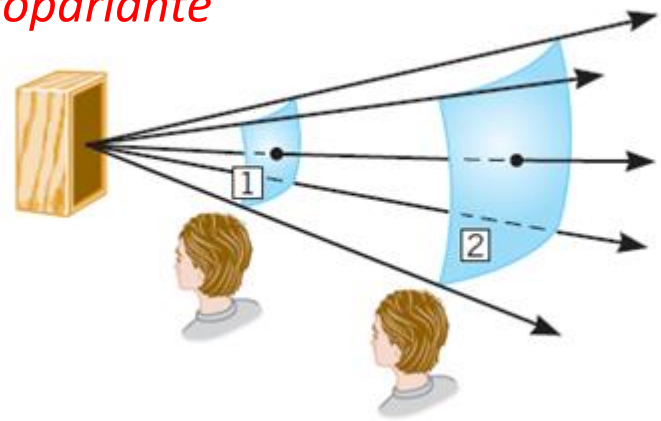
La **Potenza** è la quantità di energia trasportata in un secondo

$1\ W = 1\ J/s \qquad [P] = [M\ L^2 T^{-3}]$

$L/t = F\ s/t = ma\ s/t$

$M\ L\ T^{-2}\ L/T$

altoparlante



Potenza sonora

Le onde sonore trasportano energia.

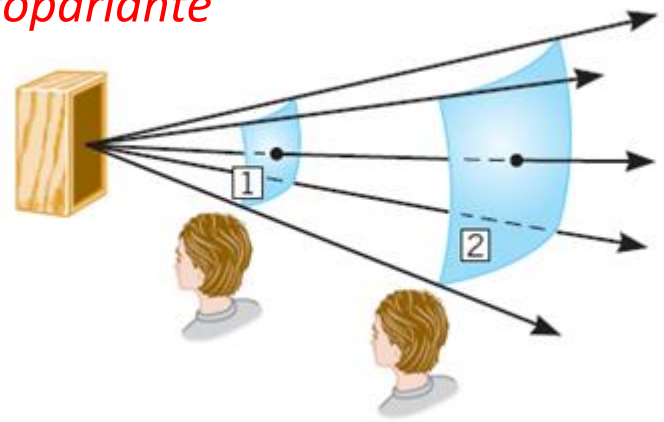
Questa energia può compiere lavoro come ad es. indurre la vibrazione del timpano dell'orecchio.

La **Potenza** è la quantità di energia trasportata in un secondo

$1\ W = 1\ J/s \qquad [P] = [M\ L^2 T^{-3}]$

Un'onda sonora che si propaga

altoparlante



La potenza trasportata da un'onda sonora si propaga con l'onda.

Intensità sonora

L' intensità di un suono (**I**) è definita come rapporto fra la potenza sonora (**P**) che attraversa una superficie e l'area (**A**) delle superficie stessa.

$$\mathbf{I = P / A}$$

$$[\mathbf{P}] = [M\, L^2 T^{-3}] \quad \mathbf{P \text{ in } W}$$

$$[\mathbf{I}] = [M\, T^{-3}] \quad \mathbf{I \text{ in } W/m^2}$$

La intensità sonora (I) si misura in W/m^2

L'intensità del suono emesso da una sorgente puntiforme diminuisce con il quadrato della distanza.

Intensità sonora

L' intensità di un suono (**I**) è definita come rapporto fra la potenza sonora (**P**) che attraversa una superficie e l'area (**A**) delle superficie stessa.

$$I = P / A$$

$$[P] = [M\ L^2 T^{-3}]$$

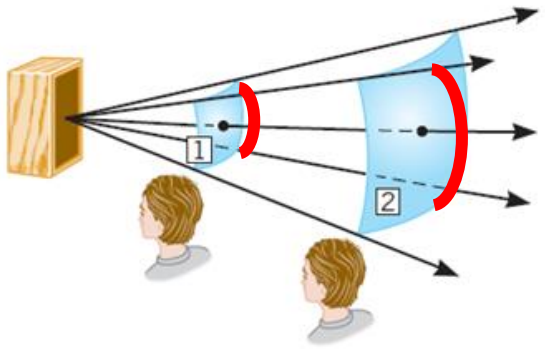
$$[I] = [M\ T^{-3}]$$

La intensità sonora (I) si misura in W/m^2

L'intensità del suono emesso da una sorgente puntiforme diminuisce con il quadrato della distanza.

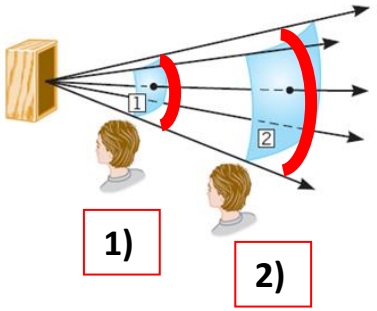
Intensità diminuisce in funzione dalla distanza da una sorgente puntiforme (onde sferiche)

$$I = P / 4 \pi r^2$$



Area della sfera $4 \pi r^2$

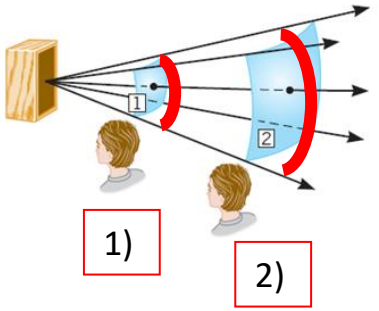
Un altoparlante genera una potenza di $12 \cdot 10^{-5}$ W che attraversa perpendicolarmente le superfici 1) di 4 m^2 e 2) di 12 m^2



Calcolare l'intensità sonora in ciascuna delle due superfici

$$I_1 = \frac{P}{A_1}$$

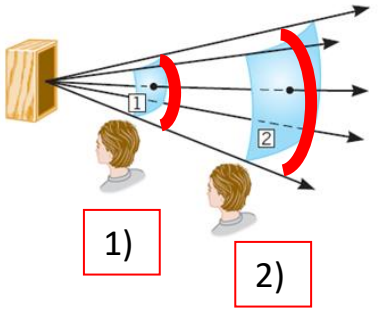
Un altoparlante genera una potenza di $12 \cdot 10^{-5}$ W che attraversa perpendicolarmente le superficie 1) di 4 m^2 e 2) di 12 m^2



Calcolare l'intensità sonora in ciascuna delle due superfici

$$I_1 = \frac{P}{A_1} = \frac{12 \cdot 10^{-5}\ W}{4\ m^2} = 3 \cdot 10^{-5}\ W/m^2$$

Un altoparlante genera una potenza di $12 \cdot 10^{-5}$ W che attraversa perpendicolarmente le superficie 1) di 4 m^2 e 2) di 12 m^2

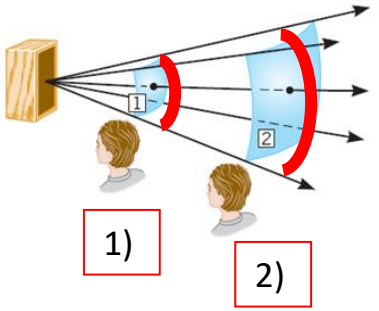


Calcolare l'intensità sonora in ciascuna delle due superfici

$$I_1 = \frac{P}{A_1} = \frac{12 \cdot 10^{-5}\ W}{4\ m^2} = 3 \cdot 10^{-5}\ W/m^2$$

$$I_2 = \frac{P}{A_2} = \frac{12 \cdot 10^{-5}\ W}{12\ m^2} = 1 \cdot 10^{-5}\ W/m^2$$

Un altoparlante genera una potenza di $12 \cdot 10^{-5}$ W che attraversa perpendicolarmente le superficie 1) di 4 m^2 e 2) di 12 m^2



Calcolare l'intensità sonora in ciascuna delle due superfici

$$I_1 = \frac{P}{A_1} = \frac{12 \cdot 10^{-5}\ W}{4\ m^2} = 3 \cdot 10^{-5}\ W/m^2$$

$$I_2 = \frac{P}{A_2} = \frac{12 \cdot 10^{-5}\ W}{12\ m^2} = 1 \cdot 10^{-5}\ W/m^2$$

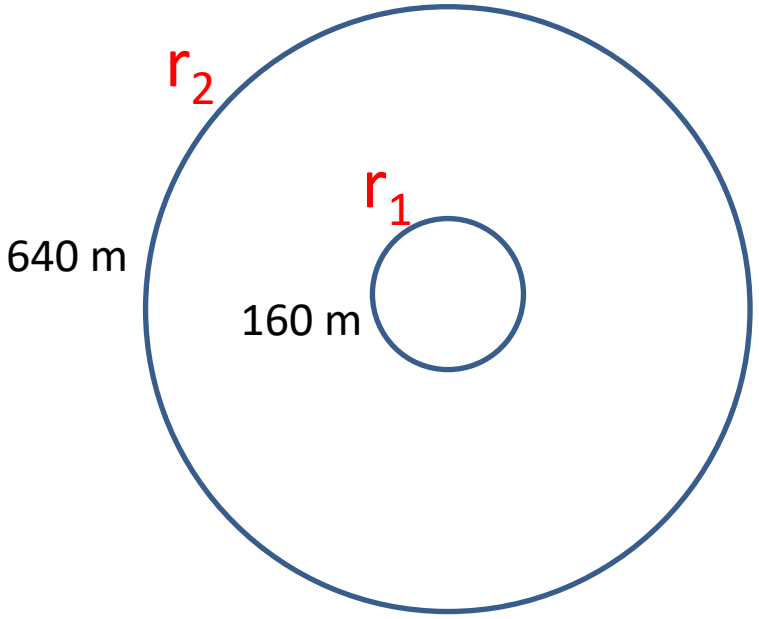
L'orecchio di un soggetto umano, che ha sempre la stessa superficie, è attraversato da una potenza minore dove l'intensità sonora è minore. **Quindi un osservatore a distanza maggiore sente un suono più debole**

Una sorgente di onde sonore può emettere onde in modo uniforme in tutte le direzioni. **L'intensità sonora è legata alla distanza.**

Suono generato da un fuoco d'artificio in alto nel cielo. Il suono arriva ad un soggetto che si trova a **distanza r = 640 m dalla sorgente** e la sua **intensità è 0.10 W/m^2**

Qual è l'intensità del suono che arriva ad un **altro soggetto che si trova ad una distanza di 160 m dalla sorgente** ?

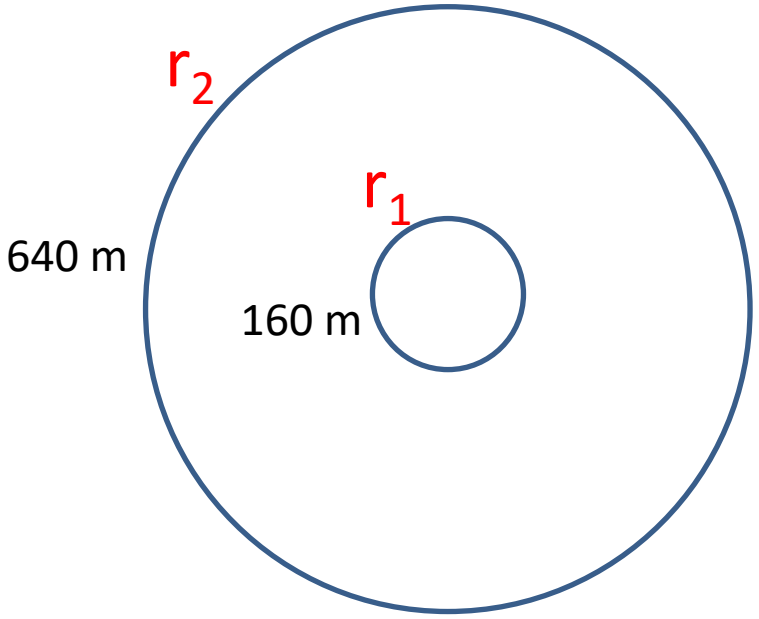
$$I = P / 4 \pi r^2$$



Una sorgente di onde sonore può emettere onde in modo uniforme in tutte le direzioni. L'intensità sonora è legata alla distanza .
Suono generato da un fuoco d'artificio in alto nel cielo. Il suono arriva ad un soggetto che si trova a distanza r = 640 m dalla sorgente e la sua intensità è 0.10 W/m^2
Qual è l'intensità del suono che arriva ad un altro soggetto che si trova ad una distanza di 160 m dalla sorgente ?

$$I = P / 4 \pi r^2$$

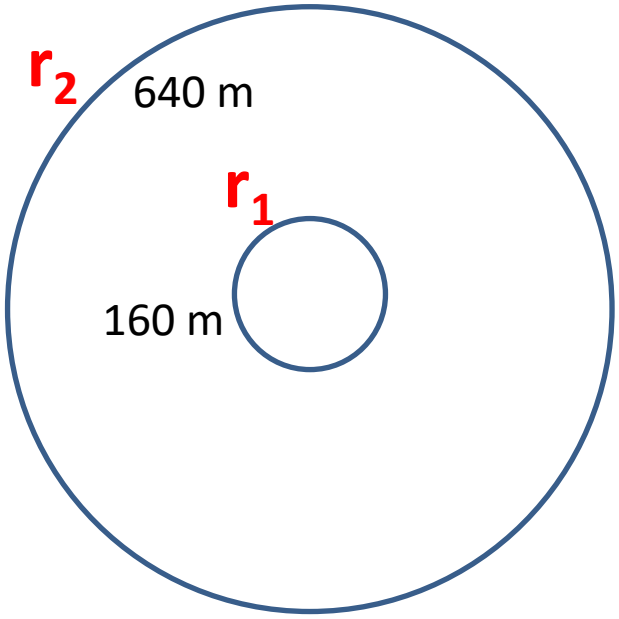
$$\frac{I_1}{I_2} = _____$$



Una sorgente di onde sonore può emettere onde in modo uniforme in tutte le direzioni. L'intensità sonora è legata alla distanza .
Suono generato da un fuoco d'artificio in alto nel cielo. Il suono arriva ad un soggetto che si trova a distanza **r = 640 m** dalla sorgente e la sua intensità è 0.10 W/m^2
Qual è l'intensità del suono che arriva ad un altro soggetto che si trova ad una distanza di **160 m** dalla sorgente ?

$$I = P / 4 \pi r^2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{P/ 4\pi r_1^2}{P/ 4\pi r_2^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{(640\ m)^2}{(160\ m)^2} = 4^2 = 16$$



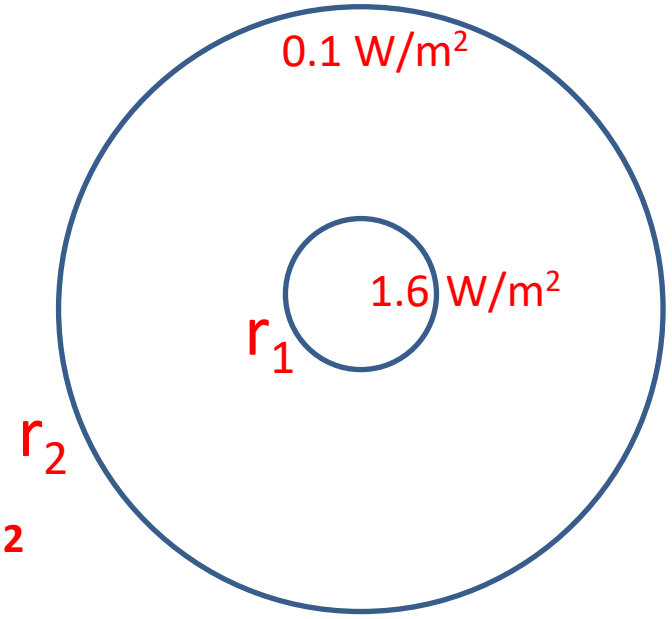
Quindi, calcolare I_1

Una sorgente di onde sonore può emettere onde in modo uniforme in tutte le direzioni. L'intensità sonora è legata alla distanza .
Suono generato da un fuoco d'artificio in alto nel cielo. Il suono arriva ad un soggetto che si trova a distanza r = 640 m dalla sorgente e la sua intensità è 0.10 W/m^2
Qual è l'intensità del suono che arriva ad un altro soggetto che si trova ad una distanza di 160 m dalla sorgente ?

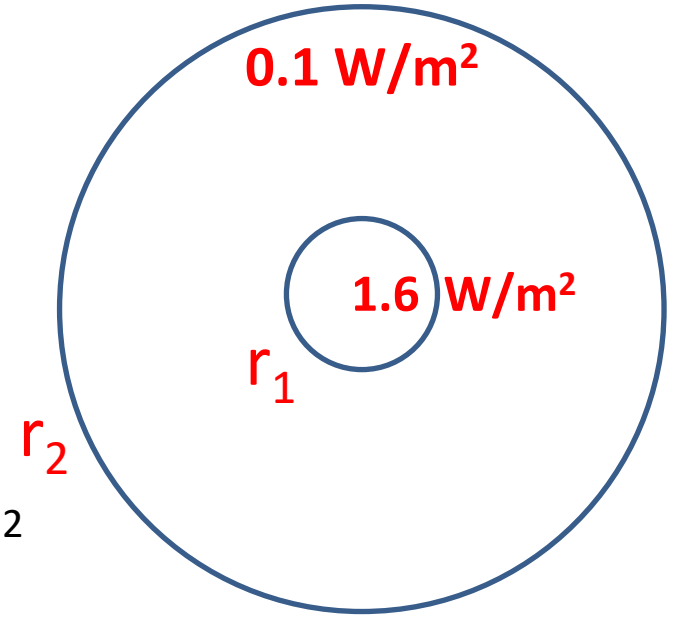
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{P/4\pi r_1^2}{P/4\pi r_2^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{(640\ m)^2}{(160\ m)^2} = 4^2 = \mathbf{16}$$

Quindi, calcolare I_1

$$\mathbf{I_1 = 16 \cdot I_2 = 16 \cdot 0.10\ W/m^2 = 1.6\ W/m^2}$$



Una sorgente di onde sonore può emettere onde in modo uniforme in tutte le direzioni. L'intensità sonora è legata alla distanza .
Suono generato da un fuoco d'artificio in alto nel cielo. Il suono arriva ad un soggetto che si trova a distanza r = 640 m dalla sorgente e la sua intensità è 0.10 W/m^2
Qual è l'intensità del suono che arriva ad un altro soggetto che si trova ad una distanza di 160 m dalla sorgente ?



$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{P/4\pi r_1^2}{P/4\pi r_2^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{(640\ m)^2}{(160\ m)^2} = 4^2 = 16$$

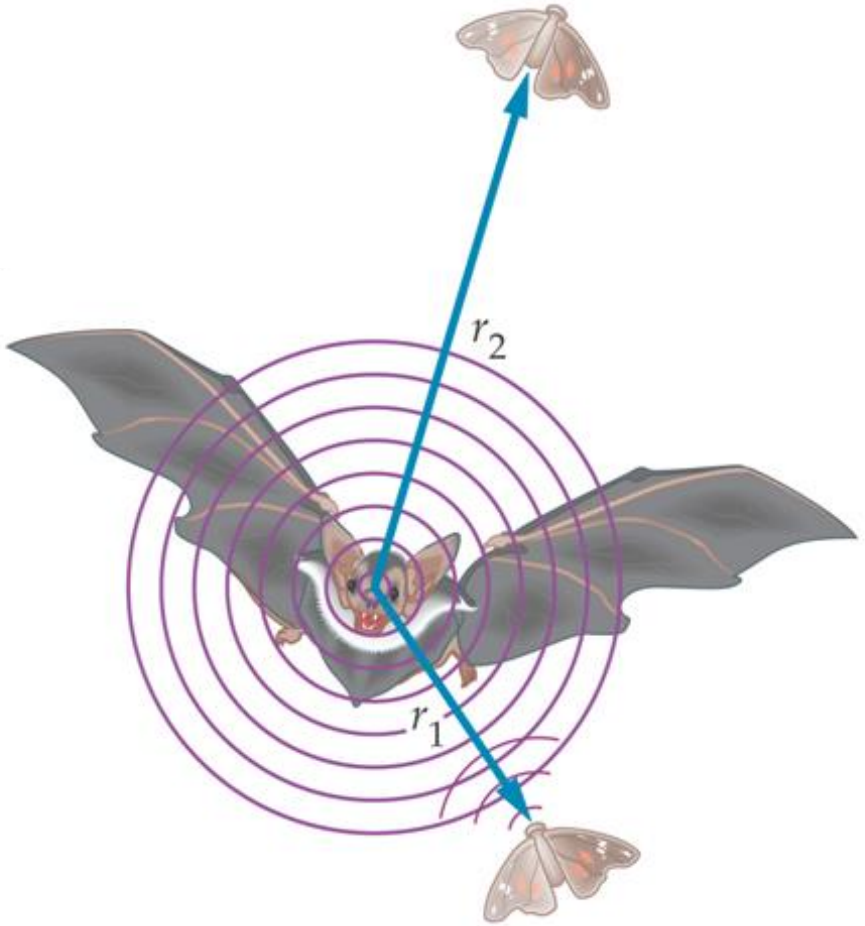
Quindi, calcolare I_1

$$I_1 = 16 \cdot I_2 = 16 \cdot 0.10\ W/m^2 = 1.6\ W/m^2$$

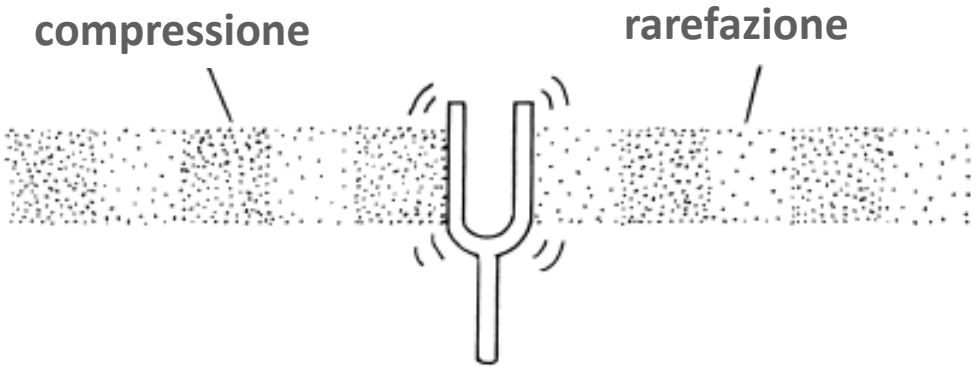
Intensità è inversamente proporzionale al quadrato della distanza. Quindi per distanza 4 volte minore si avrà una intensità 16 volte maggiore (0.1 W/m^2 x 16 = 1.6 W/m^2)

Intensità sonora

Ad esempio i pipistrelli si servono della dipendenza della intensità del suono dalla distanza per **localizzare** oggetti di piccole dimensioni al buio.



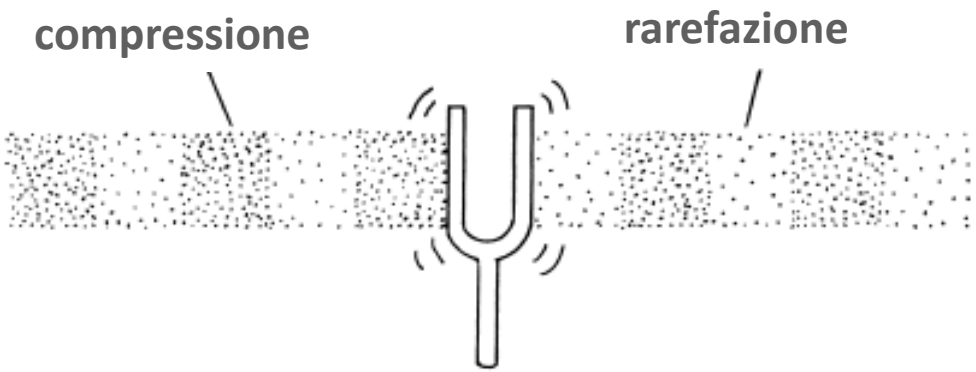
RISPOSTA SISTEMA UDITIVO



$f < 20$ Hz infrasuono
$20 \text{ Hz} < f < 2 \cdot 10^4$ Hz suono
$f > 2 \cdot 10^4$ Hz ultrasuono

L'orecchio risponde ad un **ampio intervallo di intensità I** che si estende per **12 ordini di grandezza**, con un andamento in funzione della frequenza (f) **con maggiore sensibilità per f fra 2000 e 4000 Hz.**

RISPOSTA SISTEMA UDITIVO



$f < 20$ Hz **infrasuono**

$20 \text{ Hz} < f < 2 \cdot 10^4$ Hz **suono**

$f > 2 \cdot 10^4$ Hz **ultrasuono**

L'orecchio risponde ad un **ampio intervallo di intensità I** che si estende per **12 ordini di grandezza**, con un andamento in funzione della frequenza (f) **con maggiore sensibilità per f fra 2000 e 4000 Hz.**

La percezione dell'orecchio umano non è direttamente proporzionale all'intensità I.

RISPOSTA SISTEMA UDITIVO

La percezione dell'orecchio umano non è direttamente proporzionale all'intensità I.

Si introduce la grandezza 'livello di intensità del suono' β usando una scala logaritmica

Soglia dell'udibile $I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$

Soglia del dolore $I_{max} = 1\ W/m^2$

RISPOSTA SISTEMA UDITIVO

La percezione dell'orecchio umano non è direttamente proporzionale all'intensità I.

Si introduce la grandezza 'livello di intensità del suono' β usando una scala logaritmica

Soglia dell'udibile $I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$

Soglia del dolore $I_{max} = 1\ W/m^2$

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

β si misura in decibel (dB)

logaritmo in base a ($a > 0$, $a \neq 1$) del numero b ($b > 0$) è l'esponente da dare alla **base** a per ottenere l'**argomento** b

$$\log_a b = c \quad \rightarrow \quad a^c = b$$

$\log_2 8 = 3$ $\log_2 1/4 = -2$

logaritmo in base a ($a > 0$, $a \neq 1$) del numero b ($b > 0$) è l'esponente da dare alla **base** a per ottenere l'**argomento** b

$$\log_a b = c \quad \rightarrow \quad a^c = b$$

$\log_2 8 = 3$ $\qquad$ $\log_2 1/4 = -2$

$\log_{10} 100 = 2$ $\qquad$ $\log_{10} 10^5 = 5$

logaritmo in base a ($a > 0$, $a \neq 1$) del numero b ($b > 0$) è l'esponente da dare alla **base** a per ottenere l'**argomento** b

$$\log_a b = c \quad \rightarrow \quad a^c = b$$

$\log_2 8 = 3$ $\qquad$ $\log_2 1/4 = -2$

$\log_{10} 100 = 2$ $\qquad$ $\log_{10} 10^5 = 5$

$\log_{10} 10^{-3} = -3$ $\qquad$ $\log_{10} \frac{10^{-5}}{10^{-7}} =$? $\qquad$ $\log_{10} \frac{10^{-9}}{10^{-12}} =$?

logaritmo in base a ($a > 0$, $a \neq 1$) del numero b ($b > 0$) è l'esponente da dare alla **base** a per ottenere l'**argomento** b

$$\log_a b = c \quad \rightarrow \quad a^c = b$$

$\log_2 8 = 3$ $\qquad$ $\log_2 1/4 = -2$

$\log_{10} 100 = 2$ $\qquad$ $\log_{10} 10^5 = 5$

$\log_{10} 10^{-3} = -3$ $\qquad$ $\log_{10} \frac{10^{-5}}{10^{-7}} = \mathbf{2}$ $\qquad$ $\log_{10} \frac{10^{-9}}{10^{-12}} = \mathbf{3}$

logaritmo in base a ($a > 0$, $a \neq 1$) del numero b ($b > 0$) è l'esponente da dare alla **base** a per ottenere l'**argomento** b

$$\log_a b = c \quad \rightarrow \quad a^c = b$$

$\log_2 8 = 3$ $\qquad$ $\log_2 1/4 = -2$

$\log_{10} 100 = 2$ $\qquad$ $\log_{10} 10^5 = 5$

$\log_{10} 10^{-3} = -3$ $\qquad$ $\log_{10} \frac{10^{-5}}{10^{-7}} = 2$ $\qquad$ $\log_{10} \frac{10^{-9}}{10^{-12}} = 3$

$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$ $\qquad$ 10^{-9}, 10^{-12} $\qquad$ $\beta = 30$

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \qquad I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$$

Livello di intensità del suono in dB per alcune sorgenti sonore

Sorgente	$I(W/m^2)$	β (dB)
mormorio lieve	10^{-9}	30
conversazione normale	10^{-6}	60
orchestra	10^{-2}	--? --
martello pneumatico	1	-- ? --

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \qquad I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$$

Livello di intensità del suono in dB per alcune sorgenti sonore

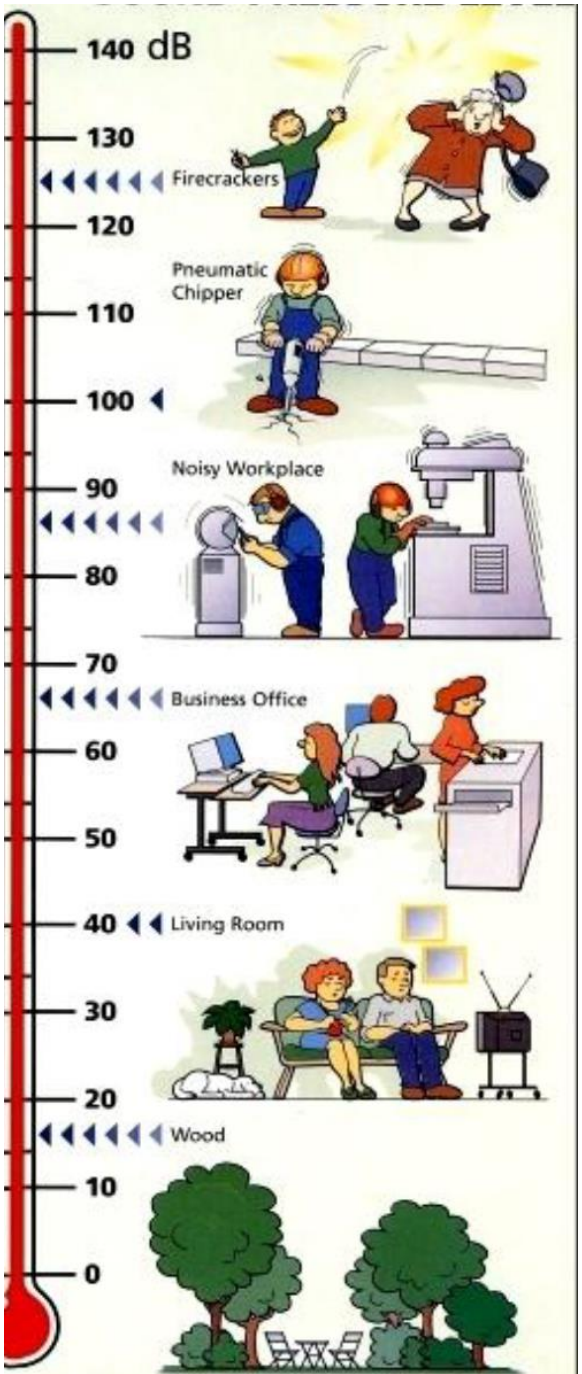
Sorgente	$I(W/m^2)$	β (dB)
mormorio lieve	10^{-9}	30
conversazione normale	10^{-6}	60
orchestra	10^{-2}	100
martello pneumatico	1	120

livello di intensità del suono

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Soglia dell'udibile
$I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$

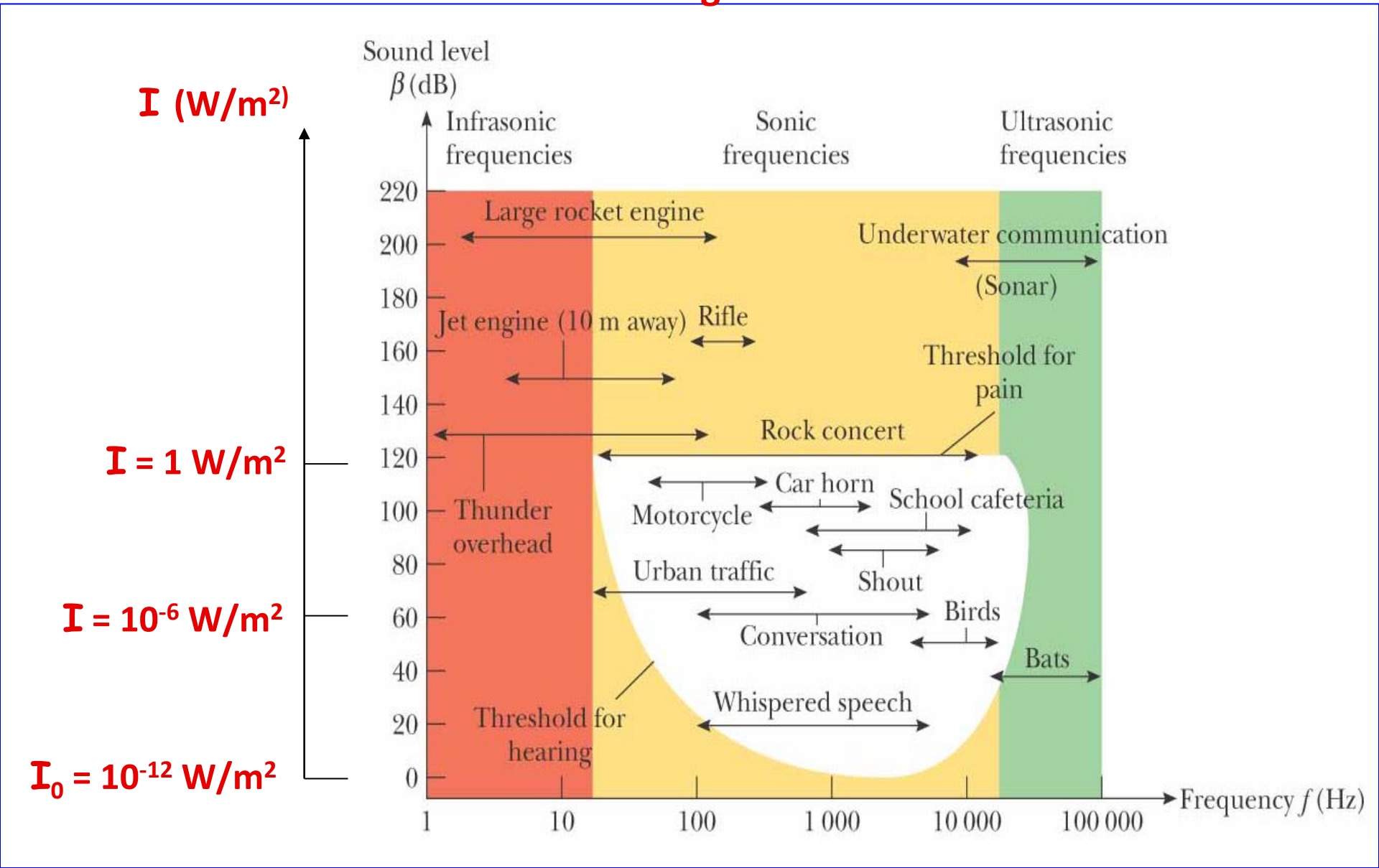
Soglia del dolore
$I = 1\ W/m^2$



- Soglia di udibilità: 0 dB
- Soglia del dolore: 120 dB

La relazione fra livello di sensazione sonora e frequenza è complessa.

Nella figura, l'area bianca delimita l'intervallo di intensità fra la soglia dell'udibile e la soglia del dolore.



Calcolare il tempo impiegato dal suono per percorrere 8 km. (velocità del suono in aria v= 340 m/s)

Calcolare il tempo impiegato dal suono per percorrere 8 km. (velocità del suono in aria v= 340 m/s)

$v = s / t \quad \rightarrow t = s / v$

$T = 8000\ m / 340\ m/s = 23.53\ s$

92

Calcolare il livello di sensazione sonora per un'intensità di 10^{-3} W/m^2 e per una intensità di 10^{-10} W/cm^2.

92

Calcolare il livello di sensazione sonora per un'intensità di 10^{-3} W/m^2 e per una intensità di 10^{-10} W/cm^2.

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \qquad I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

92

Calcolare il livello di sensazione sonora per un'intensità di 10^{-3} W/m^2 e per una intensità di 10^{-10} W/cm^2.

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \qquad I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-3}}{10^{-12}} = 10 \log 10^9 = 90 \text{ dB}$$

92

Calcolare il livello di sensazione sonora per un'intensità di 10^{-3} W/m^2 e per una intensità di 10^{-10} W/cm^2.

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \qquad I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-3}}{10^{-12}} = 90 \text{ dB}$$

10^{-10} W/cm^2 = 10^{-6} W/m^2

1 cm = 1/100

1 cm^2 = 1/10 000 m^2

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-6}}{10^{-12}} = 60 \text{ dB}$$

93

Se l'intensità di un'onda sonora pari a 10^{-4} W/m^2 raddoppia, quale incremento subisce il livello di sensazione sonora ?

93

Se l'intensità di un'onda sonora pari a 10^{-4} W/m^2 raddoppia, quale incremento subisce il livello di sensazione sonora ?

---

a) Calcolare il livello di sensazione sonora per **10^{-4} W/m^2**
b) Calcolare il livello di sensazione sonora per intensità raddoppiata
c) Calcolare l'incremento del livello di sensazione sonora corrispondente

Se l'intensità di un'onda sonora pari a 10^{-4} W/m^2 raddoppia, quale incremento subisce il livello di sensazione sonora ?

---

il livello di sensazione sonora per **10^{-4} W/m^2**

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-4}}{10^{-12}} = 80 \text{ dB}$$

93

Se l'intensità di un'onda sonora pari a 10^{-4} W/m^2 raddoppia, quale incremento subisce il livello di sensazione sonora ?

---

a) Calcolare il livello di sensazione sonora per **10^{-4} W/m^2**

80 dB

b) Calcolare il livello di sensazione sonora per intensità raddoppiata

c) Calcolare l'incremento del livello di sensazione sonora corrispondente

93

Se l'intensità di un'onda sonora pari a 10^{-4} W/m^2 raddoppia, quale incremento subisce il livello di sensazione sonora ?

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-4}}{10^{-12}} = 80 \text{ dB}$$

Calcolare il livello di sensazione sonora per intensità raddoppiata

$$\beta = 10 \log \frac{2 \cdot 10^{-4}}{10^{-12}} = 10 \log 2 \cdot 10^{8}$$

$$\beta = 10 \log 2 + 10 \log 10^{8} = 10 \cdot 0.3 + 80 = 83 \text{ dB}$$

93

Se l'intensità di un'onda sonora pari a 10^{-4} W/m^2 raddoppia, quale incremento subisce il livello di sensazione sonora ?

---

a) Calcolare il livello di sensazione sonora per **10^{-4} W/m^2**

80 dB

b) Calcolare il livello di sensazione sonora per intensità raddoppiata

83 dB

c) Calcolare l'incremento del livello di sensazione sonora corrispondente **3 dB**

Se l'intensità di un'onda sonora pari a 10^{-4} W/m^2 raddoppia, quale incremento subisce il livello di sensazione sonora ?

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-4}}{10^{-12}} = 80 \text{ dB}$$

$$\beta = 10 \log \frac{2 \cdot 10^{-4}}{10^{-12}} = 10 \log 2 \cdot 10^{8}$$

$$\beta = 10 \log 2 + 10 \log 10^{8} = 10 \cdot 0.3 + 80 = 83 \text{ dB}$$

L'incremento del livello di sensazione sonora è:
83 dB – 80 dB = **3 dB**

Uno strumento musicale produce un'onda sonora di intensità 10^{-5} W/m^2. Calcolare il livello di sensazione sonora per il singolo strumento e nel caso di 12 strumenti che suonano insieme.



Uno strumento musicale produce un'onda sonora di intensità 10^{-5} W/m^2. Calcolare il livello di sensazione sonora per il singolo strumento e nel caso di 12 strumenti che suonano insieme.

---

per uno strumento



$$\beta = 10 \log \frac{10^{-5}}{10^{-12}} = 70 \text{ dB}$$

Uno strumento musicale produce un'onda sonora di intensità 10^{-5} W/m^2. Calcolare il livello di sensazione sonora per il singolo strumento e nel caso di 12 strumenti che suonano insieme.



$$\beta = 10 \log \frac{10^{-5}}{10^{-12}} = 70 \text{ dB}$$

--per 12 strumenti --

$$\beta = 10 \log \frac{12 \cdot 10^{-5}}{10^{-12}} =$$

$$10 (\log 12 + \log 10^7) = 80.8 \text{ dB}$$

$\log 12 = 1.08$

$\log 10^7 = 7$

8.08

$\times 10$