

Sull'onda del suono

Fissa due righelli al bordo del tavolo con nastro adesivo (oppure tienili fermi con la mano), in modo da farli sporgere di lunghezze diverse e poi falli vibrare toccandoli con la mano.

• Emettono suoni uguali? Quale è più grave e quale più acuto?



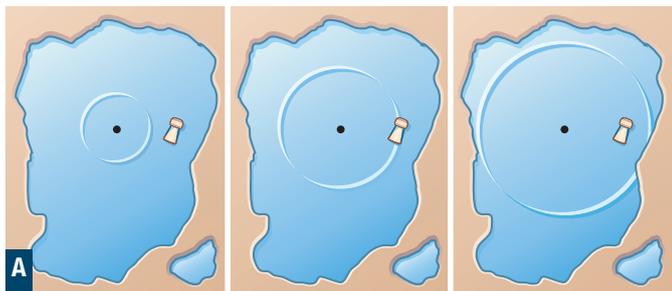
Guarda l'esperimento e prova a farlo tu.
online.zanichelli.it/amaldi

◀ Righelli

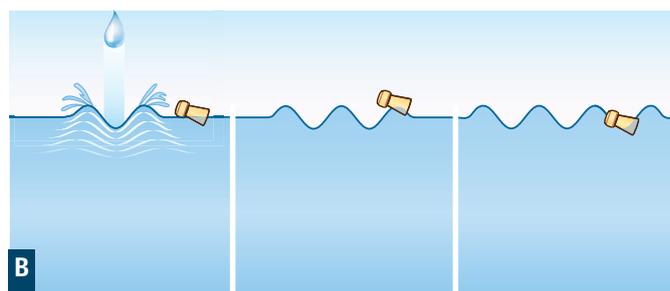
1. LE ONDE

Una goccia di pioggia che cade in una pozzanghera genera un'increspatura circolare che si allarga sempre più. Possiamo notare due moti distinti.

► La perturbazione si muove verso l'esterno in orizzontale.



► Un tappo, che galleggia sull'acqua, si sposta su e giù in verticale.



Come accade al tappo, anche le molecole dell'acqua oscillano in su e in giù, ma non si spostano verso l'esterno. Quindi, l'onda non trasporta materia, perché le molecole rimangono dove sono. Invece, l'onda trasporta energia, cioè la capacità di mettere in movimento molecole d'acqua sempre più lontane.

Un'onda è una perturbazione che si propaga trasportando energia, ma non materia.



Al contrario, un proiettile trasporta sia materia sia energia. Nel nostro esempio, l'acqua è il *mezzo materiale* in cui l'onda si propaga, mentre la goccia che cade è la *sorgente* dell'onda.

online.zanichelli.it/amaldi

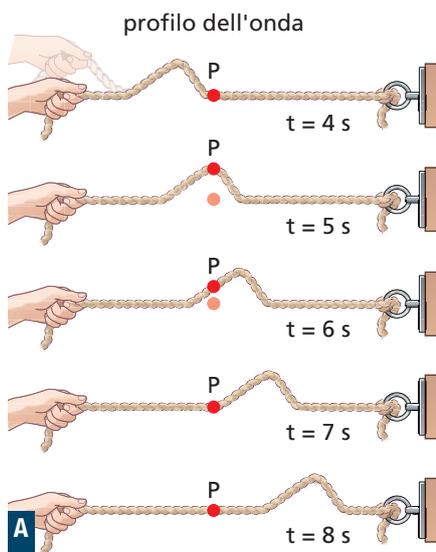
ANIMAZIONE

- La formazione delle onde (7 minuti)
- Onde trasversali e longitudinali (4 minuti)

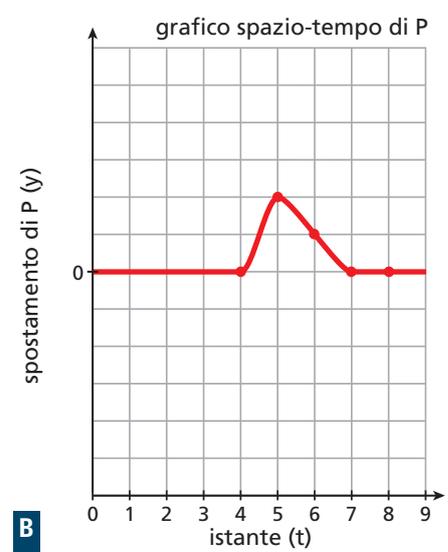
Onde su una corda

Per ottenere un diverso tipo di onda, diamo uno strattone all'estremità di una corda tesa, spostandola in su e in giù.

► La deformazione si propaga lungo la corda, in orizzontale.



► Però ogni singolo punto della corda si muove soltanto in su e in giù.



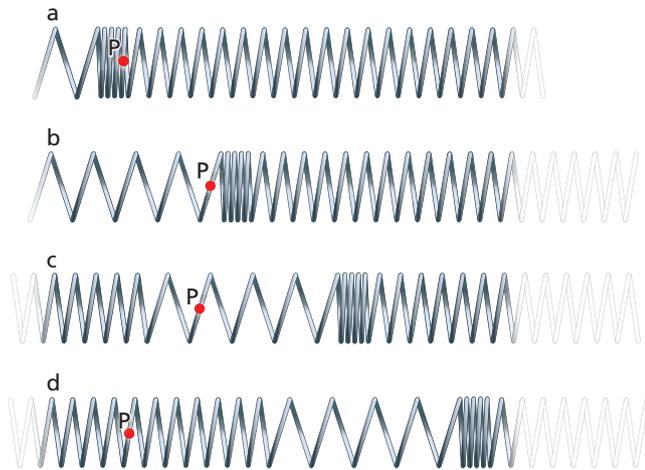
L'onda, cioè la deformazione, si muove lungo la corda. Tuttavia, ciascun punto della corda resta dov'è e oscilla in su e in giù, come si vede nella *figura B*.

Il punto P ripete, dopo un po' di tempo, il moto che la mano ha impresso all'estremità della corda. C'è trasporto di energia, ma non di materia.

In questo esempio la corda è il *mezzo materiale* in cui l'onda si propaga, mentre la mano è la *sorgente* dell'onda, cioè la sua causa. Si propagano mediante onde anche il suono, la luce, i segnali radio e i terremoti.

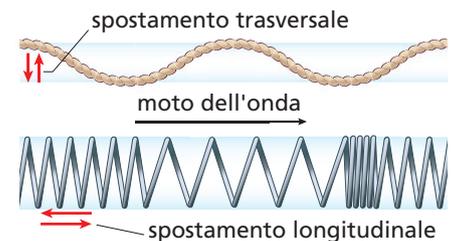
Onde trasversali e longitudinali

Spostiamo rapidamente avanti e indietro l'estremità di una molla: le spire prima si avvicinano, poi si allontanano, per poi tornare nella posizione iniziale. La perturbazione si propaga in direzione orizzontale, verso destra, lungo la molla (figura seguente).



Ogni spira oscilla prima a destra poi a sinistra e infine torna nella posizione iniziale. Il punto P della figura precedente ha proprio questo moto.

Abbiamo creato un'onda che avanza lungo la molla. Tuttavia, il moto dei singoli elementi è *parallelo* a quello complessivo dell'onda e non perpendicolare, come accadeva nelle onde sull'acqua e lungo una corda. Questo tipo di onda si chiama *onda longitudinale*, perché gli spostamenti del materiale avvengono nel verso della lunghezza della molla (figura a destra).



Un'onda è:

- **trasversale** quando gli elementi del mezzo materiale si spostano perpendicolarmente al moto dell'onda;
- **longitudinale** quando gli elementi del mezzo materiale si spostano parallelamente al moto dell'onda.

Nella molla possono propagarsi onde longitudinali, se muoviamo l'estremità avanti e indietro, oppure onde trasversali, se muoviamo l'estremità perpendicolarmente alla molla. Le onde sismiche sono sia longitudinali sia trasversali, mentre quelle sonore sono longitudinali.

DOMANDA

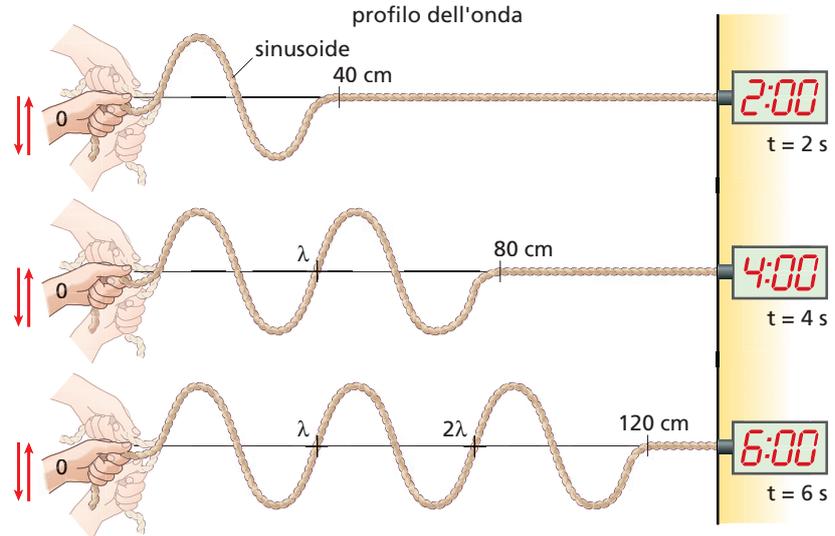
In uno stadio i tifosi festeggiano i gol facendo la *ola*, che è un'onda.

- ▶ In che direzione si propaga?
- ▶ Qual è il «mezzo» che permette la trasmissione dell'onda?
- ▶ Qual è il moto di ogni elemento di questo mezzo?
- ▶ È un'onda trasversale o longitudinale?



2. LE ONDE PERIODICHE

Muoviamo in su e in giù l'estremità di una corda in modo sempre uguale. Per compiere un'oscillazione completa impieghiamo, per esempio, 2 s. Mentre la mano continua a muoversi, l'onda si propaga verso destra. La figura sotto mostra tre fotografie dell'onda in tre istanti diversi.



1. Nei primi 2 s la mano ha compiuto un'oscillazione completa: è andata su, è tornata nella posizione 0 di partenza, è andata giù ed è risalita di nuovo alla posizione di partenza. All'istante 2 s, l'onda è avanzata di 40 cm, dando alla corda il profilo di una sinusoide.
2. All'istante 4 s, la fotografia della corda mette in evidenza due sinusoidi, che corrispondono a due oscillazioni complete della mano.
3. All'istante 6 s, dopo tre oscillazioni della mano, le sinusoidi sono tre.

L'onda che avanza è formata dalla ripetizione regolare di sinusoidi, ciascuna delle quali è lunga 40 cm. Ogni sinusoide si è formata con un'oscillazione completa della mano, che dura 2 secondi. Quindi una sinusoide va avanti di 40 cm in 2 s, alla velocità di

$$v = \frac{40 \text{ cm}}{2 \text{ s}} = 20 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Quando arriva l'onda, ciascun punto della corda ripete il moto che la mano ha impresso all'estremità: va su e giù, compiendo un'oscillazione completa in 2 secondi. Quindi, man mano che l'onda avanza, ogni punto si muove di moto periodico con periodo uguale a 2 s.

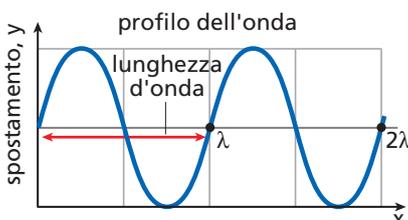
In un'onda periodica ogni elemento del mezzo materiale ripete lo stesso movimento a intervalli di tempo regolari.

Nel nostro caso ciascun pezzettino di corda (elemento del mezzo materiale) ripete lo stesso movimento ogni 2 s.

La lunghezza d'onda e l'ampiezza

Osserviamo il profilo di un'onda periodica che si propaga lungo x e oscilla lungo y .

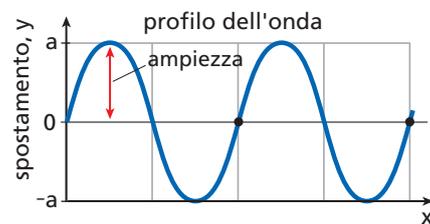
La **lunghezza d'onda** λ (lambda) è la minima distanza dopo la quale un'onda periodica torna a riprodursi identica a se stessa.



Nell'esempio della corda la lunghezza d'onda è di 40 cm.

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

Un'onda del mare, **fotografia** sotto, nella quale le creste distano 3 metri ha una lunghezza d'onda di 3 metri. Se le creste sono sollevate di 1 m rispetto al livello normale dell'acqua, l'ampiezza è di 1 m.



Il periodo e la frequenza

Osserviamo come si muove un punto della corda, man mano che passa il tempo: il punto oscilla su e giù, mentre l'onda si sposta in orizzontale.

Il **periodo** T dell'onda periodica è l'intervallo di tempo che un punto del mezzo materiale impiega per compiere una oscillazione completa.

Nell'esempio della corda il periodo è 2 s.

La **frequenza** f è il numero di oscillazioni che l'onda descrive nell'unità di tempo, cioè in 1 s.

L'unità di misura della frequenza è l'hertz (Hz). 1 Hz significa una oscillazione al secondo. La frequenza f è legata al periodo dalla relazione

$$f = \frac{1}{T}$$

frequenza (Hz) —————

————— periodo (s)

Infatti, se l'onda ha un periodo di 2 s, in un secondo compie mezza oscillazione completa (0,5 Hz). Se ha un periodo di 0,25 s, in un secondo compie 4 oscillazioni (4 Hz).

La velocità di propagazione

Nell'intervallo di tempo di un periodo l'onda va avanti di una lunghezza d'onda. Quindi l'onda periodica si propaga alla velocità

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Per calcolare la velocità di un'onda bisogna misurare il periodo, durante il quale la sorgente compie un'oscillazione completa, e la lunghezza d'onda.

CHE COSA DICE LA FORMULA

La velocità di propagazione è grande se:

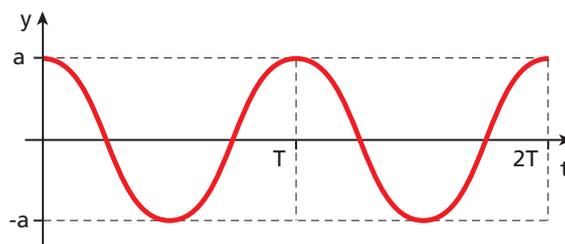
- λ è grande;
- T è piccolo.

Le onde armoniche

L'onda periodica più semplice è l'onda armonica.

Un'onda è **armonica** quando i punti del mezzo materiale in cui essa si propaga si muovono di moto armonico.

Il grafico che si ottiene ponendo nelle ascisse l'istante di tempo t e nelle ordinate la perturbazione y generata da un'onda armonica è del tutto simile al grafico spazio-tempo del moto armonico (figura seguente).



DOMANDA

In un tratto di mare troviamo delle onde con un periodo di 6,0 s e con una lunghezza d'onda di 90 m. Determina:

- ▶ la frequenza dell'onda;
- ▶ la sua velocità di propagazione.

3. LE ONDE SONORE

Se stiamo in una stanza con la porta socchiusa, sentiamo ciò che accade in una stanza vicina. Ancora una volta, c'è una perturbazione (un suono) che si propaga nello spazio senza che si abbia uno spostamento apprezzabile del mezzo materiale (l'aria) in cui essa si propaga. Se così non fosse, sentiremmo il «vento» dovuto al movimento dell'aria. Questa esperienza ci fa pensare che il suono sia dovuto a un particolare tipo di onda.

- ▶ Se colpiamo una pentola con un cucchiaio, udiamo un suono e percepiamo che la pentola vibra.
- ▶ Quando tocchiamo la pentola con le mani, impediamo alla pentola di vibrare e il suono cessa.



A



B

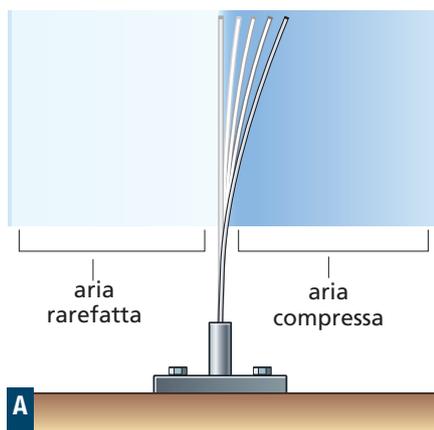
La sorgente del suono è un corpo che vibra.

La campana vibra quando è colpita dal batacchio. La corda della chitarra vibra quando è pizzicata. Le corde vocali, che sono delle piccole membrane tese, vibrano per effetto dell'aria che esce dai nostri polmoni.

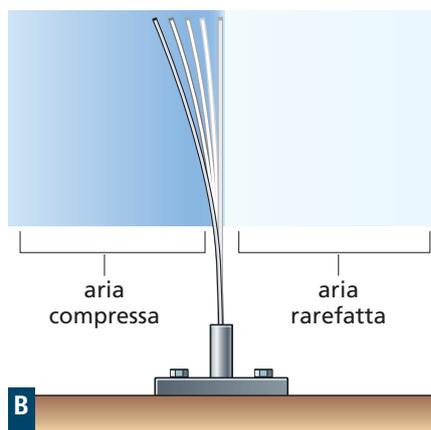
Il suono è un'onda longitudinale

Facciamo vibrare una sottile lamina di acciaio, che oscilla avanti e indietro molto rapidamente e in modo periodico.

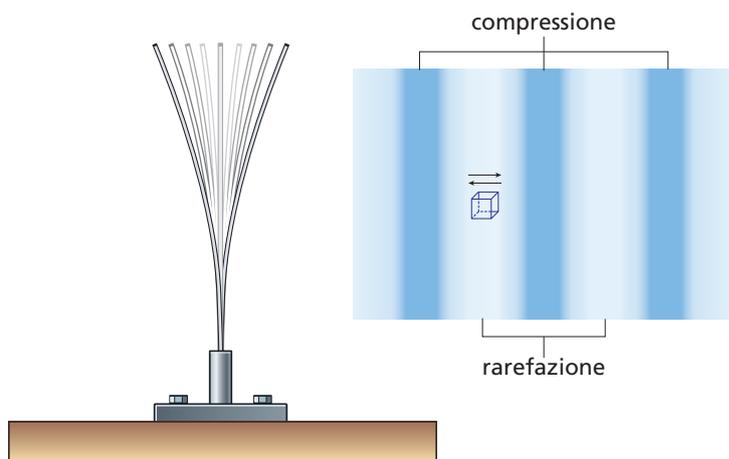
► Quando la lamina si sposta verso destra, comprime l'aria a destra e provoca una rarefazione dell'aria a sinistra.



► Quando invece si sposta a sinistra, crea una compressione a sinistra e una rarefazione a destra.



Si creano così nell'aria zone di compressione e zone di rarefazione (figura sotto) che si allontanano dalla barretta. Un piccolo volumetto d'aria, quando è investito dall'onda, oscilla avanti e indietro lungo la direzione di propagazione del suono. Contemporaneamente, in ogni punto variano la pressione e la densità dell'aria.



► Trasmissione dell'energia

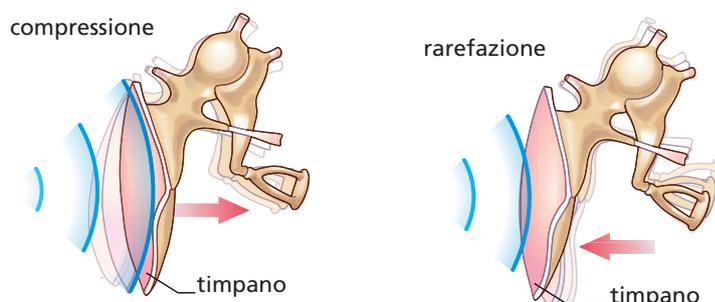
Le variazioni di pressione generate dalla lamina che oscilla trasportano energia nello spazio: per esempio, un'onda sonora è in grado di mettere in movimento la membrana di un microfono. Un'onda sonora con le caratteristiche adatte può anche, per esempio, rompere un bicchiere di cristallo. In questo caso l'onda sonora cede al bicchiere energia che si accumula in esso, fino a quando è sufficiente per romperlo. È questo il fenomeno della **risonanza acustica**.

www.online.zanichelli.it/amaldi
APPROFONDIMENTO

- La risonanza (3 pagine)

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

La perturbazione giunge fino alle nostre orecchie, al cui interno si trova una membrana, il *timpano*, che viene spinta verso l'interno quando l'aria è più compressa ed è invece aspirata verso l'esterno quando l'aria è più rarefatta (figura a destra). Questo movimento del timpano è poi trasmesso all'orecchio interno, dove si genera un segnale che, attraverso il nervo acustico, giunge fino al cervello. È così che percepiamo suoni e rumori.



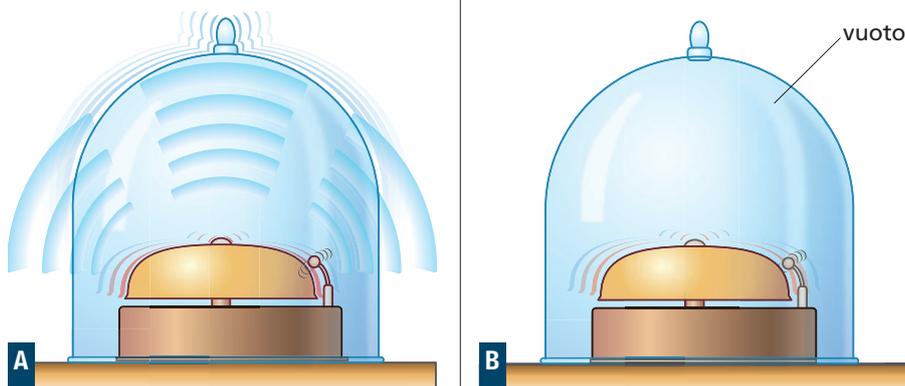
Il suono non si propaga nel vuoto

Il suono si può propagare nell'aria, nell'acqua, nei corpi solidi, come l'acciaio e il cemento, ma non si propaga nel vuoto. Se una sonda spaziale esplose al di fuori dell'atmosfera terrestre, non si sente alcun boato.

Mettiamo un campanello elettrico dentro una campana di vetro, collegato a una pompa che fa il *vuoto*, cioè che aspira la maggior parte dell'aria dentro la campana.

► Quando nella campana c'è aria udiamo il suono del campanello, che corrisponde al movimento del batocchio.

► Quando facciamo il vuoto non sentiamo più nulla, anche se vediamo il batocchio che continua a colpire la calotta metallica.



Il suono si propaga in un mezzo materiale, ma non nel vuoto.

Quando nuotiamo sott'acqua vicino a un motoscafo, sentiamo il rumore dell'elica. Se appoggiamo l'orecchio a una parete, mentre un muratore sta scalpellando, sentiamo che il rumore arriva più forte attraverso il muro che attraverso l'aria.

La velocità del suono

Come tutte le onde, anche il suono ha una sua velocità di propagazione, che dipende dal materiale in cui si propaga, ma anche da altre caratteristiche (come temperatura e pressione) che caratterizzano quel materiale.

Gli esperimenti mostrano che il suono si propaga in *aria secca* (alla pressione atmosferica normale di $1,01 \times 10^5$ Pa e alla temperatura di 0°C) con la velocità

$$v = 331,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

cioè 1193 km/h. Per la velocità del suono a temperatura ambiente si usa spesso il valore di 340 m/s.

Il suono non si propaga soltanto nell'aria, ma anche in tutti i materiali. Nell'acqua è quasi 5 volte più veloce che nell'aria, nel ferro addirittura 15 volte più veloce (tabella a lato). Rispetto alla luce il suono è molto più lento. Infatti la luce si propaga alla velocità di 300 000 km/s. Questo spiega il perché vediamo prima il fulmine e poi dopo qualche istante sentiamo il tuono.

DOMANDA

► Quanto impiega il suono, in aria, a percorrere la distanza di 1 km?

VELOCITÀ DEL SUONO IN DIVERSI MEZZI MATERIALI

Mezzo	Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Velocità (m/s)
Aria	0	331,4
Acqua	15	1450
Piombo	20	1230
Ferro	20	5130
Granito	20	4000
Gomma vulcanizzata	0	54

4. LE CARATTERISTICHE DEL SUONO

Il suono è un'onda sonora periodica. Invece i rumori sono onde sonore che non hanno forma periodica.

Un suono ha tre caratteristiche: l'altezza, l'intensità e il timbro.

L'**altezza** distingue un suono più acuto da uno più grave e dipende dalla *frequenza* dell'onda. Un suono è tanto più alto quanto maggiore è la frequenza dell'onda sonora che lo produce. Infatti negli strumenti a corda, come la chitarra, la corda più sottile e leggera, che può oscillare con frequenza maggiore, genera il suono più acuto, mentre quella più spessa e pesante, che vibra con frequenza molto minore, dà origine a un suono più grave. Nella **figura** a fianco le frequenze dei diversi Do sono riportate sulla tastiera di un pianoforte.

Mentre sta volando, un'ape può emettere un La, che corrisponde alla frequenza di 440 Hz. Ciò significa che batte le ali 440 volte al secondo. Se però è carica di miele emette un Mi a 330 Hz.

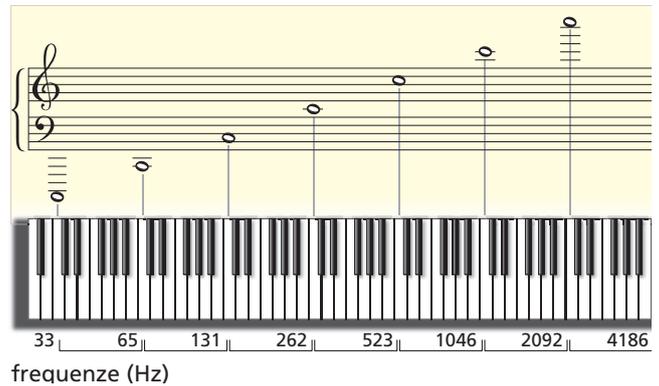
L'**intensità** distingue un suono ad alto volume da uno a basso volume. Essa cresce all'aumentare dell'*ampiezza* dell'onda: onde di ampiezza maggiore creano compressioni e rarefazioni dell'aria più marcate e, quindi, trasportano più energia: il suono si ode meglio.

Il **timbro** ci permette di capire se stiamo ascoltando musica generata da un pianoforte o da una tromba. Dipende dalla particolare legge periodica con cui oscilla l'onda sonora.

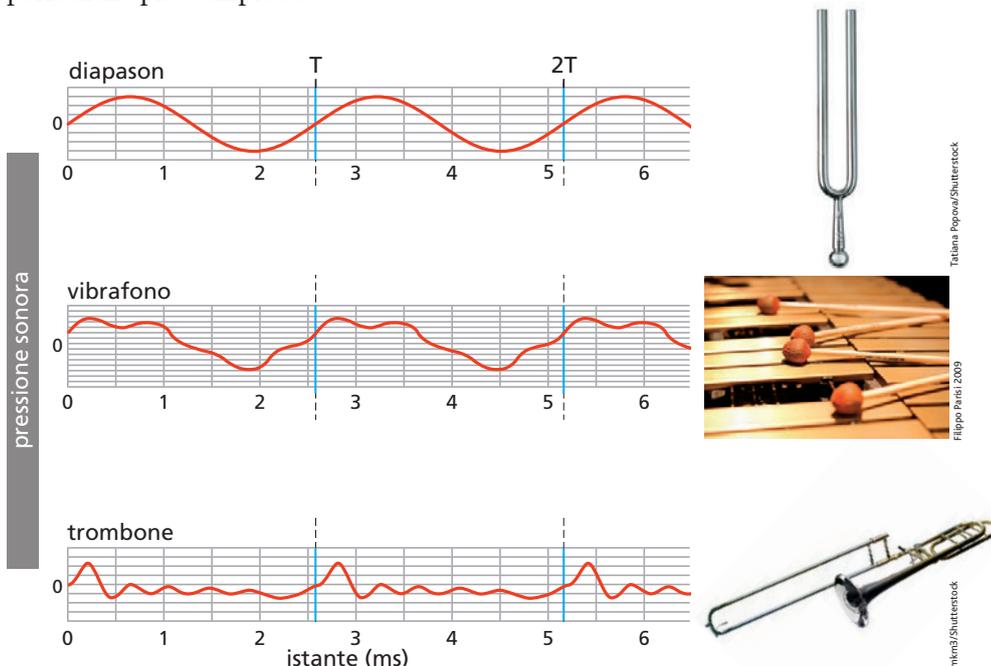
Ogni strumento musicale ha un proprio timbro a cui corrisponde un tipo particolare di onda periodica. Nella **figura** in basso è rappresentato come varia nel tempo la pressione dell'aria in un punto quando la stessa nota Sol è emessa da un diapason, da un vibrafono e da un trombone. Le tre onde hanno lo stesso periodo di 2,6 ms, ma diversa forma.

Nota che il suono «semplice» del diapason è prodotto da un'onda armonica, mentre per i timbri più caldi del vibrafono e del trombone servono onde periodiche più complesse.

online.zanichelli.it/amaldi
ANIMAZIONE
 • Le caratteristiche del suono (3 minuti)



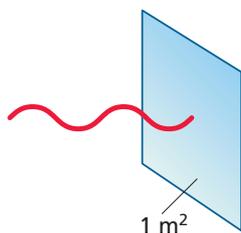
online.zanichelli.it/amaldi
APPROFONDIMENTO
 • Le onde stazionarie (3 pagine)



Il livello di intensità sonora

L'intensità sonora si misura in joule al secondo per metro quadrato:

$$\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$$



Questa grandezza dice quanta energia (misurata in joule) giunge, in ogni secondo, su una superficie ampia un metro quadrato e posta perpendicolarmente all'onda (figura a sinistra).

Tuttavia la nostra percezione del suono non è direttamente proporzionale alla sua intensità: se, partendo da un certo valore base, l'intensità aumenta di dieci, cento, mille volte, noi percepiamo un suono due, tre o quattro volte più «forte». Per queste ragioni è utile introdurre una misura della sensazione sonora, che si chiama *livello di intensità sonora*.

Il **livello di intensità sonora**, che misura la nostra percezione dell'intensità del suono, si misura in decibel (dB).

Ogni volta che l'intensità sonora aumenta di 10 volte, il livello di intensità sonora cresce di 10 dB. Si assegna il valore di 0 dB al livello di intensità sonora che corrisponde alla *soglia di udibilità*, cioè alla minima intensità che è normalmente percepibile (figura sotto). A 130 dB corrisponde la *soglia del dolore*. Suoni e rumori con livello di intensità superiore a 100 dB possono danneggiare l'udito in modo permanente.



DOMANDA

La frequenza del Do più basso del pianoforte è 32,7 Hz.

- Calcola il periodo e la lunghezza d'onda.

5. I LIMITI DI UDIBILITÀ

Non tutte le onde sonore sono percepite come suono dal sistema orecchio-cervello.

Per essere udibile, un'onda sonora deve avere una frequenza compresa tra 20 Hz e 20 000 Hz.

DOMANDA

La massima frequenza percepibile dall'orecchio umano è 20 000 Hz.

- Quanto vale il periodo di tale oscillazione?

A frequenze inferiori corrispondono gli *infrasuoni* e a quelle superiori corrispondono gli *ultrasuoni*, a cui l'orecchio umano è sordo, ma che possono essere uditi da altri animali. Per esempio, i cani arrivano a percepire ultrasuoni fino a 50 000 Hz e i pipistrelli raggiungono i 120 000 Hz.

Nella figura seguente sono indicati in rosso gli intervalli di frequenze che

corrispondono ai suoni emessi dall'uomo e da diversi animali. Gli intervalli in blu corrispondono ai suoni uditi. Come si vede, cani, gatti, delfini e pipistrelli riescono a percepire come suoni onde che il nostro orecchio non riesce a registrare.

6. L'ECO

In luoghi particolari se lanciamo un grido lo sentiamo ripetersi come se provenisse da lontano. È questo il fenomeno dell'eco.

L'eco è dovuto alla *riflessione* delle onde sonore, cioè al fatto che il suono si comporta come se rimbalzasse contro un ostacolo.

L'onda sonora (figura a lato) percorre due volte la distanza d tra noi e la parete (percorso di andata e ritorno), impiegando un tempo

$$\Delta t = \frac{2d}{v},$$

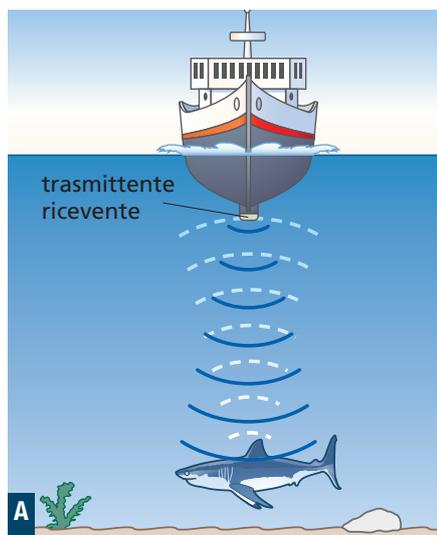
dove v è la velocità del suono. Se ci troviamo a 20 m dalla parete, sentiamo l'eco dopo

$$\frac{2 \times 20 \text{ m}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,12 \text{ s},$$

cioè dopo poco più di 1/10 di secondo.

Mediante l'eco, si possono «vedere» oggetti che sono invisibili ai nostri occhi.

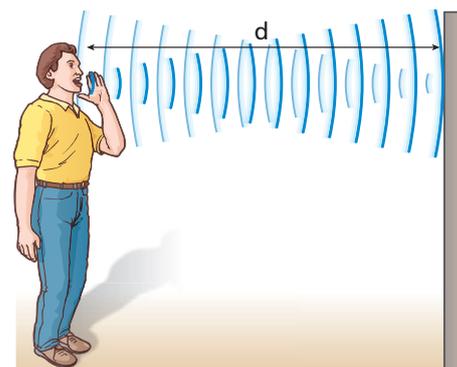
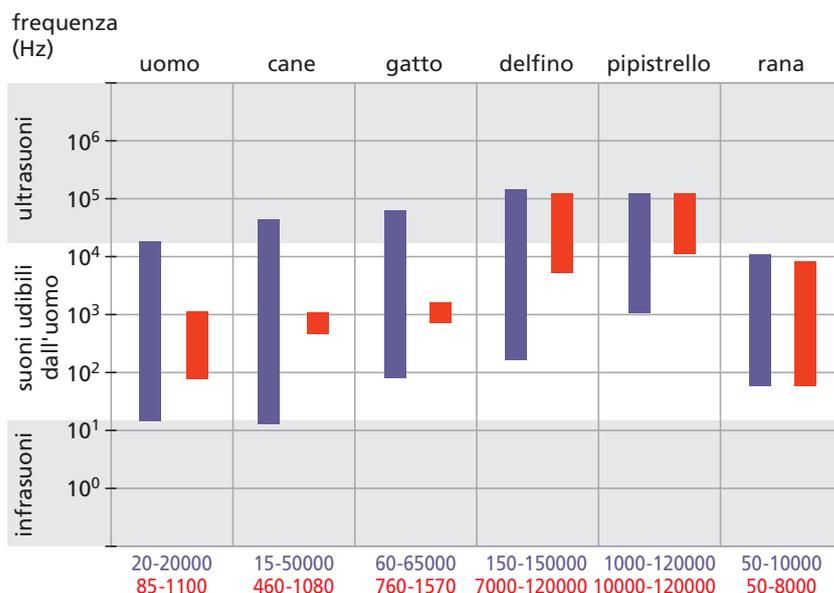
► Il sonar consente di determinare la distanza di oggetti che sono sott'acqua, misurando il tempo di andata e ritorno degli ultrasuoni che si riflettono sull'oggetto.



► Con l'ecografia si ottiene l'immagine di un feto nel ventre della madre, misurando i tempi di riflessione degli ultrasuoni inviati sulle sue diverse parti.



Mediante l'ecografia del feto, si vedono diverse caratteristiche del bambino non ancora nato, come lo sviluppo della testa, degli arti e del cuore.



DOMANDA

► Se ti trovi a 30 m da una parete, con che ritardo percepisci l'eco?

I CONCETTI E LE LEGGI

LE ONDE

Un'onda è una perturbazione che si propaga trasportando energia, ma non materia. Le onde sono generate da una *sorgente* e si possono propagare in un *mezzo materiale*.

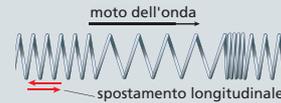
ONDA TRASVERSALE



Si ha quando gli elementi del mezzo materiale si spostano **perpendicolarmente** alla direzione di propagazione dell'onda.

- Per esempio, è trasversale l'onda che attraversa una *corda tesa* (mezzo materiale) alla quale abbiamo dato uno strattone con la *mano* (sorgente): la *perturbazione* è la variazione della posizione di ogni singolo tratto di corda, che si sposta verticalmente.

ONDA LONGITUDINALE



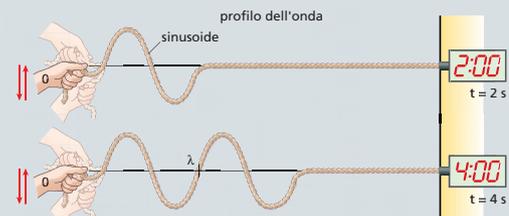
Si ha quando gli elementi del mezzo materiale si spostano **parallelamente** alla direzione di propagazione dell'onda.

- Per esempio, è longitudinale l'onda che attraversa una *molla* (mezzo materiale) che è stata compressa da una *forza esterna* (sorgente): la perturbazione è la variazione della posizione delle spire della molla, che oscillano orizzontalmente.

ONDA PERIODICA

In essa ogni elemento del mezzo materiale ripete lo stesso movimento a intervalli di tempo regolari.

- Per esempio, se muoviamo in su e in giù l'estremità di una corda ripetendo con regolarità sempre lo stesso movimento, ciascun pezzettino di corda oscillerà di moto periodico man mano che l'onda avanza.



LUNGHEZZA D'ONDA λ

È la minima distanza dopo la quale un'onda **periodica** torna a riprodursi identica a se stessa.

- Si misura in metri.



AMPIEZZA

È la differenza tra il valore massimo della grandezza che oscilla e il valore di equilibrio.

- Si misura in metri.



PERIODO T

È l'intervallo di tempo che un punto del mezzo materiale impiega per compiere un'oscillazione completa.

- Si misura in **secondi**.

FREQUENZA F

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\text{frequenza} = \frac{1}{\text{periodo}}$$

È il numero di oscillazioni che l'onda descrive nell'unità di tempo, cioè in 1 secondo.

- Si misura in **hertz**: $1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$

VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

$$\text{velocità} = \frac{\text{lunghezza d'onda}}{\text{periodo}}$$

- Per calcolarla bisogna misurare la lunghezza d'onda e il periodo durante il quale la sorgente dell'onda compie un'oscillazione completa.



LE ONDE SONORE

Il suono è un'onda longitudinale generata da successive compressioni e rarefazioni del mezzo in cui si propaga: senza un mezzo materiale, a differenza della luce, il suono non si propaga. La sorgente del suono è un corpo che vibra.

LA VELOCITÀ DEL SUONO

Dipende dal **materiale** in cui si propaga, dalla **temperatura** e dalla **pressione**.

- In aria secca, alla pressione atmosferica di $1,01 \times 10^5$ Pa e alla temperatura di 0 °C, è pari a $v = 331,4 \text{ m/s} = 1193 \text{ km/h}$; nell'acqua è quasi 5 volte più veloce che nell'aria.
- È molto inferiore alla velocità della luce (300 000 km/s): questo spiega perché vediamo prima il fulmine e poi sentiamo il tuono.

CARATTERISTICHE DEL SUONO

Altezza

Distingue un suono più **acuto** da un suono più **grave** e cresce all'aumentare della frequenza dell'onda sonora.

- Per esempio, in una chitarra, la corda più sottile e leggera può oscillare con una frequenza maggiore di quella di una corda spessa, e genera quindi un suono più acuto.

Intensità

Distingue un suono ad **alto volume** da uno a **basso volume** e cresce all'aumentare dell'ampiezza dell'onda sonora.

- Indica quanta energia giunge ogni secondo su una superficie ampia un metro quadrato e posta perpendicolarmente all'onda sonora: la sua unità di misura è $\text{J}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$.

Timbro

Ci permette di capire se stiamo ascoltando musica generata da un **pianoforte** o da una **tromba**.

- Dipende dalla particolare legge periodica con cui oscilla l'onda sonora.

LIVELLO DI INTENSITÀ SONORA

Misura la nostra **percezione** dell'intensità del suono.

- Si misura in decibel (dB).
- Se, partendo da un valore base, l'intensità aumenta di dieci, cento, mille volte, noi percepiamo un suono due, tre o quattro volte più «forte».
- Si assegna il valore 0 dB alla soglia di udibilità e il valore 130 dB alla soglia del dolore: i suoni oltre i 100 dB possono danneggiare gravemente l'udito.



LIMITI DI UDIBILITÀ

Per essere udibile da un orecchio umano, un'onda sonora deve avere una frequenza compresa tra 20 Hz e 20 000 Hz.

- A frequenze inferiori si trovano gli **infrasuoni**, a frequenze maggiori gli **ultrasuoni**.
- Per esempio, i cani arrivano a percepire ultrasuoni fino a 50 000 Hz.

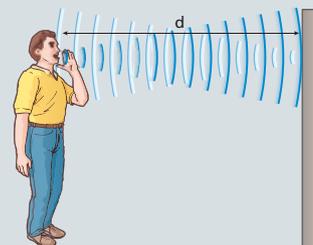
ECO

È dovuto alla riflessione delle onde sonore, cioè al fatto che il suono si comporta come se rimbalzasse contro un ostacolo. Se l'ostacolo è a distanza d e il suono si propaga a velocità v , l'eco arriva con un **ritardo**:

$$\Delta t = \frac{2d}{v}$$

$$\text{intervallo di tempo} = \frac{2 \times \text{distanza}}{\text{velocità}}$$

- Mediante l'eco si possono «vedere» oggetti che sono invisibili ai nostri occhi: per esempio, l'ecografia fornisce l'immagine di un feto nel ventre della madre, attraverso la misura dei tempi di riflessione degli ultrasuoni inviati.



ESERCIZI

1. LE ONDE

1 Vero o falso?

- a. Una goccia di pioggia che cade su una pozzanghera genera un'onda che trasporta energia e materia. V F
- b. Un proiettile che fende l'aria genera un'onda che trasporta solo materia. V F
- c. Le onde del mare sono onde longitudinali. V F
- d. Le onde radio e la luce si propagano solo in un mezzo materiale. V F

2 Vero o falso?

- a. Pizzicando una corda tesa, si generano onde trasversali. V F
- b. Comprimendo un tratto di molla e lasciandolo andare si genera un'onda trasversale. V F
- c. Un'onda non trasporta materia anche quando si propaga in un mezzo materiale. V F

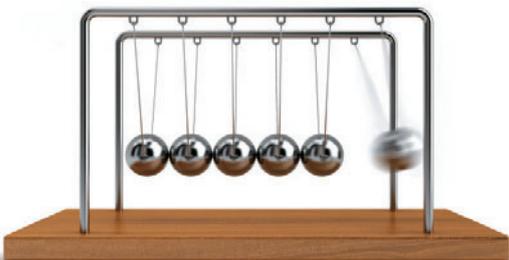
3 Caccia all'errore. «Quando un'onda si propaga in un mezzo materiale, i punti del mezzo rimangono nelle loro posizioni di equilibrio.»

4 Completa le seguenti frasi.

- a) Un'onda si dice *trasversale* quando gli elementi del mezzo materiale si muovono al moto dell'onda.
- b) Un'onda si dice quando gli elementi del mezzo materiale si muovono parallelamente al moto dell'onda.

5 L'immagine mostra una serie di pendoli uno vicino all'altro. Spostando il primo e lasciandolo andare, si può comunicare lo spostamento all'ultimo pendolo della serie.

- Completa questa frase inserendo l'aggettivo corretto: «Lungo la serie dei pendoli si propaga un'onda»



Al Ender Bieri/Shutterstock

2. LE ONDE PERIODICHE

6 Test. Un'onda periodica è descritta da cinque grandezze: ampiezza, lunghezza d'onda, periodo, frequenza e velocità. In generale, quante di queste grandezze è necessario conoscere per calcolare anche le altre?

- A 2
 B 3
 C 4
 D 5

7 Test. In un dato mezzo materiale la velocità delle onde periodiche risulta sempre la stessa. Se si fa variare il periodo della sorgente, quante altre grandezze risultano influenzate? (Più di una risposta è esatta.)

- A L'ampiezza.
 B La frequenza.
 C La lunghezza d'onda.
 D Il tipo di onda.

8 Caccia all'errore. «La lunghezza d'onda λ è la distanza massima dopo la quale un'onda periodica torna a riprodursi uguale a se stessa.»

9 Una sorgente sonora produce onde periodiche di frequenza pari a 500 Hz e lunghezza d'onda pari a 662 mm.

- Calcola la velocità con la quale si propaga il suono emesso dalla sorgente.

[331 m/s]

10 A typical *tsunami* wave can reach a speed of 750 km/h and have a wavelength of 310 km.

- Calculate the frequency of such a wave.

[6.72×10^{-4} Hz]

11 Un'onda in acqua si propaga con la velocità di 18 m/s e ha una frequenza di 0,18 Hz.

- Quanto vale la distanza tra una cresta e una gola dell'onda?
 ► Quale sarà la velocità di un'onda che ha la stessa lunghezza d'onda, ma una frequenza tripla della prima?

[50 m; 54 m/s]

12 Un tappo di sughero che galleggia sull'acqua è sollevato a un'altezza di 64,0 cm sul livello dell'acqua calma dalla cresta di un'onda periodica.

- ▶ Dove si troverà il tappo dopo un quarto di periodo dal passaggio della cresta?
- ▶ E dopo mezzo periodo dal passaggio della cresta?

3. LE ONDE SONORE

13 Vero o falso?

- a. L'emissione del suono è causata dalla vibrazione di un corpo. V F
- b. L'arrivo del suono nel microfono causa la vibrazione di un corpo. V F
- c. Il suono richiede le oscillazioni di un mezzo materiale. V F

14 Completa la frase che segue scegliendo tra le parole: «longitudinale», «pressione», «variazione», «densità», «massimo».

Il suono è un'onda generata da una tra un e un minimo della dell'aria e della sua

15 Riempiamo di ossigeno un tubo lungo 10,0 m e facciamo propagare lungo il tubo il suono di un campanello. Il suono viene registrato alla fine del tubo dopo un intervallo di tempo di 31,6 ms dalla sua emissione.

- ▶ Calcola la velocità del suono nell'ossigeno.

[316 m/s]

16 PROBLEMA SVOLTO

Ritardo del suono

A un concerto, tenuto in uno stadio, l'ultima fila di spettatori si trova a 150 m dagli altoparlanti.

- Qual è il ritardo Δt con cui la musica giunge a questi spettatori? (Per la velocità del suono utilizza il valore 340 m/s.)



Dati e incognite

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Distanza degli altoparlanti	Δs	150 m	
	Velocità del suono	v	340 m/s	
INCOGNITE	Ritardo della musica	Δt	?	Tempo impiegato dal suono per descrivere la distanza

Ragionamento

- La definizione di velocità è $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$.
- Dalla definizione precedente si ricava l'intervallo di tempo $\Delta t = \frac{\Delta s}{v}$.

Risoluzione

Sostituiamo i valori numerici nella formula precedente per calcolare Δt :

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{150 \text{ m}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{150}{340} \frac{\text{m} \cdot \text{s}}{\text{m}} = 0,441 \text{ s}$$

Controllo del risultato

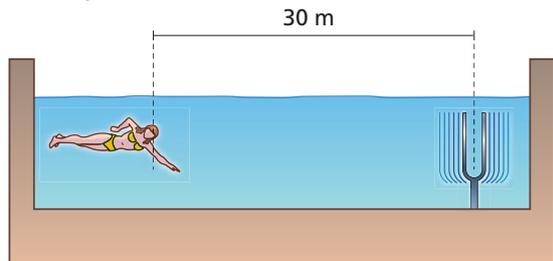
Si tratta di un ritardo di quasi mezzo secondo. Se nello stadio c'è un maxischermo televisivo che trasmette le immagini del palco, riconosciamo facilmente la «mancanza di sincronizzazione» che esiste, per esempio, tra il suono delle parole e il movimento delle labbra del cantante.

17 ★★★ Un'ambulanza che si muove alla velocità di 18,50 m/s accende la sirena quando si trova alla distanza di 1000 m dal luogo di un incidente.

- ▶ Dopo quanto tempo il suono della sirena da quella distanza raggiunge le persone che si trovano sul luogo dell'incidente?
- ▶ Con quale anticipo sull'arrivo dell'ambulanza?

[3,01 s; 51,1 s]

18 ★★★ Un diapason si trova sul fondo di una piscina ed emette un La, di frequenza pari a 440 Hz, che si propaga con una lunghezza d'onda di 3,5 m. Anna sott'acqua ascolta il suono a 30 m di distanza.



- ▶ Dopo quanto tempo il suono del diapason raggiunge la ragazza?

[0,019 s]

4. LE CARATTERISTICHE DEL SUONO

19 Vero o falso?

- a. La stessa nota, nella stessa ottava, suonata da due strumenti diversi, può avere timbro diverso. V F
- b. La stessa nota, nella stessa ottava, suonata da due strumenti diversi, può avere altezza diversa. V F
- c. La stessa nota, nella stessa ottava, suonata da due strumenti diversi, può avere intensità diversa. V F

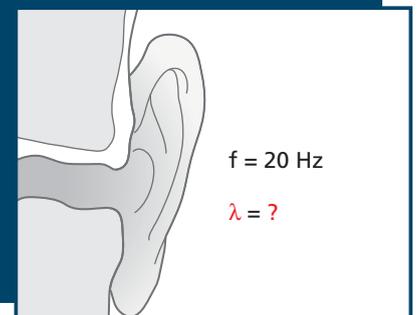
20 Quesito. Da quale delle caratteristiche del suono dipende la sua eventuale pericolosità per l'orecchio umano?

25 PROBLEMA SVOLTO

Calcolo della lunghezza d'onda

La più piccola frequenza percepita dal nostro orecchio è 20 Hz.

- Qual è la lunghezza d'onda corrispondente? (Per la velocità del suono utilizza il valore $v = 340$ m/s.)



21 Test. Una nota qualunque, suonata da uno strumento, si distingue *in ogni caso* da una nota suonata da uno strumento differente:

- A per l'altezza.
- B per il timbro.
- C per l'intensità.
- D per tutte queste caratteristiche.

22 ★★★ Sulla scala del livello di intensità sonora, si assegna il livello di intensità sonora di riferimento di 10 dB a un rumore (praticamente impercettibile) analogo a quello provocato dalla caduta delle foglie. In tale situazione l'intensità sonora è pari a 10^{-11} J/(s · m²). Lo stormire degli alberi corrisponde invece al livello di 20 dB.

- ▶ Qual è l'ordine di grandezza dell'intensità sonora dello stormire degli alberi?

[10⁻¹⁰ J/(s · m²)]

23 ★★★ Alla distanza di circa 1 m da un frigorifero in funzione, il rumore udito normalmente ha un'intensità sonora di 10^{-8} J/(s · m²).

- ▶ Quante volte questa intensità sonora è maggiore dell'intensità sonora di riferimento citata nell'esercizio precedente?
- ▶ Qual è il valore del suo livello di intensità sonora in dB?

[1000 volte; 40 dB]

5. I LIMITI DI UDIBILITÀ

24 Vero o falso?

- a. I suoni udibili da tutte le diverse specie animali variano all'interno dello stesso intervallo di frequenze. V F
- b. Per ogni specie animale, l'intervallo di frequenze dei suoni udibili coincide con quello dei suoni emettabili. V F

Dati e incognite

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Frequenza	f	20 Hz	
	Velocità del suono	v	340 m/s	Aria secca, pressione normale, temperatura ambiente
INCOGNITE	Lunghezza d'onda	λ	?	

Ragionamento

- La relazione tra frequenza f e periodo T è $f = 1/T$.
- Quindi la velocità v di un'onda periodica si può riscrivere come $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \frac{1}{T} = \lambda f$.
- Dalla relazione $v = \lambda f$ così trovata possiamo trovare $\lambda = \frac{v}{f}$.

Risoluzione

Sostituiamo i valori numerici nella formula precedente per calcolare λ :

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{20 \text{ Hz}} = 17 \text{ m}$$

Controllo del risultato

La formula $\lambda = \frac{v}{f}$ mostra che lunghezza d'onda e frequenza sono inversamente proporzionali.

Quindi, alla *minima* frequenza che l'orecchio umano può percepire corrisponde la *massima* lunghezza d'onda. Le lunghezze d'onda relative ai suoni quotidiani sono, infatti, dell'ordine del metro o del decimetro.

- 26** **Cancella le alternative sbagliate.** Un'onda sonora è udibile se la sua frequenza è *interna/esterna* all'intervallo 20 Hz–20 000 Hz. A frequenze *superiori/inferiori* a questo intervallo corrispondono gli ultrasuoni; a frequenze *superiori/inferiori* corrispondono gli infrasuoni.

- 27** **I pipistrelli possono percepire ultrasuoni fino a 120 000 Hz.**

- Qual è il valore della minima lunghezza d'onda percepibile da un pipistrello? (Considera per la velocità del suono il valore 340 m/s.)

[2,83 mm]



- 28** **I limiti di udibilità di un delfino vanno da circa $1,0 \times 10^2$ Hz a circa $1,0 \times 10^5$ Hz. Nell'acqua di mare la velocità di propagazione del suono è di circa $1,5 \times 10^3$ m/s.**

- Esprimi i limiti di udibilità di un delfino in immersione in termini di lunghezza d'onda.

[$1,5 \times 10^{-2}$ m; 15 m]

6. L'ECO

29 Vero o falso?

- Il ritardo nella percezione dell'eco dipende dalla distanza dalla parete riflettente. V F
- Il ritardo nella percezione dell'eco dipende dalla frequenza del suono impiegato. V F
- Il ritardo nella percezione dell'eco dipende dalla velocità del suono nel mezzo in cui esso si propaga. V F

- 30** **Cancella le alternative sbagliate.** Mediante l'eco, si possono vedere oggetti che sono *invisibili ai/lontani dai* nostri occhi. Per esempio, il sonar permette di valutare la *distanza/velocità* di un oggetto immerso nel mare misurando il tempo di andata e ritorno degli *ultrasuoni/infrasuoni* che si riflettono sull'oggetto.

- 31** **Mi trovo in montagna e riesco a percepire un ritardo di 2,0 s fra un forte suono emesso vicino a me e l'arrivo dell'eco.**

- A quale distanza da me si trovano le pareti di roccia che rimandano l'eco?

[$3,4 \times 10^2$ m]

32  Dolphins are able to obtain information from echoes of the sounds they produce. In sea water sound travels at 1.5×10^3 m/s.

- Determine the distance of a dolphin from an object that sends back an echo with a delay of 33 ms.

[25 m]

33 La velocità di propagazione del suono in aria è di 340 m/s, mentre nei tessuti cellulari è di circa $1,50 \times 10^3$ m/s. In una ecografia sono usati ultrasuoni di frequenza 1,8 MHz. Calcola la lunghezza d'onda di questi ultrasuoni:

- in aria.
- nei tessuti cellulari.

[$1,9 \times 10^{-4}$ m; $8,3 \times 10^{-4}$ m]

PROBLEMI GENERALI

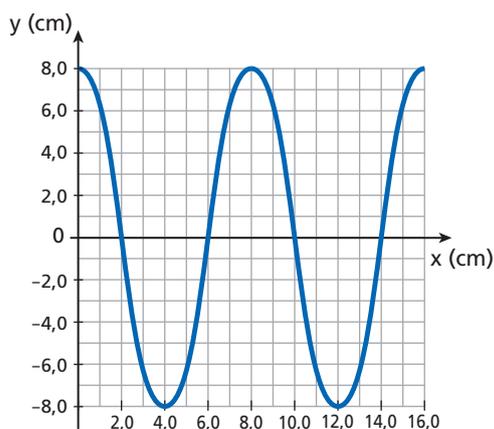
1  Fai oscillare un estremo di una corda: lungo di essa si propaga un'onda periodica. Il tempo necessario perché un punto della corda passi dalla quota nulla alla quota di valore numerico massimo è di 0,30 s. La velocità di propagazione dell'onda è di 4,0 m/s.

- Calcola il valore della lunghezza d'onda.

[4,8 m]

2  La figura che segue mostra un'onda su corda che si propaga alla velocità di 10 m/s. Calcola:

- la lunghezza d'onda,
- l'ampiezza dell'onda,
- il periodo,
- la frequenza.



[$8,0 \times 10^{-2}$ m; $8,0 \times 10^{-2}$ m; $8,0 \times 10^{-3}$ s; $1,3 \times 10^2$ Hz]

3  Sulla riva di un lago viene fatta brillare una mina. Un pescatore che si trova sulla riva opposta sente due suoni a distanza di 12 s, uno che si è propagato in aria, l'altro in acqua. La velocità di propagazione del suono in acqua è $1,5 \times 10^3$ m/s.

- Qual è la larghezza del lago?

[$5,3 \times 10^3$ m]

4  Il fenomeno del «bang» supersonico si verifica quando un oggetto, per esempio un caccia mi-

litare, viaggia a una velocità superiore a quella del suono nel mezzo in cui si sposta (di solito l'aria).

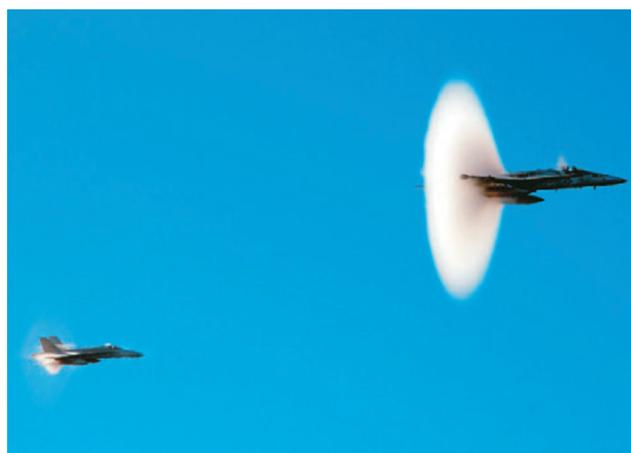


PHOTO: Chris M. Valdez 2004

- Qual è, in km/h, la velocità del suono nell'aria (alla pressione atmosferica normale e a 0 °C)?
- Se un aereo che viaggia alla velocità di 800 km/h inizia ad accelerare con un'accelerazione di 50 (km/h)/s, dopo quanto tempo inizierà a verificarsi il «bang» supersonico?

[1193 km/h; 7,9 s]

5  Una conversazione tranquilla ha in media un'intensità sonora di 10^{-7} J/(s · m²). Questa intensità è di quattro ordini di grandezza superiore a quella del rumore di riferimento della caduta delle foglie, la cui intensità sonora è di 10^{-11} J/s m² e il cui livello di intensità sonora è di 10 dB. Di conseguenza, a una conversazione tranquilla corrisponde un livello di intensità sonora di 50 dB.

Un televisore ad alto volume produce invece in una stanza un rumore il cui livello di intensità sonora è di circa 70 dB.

- Qual è in media l'intensità sonora del rumore prodotto da un televisore ad alto volume?

[10^{-5} J/(s · m²)]

- 6** ★★★ La soglia del pericolo di sordità viene raggiunta per un rumore paragonabile a quello percepito a 50 m di distanza da un jet che decolla. Il livello di intensità sonora di un rumore simile è di 130 dB.
- ▶ Per ottenere questo livello, quante decine di dB bisogna aggiungere al livello di riferimen-

to di 10 dB (corrispondente alla caduta delle foglie)?

- ▶ Se il rumore della caduta delle foglie ha un'intensità sonora di circa $10^{-11} \text{ J}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$, qual è in media l'intensità sonora corrispondente alla soglia del pericolo di sordità?

[12 B; $10 \text{ J}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$]

TEST



online.zanichelli.it/amaldi

TEST INTERATTIVI 20 test (30 minuti)

- 1** Una particella in moto trasporta:
- A energia.
 - B materia.
 - C energia e materia.
 - D né energia né materia.
- 2** 🇬🇧 A wave carries:
- A energy.
 - B matter.
 - C energy and matter.
 - D neither energy nor matter.
- 3** La lunghezza d'onda è la distanza:
- A minima dopo la quale un'onda periodica torna a riprodursi identica a se stessa.
 - B massima dopo la quale un'onda periodica torna a riprodursi identica a se stessa.
 - C tra la prima e l'ultima cresta dell'onda.
 - D percorsa nell'unità di tempo.
- 4** L'onda che costituisce il suono è un'onda:
- A sempre trasversale.
 - B sempre longitudinale.
 - C trasversale nei solidi, longitudinale nei liquidi e nei gas.
 - D longitudinale nei solidi, trasversale nei liquidi e nei gas.
- 5** Vogliamo suonare la stessa nota, due volte con timbri differenti. Allora:
- A possiamo suonarla solo sullo stesso strumento.
 - B possiamo suonarla solo su strumenti differenti.
 - C possiamo farlo sia sullo stesso strumento che su strumenti diversi.
 - D non possiamo farlo in alcun modo.
- 6** Un violino e un flauto suonano insieme: le onde sonore del violino hanno ampiezza maggiore di

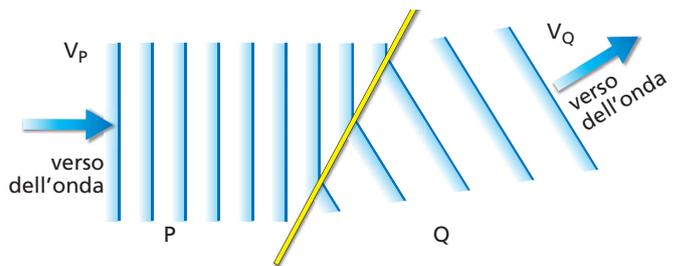
quelle del flauto. Quelle del flauto hanno frequenza maggiore rispetto a quelle del violino.

- ▶ Quale strumento produce il suono più forte e quale quello più alto?

	<i>Il suono più forte</i>	<i>Il suono più alto</i>
<input type="checkbox"/> A	Flauto	Flauto
<input type="checkbox"/> B	Flauto	Violino
<input type="checkbox"/> C	Violino	Flauto
<input type="checkbox"/> D	Violino	Violino

(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 2001)

- 7** In figura sono schematizzate le creste delle onde formate in una vasca per lo studio dei fenomeni ondulatori. Nelle sezioni indicate con P e con Q la profondità della vasca è diversa e le onde si propagano con velocità di modulo, rispettivamente, v_P e v_Q . Le frecce mostrano le direzioni di propagazione delle onde nelle due zone.



- ▶ Come sono le lunghezze d'onda e le velocità di propagazione delle onde nelle due zone P e Q?

	<i>La lunghezza d'onda</i>	<i>La velocità di propagazione</i>
A	È maggiore in P	v_P è maggiore di v_Q
B	È maggiore in P	v_Q è maggiore di v_P
C	È maggiore in Q	v_P è maggiore di v_Q
D	È maggiore in Q	v_Q è maggiore di v_P

(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 2002)

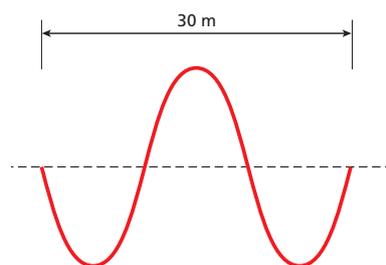
8 Un pipistrello emette un breve suono acuto mentre vola vicino a una casa. Dopo 0,5 s, passando per lo stesso punto, sente l'eco.

► Se la velocità del suono nell'aria è 300 m/s, quanto dista la casa dal pipistrello?

- A 600 m B 300 m
 C 150 m D 75 m

(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 2003)

9 Il disegno sottostante descrive un'onda periodica generata in un intervallo di 1,5 secondi.

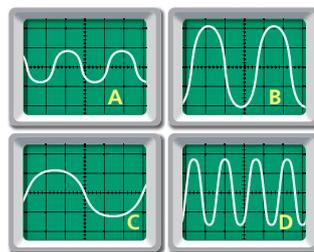


► Quanto vale la frequenza dell'onda?

- A 1 Hz B 2 Hz
 C 0,5 Hz D 4,5 Hz

(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 2004)

10 Diversi suoni sono stati registrati con un microfono collegato a un oscilloscopio. Quattro immagini dei segnali, ottenute senza modificare l'assetto dello strumento, sono riportate nella figura seguente. Quale di esse corrisponde al suono con volume minore?



(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 2006)

LA FISICA DEL CITTADINO

RUMORI PERICOLOSI

Suoni e rumori con un livello di intensità sonora che supera gli 80 dB possono condurre a una riduzione (parziale o totale) dell'udito.

La tabella seguente mostra il grado di pericolosità di vari rumori. La zona di rischio corrisponde ai rumori che, con il passare del tempo, possono provocare danni permanenti all'udito. I rumori nella zona del danno sono quelli che possono produrre un danno praticamente immediato.

Tabella
Livello di intensità sonora di varie sorgenti di rumore

Livello di intensità sonora (dB)	Sorgente del rumore	
30	Sussurro	Zona di sicurezza
60	Conversazione, lavastoviglie	
70	Lavatrice, aspirapolvere	
60-80	Automobile a 10 m	
85	Traffico pesante, asciugacapelli	Zona di rischio
90	Tagliaerba	
95	Motocicletta	
100	Martello pneumatico	
110	Concerto rock	Zona del danno
120	Sirena di ambulanza	
130	Soglia del dolore	
140	Jet al decollo	
165	Colpo di fucile	
180	Partenza di un razzo	

Va tenuto conto che i rumori che non comportano danni per l'udito possono comunque danneggiare la salute, per esempio rendendo difficile il riposo.

La tabella seguente mostra il tempo massimo consigliato di esposizione a rumori del livello di intensità sonora indicata, per ridurre la probabilità di avere un danno all'udito.

Tabella
Per la salute del tuo udito, non superare i tempi indicati

Livello di intensità sonora (dB)	Esposizione massima consigliata
85	8 ore
90	2 ore
95	1 ora
100	15 minuti
110	2 minuti
120	15 secondi

Domanda 1: Cerca nelle tabelle un rumore che non comporta danni per l'udito.

Domanda 2: Qual è il valore dell'esposizione massima consigliata al rumore di un martello pneumatico? Quale accorgimento può adottare un operaio che lavori con questo attrezzo per ridurre il danno che ne deriva?

Domanda 3: Dopo quanto tempo la partecipazione a un concerto rock può mettere in pericolo l'udito degli spettatori?

[15 minuti, deve usare cuffie protettive; 2 minuti]