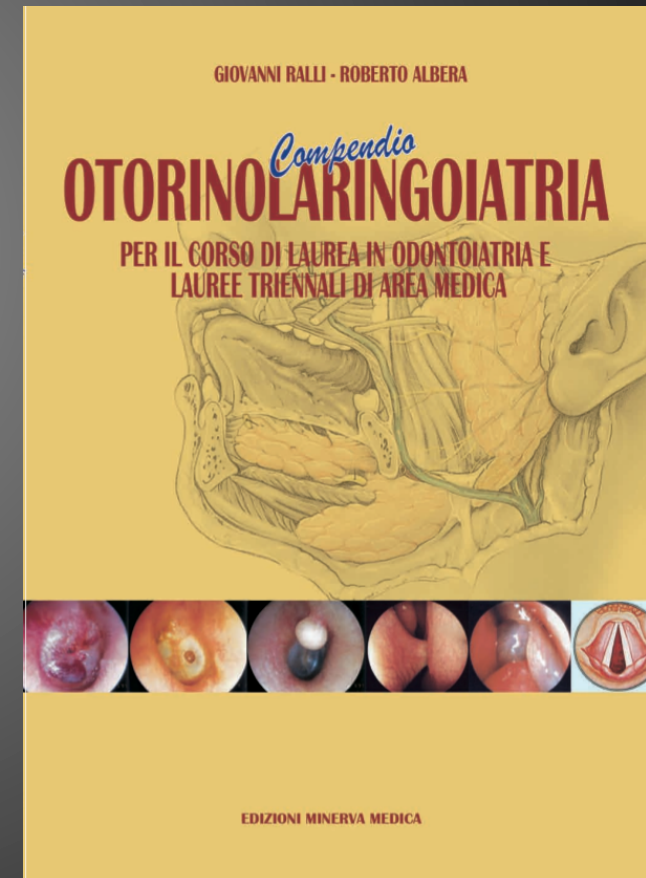


Giovanni Ralli (gralli@libero.it)

**Dipartimento di Organi di Senso
Università di Roma La Sapienza**

Lezione I 3 marzo 2015

Orecchio: Elementi di fisica .



Orecchio

L'adattamento dell'uomo sul pianeta Terra ha richiesto il perfezionamento di alcune sensibilità specifiche che sono assolute dall'orecchio: si tratta della sensibilità del suono e della sensibilità del campo gravitazionale.

L'orecchio è un sistema complesso che mette in comunicazione l'ambiente esterno con il sistema nervoso traducendo in sensazioni nervose forze fisiche quali le onde acustiche e le forze gravitazionali.

Per raggiungere questo risultato utilizza una strategia complessa che comporta la codifica delle stimolazioni ambientali in segnali bioelettrici

La sensibilità del suono è favorita dalla comunicazione con l'ambiente esterno

La sensibilità del campo gravitazionale non richiede una comunicazione con l'ambiente esterno

La terra è attraversata costantemente da una forza fisica rappresentata dalle onde acustiche.

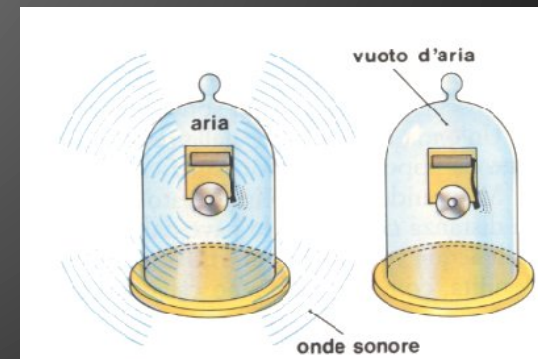
L'onda acustica è l'espressione di una particolare energia che si propaga senza trasferimento di materia .

L'onda acustica viene prodotta da una sorgente che è in grado di perturbare lo stato di riposo delle molecole.

Queste iniziano ad oscillare trasferendo la loro energia alle particelle vicine.

Pertanto l'onda acustica si propaga solo in un mezzo elastico sia esso solido, liquido o gassoso.

Quindi non può propagarsi nel vuoto.



La velocità di propagazione nell'aria è di 340 metri al secondo , 1500 metri al secondo nell'acqua e di 5000 metri al secondo nei solidi .



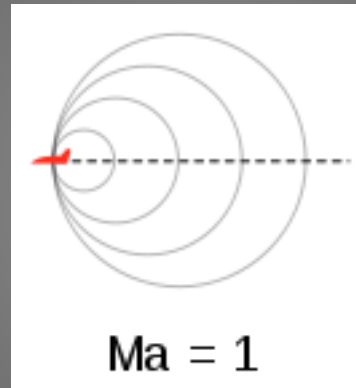
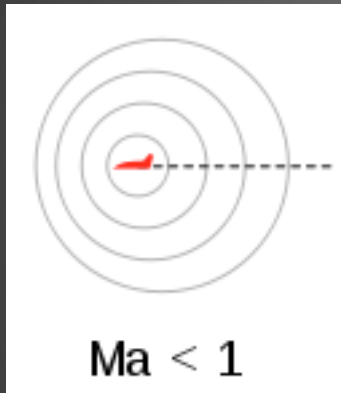
L'espressione «muro del suono» venne adottata durante la seconda guerra mondiale quando un certo numero di aerei iniziarono a sperimentare durante le manovre di bombardamento in picchiata gli effetti del volo transonico .

Poiché alcuni veicoli si distruggevano in aria come se avessero impattato contro un muro , divenne comune il linguaggio non scientifico di descrivere l'avvicinamento alla velocità del suono con il muro del suono .

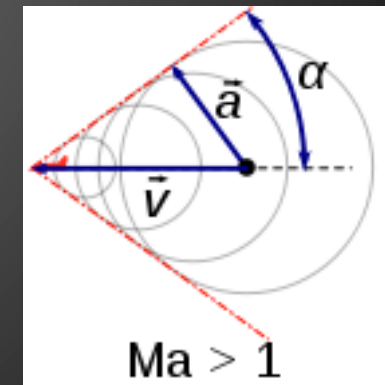


Una perturbazione si trasmette in tutte le direzioni alla velocità del suono.

Se la sorgente dei disturbi si muove, i disturbi tenderanno a compattarsi nella direzione del moto. Il corpo può seguire, raggiungere o superare tali disturbi



Il bang supersonico è il suono prodotto dall'onda d'urto (o più precisamente dal cono di Mach) generata da un aereo) quando questo si muove, in un fluido, con velocità superiore alla velocità del suono.



Quando un aereo vola attraverso uno strato d'aria alla velocità di qualche centinaio di chilometri all'ora, le molecole non hanno alcuna difficoltà a spostarsi e lasciarlo passare.

Se invece un jet supersonico sfreccia attraverso l'aria a una velocità confrontabile con quella delle molecole, esse non riescono a spostarsi e si accumulano, compresse, sulla parte frontale del veicolo, che le spinge in avanti. Possiamo pensare alle molecole di aria come a uno sciame di tanti piccoli insetti: se lo attraversiamo in auto a bassa velocità, riusciamo ad attraversarlo, mentre se viaggiamo a velocità sostenuta, molti animaletti si schianteranno sul parabrezza.

L'aria che si accumula davanti all'aereo crea un'onda d'urto, che è sostanzialmente un rumore; questo si propaga in tutte le direzioni. Da terra noi udiamo un rumore secco e assordante: è il fantomatico bang

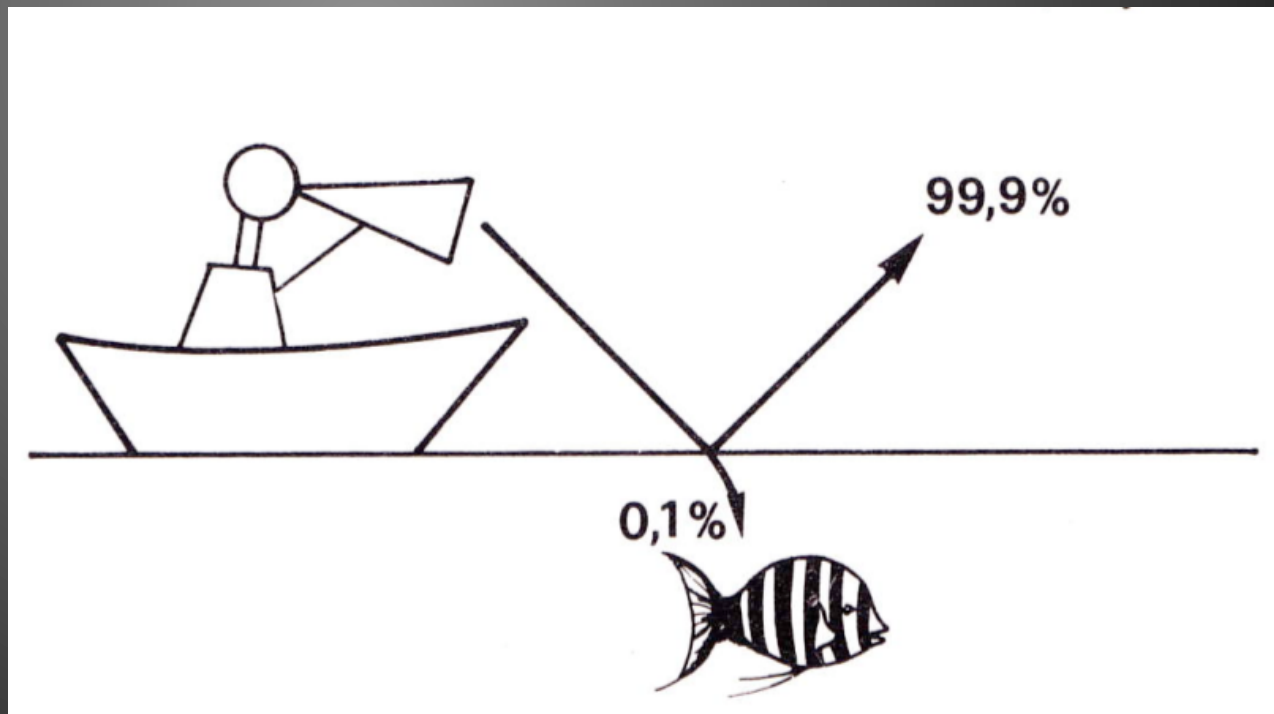
La frusta è stata probabilmente il primo oggetto prodotto dall'uomo in grado di muoversi più veloce del suono.

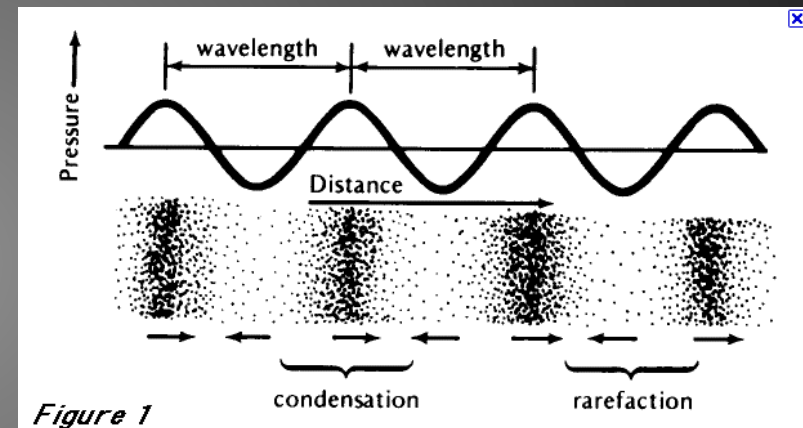
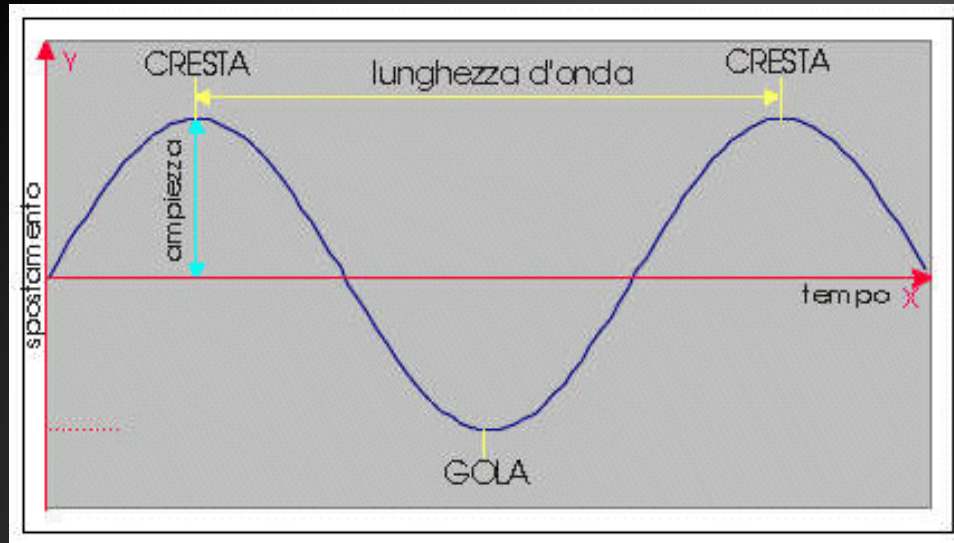
L'estremità di una frusta rompe la barriera del suono e genera un secco schiocco che è un vero e proprio boom sonico.

Il 14 ottobre 2012

il paracadutista Felix Baumgartner è stato la prima persona ad abbattere il muro del suono, con il proprio corpo, lanciandosi da un'altezza di 39 045 m arrivando ad una velocità record di 1,342.8 km/h (833.9 mph - Mach 1.24).

Quando le onde acustiche che si propagano nell'aria incontrano un mezzo con struttura diversa quale una superficie liquida simile all'acqua , circa un millesimo dell'energia passa nell'acqua mentre 999 millesimi sono riflessi nell'aria .





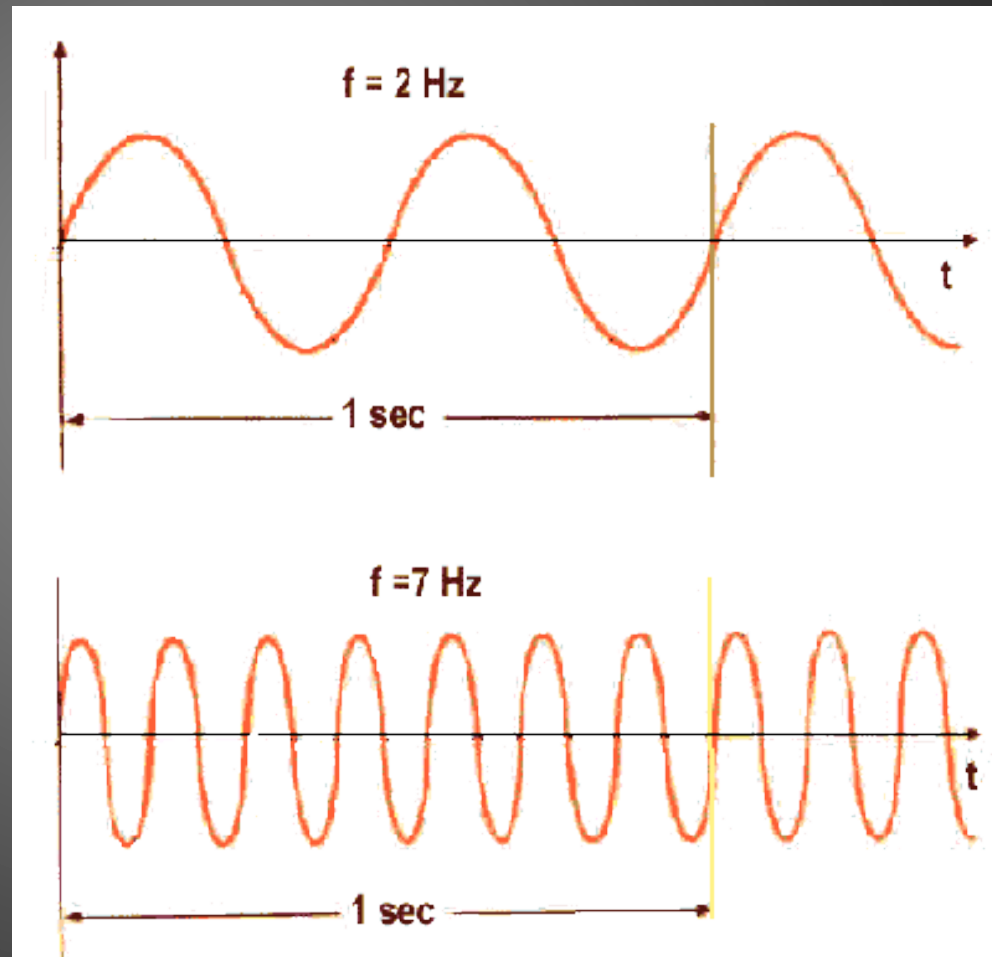
L'onda acustica è descritta da una sinusoide con creste e gole che rappresentano la compressione e la rarefazione del mezzo

Frequenza
Intensità

Frequenza dell'onda acustica

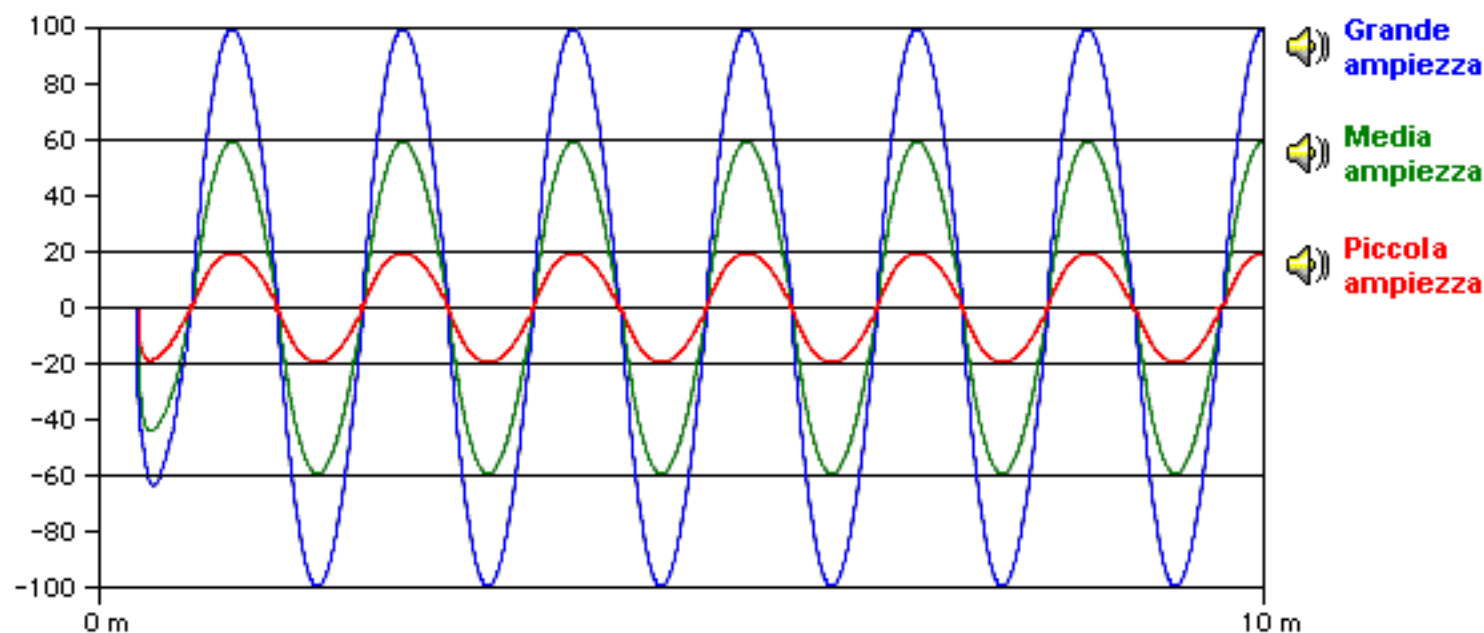
il numero delle oscillazioni che l'onda acustica compie nell'unità di tempo

Frequenza = Hz



Intensità dell'onda acustica

La quantità di energia vibratoria emessa da un corpo vibrante
Massima escursione trasversale che l'oscillazione compie
in riferimento ad una linea ipotetica di riposo



*Il suono:
onda acustica che riesce ad
evocare la sensazione
uditiva*



- Onde acustiche la cui frequenza sia compresa tra 20 e 20.000 HZ
(*INFRASUONI* $< 20 \text{ Hz}$ - *ULTRASUONI* $> 20.000 \text{ Hz}$)
- Onde acustiche la cui intensità superi la soglia di sensibilità
e sia inferiore alla soglia del dolore
- Onde acustiche che abbiano una durata minima nell'ordine di
un centesimo di secondo

Parametri fisiologici del suono

Altezza

Intensità

Timbro



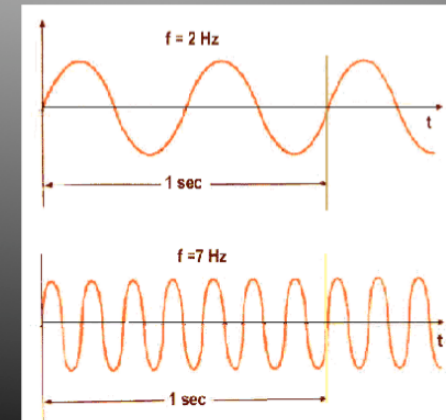
Altezza

(frequenza)

Frequenza dell'onda acustica

il numero delle oscillazioni che l'onda acustica compie nell'unità di tempo

Frequenza = Hz



L' orecchio umano ha la capacità di udire suoni di una grande estensione di frequenza tra i **20 e 20.000 HZ** .

L'altezza è un carattere soggettivo e pertanto l'ascoltatore ordina i suoni secondo una scala che va dal suono acuto a quello medio fino al suono basso

Il suono è tanto più acuto quanto più è elevata la sua frequenza

Potere di discriminazione delle variazioni di frequenza

Il limite minimo discriminabile dell'orecchio umano è di 2-3 Hz

Ciò equivale a dire che inviando un tono puro di 1000 Hz e variandolo di 1 Hz, l'orecchio umano non percepisce alcuna variazione.

Potere di discriminazione delle variazioni di frequenza

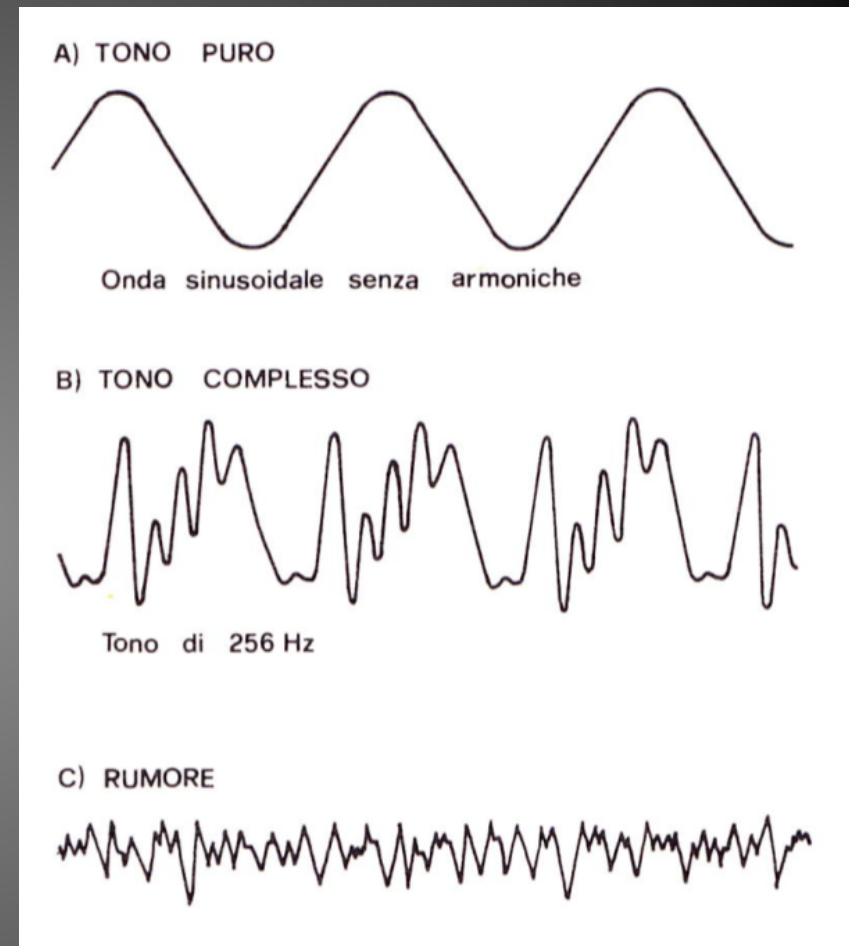
La sensazione di altezza cresce come logaritmo di base 2 della frequenza .

L'ottava , serie di suoni che sono in rapporto di frequenza di 2 a uno con l'ottava precedente, obietta bene l'accrescimento della sensazione di altezza dell'orecchio .

Suoni puri : vibrazione monocromatica ossia di un'unica frequenza

Suoni complessi : diversi suoni puri le cui frequenze sono legate da un rapporto matematico (2:1 , 3:2 ecc) . Il tono di frequenza più basso prende il nome di fondamentale mentre gli altri toni si chiamano armoniche

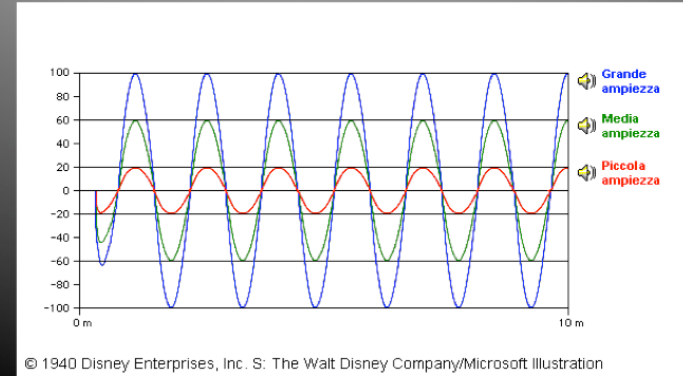
Rumori : diversi suoni non legate ad un rapporto matematico



Intensità

Intensità dell'onda acustica

La quantità di energia vibratoria emessa da un corpo vibrante
Massima escursione trasversale che l'oscillazione compie
in riferimento ad una linea ipotetica di riposo



L' orecchio umano ha la capacità di udire suoni di una grande estensione di potenza compresi tra 1 e 1.000 miliardi .

Valori minimi : apprezza suoni la cui energia sia pari a 10^{-11} watt/cm² (le oscillazioni hanno un'ampiezza di pochi angstrom pari al diametro di un atomo)

Valori massimi : apprezza suoni di 1 watt/cm²

La sensazione soggettiva di intensità non discrimina i singoli stimoli se presentati in progressione aritmetica (1,2,3,4,5,6...) ma riesce a discriminarne la differenza solo se lo stimolo successivo viene moltiplicato per il fattore 10 (1,10,100,1000,10.000,100.000,...)

Quindi la percezione non aumenta con lo stesso passo dello stimolo che lo produce .

Ciò ha portato alla introduzione di una scala diversa da quella fisica (watt/cm²) che si basa sul suo logaritmo e la cui unità di misura è il decibel (Db)

Potere di discriminazione delle variazioni di intensità

Per un suono di 1000 Hz l'orecchio umano è in grado di discriminare una variazione di intensità di circa 1 dB ove si stimoli con intensità di poco superiori alla soglia uditiva.

Una variazione inferiore ad 1 decibel non può essere percepita.

Il decibel è l'unità di misura logaritmica dell'ampiezza sonora.

Il decibel non è un'unità di misura assoluta ma un'unità di misura relativa correlata alle caratteristiche della sensibilità dell'orecchio umano, in cui lo zero corrisponde al minimo suono che l'orecchio umano può percepire.

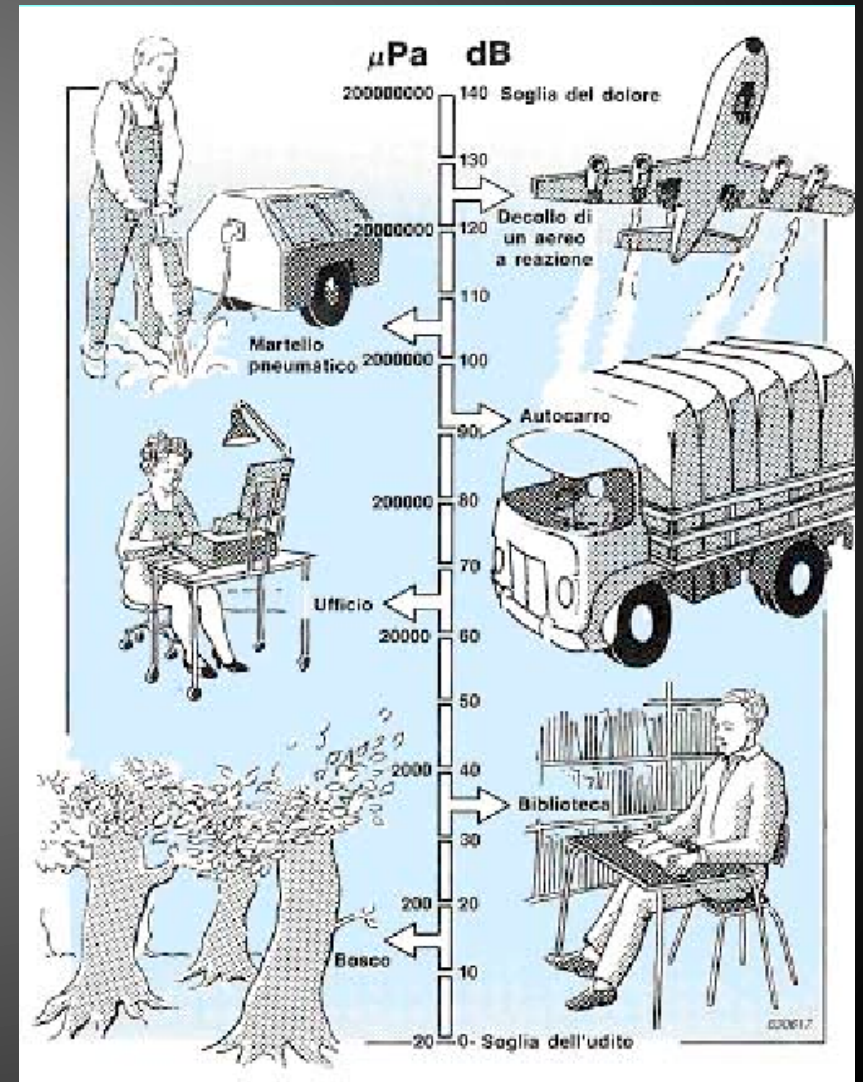
In termini di dB il range dell'udibile nell'uomo è compreso tra 0 e 100-120 dB.

In un ambiente giudicato silenzioso il livello di rumorosità è pari a 40 dB;

La normale voce di conversazione si pone su valori di circa 60 dB

Un ambiente particolarmente rumoroso quali una fabbrica o una discoteca può raggiungere valori di 85-110 dB.

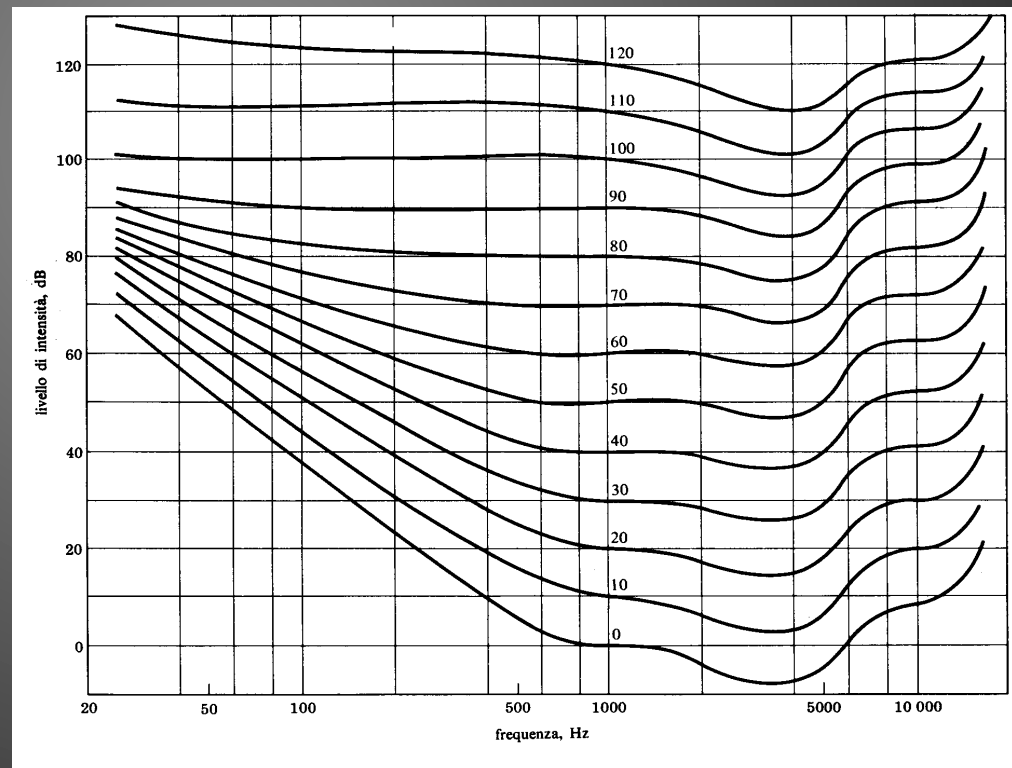
Rumori di tipo esplosivo (armi da fuoco) o prodotti da motori molto potenti (aerei, razzi, ecc..) possono superare i 120 dB



La soglia uditiva varia in rapporto alla frequenza

La soglia del dolore (130 dB) è uguale per tutte le frequenze

La soglia del fastidio (100 dB) è uguale per tutte le frequenze



Timbro

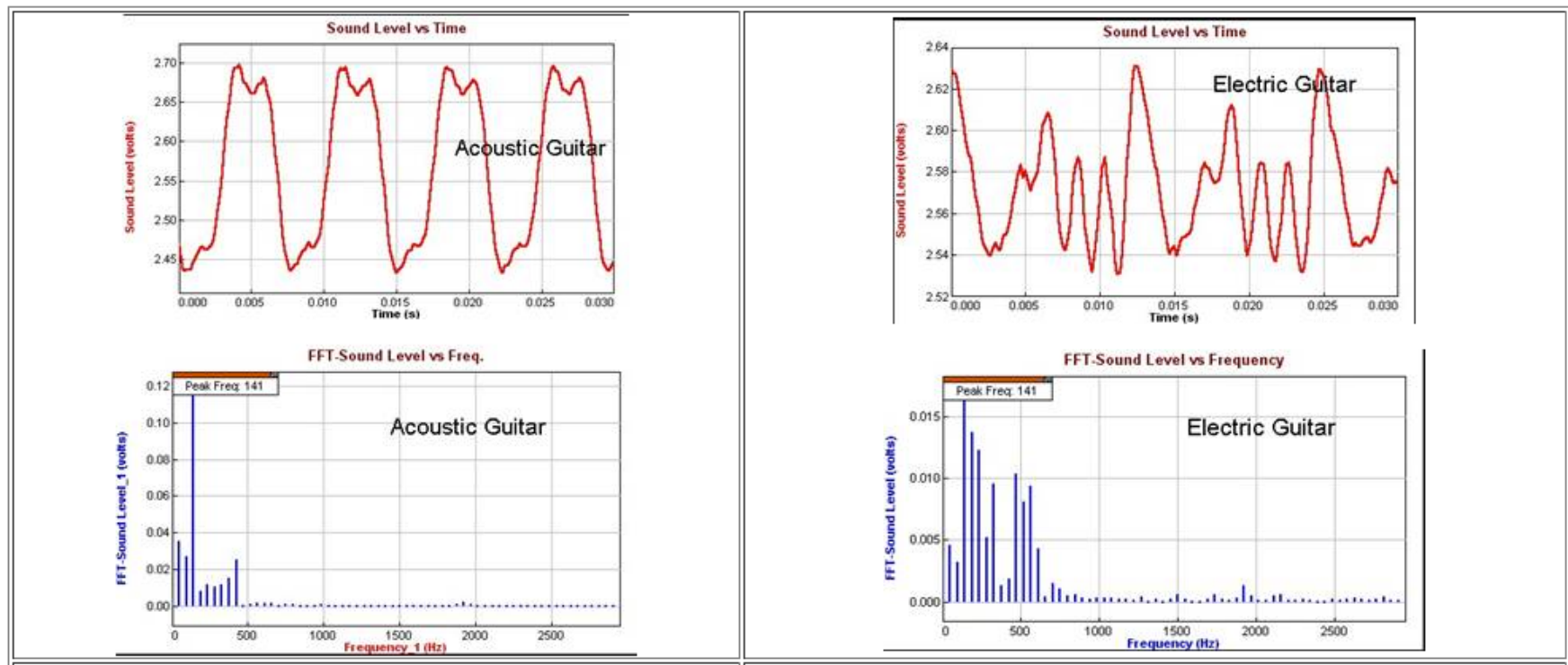
Il timbro è un carattere che dipende dalla forma delle vibrazioni .

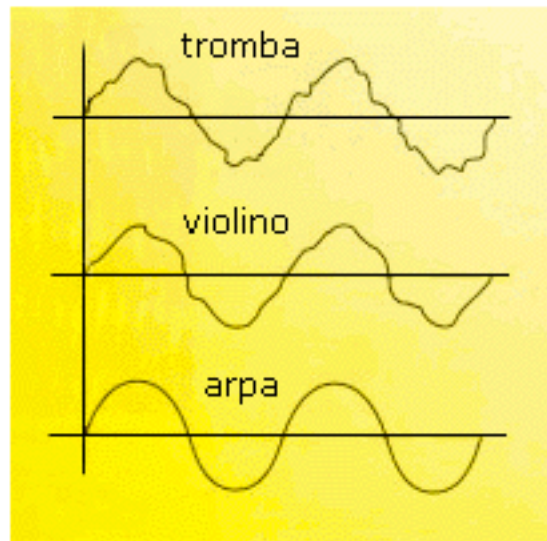
Esprime la sensazione di colore di un suono .

Il timbro si deve al fatto che il suono non è quasi mai costituito in natura da una vibrazione monocromatica ma da una sovrapposizione di numerose frequenze armoniche .

Il nostro orecchio è un buon analizzatore di frequenze : è in grado di distinguere due o più suoni che hanno frequenza diversa e di riconoscere in due suoni con la stessa frequenza il diverso contributo di armoniche

Se ascoltiamo una stessa nota musicale ottenuta con strumenti musicali differenti, nonostante abbiano la stessa frequenza, il nostro orecchio le percepisce come diverse. In altre parole il nostro orecchio calcola la FFT del segnale, cioè percepisce la differenza di armoniche che ci sono nel segnale.





Così a parità di vibrazioni, suoni della stessa **altezza** della medesima **durata** e **intensità**, quindi con uguale potenza di volume,
se eseguiti da tre strumenti diversi
disegnano le oscillazioni in modo facilmente riconoscibile,
questo perchè ogni strumento
ha la sua "voce" ovvero
il proprio timbro.

Domande d'esame

- 1. Cos'è il decibel?**
- 2. Cos'è l'onda acustica?**
- 3. Qual è la differenza tra onda sonora e suono?**
- 4. Quali sono i parametri fisiologici del suono?**
- 5. Qual è la velocità di propagazione dell'onda acustica nel vuoto?**



Giovanni Ralli (gralli@libero.it)

**Dipartimento di Organi di Senso
Università di Roma La Sapienza**

Lezione I 3 marzo 2015

Orecchio: Elementi di fisica .

