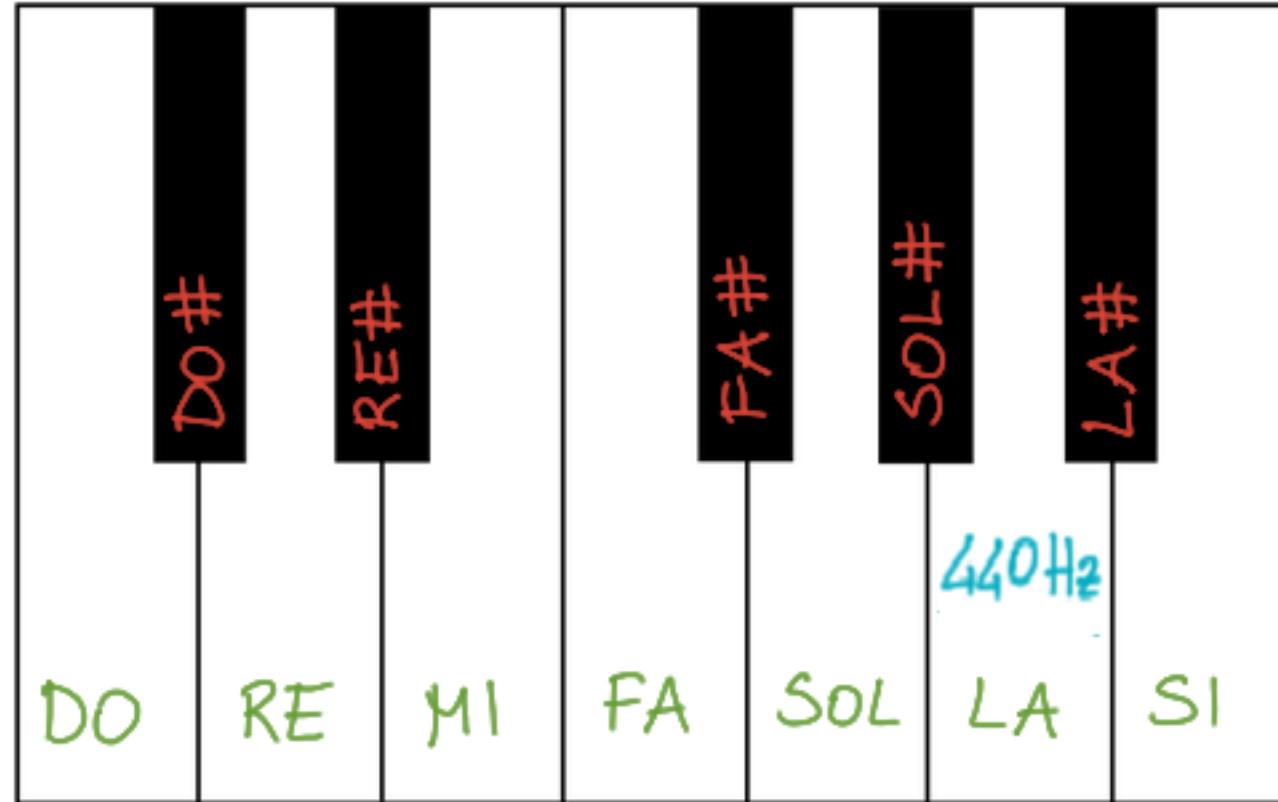


# Fisica 4I.2

## Acustica



Con riferimento al pianoforte e al temperamento equabile, vi è corrispondenza tra specifici tasti e specifiche note, ossia specifiche frequenze.

L'intervallo tra una nota e quella di frequenza doppia è detto ottava (poiché coinvolge 8 tasti bianchi). Questo intervallo è a sua volta suddiviso in 12 semitonni, alias 6 toni, che a livello di frequenze determinano una progressione geometrica.

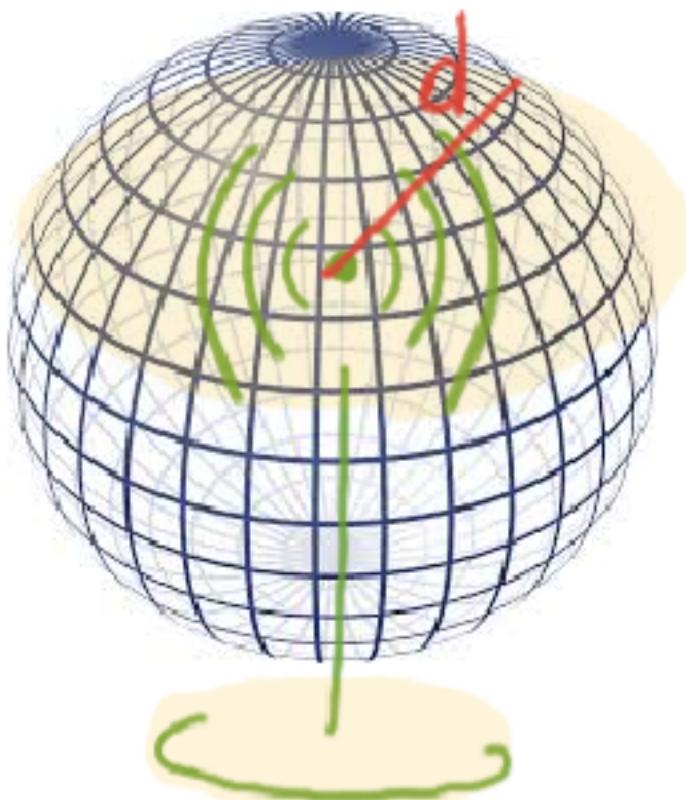
Sulle tastiere un semitono è l'intervallo che coinvolge due tasti immediatamente adiacenti, bianchi o neri:

che siano. Ad esempio DO-DO#, MI-FA e SI-DO sono semitonni. In un semitono il rapporto tra le frequenze delle note coinvolte è  $2^{1/12} = \sqrt[12]{2} \approx 1,059463$ . Gli intervalli che suonano più gradevoli (consonanti) sono quelli che ricreano i modi naturali di vibrazione di una corda o di un tubo, ossia quelli che corrispondono a rapporti di frequenze uguali (o quasi) a frazioni con numeratore e denominatore piccoli.

Denom. intervallo	Num. semitonii	Esempio	Repp. di freq.
ottava	12	DO <sup>2</sup> - DO <sup>3</sup>	2
sesta	9	DO - LA	$2^{9/12}$ $\approx$ 5/3
quinta	7	DO - SOL	$2^{7/12}$ $\approx$ 3/2
quarta	5	DO - FA	$2^{5/12}$ $\approx$ 4/3
terza	4	DO - MI	$2^{4/12}$ $\approx$ 5/4

Altri sotto-intervalli dell'ottava sono generalmente considerati dissonanti.

Intensità



potenza P

Non è una cattiva idea rivedere le proprietà dei logaritmi, poiché coinvolti sia in faccende di frequenza che di volume.

$$\log(a^b) = b \log(a)$$

$$\log_a(b) = \ln(b)/\ln(a)$$

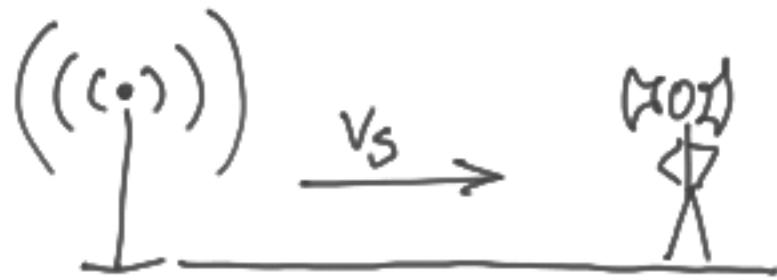
Dato una sorgente sonore puntiforme, l'intensità reale del suono dipende unicamente delle potenza delle sorgente (energia / tempo) e della distanze tra sorgente e ricevitore, secondo la relazione  $I = P / (4\pi d^2)$ . L'intensità reale  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  è quella al di sotto delle quale l'orecchio umano non percepisce alcun suono.

L'intensità percepita, anche detta volume, è correlata all'intensità reale tramite la relazione  $\text{volume in decibel} = 10 \cdot \log_{10}(I/I_0)$ .

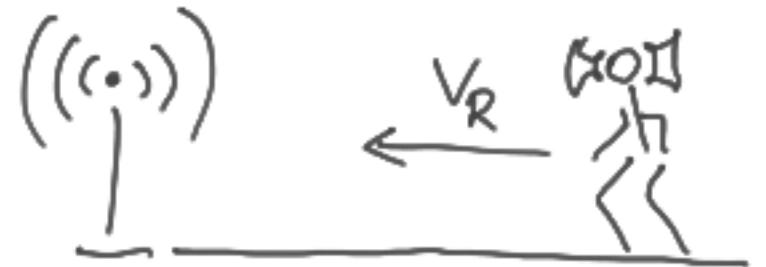
Poiché  $2^{10} \approx 10^3$ , +3db corrispondono quasi esattamente ad un redoppio di potenza.

# Effetto Doppler

Quando una sorgente sonora e un ricevitore non sono solidali le frequenze emessa non coincide con quelle percepita. Dette  $v$  le velocità di propagazione del suono nel mezzo che separa sorgente e ricevitore\*, avviene quanto segue :



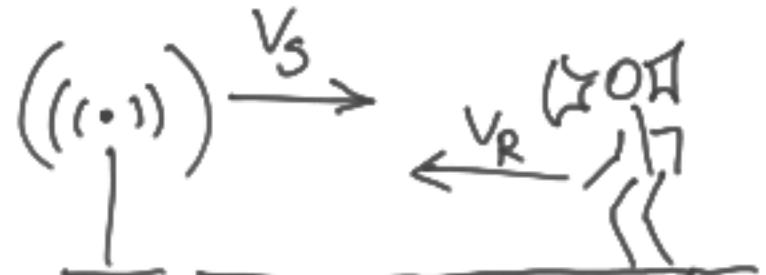
$$f_{\text{perc}} = f_{\text{em}} \cdot \frac{v}{v - v_s}$$



$$f_{\text{perc}} = f_{\text{em}} \cdot \frac{v + v_r}{v}$$

le fatto che il fenomeno sia esimmetrico viola i principi della relatività galileiana , per cui le leggi delle Fisice sono le stesse in ogni sist. di rif. inerziale.

E combinendo le due cose...



$$\frac{f_{\text{perc}}}{f_{\text{em}}} = \frac{1 + v_r/v}{1 - v_s/v}$$

A quanto pare per le onde c'è un sistema di riferimento privilegiato, che è quello del mezzo entro cui le onde si propagano.

Le cose stanno davvero così ? Spoiler: NO , vedi relatività ristretta.

Simil 1

Cosa diventa la sequenza Si-Do-Sol (ascendente) se trasportata 1 tono più in basso?

LA - LA# - FA

Simil 2

Se siete ad un concerto rock e a 5m dal palco avvertite un suono a 100db, che volume avvertite se vi portate a soli 2m dal palco?

L'intensità reale aumenta di un fattore  $25/4$ , dunque il volume aumenta di  $10 \log_{10}(25/4) \approx 8$  decibel, portandosi a  $\approx 108$  db.

Simil 3

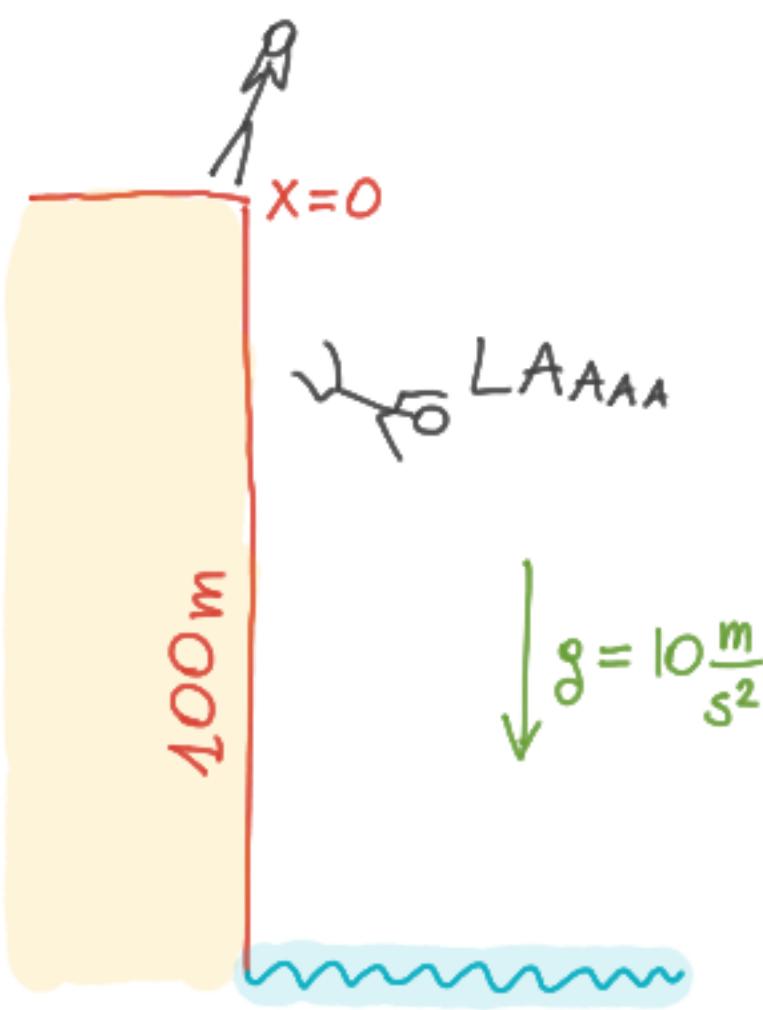
Se un celacanto nuota a 10m/s diretto verso una parete rocciosa, cantando un Si dell'ottava centrale, che nota gli torna indietro?



Nota: la velocità del suono nell'acqua è 1500m/s.

Preticacemente la stessa nota, in quanto le frequenze di ritorno è quella di partenza moltiplicata per  $(1+10/1500) / (1-10/1500)$   
 $\approx 1 + \frac{20}{1500} = 1 + \frac{1}{75}$ , che corrisponde a meno di  $\frac{1}{4}$  di semitono.

### Simil 3



Osservazione:  
basti qualcuno con  
l'orecchio assoluto  
e un contante  
sacrificabile  
per misurare  
g con buona  
precisione.

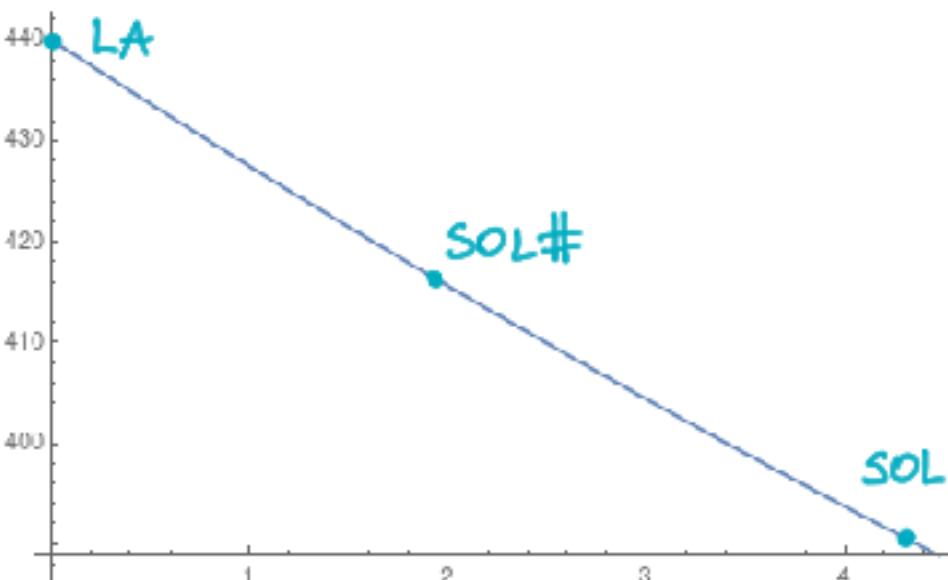
Ma non fatelo.

Qualcuno precipita da una rupe alta 100m cantando un LA dell'ottava centrale (440 Hz). Come varia al passare del tempo la frequenza percepita dall'ammico che resta in cima alla rupe?

**Soluzione.** Nell'opportuno sistema di riferimento il moto delle sorgente è descritto da  $\alpha = g$ ,  $v = gt$ ,  $x = \frac{1}{2}gt^2$  e il tempo d'impatto

è dato dalla soluzione di  $100m = \frac{1}{2}gt^2$ , ossia è  $\sqrt{20} s \approx 4.47s$ .

Per allontanamento della sorgente dal ricevitore la frequenza percepita al tempo  $t$  è  $440 \text{ Hz} / (1 + gt/v)$ , con  $v$  velocità di propagazione del suono nell'aria. Nell'ipotesi  $v = 340 \text{ m/s}$  il grafico di  $f(t)$  ha il seguente aspetto (iperbolico):



Durante la caduta abbiamo  
un abbassamento di circa 1 tono.