



# Fisica - Lezione 6

*Pressione e onde sonore*

Maurizio Tomasi ([maurizio.tomasi@unimi.it](mailto:maurizio.tomasi@unimi.it))

Martedì 11 novembre 2025



# Inquisitori accademici onorari



# Introduzione all'argomento di oggi

- Come prima cosa, ultimeremo la trattazione della risonanza studiando alcuni semplici esempi
- Siccome le onde sonore nell'aria si propagano come onde di **pressione**, dovremo introdurre innanzitutto questo concetto...
- ...e poi, finalmente, intodurremo il concetto di “onda” e in particolare di “onda sonora”!



# Esempi di risonanza (conclusione della lezione precedente)



# Spinta di un'altalena

- Per compensare l'attrito dell'aria e le catene non ideali, bisogna continuare a spingere un bambino sull'altalena
- Il fatto che venga naturale spingere ad ogni oscillazione completa corrisponde a quanto abbiamo visto: la forza deve essere sincrona col periodo di oscillazione!





# Casse armoniche

- Una cassa armonica inizia ad oscillare quando la corda ad essa collegata oscilla
- Questo è un fenomeno di risonanza, perché la cassa armonica vibra alla stessa frequenza della corda
- Vedremo meglio nelle prossime lezioni il comportamento degli strumenti musicali





# Edifici antisismici

- Nessun edificio è perfettamente rigido: tutti, se sollecitati, vibrano
- Un po' come un diapason, ogni edificio ha la sua frequenza caratteristica (più l'edificio è alto, minore è la sua frequenza caratteristica)
- Questo significa che se un terremoto fa vibrare l'edificio alla frequenza “sbagliata”, potrebbe generarsi una risonanza... con conseguenze mortali!
- È questo il motivo per cui anche edifici particolarmente robusti possono essere distrutti da un'onda sismica



# Edifici antisismici

- In un edificio antisismico, si inseriscono degli *isolatori sismici*
- Si tratta di elementi inseriti nelle fondamenta, che **aumentano** la massa e quindi diminuiscono la frequenza, in modo che sia minore delle frequenze tipiche delle onde sismiche
- Il risultato è che non è possibile instaurare una risonanza, perché durante un terremoto il suolo vibra troppo rapidamente perché l'edificio entri in risonanza





# Satelliti spaziali

- Durante il lancio, i razzi che portano in orbita satelliti spaziali ricevono moltissime vibrazioni a frequenze ben note
- La strumentazione viene costruita in modo tale da non entrare in risonanza con le vibrazioni del razzo vettore
- A differenza degli isolatori sismici, in questo caso si tende a **ridurre la massa** (ottima cosa!) per aumentare la frequenza naturale di vibrazione, fino a valori così alti da impedire la risonanza





# Le onde



# Le onde

- Un'onda è una perturbazione che si propaga nello spazio, trasportando energia ma non materia
- La propagazione avviene trasferendo energia lungo una certa direzione
- Quest'energia può essere di varia natura: termica, elastica, elettromagnetica...



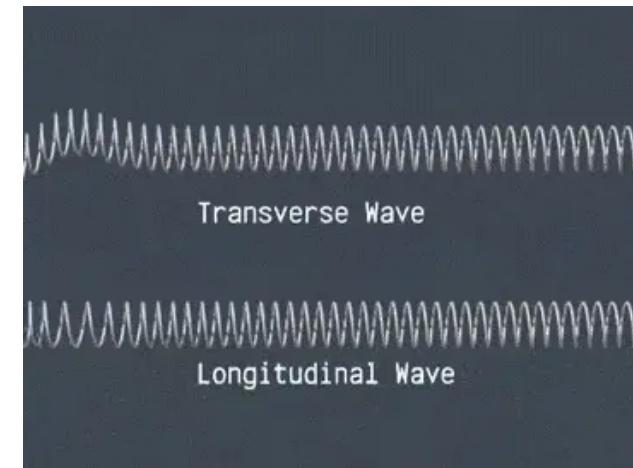
# Esempi

- Le “onde” del mare sono un tipo di onda (abbastanza complesso!)
- La luce è un’onda elettromagnetica
- Il suono è un’onda di pressione
- I terremoti sono causati da onde sismiche



# Tipi di onde

- Le onde si suddividono in due tipi:
  1. Onde trasversali
  2. Onde longitudinali
- A noi interessano le onde sonore, che sono **sempre** longitudinali. Ma è bene sapere che esistono anche le onde trasversali!
- Alcune proprietà delle onde valgono infatti solo per un tipo e non per l'altro, ed è bene non confonderle; inoltre la corda risonante è molto importante in acustica

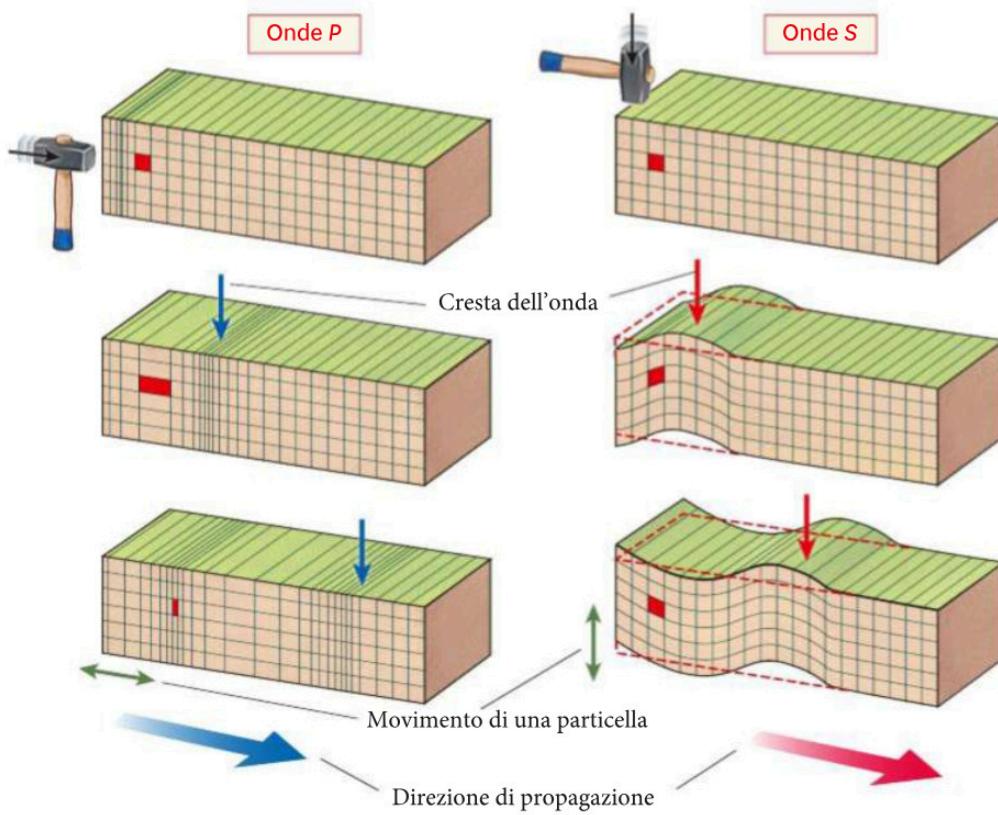


Notate che in nessuno dei due casi gli anelli della molla si muovono: passata l'onda, restano nella posizione iniziale!



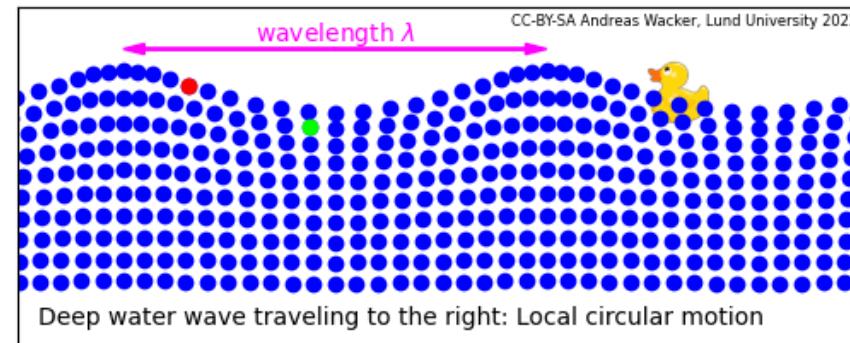
# Onde sismiche

Le onde sismiche possono essere sia longitudinali che trasversali, perché la crosta terrestre si comporta in modo simile ad una molla





# Onde del mare



Di che tipo sono le onde in superficie?



# Onde sonore

- Le onde sonore sono solo di tipo **longitudinale**
- Il motivo per cui non possono essere trasversali ha a che fare con la loro natura: sono onde di **pressione**
- Per capire il loro funzionamento, dobbiamo quindi introdurre prima il concetto di “pressione”



# La pressione



# La pressione

- Nel linguaggio comune, per “pressione” si intende una forza applicata ad una superficie...
- ...e, incredibilmente, è proprio il significato dato in fisica!
- La pressione di una forza su una superficie è definita come il rapporto

$$P = \frac{F}{s},$$

e si misura in  $\text{N/m}^2$  ovviamente. A questa unità è dato il nome di “Pascal”, dal nome del grande filosofo, matematico, teologo e inventore francese.



# Esempi

- Quando sto in piedi in una stanza, esercito una pressione: se  $m = 80 \text{ kg}$  e la superficie dei piedi è di  $2 \times 200 \text{ cm}^2 = 0,04 \text{ m}^2$ , si ha

$$P = \frac{mg}{S} = \frac{80 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2}{0,02 \text{ m}^2 + 0,02 \text{ m}^2} = 20.000 \text{ Pa} = 20 \text{ kPa}$$

- Il mio computer ha una massa di circa  $2 \text{ kg}$  e una superficie di circa  $800 \text{ cm}^2 = 0,08 \text{ m}^2$ . La pressione esercitata sul tavolo è

$$P = \frac{mg}{S} = \frac{2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2}{0,08 \text{ m}^2} = 250 \text{ Pa.}$$



# Unità di misura

- L'unità del SI è il Pascal, che però è un valore molto piccolo per misurare la pressione dell'aria
- Un'altra unità di misura molto usata è l'atmosfera, che è la pressione media dell'aria al livello del mare:

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa.}$$



# Significato

- La pressione è importante quando si applica una forza su una superficie: premendo su un panetto di burro con un coltello di taglio o di piatto, a parità di forza l'effetto è molto diverso!
- La differenza tra il coltello di taglio e di piatto è l'area di contatto: usando il coltello di taglio, la superficie è minore e la forza è più concentrata, aumentandone l'effetto.
- Quando si applica una forza a una superficie anziché ad un punto, è più utile usare il concetto di “pressione” che di “forza”



# Il letto di chiodi

- Al MuSe di Trento potete fare l'esperienza di un letto di chiodi!
- Non si avverte dolore perché il proprio peso (la forza  $F$ ) è sostenuto da circa 1000 chiodi. Quindi la pressione è

$$P = \frac{mg}{1000 \times S_{\text{chiodo}}} = \frac{1}{1000} \frac{mg}{S_{\text{chiodo}}} = \frac{mg/1000}{S_{\text{chiodo}}}$$

È come se foste sostenuti da un solo chiodo, ma pesaste 1000 volte meno!





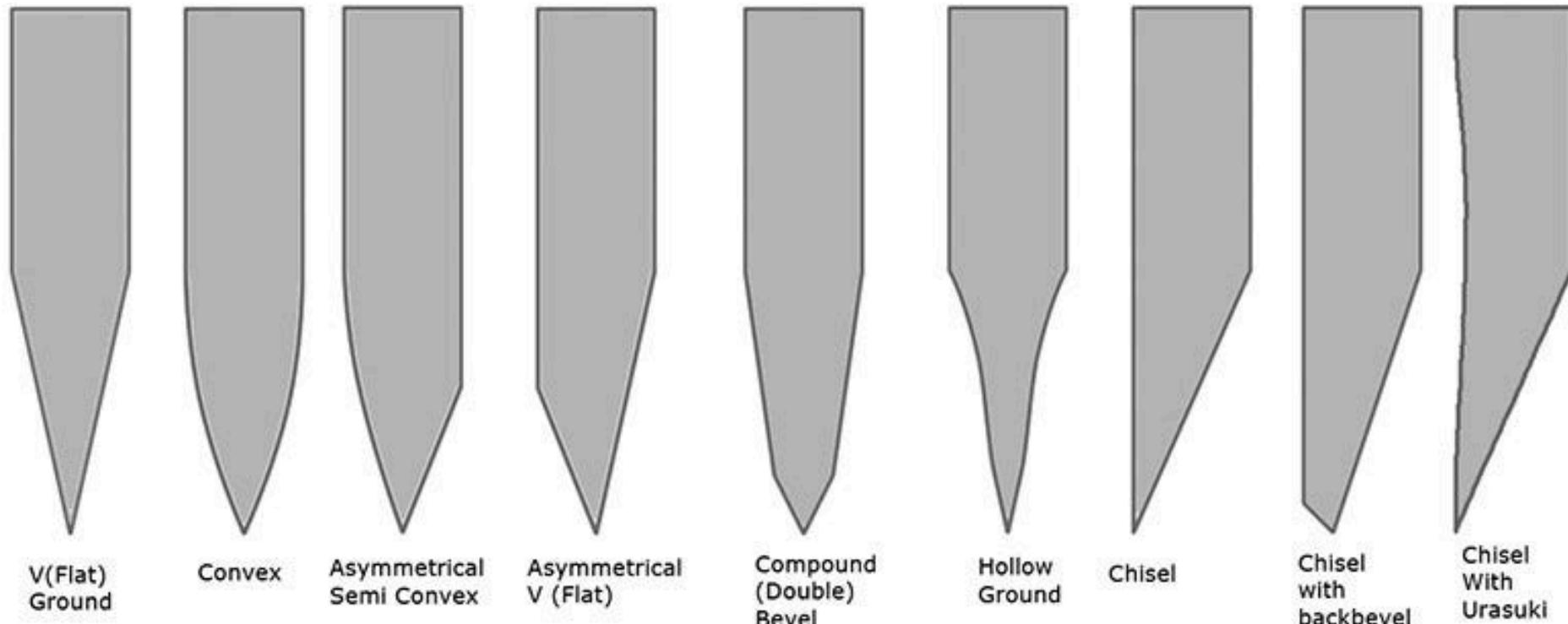
# Ciaspole da neve

- Per camminare sulla neve si usano le ciaspole
- Queste distribuiscono il proprio peso (la forza  $F$ ) su una superficie di contatto  $S$  più ampia, diminuendo quindi la pressione
- Se la superficie di una ciaspola è tre volte quella del piede, è come se si pesasse un terzo del proprio peso





# KNIFE EDGE TYPES



ZKNIVES.COM



I TACCHI SONO I PEGGIORI NEMICI DEL PARQUET?

TOPIC: I TACCHI SONO I PEGGIORI NEMICI DEL PARQUET?



I TACCHI SONO I PEGGIORI NEMICI DEL PARQUET?

Inserito il 28 Gennaio 2020 In Trend topic



# Pressione di un gas

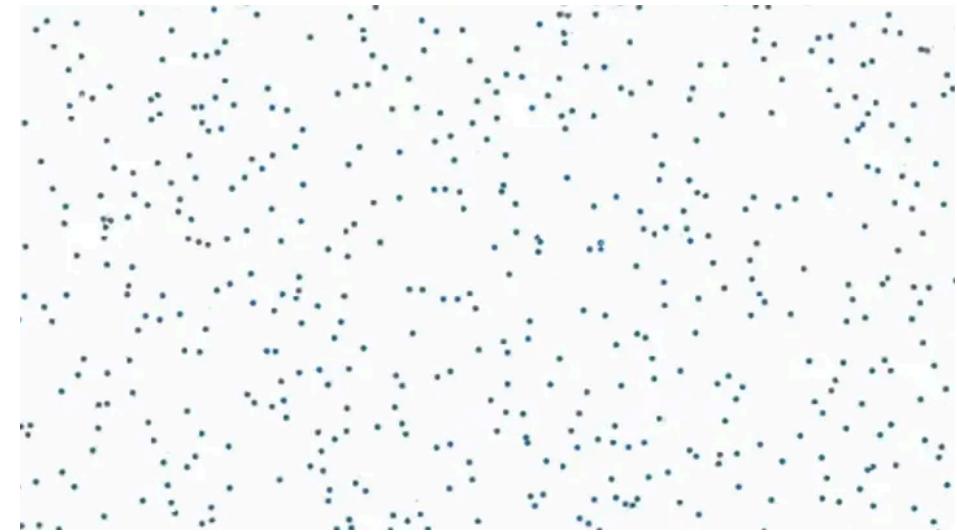
- Si sente spesso parlare di “pressione atmosferica”, che è ciò che misurano i barometri casalinghi. Questa dice quanto l’aria “schiaccia” gli oggetti che sono immersi in essa
- Attenzione però: non è un effetto dovuto alla gravità, o meglio, non è **solo** dovuto alla gravità
- L’aria infatti esercita una pressione anche orizzontalmente (sui muri), e persino sui soffitti!





# Molecole d'aria

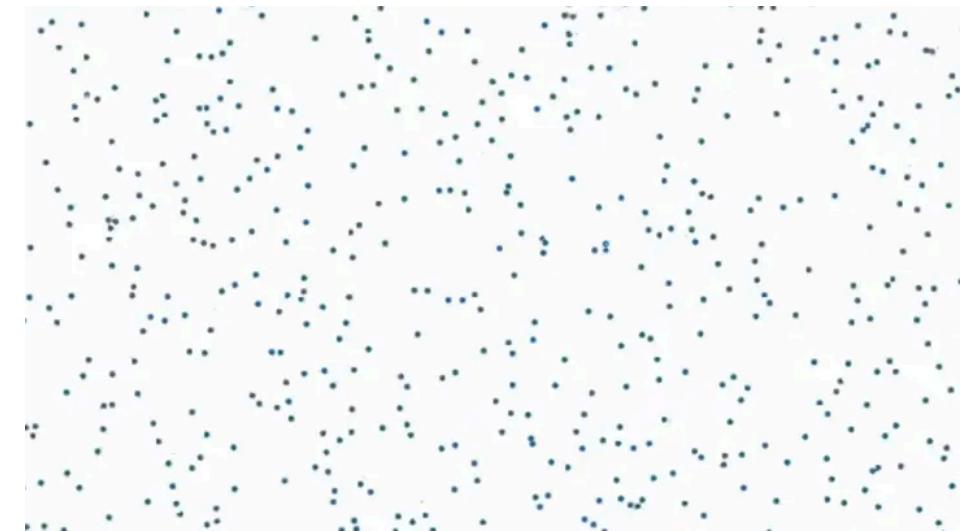
- L'aria è fatta da molecole che si muovono e si scontrano continuamente
- La velocità media dipende dalla molecola (ossigeno, azoto...) e dalla temperatura, ma l'ordine di grandezza è 1000 m/s
- Sono inoltre moltissime: 25 miliardi di miliardi ogni  $\text{cm}^3$ ! Ma, essendo molto poco massive, il loro urto non ci fa male.





# Molecole d'aria

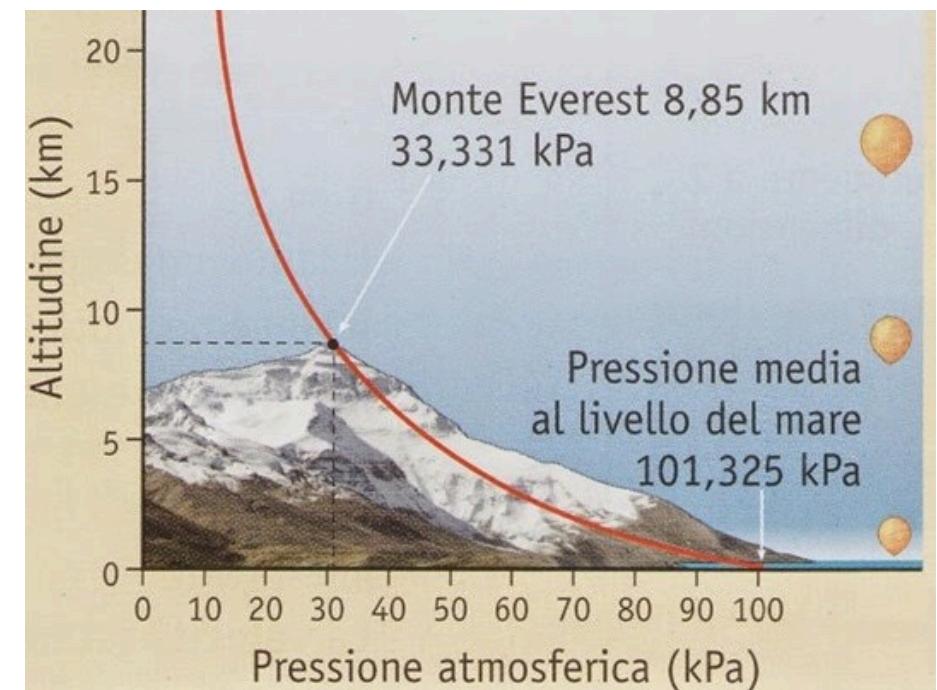
- Proprio perché sono moltissime, è la somma di tutti questi minuscoli urti che genera una pressione misurabile
- Anche la gravità gioca un ruolo, ma non è così rilevante: ogni particella viaggia in media meno di un milionesimo di metro (un “micrometro”,  $\mu\text{m}$ ) prima di urtarne un’altra. È una distanza troppo piccola per notare la caduta della gravità





# Pressione dell'aria

- La gravità cerca di far cadere le molecole
- Ma esse non cadono come gocce di pioggia, perché vengono bombardate e sostenute dagli urti con le compagne sottostanti. L'aria “galleggia” su se stessa grazie a questi urti
- Questo crea un enorme “materasso” di molecole, che si comprimono l'una sull'altra. A livello del mare, siamo sotto il peso dell'intera colonna e la pressione è massima (101325 Pa, circa 100 kPa).





# Pressione e gravità

- Per riassumere:
  1. A causa della gravità, il **valore** della pressione diminuisce con la quota...
  2. ...ma comunque, **ad ogni quota**, la pressione agisce sempre in tutte le direzioni! (Solo che, più in alto si va, minore è questa pressione)
- Una curiosità: a una minore pressione corrisponde sempre una minore densità d'aria (meno particelle nello stesso volume), che è il motivo per cui in cima all'Everest si respira a fatica!



# La pressione su di noi

- Ma quindi la pressione dell'aria ci sta schiacciando anche in questo momento?
- **CERTO!** In ogni istante l'aria preme su di noi come un peso di 15–20 tonnellate! (Supponete una superficie della pelle di 1,5–2 m<sup>2</sup>)
- Ma il nostro corpo è adattato all'aria, ed esercita dall'interno una pressione verso l'esterno che bilancia quella dell'aria
- Qualcuno ricorda la [scena finale](#) di [Total Recall](#) (Verhoeven, 1990)?
- Tutti gli organismi viventi hanno meccanismi di regolazione della pressione adatti all'ambiente in cui vivono



# Vita a 6.600 m di profondità

Mariana Trench: 6,600m Exploration



La pressione è circa 660 atm.



# *Psychrolutes marcidus*



In natural habitat  
3,000+ feet below sea-level

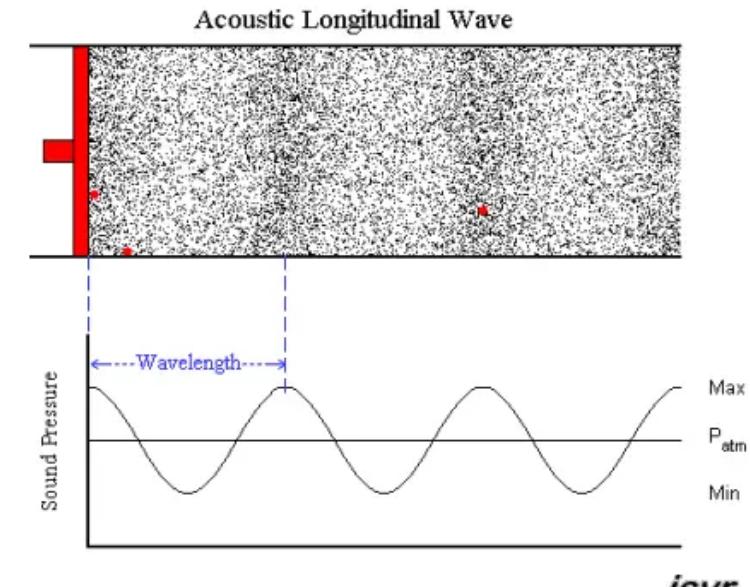
After extreme tissue damage from  
being pulled up rapidly by fishers

Psychrolutes marcidus AMS I.42771-501



# Pressione ed onde

- Quando un corpo si muove in un fluido, genera una perturbazione: spostandosi, urta e spinge le particelle, addensandole ed aumentando la pressione
- Le particelle spingono via le vicine trasferendo energia cinetica, ma lasciano alle spalle una zona meno fitta, dove la pressione è minore
- Questa compressione/rarefazione si ripete a catena: ogni particella urta la vicina, trasferendo l'energia cinetica in avanti

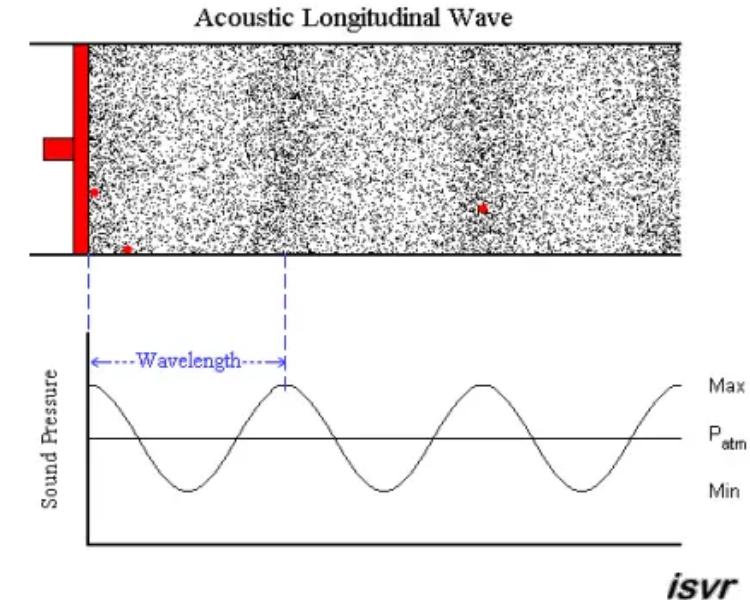


isvr



# Densità e pressione

- Si vede nell'animazione a lato che l'onda appare come una specie di banda nera che si propaga
- Il motivo per cui appare la banda è che quando la pressione aumenta, aumenta anche la densità (numero di particelle in un dato volume)
- Un'elevata pressione corrisponde a molti urti: ed ovviamente, gli urti sono più numerosi dove è più facile trovare particelle!



*isvr*



# Simulazione

- Facciamo un gioco! Scegliamo una fila di banchi abbastanza popolata, e con le persone sedute una vicina all'altra
- Chi è ad un'estremità tocchi il braccio della persona vicina, la quale farà lo stesso con quella dopo
- Dopo aver provato una volta, la persona in cima alla fila ora dia tocchi regolari. Verifichiamo che la persona all'altro capo riceva impulsi con lo stesso periodo (frequenza)



# Onde sonore



# Analogia col suono

Il gioco che abbiamo fatto presenta analogie con la propagazione sonora:

- Gli “impulsi” della prima persona si propagano nella stanza, anche se nessuna persona ha cambiato il suo posto.
- Si tratta di un’onda longitudinale: tutto il movimento avviene lungo la fila, senza coinvolgere quella davanti o dietro
- Ciascun impulso non si propaga istantaneamente, ma richiede qualche tempo per raggiungere l’altra estremità della fila
- Se le persone sedessero più separate tra loro (minore densità), ci vorrebbe di più perché un impulso si trasferisca da un capo all’altro della fila (ognuno dovrebbe sporgersi, o addirittura alzarsi momentaneamente dal suo posto)



# Suoni attraverso i muri

- Quando sentiamo i vicini nell'appartamento accanto, avvengono tre propagazioni:
  1. Il suono si propaga nell'aria della stanza accanto fino al muro divisorio
  2. Il muro vibra a causa delle variazioni di pressione dell'aria
  3. Le vibrazioni del muro mettono in moto l'aria nella nostra stanza
- In questo viaggio, il suono è un'onda di pressione solo mentre viaggia nell'aria





# Onde sonore

Possiamo quindi dare una definizione delle onde sonore:

- Un'onda sonora è un'onda meccanica che si propaga in un mezzo
- Quando il suono si propaga in un fluido come l'aria o l'acqua, esso è un'onda di pressione
- Quando il suono si propaga in un solido come il muro, esso è una vibrazione elastica
- Nel caso dei fluidi, è sempre un'onda longitudinale

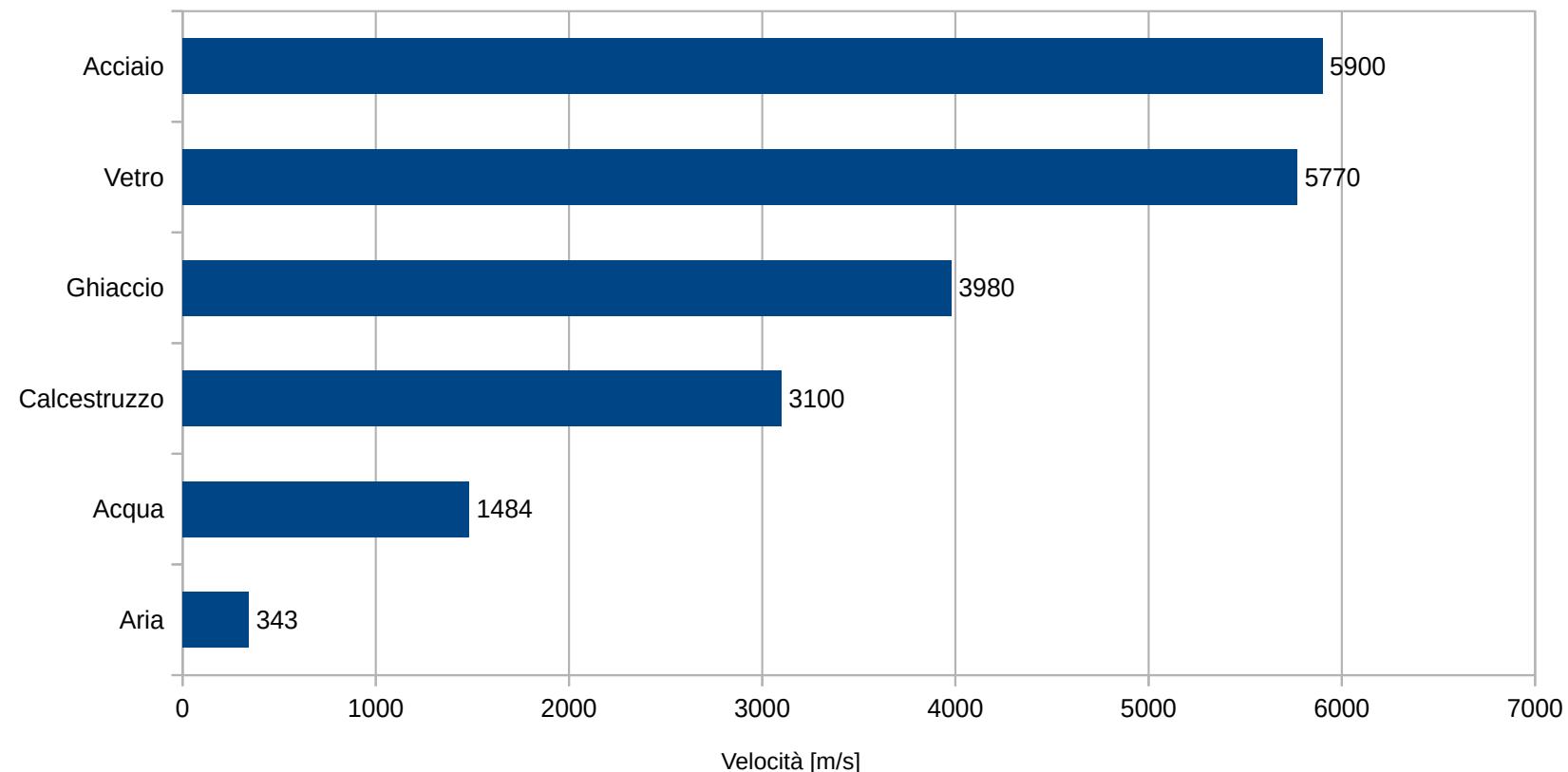


# Proprietà di un'onda sonora

- Se il fattore che scatena l'onda è un impulso periodico, il **periodo** si conserva durante la propagazione (e quindi anche la **frequenza**)
- L'**ampiezza** dell'onda, legata alla sua intensità, si riduce man mano che l'onda si propaga. Vedremo meglio l'intensità in seguito, perché è un argomento complesso
- La **velocità di propagazione** con cui l'onda si propaga dipende dal tipo di mezzo: in generale, più un corpo è denso e rigido, maggiore è la velocità del suono

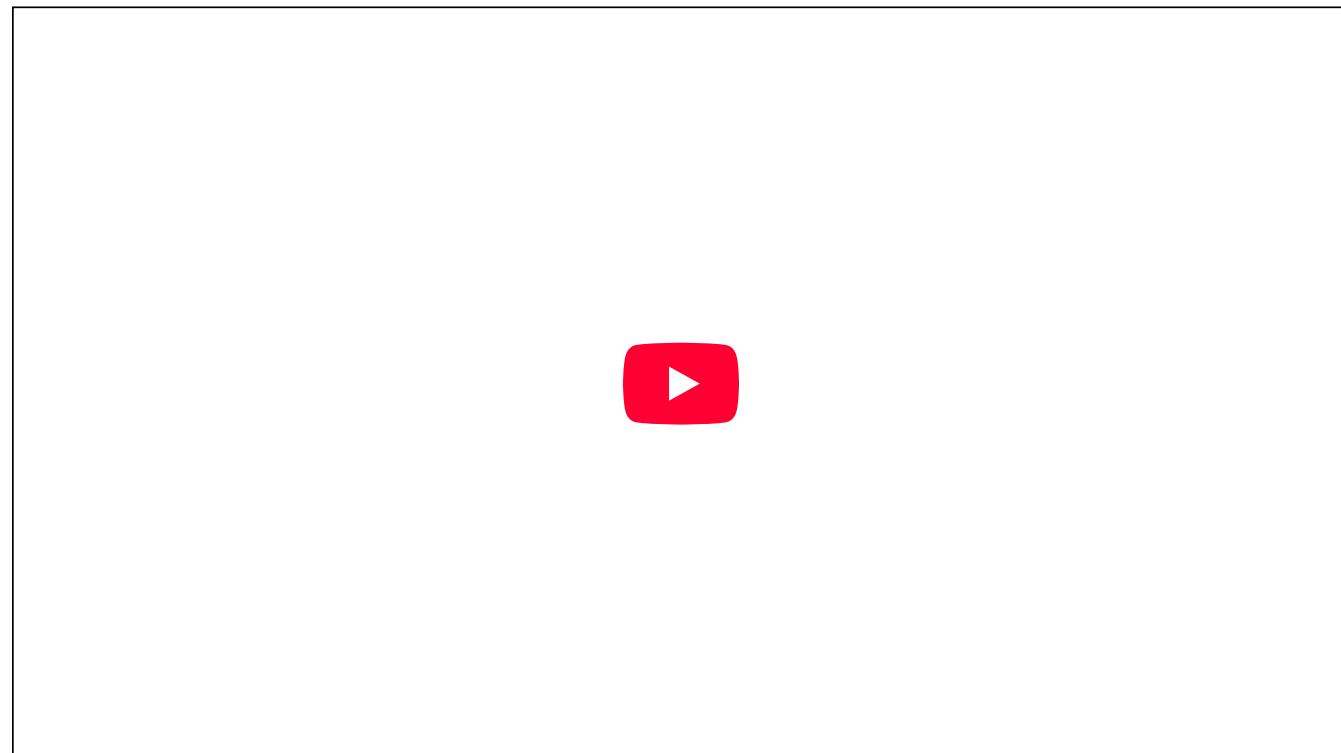


Velocità del suono nei mezzi





# Eruzione di un vulcano





# Onde sinusoidali



# Onde sinusoidali

- Il modo più semplice per affrontare lo studio delle onde sonore è di partire dal tipo più semplice, ossia un suono. Inizieremo col suono più regolare possibile: **l'onda sinusoidale**, che abbiamo appena visto nell'esempio interattivo
- Matematicamente, l'oscillazione causata da un'onda sinusoidale è

$$\text{oscillazione} = A \sin(2\pi\nu t + \varphi),$$

dove  $t$  misura il tempo. La scritta **sin** rappresenta la funzione matematica “seno”, che è usata in trigonometria per caratterizzare gli angoli.



# Onde sinusoidali

- La funzione “seno” è molto interessante ma abbastanza complessa da studiare.
- Dell’equazione

$$\text{oscillazione} = A \sin(2\pi\nu t + \varphi),$$

a noi interesseranno questi parametri:

1. La sua ampiezza (quanto la pressione varia), indicata solitamente con  $A$
2. La sua frequenza (quanto rapidamente oscilla), indicata con  $\nu$  o con  $f$
3. La sua fase (a che istante l’onda raggiunge il suo massimo), indicata con  $\varphi$



# Unità di misura

- L'ampiezza  $A$  è misurata in Pascal (pressione) o in  $\text{kg}/\text{m}^3$  (densità) se l'onda si propaga in un fluido, o in metri (milionesimi di metro!) se è un'oscillazione di un mezzo rigido (ad es. un muro)
- La frequenza, come sappiamo, si misura in Hertz (Hz)
- La fase è indicata con un valore in gradi, da  $0^\circ$  (nessuno sfasamento) a  $360^\circ$  (un'intera oscillazione), e siccome si comporta come un angolo, di solito si rappresenta in gradi



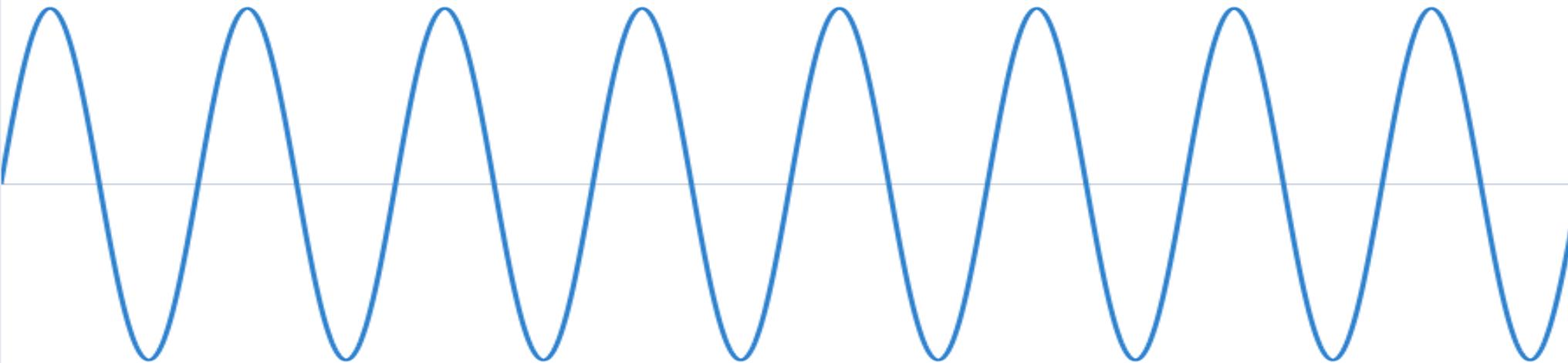
## Parametri dell'onda

Aampiezza (A):  200

Frequenza (F):  2.0

Sfasamento:  0°

## Visualizzazione della pressione dell'onda nel tempo





# Conclusioni



# Cosa sapere per l'esame

- Esempi di risonanza
- Definizione di pressione
- Pressione dei gas e dei fluidi
- Onde di pressione
- Onde sinusoidali