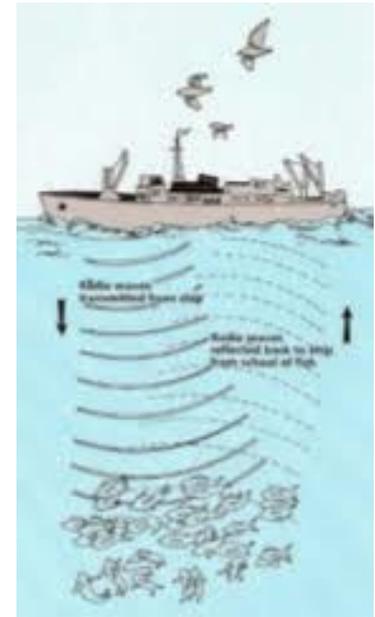


# VELOCITA'

Dipende dalla natura e dalle proprietà fisiche del mezzo

MISURA Si misura il tempo che intercorre tra la ricezione di due segnali

- Un segnale sonoro e uno luminoso
- due segnali sonori (metodo dell'eco)

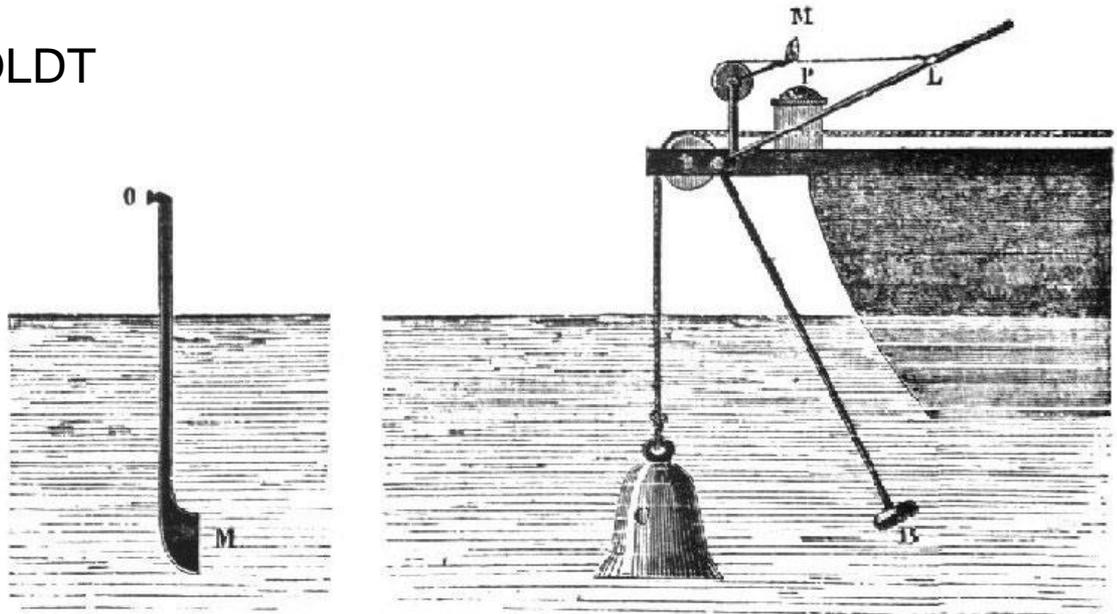


1822 ARAGO e VON HUMBOLDT

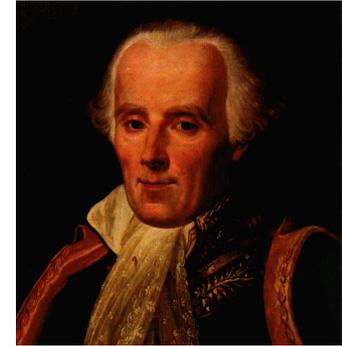
- cannone, distanza di 18 km
- $v = 333$  m/s (nell'aria)

1827 COLLADON e STURM

- campana ed esplosione, distanza di 13 km
- $v = 1435$  m/s (nell'acqua)



# LEGGE PER LA DETERMINAZIONE DELLA VELOCITA' IN UN AERIFORME



P. S. de Laplace (1749-1827)

$$c = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}} = \sqrt{\gamma \frac{pV}{\rho V}} = \sqrt{\gamma \frac{nRT}{nM_0}} = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M_0}}$$

$p$  pressione

$\rho$  densità

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

$M_0$  massa molare

NELL'ARIA



$$\gamma = 1,4 \quad M_0 = 29 \text{ amu}$$



$$T = 273 \text{ K } (0 \text{ } ^\circ\text{C}) \rightarrow c = 330 \text{ m/s}$$

$$T = 290 \text{ K } (17 \text{ } ^\circ\text{C}) \rightarrow c = 340 \text{ m/s}$$

VELOCITA'

Ricordando che  $f \cdot \lambda = c \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f}$

si ottiene  $\lambda_{\min} = \frac{340 \text{ m}}{20000 \text{ s}} \cdot s = 0,017 \text{ m} = 1,7 \text{ cm}$

$$\lambda_{\max} = \frac{340 \text{ m}}{16 \text{ s}} \cdot s \approx 21 \text{ m}$$

## LEGGE PER LA DETERMINAZIONE DELLA VELOCITA' IN UNA CORDA

$$c = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$$

$\tau$  

tensione della corda  
(forza di trazione esercitata su di essa)

$\mu$  

massa per unità di lunghezza

# Caratteristiche del suono: ALTEZZA, INTENSITA' e TIMBRO

## ALTEZZA

Permette di distinguere tra loro le NOTE MUSICALI

E' determinato dalla FREQUENZA dell'onda



Un suono è tanto più acuto quanto minore è il tempo impiegato dalle particelle del mezzo per compiere una oscillazione completa

MISURA Si confronta il suono con quello emesso da una sorgente di cui si conosce la frequenza (es. diapason)

NOTE MUSICALI → 50 Hz ÷ 15.000 Hz

VOCE UMANA → 65 Hz ÷ 8.000 Hz

BASSO → 65 Hz ÷ 290 Hz

SOPRANO → 260 Hz ÷ 1000 Hz



I suoni possono originare nell'ascoltatore sensazioni piacevoli (accordo o assonanza) o spiacevoli (disaccordo o dissonanza)



Dipendono dall'INTERVALLO tra i suoni



Più è semplice più i suoni sono gradevoli

INTERVALLO  
tra i suoni

=

rapporto tra le frequenze  
dei due suoni

## SCALE MUSICALI



SCALA NATURALE o SCALA  
IN DO MAGGIORE (Zarlino  
XVI sec)

- Serie costituita da OTTAVE
- Arricchita con note intermedie (bemolle e diesis): 21 intervalli con rapporto tra le frequenze pari a 25/24

SCALA TEMPERATA (J.S.  
Bach XVII sec)

- Ogni OTTAVA è divisa in 12 intervalli uguali (semitoni)
- Rapporto tra le frequenze

$$\sqrt[12]{2} \approx 1,059463$$

ALTEZZA

# SCALA NATURALE o SCALA IN DO MAGGIORE (Zarlino XVI sec)

Prima OTTAVA

	do	re	mi	fa	sol	la	si
$f$	264	297	330	352	396	440	495
$f/f_0$	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8

Seconda OTTAVA

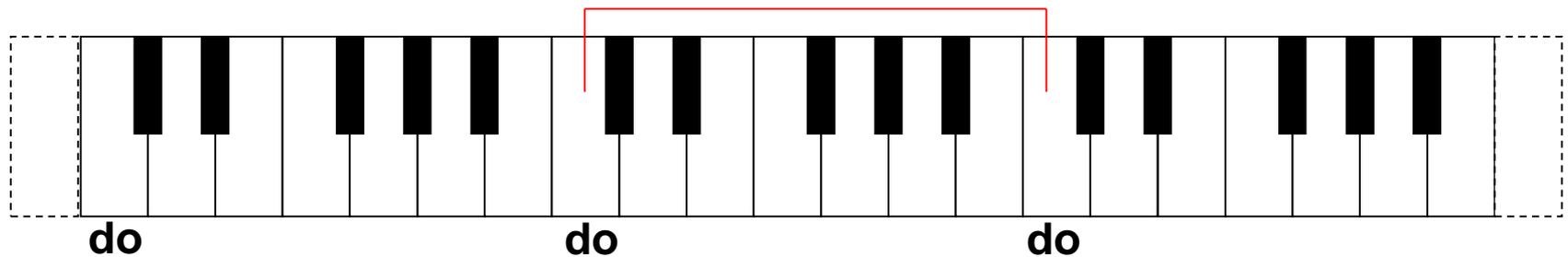
	do2	re2	mi2	fa2	sol2	la2	si2
$f$	528	594	660	704	792	880	990
$f/f_0$	2	9/4	5/2	8/3	3	10/3	15/4

## SCALA TEMPERATA (J.S. Bach XVII sec)

	do	do#	re	re#	mi	fa	fa#
$f$	261,6	277,2	293,7	311,1	329,7	349,2	369,9
$f/f_0$	1	$\sqrt[12]{2}$	$\sqrt[12]{4}$	$\sqrt[12]{8}$	$\sqrt[12]{16}$	$\sqrt[12]{32}$	$\sqrt[12]{64}$

	sol	sol#	la	la#	si	do	
$f$	392,0	415,3	440	466,2	493,9	523,2	
$f/f_0$	$\sqrt[12]{128}$	$\sqrt[12]{256}$	$\sqrt[12]{512}$	$\sqrt[12]{1024}$	$\sqrt[12]{2048}$	2	

Prima OTTAVA



## STRUMENTO A CORDE

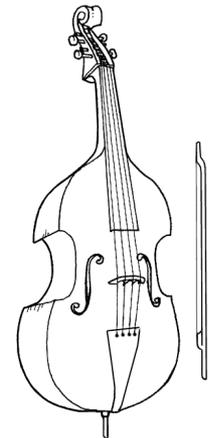
Studiando il modo di vibrazione di una corda avevamo trovato che:

$$f_n = \frac{v}{\lambda} = \frac{n}{2L} \cdot v = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$$

$\tau$  tensione della corda

$\mu$  massa per unità di lunghezza  
(spessore della corda )

**Accordare uno strumento a corde** significa variare la **tensione  $\tau$**  della corda

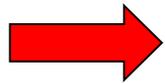


ALTEZZA

# INTENSITA'

Si identifica con il "VOLUME" del suono

E' determinato dalla QUANTITA' DI ENERGIA TRASPORTATA dall'onda



Dipende dall'AMPIEZZA DELL'ONDA

..... ma anche dalla FREQUENZA

## CALCOLO DELL'ENERGIA TRASPORTATA

Ogni particella vibrante possiede una energia  $E = E_p + E_c$

Se il moto è armonico (legge di Hooke  $\underline{F} = -k\underline{x}$ ):

$$E = E_p = \frac{1}{2}kA^2 \quad \text{all'estremo dell'oscillazione}$$

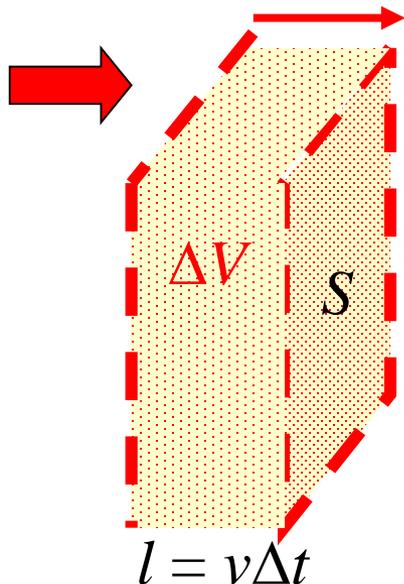


da  $\vec{a} = -\omega^2 \vec{x}$  ricaviamo  $m\vec{a} = -m\omega^2 \vec{x} = -k\vec{x}$

cioè  $k = m\omega^2 = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = 4\pi^2 m f^2$

➔  $E = \frac{1}{2} (4\pi^2 m f^2) A^2 = 2\pi^2 m f^2 A^2$  Energia trasportata da una particella

Energia trasportata dall'onda:



Con  $M = \rho \cdot \Delta V = \rho \cdot S \cdot v \cdot \Delta t$

$E = 2\pi^2 M f^2 A^2 = 2\pi^2 \rho S v \Delta t f^2 A^2$

Densità e velocità

frequenza

ampiezza

INTENSITA'

A PARITA' DI MEZZO:

ENERGIA  
TRASPORTATA  
DALL'ONDA  
(SONORA)

$$E = k S \Delta t f^2 A^2$$

Energia che incide  
perpendicolarmente sulla  
superficie  $S$   
- misurata in *joule*

POTENZA  
DELL'ONDA  
(SONORA)

$$P = \frac{E}{\Delta t} = k S f^2 A^2$$

Energia che **in una  
unità di tempo** incide  
perpendicolarmente  
sulla superficie  $S$   
- misurata in *watt*

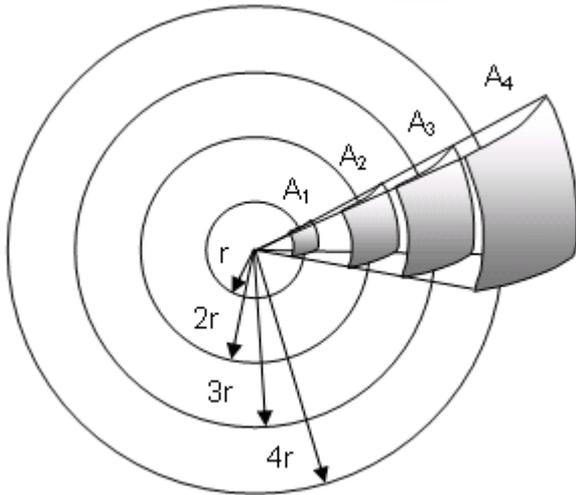
INTENSITA'  
DELL'ONDA  
(SONORA)

$$I = \frac{E}{S \Delta t} = \frac{P}{S} = k f^2 A^2$$

frequenza  
ampiezza

Energia che **in una  
unità di tempo** incide  
perpendicolarmente su  
**una unità di superficie**  
- misurata in *watt/m<sup>2</sup>*

Se la sorgente è PUNTIFORME



$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2} \propto \frac{1}{r^2}$$

Esempio:

Casse acustiche emettono suono alla potenza  $P=0,38 \text{ W}$ , determinare l'intensità dell'onda percepita da tre ascoltatori posti alla distanza di 1m, 10m e 40m:

$$I_1 = \frac{P}{S} = \frac{0,38}{4\pi(1)^2} = 0,03 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad I_{10} = \frac{P}{S} = \frac{0,38}{4\pi(10)^2} = 3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_{40} = \frac{P}{S} = \frac{0,38}{4\pi(40)^2} = 2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$



**INTENSITA'**

I suoni udibili dall'orecchio umano variano da:

	Soglia di udibilità	Soglia del dolore
Intensità	$10^{-12} \text{ W/m}^2$	$1 \text{ W/m}^2$
Potenza ( $S < 1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$ )	$10^{-16} \text{ W}$	$10^{-4} \text{ W}$
Ampiezza, frequenza	$10^{-10} \text{ m}, 10^3 \text{ Hz}$	$10^{-3} \text{ m}, 10^3 \text{ Hz}$
Pressione	$2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$	$20 \text{ Pa}$



**INTENSITA'**

La sensazione sonora non è proporzionale all'intensità sonora ma cresce secondo una scala logaritmica:

LIVELLO SONORO o  
**LIVELLO DI INTENSITA'**  
**OGGETTIVA** o VOLUME  
 DEL SUONO

$$\beta = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad \text{con} \quad I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

→  $\beta$  è un numero puro ma il suo valore si esprime in *decibel* (dB)

→ il *decibel* (dB) è un sottomultiplo del *bel* (1 bel = 10 decibel)

→ la scala varia da

$$0 \text{ dB} \leftrightarrow I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 \quad \left[ 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{10^{-12}}{10^{-12}} \right) = 0 \right]$$

$$120 \text{ dB} \leftrightarrow I = 1 \text{ W/m}^2 \quad \left[ 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{10^{-12}} \right) = 10 \cdot 12 \right]$$



**INTENSITA'**

L'orecchio umano non ha la stessa sensibilità a tutte le frequenze:

→ le frequenze basse sono meno udibili

→ le frequenze basse devono avere una ampiezza maggiore per essere udite

→ l'udibilità massima si ha attorno ai 4000  $Hz$

LIVELLO DI INTENSITA'  
SOGGETTIVA o LIVELLO  
SONORO FISIOLOGICO  
EQUIVALENTE

$$\varphi = \log_{10} \left( \frac{I}{I_{\min}} \right)$$

Con  $I_{\min}$  soglia di udibilità corrispondente alla frequenza del suono misurato

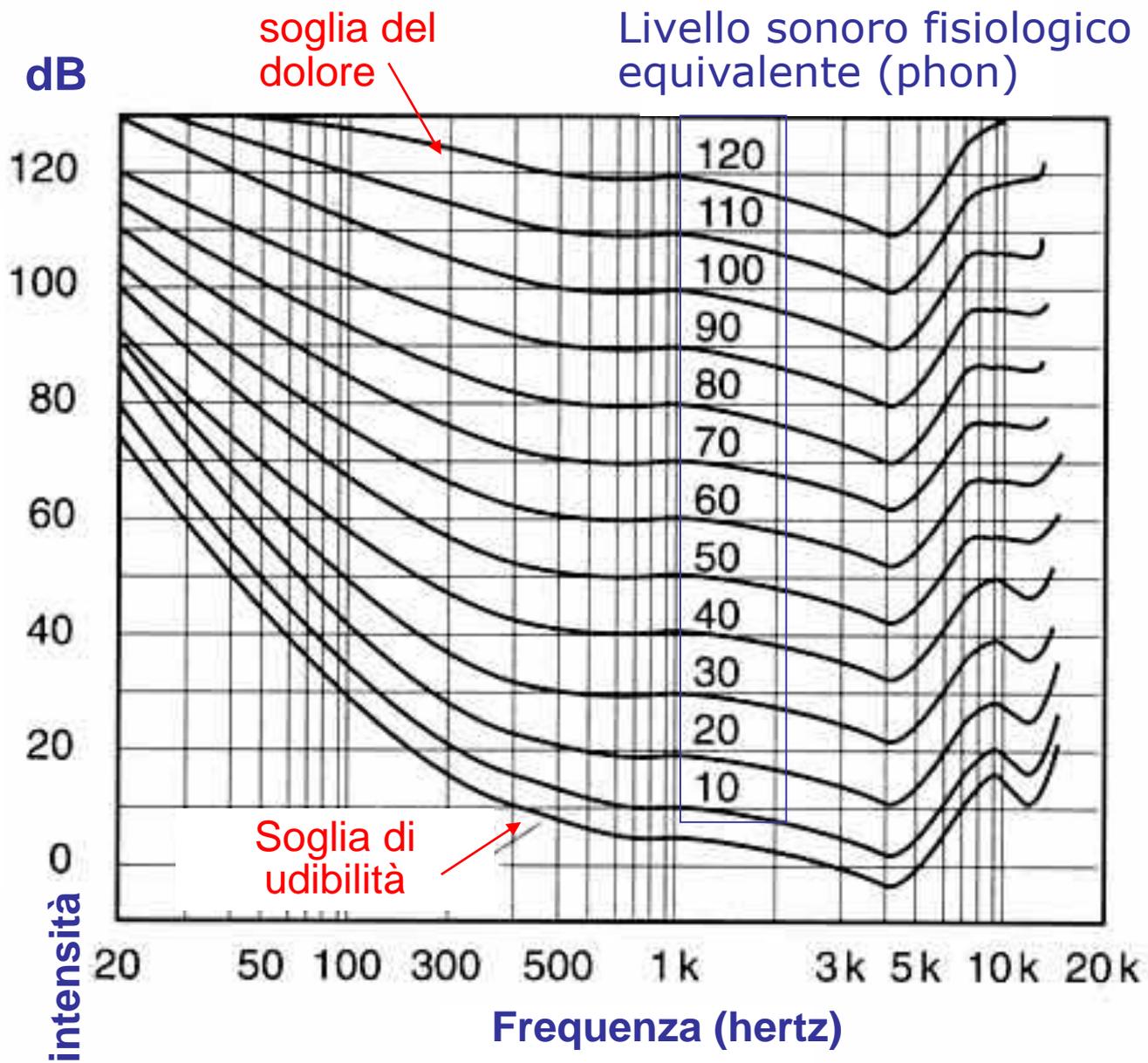
→  $\varphi$  è un numero puro ma il suo valore si esprime in *phon*

→  $1 \text{ dB} = 1 \text{ phon}$  solo alla frequenza di 1000  $Hz$

L'intensità soggettiva di 1 *phon* è uguale al livello di pressione acustica in decibel sopra  $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$  captato da un ascoltatore binaurale normale per un'onda sonora piana sinusoidale di riferimento con frequenza 1000  $Hz$  proveniente direttamente in direzione frontale rispetto all'osservatore



# Curve isofoniche di Fechner



INTENSITA'

# SCALE SISMICHE

## \* SCALA MERCALLI (1897)

È basata sugli effetti provocati dal terremoto e pertanto è soggettiva ed empirica

Comprendeva 10 gradi poi portati a 12



## \* SCALA RICHTER (1935)

È basata sulla quantità totale di energia liberata durante un terremoto

È calcolata in base all'ampiezza delle onde registrate da un sismografo e alla distanza di questo dall'epicentro

È basata su dati strumentali quindi è obiettiva

Misura la **magnitudo**  $m$  del sisma

$$m = \frac{\log_{10} (A_{\max})}{\log_{10} (A_0)}$$

$A_{\max}$  = ampiezza massima della scossa

$A_0$  = ampiezza campione

# SCALA MCS (MERCALLI CANCANI SIEBERG) e SCALA RICHTER

Grado	Caratteristiche	Effetti	Richter
I	Strumentale	Rilevabile solo con i sismografi	<2.5
II	Debole	Rilevabile solo da persone sensibili	3.5
III	Lieve	Sentito solo da persone ferme ai piani superiori degli edifici	4.2
IV	Moderato	Sentito anche da persone in movimento; rovescia gli oggetti e i veicoli fermi oscillano	4.5
V	Alquanto forte	Sveglia le persone che dormono	4.8
VI	Forte	Gli oggetti sospesi oscillano	5.4
VII	Molto forte	Stato di allarme generale; le pareti e i soffitti crollano	6.1
VIII	Distruttivo	Cadono i camini e si incrinano gli edifici a struttura debole	6.5
IX	Rovinoso	Crollo di case, apertura di voragini nel terreno, scoppio di tubazioni	6.9
X	Disastroso	La terra si squarcia, gli edifici vengono in gran parte distrutti, le rotaie si piegano	7.3
XI	Molto disastroso	Restano in piedi poche case, crollano i ponti, tutti gli impianti fuori servizio	8.1
XII	Catastrofico	Distruzione totale, oggetti fluttuanti in aria, la terra si sgonfia ed esplosione	>8.1

## SCALA RICHTER

$$m = 0$$



Sisma di energia  
pari a  $10^5 J$

Massimo valore  
registrato

$$m = 9,5$$

(Valparaiso, Cile  
1960)



Sisma di energia  
pari a  $10^{18} J$

# TIMBRO

E' la caratteristica che ci permette di distinguere il suono emesso da strumenti diversi - chitarra, violino ecc – che suonino la stessa nota con la medesima intensità

E' determinato dalla proporzione (numero e intensità) con cui i vari armonici sono presenti nel suono



dipende dalla forma dello strumento che determina il numero di onde risonanti che si sovrappongono all'onda sonora principale emessa dalla corda

