



UNITÀ 13

IL SUONO

13.1

La propagazione delle onde

IDEA-CHIAVE Le onde meccaniche sono perturbazioni che si propagano nei mezzi elastici, con una velocità che dipende dalle proprietà del mezzo.

Figura 1

Oggetti che possono oscillare attorno a una posizione di equilibrio, generando delle onde.

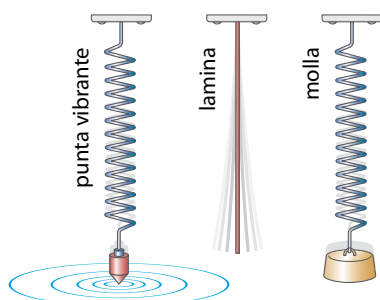
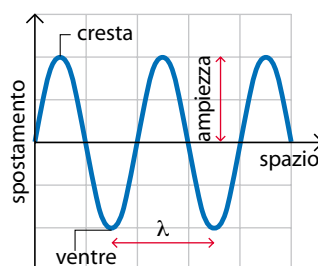


Figura 2

La lunghezza d'onda è la distanza fra due creste successive (o due ventri). L'ampiezza dell'onda è lo spostamento massimo rispetto alla posizione di equilibrio.



I sistemi oscillanti e le onde

Una molla, un pendolo, una lamina, una punta vibrante sono sistemi oscillanti [→ figura 1], interessanti perché permettono di generare delle *onde*, cioè delle perturbazioni che si propagano trasportando energia ma non materia. Per esempio, una punta che vibra nell'acqua produce delle *onde circolari* che si propagano sulla superficie dell'acqua. Se nell'acqua è presente un tappo di sughero, questo si muove su e giù, mantenendosi però sempre nello stesso punto della superficie del liquido. In pratica, la perturbazione si muove sull'acqua senza trasportare il tappo.

Una lamina che vibra comprime gli strati d'aria circostante con il suo movimento. Uno strato d'aria compresso comprime quello successivo e questo ne comprime un altro ancora e così via, dando origine a una perturbazione nello spazio (*onda spaziale*).

Con una molla si possono produrre onde che si propagano; la propagazione avviene lungo una retta (*onda lineare*). I sistemi oscillanti sono quindi le *sorgenti* delle onde.

Le caratteristiche di un'onda periodica

Le onde più semplici sono quelle sinusoidali, formate da creste e da ventri [→ figura 2]. Se facciamo riferimento alle onde sull'acqua, le *creste* sono zone in cui il livello dell'acqua è più alto rispetto alla superficie in quiete e i *ventri* sono zone in cui il livello è più basso. La distanza fra due creste successive (o ventri) è la **lunghezza d'onda** (λ).

Quando l'onda si propaga nell'acqua, i punti del liquido perturbati dall'onda hanno un movimento periodico lungo la verticale. Si chiama **ampiezza** dell'onda lo spostamento massimo di un punto dalla sua posizione di equilibrio.

Il **periodo** dell'onda è l'intervallo di tempo che intercorre fra il passaggio di due creste successive (o due ventri) per lo stesso punto. In un mezzo omogeneo l'onda si propaga con velocità costante; il periodo, che indichiamo con T , è il tempo che l'onda impiega a percorrere una lunghezza d'onda. Perciò la velocità dell'onda è:

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

RICHIAMO

Periodo e frequenza sono caratteristiche dell'onda, indipendenti dal mezzo in cui si propaga.

La **frequenza** dell'onda, invece, indica quante volte un punto dell'acqua oscilla in un secondo; si indica con il simbolo f . Poiché la frequenza è il reciproco del periodo ($f = 1/T$), possiamo anche scrivere:

$$v = \lambda \cdot f$$

velocità ($\frac{m}{s}$) lunghezza d'onda (m) frequenza (Hz)

Questa è l'**equazione fondamentale** di un'onda ed è valida per ogni tipo di onda.

ESEMPIO 1 Se un'onda compie un'oscillazione completa in un decimo di secondo e in tale intervallo di tempo percorre una distanza di 2,0 m, la velocità di propagazione è

$$v = \frac{2,0 \text{ m}}{0,1 \text{ s}} = 20 \text{ m/s}$$

Le onde meccaniche

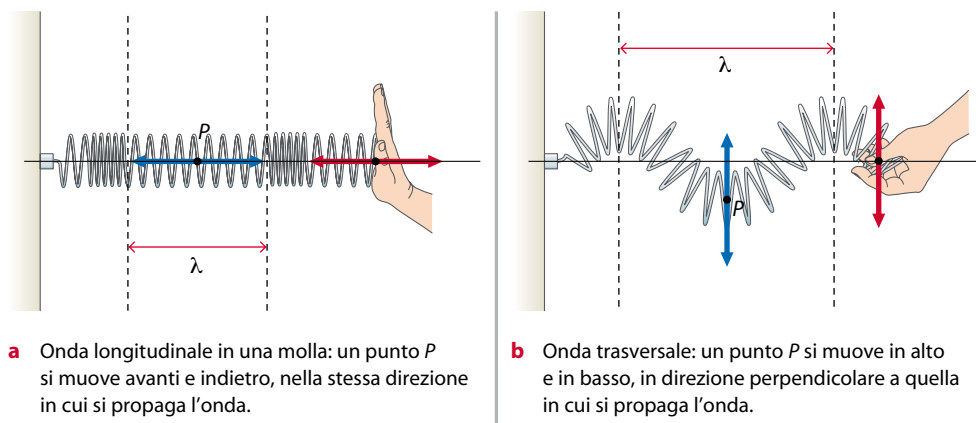
Un mezzo che si deforma quando è sottoposto a uno sforzo, riassumendo poi la configurazione iniziale quando la causa della deformazione cessa, si dice *mezzo elastico*.

Le onde che si propagano in un mezzo elastico si dicono **onde meccaniche**. Sia i corpi solidi sia i fluidi sono più o meno elastici e consentono la propagazione delle onde meccaniche. Le onde meccaniche sono *onde longitudinali* o *onde trasversali*.

Le **onde longitudinali** sono quelle in cui le particelle del mezzo oscillano nella direzione di propagazione dell'onda. Per esempio, se comprimiamo alcune spire di una molla vincolata a un estremo e poi le lasciamo andare, provochiamo un impulso longitudinale che si propaga nella molla [→ figura 3a]: ogni punto della molla interessato dall'onda oscilla avanti e indietro. Il suono è una perturbazione longitudinale prodotta in un mezzo elastico, per esempio l'aria, da un corpo che vibra con una certa frequenza.

Le **onde trasversali** sono quelle in cui le particelle del mezzo oscillano in direzione perpendicolare alla direzione in cui si propaga l'onda. Nella → figura 3b un impulso applicato alla molla in direzione perpendicolare si propaga in direzione orizzontale.

Figura 3
Onde in una molla.



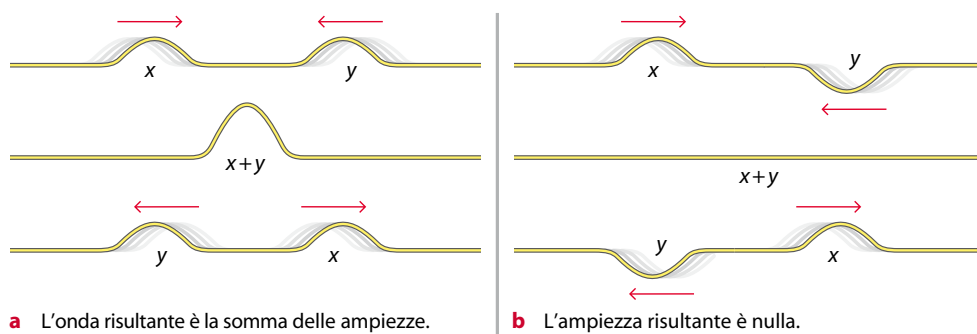
a Onda longitudinale in una molla: un punto P si muove avanti e indietro, nella stessa direzione in cui si propaga l'onda.

b Onda trasversale: un punto P si muove in alto e in basso, in direzione perpendicolare a quella in cui si propaga l'onda.

Il principio di sovrapposizione

Che cosa accade quando due onde perturbano contemporaneamente lo stesso punto di un mezzo? Nella → figura 4, sono rappresentate due *onde impulsive* che viaggiano in verso opposto lungo una corda. L'onda impulsiva è prodotta dando una piccola scossa a una corda tesa; l'onda viaggia lungo la corda modificandone la forma.

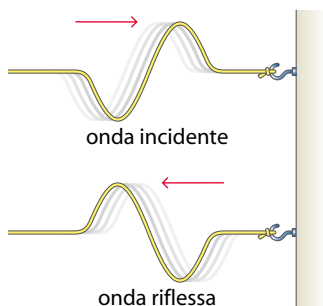
Figura 4
Onde impulsive che si sovrappongono.



Nella → figura 4a, si incontrano due creste. Nella sovrapposizione, l'onda risultante ha un'ampiezza uguale alla somma delle ampiezze delle due onde. Nella → figura 4b si incontrano una cresta e un ventre; l'onda risultante ha un'ampiezza nulla.

In entrambi i casi, dopo la sovrapposizione, le onde si allontanano, riprendendo la loro forma iniziale. Questa proprietà, che vale per ogni tipo di onda, si chiama **principio di sovrapposizione** delle onde: quando due o più onde si incontrano in un punto si sovrappongono e le loro ampiezze si sommano algebricamente.

Figura 5
L'onda riflessa è capovolta rispetto a quella incidente.



La riflessione e le onde stazionarie

Nella → figura 5 è illustrata la propagazione di un'onda su una corda fissata alla parete. Quando incontra la parete, l'onda torna indietro. Questo fenomeno si chiama riflessione. Nell'esempio, l'onda riflessa ha la stessa forma di quella incidente sulla parete ma, dove prima c'era una cresta, ora c'è un ventre e viceversa. L'onda risulta «capovolta» rispetto a quella incidente.

Supponiamo che anche l'estremo sinistro della corda sia fissato a una parete [→ figura 6a]. L'onda che viaggia verso sinistra si riflette e ritorna verso destra; viene riflessa sulla parete di destra e così via. In condizioni ideali, cioè quando l'attrito è trascurabile, l'onda va avanti e indietro fra le due pareti e il movimento continua indefinitamente.

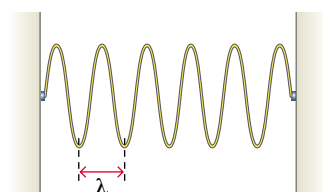
Quando l'onda è di tipo sinusoidale e la distanza fra le pareti ha un valore particolare, si ha il fenomeno delle **onde stazionarie**. L'onda di andata e quella di ritorno si sovrappongono [→ figura 6b], alcuni punti del mezzo stanno sempre fermi (*nodi*) e altri punti oscillano con la massima ampiezza (*ventri*). Il nome deriva dal fatto che l'onda, pur oscillando nel tempo, rimane ferma nella sua posizione.

Si può dimostrare che si formano onde stazionarie quando la distanza L fra le pareti su cui avviene la riflessione è un multiplo intero di una mezza lunghezza d'onda:

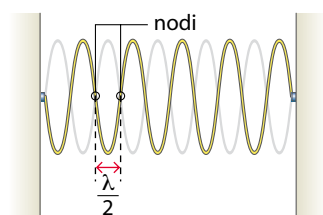
$$L = \frac{n \cdot \lambda}{2}$$

Le onde stazionarie sono responsabili dei suoni negli strumenti a corda e in quelli a fiato.

Figura 6
Onde stazionarie.



a Onda impulsiva che si propaga fra due pareti.



b Se la distanza fra le pareti è multipla di $\lambda/2$, si ha un'onda stazionaria.

Rifrazione e diffrazione

Altri due fenomeni sono la *rifrazione* e la *diffrazione*. Si ha una rifrazione quando un'onda incontra la superficie di separazione di due mezzi: una parte dell'onda è riflessa nel primo mezzo, l'altra si propaga nel secondo con una velocità diversa.

La diffrazione è un fenomeno che si verifica quando l'onda incontra un ostacolo che ha dimensioni uguali o minori della lunghezza d'onda; l'onda che arriva sull'ostacolo lo aggira e prosegue il suo cammino. La diffrazione si verifica anche quando l'onda incontra una fenditura che ha le dimensioni confrontabili con la lunghezza d'onda λ . Invece di proseguire diritta, dopo la fenditura si propaga un'onda circolare.

I sistemi oscillanti e le onde

1 Vero o falso?

- a) Un moto oscillatorio è prodotto da una forza che è direttamente proporzionale allo spostamento e ha verso opposto. V F
- b) Un sistema che oscilla si muove attorno a una posizione di equilibrio. V F
- c) In un sistema che oscilla, non vi sono trasformazioni di energia. V F
- d) La corda pizzicata di un violino è un sistema oscillante. V F
- e) Le onde si propagano solo lungo una retta. V F

2 Le onde si propagano lungo una retta (onde lineari), su una superficie (onde superficiali), nello spazio (onde sferiche).

- ▶ Le onde che produce un sasso lanciato in acqua sono onde superficiali o sferiche?
- ▶ Le onde che produce una corda di violino pizzicata sono onde lineari o sferiche?
- ▶ Le onde prodotte dalla percussione di un tamburo sono onde superficiali o sferiche?

Le caratteristiche di un'onda periodica

3 Vero o falso? Le affermazioni seguenti si riferiscono alle caratteristiche comuni a tutte le onde sinusoidali.

- a) Lunghezza d'onda e frequenza dell'onda sono direttamente proporzionali. V F
- b) La frequenza indica il numero di oscillazioni complete in un minuto. V F
- c) In un mezzo omogeneo, un'onda si propaga con velocità costante. V F
- d) L'ampiezza di un'onda è uguale al reciproco della lunghezza d'onda. V F

4 Il periodo e la frequenza del moto della sorgente che produce l'onda sono identici a quelli dell'onda e tali rimangono durante il suo propagarsi. Considera una punta che vibra nell'acqua con un periodo di un centesimo di secondo.

- ▶ Qual è la frequenza dell'onda che si propaga?
- ▶ Quante oscillazioni compie l'onda in un minuto?

5 Un marinaio osserva che delle onde colpiscono la prua della sua barca ogni 4,0 secondi e che la distanza fra due creste è 6,0 m.

- ▶ Qual è la velocità delle onde?
- ▶ Quante onde arrivano sulla prua dell'imbarcazione in un minuto?

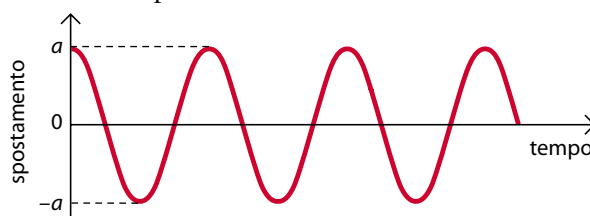
6 Un'onda periodica ha una frequenza di 50 Hz e una lunghezza d'onda di 4,0 cm.

- ▶ Quale distanza percorre in 10 secondi?
- ▶ Quante oscillazioni compie in un secondo?

7 Un'onda si propaga su una corda con un periodo di 0,4 s e una ampiezza di 0,8 m.

- ▶ Rappresenta l'onda mettendo sull'asse orizzontale il tempo in secondi.
- ▶ Con i dati disponibili riesci a calcolare la velocità dell'onda?

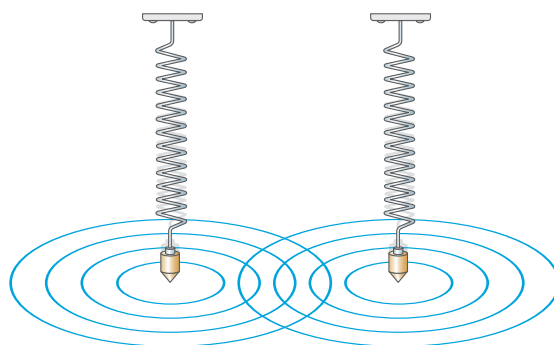
8 Nella figura è rappresentato lo spostamento di un punto del mezzo, raggiunto da un'onda sinusoidale, in funzione del tempo.



- ▶ Che cosa rappresenta la distanza fra due creste?
- ▶ Che cosa rappresenta la lettera a ?

Il principio di sovrapposizione

9 La sovrapposizione delle onde si può osservare mettendo dentro l'acqua due punte vibranti, come illustrato nella figura.



- ▶ Che cosa rappresentano le circonferenze della figura?
- ▶ Quale fenomeno fisico si verifica nelle vicinanze delle due punte vibranti?

La riflessione e le onde stazionarie

10 Una corda lunga 2,0 metri è fissata agli estremi. Sulla corda si muove un'onda sinusoidale con una velocità di 40 m/s. Si formano onde stazionarie.

- ▶ Quali sono le lunghezze d'onda delle prime tre onde?
- ▶ Verifica che le frequenze delle tre onde stazionarie sono 10 Hz, 20 Hz e 30 Hz.



Altri problemi sulla **propagazione delle onde** a fine unità, p. 20

■ Onde e sorgenti sonore

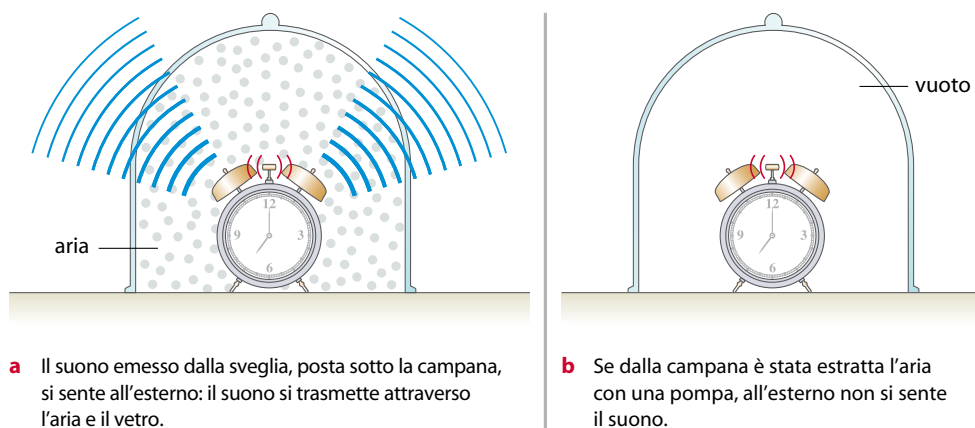
Il suono è una perturbazione longitudinale prodotta da un corpo che vibra con una certa frequenza. Le corde vocali di una persona, le corde di una chitarra, gli altoparlanti, gli strumenti musicali, sono esempi di sorgenti sonore a noi familiari.

Quando parliamo mettiamo in vibrazione le corde vocali; quando diamo un colpo su un tamburo mettiamo in vibrazione la membrana del tamburo; quando pizzichiamo la corda di una chitarra la facciamo vibrare.

Una sorgente sonora è un sistema in vibrazione. Le vibrazioni sono oscillazioni meccaniche di ampiezza molto piccola (ma di frequenza grande), non facilmente visibili a occhio nudo, ma rilevabili tramite un corpo molto piccolo. Queste vibrazioni sono trasmesse all'aria e si propagano fino al nostro orecchio o vengono captate da un microfono.

La maggior parte dei mezzi materiali trasmette i suoni; nel vuoto, invece, il suono non si propaga [→ figura 1].

Figura 1
Il suono si propaga nei mezzi.



I mezzi materiali in cui il suono si propaga con difficoltà si chiamano **isolanti acustici**. Gli isolanti sono utilizzati nelle abitazioni e negli uffici, per evitare che i rumori si propagino dove è preferibile avere silenzio.

■ La propagazione del suono

Quando la membrana di un altoparlante vibra, essa mette in vibrazione anche le molecole d'aria circostanti. Queste molecole comunicano il loro movimento a quelle vicine che vibrano a loro volta: l'onda sonora si propaga nell'aria. Durante la propagazione di un suono c'è una *compressione dell'aria* e una *decompressione* (con una diminuzione locale della pressione). L'aria trasmette queste perturbazioni della pressione, che si propagano come onde.

In un mezzo omogeneo, le onde sonore si propagano a velocità costante. Perciò se d è la distanza percorsa nel tempo t , la velocità del suono si calcola con la formula:

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

Alla temperatura di 20 °C e alla pressione di 1 atm, la velocità del suono nell'aria è circa 340 m/s. La velocità aumenta all'aumentare della temperatura dell'aria.

RICHIAMO

La pressione dell'aria è quella atmosferica, cioè circa 100 000 Pa.

Tabella 1	
Velocità del suono nei liquidi (m/s)	
Cloroformio	960
Benzene	1250
Mercurio	1450
Acqua	1500
Velocità del suono nei solidi (m/s)	
Ghisa	3500
Acciaio	5500
Ferro	6000
Alluminio	6400

RICHIAMO

Nel SI la potenza si misura in watt: $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$.

ESEMPIO 1 Durante un temporale, lampo e tuono sono generati nella stessa zona: prima si vede il lampo e dopo circa 3,0 secondi si sente il tuono. Trascurando la durata di propagazione del lampo, la distanza a cui è caduto il fulmine è:

$$d = v \cdot t = (340 \text{ m/s}) \times (3,0 \text{ s}) = 1020 \text{ m}$$

Il suono si propaga anche nei solidi e nei liquidi. Se nuoti sott'acqua in vicinanza di una barca, riesci a sentire le parole delle persone che stanno chiacchierando sulla barca. Il valore della velocità del suono dipende dalla natura del mezzo [→ tabella 1].

La velocità dipende anche dalla temperatura del mezzo in cui si propaga il suono. Esistono delle formule empiriche, cioè ricavate da esperimenti di laboratorio, che permettono di calcolare la velocità in modo approssimato.

La potenza della sorgente

Un rumore molto forte, per esempio quello di un aereo che si alza in volo, può mandare in frantumi i vetri di una finestra. Un'esplosione vicino a un orecchio umano può danneggiare la membrana del timpano. Questi fatti ci inducono a pensare che il suono, come ogni altra onda, trasporti energia mentre si propaga.

All'energia emessa da una sorgente sonora si dà il nome di **energia acustica** (o energia sonora). Una caratteristica distintiva della sorgente che produce il suono è la **potenza acustica**, cioè l'energia che essa emette nel tempo. Se con E indichiamo l'energia emessa in un intervallo di tempo Δt , la potenza è:

$$P_a = \frac{E}{\Delta t}$$

potenza acustica (W)
energia (J)
intervallo di tempo (s)

ESEMPIO 2 Un altoparlante che ha una potenza massima di 40 W può emettere suoni con un'energia massima di 40 J al secondo.

Perché quando ascoltiamo il suono emesso da un altoparlante, più siamo lontani più il suono ci sembra debole? La quantità di energia captata dal ricevitore dipende dalla distanza del ricevitore stesso dalla sorgente. Infatti, consideriamo due microfoni identici posti a distanze diverse [→ figura 2a]; essi ricevono, nello stesso intervallo di tempo, una quantità di energia diversa (quello più lontano ne riceve di meno). Inoltre, l'energia captata da un microfono dipende anche dalle sue dimensioni: maggiore è la superficie esposta all'onda sonora, più grande è la quantità di energia che esso riceve [→ figura 2b].

Figura 2

L'energia che riceve un microfono.

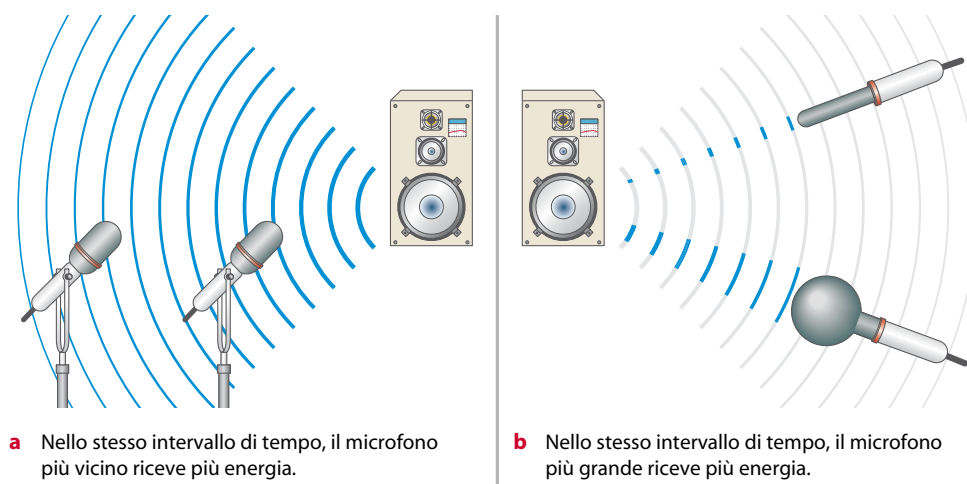




Figura 3
Indicando con I l'intensità a distanza r , a distanza doppia l'intensità è $\frac{1}{4} I$, a distanza tripla l'intensità è $\frac{1}{9} I$ e così via.

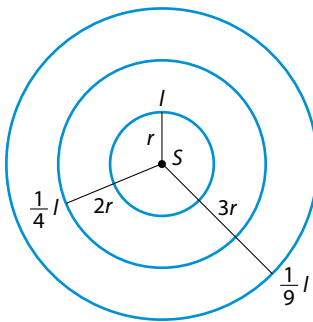


Figura 4
Livelli di intensità sonora.

L'intensità sonora

Le osservazioni precedenti ci portano a definire una nuova grandezza fisica, l'intensità di un suono, che tiene conto sia della distanza sia delle dimensioni dei ricevitori.

L'intensità sonora è il rapporto tra la potenza acustica che si trasmette attraverso una superficie, disposta perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda, e l'area della superficie stessa.

Indichiamo l'intensità con I e l'area della superficie con A :

$$I = \frac{P_a}{A}$$

L'unità di misura dell'intensità sonora è «watt al metro quadrato»: W/m^2 .

Consideriamo una sorgente puntiforme S che emette una potenza P_a . L'energia si propaga nello spazio in tutte le direzioni, quindi si distribuisce su una sfera con il centro nella sorgente (→ figura 3). La superficie della sfera di raggio r è $4\pi \cdot r^2$, perciò alla distanza r l'intensità sonora che arriva vale:

$$I = \frac{P_a}{4\pi \cdot r^2}$$

L'intensità è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dalla sorgente.

ESEMPIO 3 Se un altoparlante emette una potenza di 12,5 W, un microfono posto a 1,0 m di distanza riceve una intensità acustica di circa 1 W/m^2 . Infatti:

$$I = \frac{12,5 \text{ W}}{4 \times 3,14 \times (1,0 \text{ m})^2} = 1,0 \text{ W/m}^2$$

Se dista 2,0 m, l'intensità che riceve è 4 volte più piccola, cioè 0,25 W/m^2 .

L'intensità sonora più debole che l'orecchio umano normale può percepire si chiama **soglia di udibilità** e vale circa:

$$I_{min} = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Il suono più forte che l'orecchio può sopportare ha intensità:

$$I_{max} = 1,0 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$$

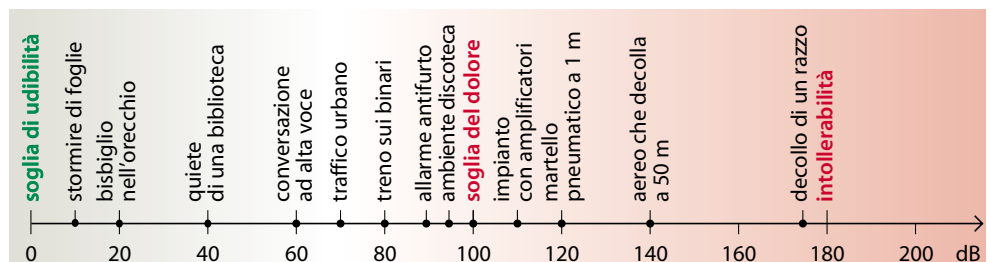
In genere, i suoni di intensità minore di I_{min} non sono percepiti dall'uomo; i suoni di intensità maggiore di I_{max} provocano dolori o danni per l'orecchio. Per questo motivo I_{max} è detta anche **soglia del dolore**.

Nella vita quotidiana l'intensità sonora si misura in **decibel** (simbolo dB). Si tratta di un'unità di misura che non appartiene al SI, ma deriva dal confronto dell'intensità acustica con la soglia di udibilità. All'intensità $I_{min} = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$ si assegna il valore 0 dB e alle altre intensità i valori indicati nella → tabella 2.

Tabella 2 Equivalenza tra decibel e W/m^2

0 dB = $I_{min} = 1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$	100 dB = $10^{10} \times I_{min} = 1 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$
10 dB = $10^1 \times I_{min} = 1 \times 10^{-11} \text{ W/m}^2$	120 dB = $10^{12} \times I_{min} = 1 \times 10^0 \text{ W/m}^2$
20 dB = $10^2 \times I_{min} = 1 \times 10^{-10} \text{ W/m}^2$	140 dB = $10^{14} \times I_{min} = 1 \times 10^2 \text{ W/m}^2$

Nella → figura 4 sono riportati i livelli di intensità sonora in dB di alcuni suoni.



■ La propagazione del suono

1 Vero o falso?

- a) I suoni si propagano solo in presenza di materia. V F
- b) La trasmissione di un suono nell'aria avviene per compressioni e rarefazioni. V F
- c) La velocità di un suono non dipende dalle caratteristiche del mezzo in cui si propaga. V F
- d) L'isolante acustico è un materiale che ostacola la propagazione di un'onda sonora. V F

2 Una sorgente sonora emette un suono che giunge a un microfono posto a 150 m di distanza. Il suono viaggia con velocità di 1500 m/s.

- ▶ In quanto tempo il suono raggiunge il microfono?
- ▶ È possibile che sorgente e microfono siano in aria?

3 Il suono prodotto da una sorgente, di frequenza 500 Hz, si propaga in un mezzo con $\lambda = 40$ cm.

- ▶ Con quale frequenza si propaga l'onda sonora?
- ▶ Qual è la velocità con cui si propaga l'onda?

4 Il suono è caratterizzato da una velocità, una frequenza, una lunghezza d'onda, un'ampiezza. Anche per il suono è valida l'equazione delle onde: $v = \lambda \cdot f$.

- ▶ Quando un suono passa da un mezzo a un altro una sola delle tre grandezze che compaiono nell'equazione non subisce cambiamenti. Quale?

5 La velocità di propagazione del suono dipende dalla densità del materiale in cui si propaga.

- ▶ La velocità è maggiore nei mezzi più densi o in quelli meno densi? Spiega.

6 La velocità del suono in aria dipende dalla temperatura, secondo la legge empirica $v = 331,5 + 0,6 T$. Un suono proviene dall'interno di un frigorifero dove la temperatura è -4 °C e passa in un ambiente a 20 °C.

- ▶ Calcola la variazione di velocità.
- ▶ Di quanto varia la frequenza del suono che passa dall'ambiente freddo a quello caldo?

■ La potenza della sorgente

7 Una sorgente sonora emette 7200 J al minuto.

- ▶ Qual è la potenza della sorgente?
- ▶ Quanta energia emette questa sorgente in 5 minuti?
- ▶ La quantità di energia che emette è direttamente proporzionale al tempo?

8 La potenza emessa da una sorgente sonora non coincide con la potenza assorbita da un ricevitore.

- ▶ Per quale motivo?
- ▶ La potenza assorbita da un ricevitore sonoro può essere maggiore di quella emessa dalla sorgente?
- ▶ Quali grandezze influenzano la variazione della potenza assorbita rispetto a quella emessa?

9 L'altoparlante di una cassa emette 15 J al secondo.

- ▶ Qual è la potenza dell'altoparlante?
- ▶ Completa la seguente tabella.

Tempo (s)	5	10	20	40
Energia (J)

- ▶ Rappresenta l'energia sonora in funzione del tempo.

■ L'intensità sonora

10 Vero o falso?

- a) L'intensità di un suono è la potenza per unità di area. V F
- b) Nel SI l'intensità sonora si misura in decibel. V F
- c) L'intensità di un suono diminuisce man mano che ci si allontana dalla sorgente. V F
- d) Un suono di zero decibel non ha intensità. V F

11 Una sorgente emette onde sonore di potenza 10 W.

- ▶ Con quale intensità giunge il suono su un microfono posto a 5,0 m di distanza?
- ▶ A 20 m di distanza, l'intensità del suono è 1/4 del valore precedente?

12 Due microfoni di 8 cm² e 16 cm², sono posizionati alla stessa distanza da un altoparlante.

- ▶ Quale dei due riceve più energia?
- ▶ Posizionando opportunamente i due microfoni, potrebbero ricevere la stessa quantità di energia? Spiega.

13 Alla distanza di 40 cm da un altoparlante, l'intensità sonora è di 80 dB.

- ▶ Qual è la potenza dell'altoparlante?

14 Un microfono di area 3,0 cm² in 5,0 s riceve $1,5 \times 10^{-11}$ J.

- ▶ Quanto vale l'intensità sonora?

15 Un microfono di area 1,4 cm², a una certa distanza da un altoparlante, riceve $6,0 \times 10^{-7}$ W/m².

- ▶ Calcola la potenza acustica ricevuta dal microfono.
- ▶ Se la distanza del microfono raddoppia, qual è la potenza che riceve?

16 Una sorgente irradia energia sonora in tutte le direzioni in modo uniforme. La sua potenza è 1,2 W.

- ▶ Quanto vale l'intensità del suono in punti distanti 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m dalla sorgente?
- ▶ Rappresenta l'intensità in funzione della distanza.

17 L'intensità sonora di un aereo a reazione, alla distanza $d_1 = 25$ m, è $I_1 = 5 \times 10^2$ W/m². Una superficie di area 0,5 m² è posta a quella distanza perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda.

- ▶ Quanta energia al secondo arriva sulla superficie?
- ▶ Quanto vale l'intensità I_2 a 2000 m dall'aereo?



Altri problemi sulle **onde sonore** a fine unità, p. 21

Riflessione, trasmissione, assorbimento

Quando un'onda sonora che si sta propagando in un mezzo materiale incontra la superficie di separazione di un altro mezzo, si possono verificare tre fenomeni:

- l'onda si riflette;
- l'onda si trasmette nel secondo mezzo;
- l'onda viene assorbita dal secondo mezzo.

In genere, i tre fenomeni sono presenti contemporaneamente, però uno solo prevale sugli altri due e perciò si parla di *riflessione*, *trasmissione* o *assorbimento* del suono. Per esempio, l'onda sonora che incide su una parete rocciosa viene riflessa e il suono resta nello stesso mezzo da cui proviene.

Le onde sonore possono essere trasmesse attraverso un mezzo; per esempio, in un appartamento, il suono è trasmesso attraverso le pareti, i pavimenti, le porte.

Infine, se il suono arriva su un materiale che non possiede le caratteristiche di elasticità necessarie, non riesce a propagarsi e in questo caso prevale l'assorbimento. I materiali che si comportano in questo modo sono detti materiali *fonoassorbenti*. Alcuni esempi di materiali fonoassorbenti sono la moquette, la lana di vetro, il sughero.

Le proprietà della riflessione

Se l'onda sonora incide in direzione perpendicolare alla superficie riflettente torna indietro nella stessa direzione. Se invece la direzione di propagazione dell'onda incidente non coincide con la perpendicolare alla superficie riflettente, l'onda riflessa si propaga in una direzione che forma con la stessa perpendicolare un angolo r uguale a quello di incidenza i [→ figura 1].

La velocità dell'onda incidente è uguale a quella dell'onda riflessa, perché l'onda viaggia nello stesso mezzo. Poiché la frequenza è fissa, per l'equazione dell'onda:

$$v = \lambda \cdot f$$

Questo ci assicura che la lunghezza dell'onda riflessa è identica alla lunghezza d'onda incidente.

L'*eco* è l'esempio più noto di riflessione di onde sonore. Quando lanciamo un grido davanti a una parete verticale posta a opportuna distanza, la parete riflette una parte dell'onda acustica lungo la direzione di incidenza. Dopo qualche istante riceviamo il grido di ritorno, cioè l'eco.

Poiché la velocità del suono è costante, il tempo che impiega per andare e tornare dalla parete riflettente si calcola con la formula:

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

dove d è la distanza della parete [→ figura 2].

Figura 1
Nella riflessione di un'onda, l'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione.

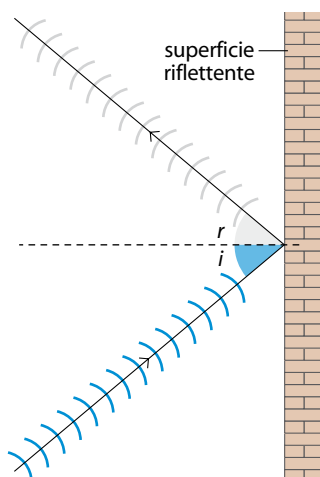
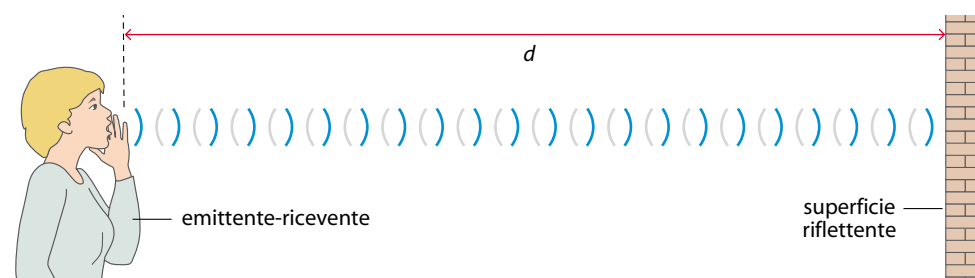


Figura 2
La distanza tra la sorgente sonora e la parete riflettente è d ; lo spazio che percorre il suono è $2d$.



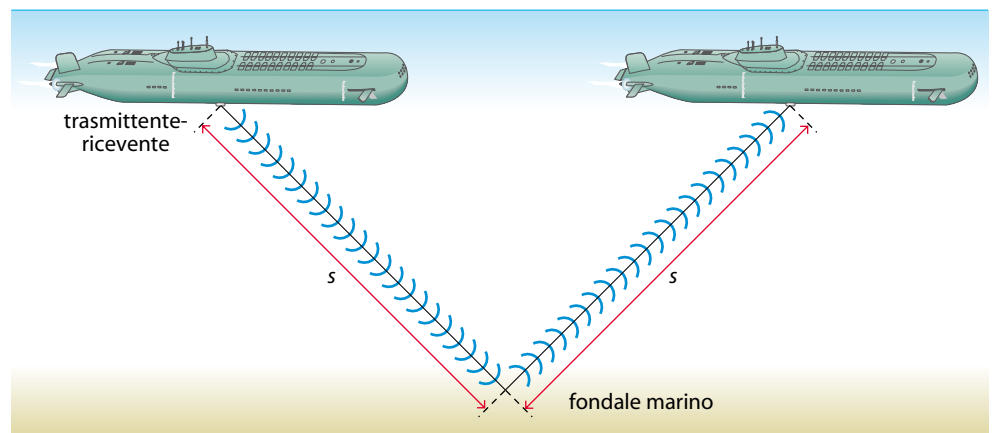
Perché in una normale stanza non sentiamo l'eco? Per spiegare questo fatto bisogna tener presente che l'orecchio umano distingue due suoni solo se essi gli giungono distanziati nel tempo di almeno un decimo di secondo. Perciò il suono incidente e quello riflesso sulla parete saranno percepiti come distinti solo se il tempo impiegato dal suono per andare e tornare dalla parete è maggiore di un decimo di secondo. Con una velocità di 340 m/s, in un decimo di secondo il suono percorre 34 m.

■ Gli ultrasuoni

I suoni percepiti dall'orecchio umano hanno frequenze comprese tra i 20 Hz e i 20 000 Hz. Gli ultrasuoni hanno frequenza maggiore di 20 000 Hz; gli infrasuoni hanno frequenza inferiore a 20 Hz. Alcuni animali, come i delfini [→ figura 3], le balene e i pipistrelli, possono emettere e percepire gli ultrasuoni. I cani non emettono ultrasuoni, ma riescono a percepirli; per esempio percepiscono quelli che provengono da un fischietto. Le proprietà fondamentali degli ultrasuoni sono le seguenti:

- sono delle onde;
- in condizioni normali, la velocità di propagazione è di circa 340 m/s;
- non si propagano nel vuoto e nei mezzi materiali hanno la stessa velocità del suono;
- sono molto direttivi: mentre le onde sonore si propagano in un cono ampio, gli ultrasuoni si propagano in un cono più stretto.

Il sonar (abbreviazione di **s**ound **n**avigation and **r**anging, che significa navigazione e localizzazione mediante il suono) è un dispositivo che permette di misurare una distanza sotto la superficie del mare sfruttando la riflessione degli ultrasuoni [→ figura 4].



■ L'ecografia

Un'altra importante applicazione della riflessione degli ultrasuoni è l'**ecografia**, una tecnica usata in medicina per studiare la forma di organi o di cavità del corpo umano, al fine di rilevare qualche loro modificazione a causa di processi patologici. Nell'ecografia si utilizzano ultrasuoni di frequenze comprese fra 2 MHz e 15 MHz a seconda degli organi da studiare.

Gli ultrasuoni, prodotti da una sonda che funziona anche da ricevitore delle onde riflesse, si propagano nei tessuti e, in parte, vengono riflessi dagli organi che devono essere esaminati, come per esempio il fegato, il cuore, i reni. Noto il tempo di andata e ritorno e la velocità di propagazione, si traggono informazioni sulla natura e sullo spessore dei mezzi attraversati. Tutte le informazioni vengono elaborate da un computer che produce sullo schermo un'immagine degli organi attraversati dagli ultrasuoni.

L'ecografia [→ figura 5] è un esame diagnostico facile e indolore; costituisce un metodo d'indagine complementare alle radiografie fatte con i raggi X.

Figura 3
I delfini sono in grado di emettere e percepire gli ultrasuoni.




F. NICOLINI/WUNDER/NERI

Figura 4
Gli ultrasuoni emessi dal sottomarino vengono riflessi da un ostacolo distante. I segnali riflessi sono captati da un ricevitore dopo un tempo t .

Figura 5
L'ecografia è usata anche per la diagnostica prenatale, la riflessione avviene sulla superficie del feto.



ISM/PHOTOFIX

 Applica definizioni e leggi a p. 13

IDEA-CHIAVE Un osservatore che ascolta il suono emesso da una sorgente, riceve una frequenza che non sempre coincide con quella emessa, ma dipende dal moto relativo tra sorgente e osservatore.

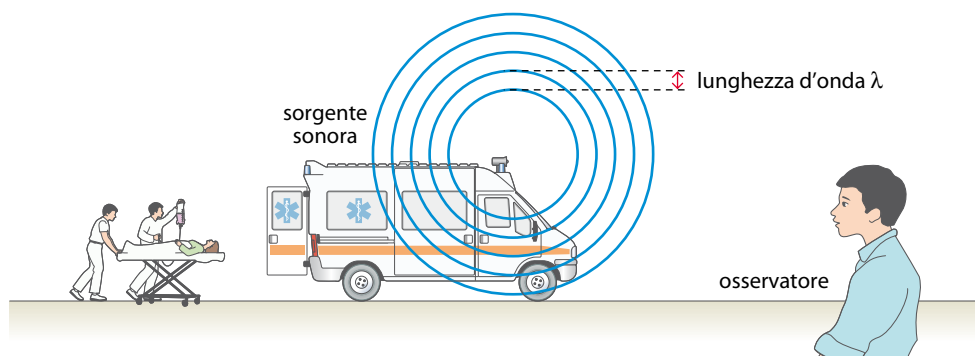
■ Osservazione

Consideriamo un ragazzo (osservatore) e un'ambulanza (sorgente sonora), entrambi fermi come nella → figura 1.

Un suono di frequenza f , emesso dall'ambulanza, si propaga nell'aria con velocità costante v e giunge alle orecchie del ragazzo con la stessa lunghezza d'onda λ . Poiché $v = \lambda \cdot f$, l'osservatore ascolta il suono con la stessa frequenza f con cui è stato emesso.

Figura 1

L'ambulanza è ferma rispetto all'osservatore. L'onda sonora di frequenza f emessa dalla sirena arriva alle orecchie dell'osservatore con la stessa frequenza con cui è stata generata.



Se però la sorgente sonora si muove rispetto all'osservatore, o quest'ultimo si muove rispetto alla sorgente, la frequenza ricevuta è diversa dalla frequenza emessa dalla sorgente. Questo fenomeno prende il nome di **effetto Doppler**, dal nome del fisico austriaco Johann Christian Doppler (1803-1853) che lo descrisse in una sua pubblicazione nel 1842.

Distinguiamo i due casi:

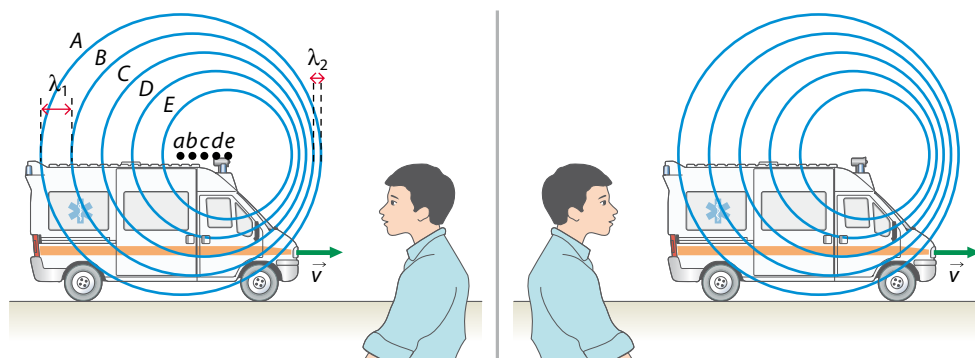
- la sorgente si muove rispetto all'osservatore fermo;
- l'osservatore si muove rispetto alla sorgente ferma.

■ La sorgente si muove rispetto all'osservatore

Supponiamo che la sorgente sonora si muova in linea retta, a velocità costante, avvicinandosi all'osservatore. Le onde sonore emesse dalla sirena non sono concentriche come nella → figura 1, ma sono «schiacciate» nel senso del movimento [→ figura 2a].

Figura 2

Sorgente in movimento.



a L'ambulanza si avvicina. L'onda A è stata emessa quando la sirena si trovava nel punto a, l'onda B quando la sirena stava nel punto b e così via. Al ragazzo arriva un suono con λ minore.

b Il ragazzo che vede la sorgente allontanarsi riceve una lunghezza d'onda λ maggiore e quindi una frequenza minore.

MATEMATICA

Nella formula

$$f_o = f_s \cdot \frac{v}{v - v_s}$$

$f_o > f_s$ perché

$$\frac{v}{v - v_s} > 1$$

In pratica, per il ragazzo, le creste dell'onda sono più vicine tra loro di quanto lo sarebbero se la sorgente rimanesse ferma. Ne consegue che le onde gli arrivano con una lunghezza d'onda minore; poiché λ e f sono inversamente proporzionali, la frequenza del suono che riceve l'osservatore è maggiore di quella emessa dalla sorgente.

Viceversa, quando la sorgente si allontana, l'osservatore riceve una lunghezza d'onda maggiore e una frequenza minore [→ figura 2b].

Indichiamo con f_s la frequenza emessa dalla sorgente, con f_o la frequenza percepita dall'osservatore, con v_s la velocità costante della sorgente e con v la velocità di propagazione del suono in aria.

Si può dimostrare che sono valide le due formule seguenti:

$$f_o = f_s \cdot \left(\frac{v}{v - v_s} \right) \quad \text{se la sorgente si avvicina all'osservatore;}$$

$$f_o = f_s \cdot \left(\frac{v}{v + v_s} \right) \quad \text{se la sorgente si allontana dall'osservatore.}$$

ESEMPIO 1 L'ambulanza si muove con velocità di 30 m/s ed emette un suono di frequenza 400 Hz.

Quando l'ambulanza si avvicina l'osservatore sente un suono di frequenza:

$$f_o = (400 \text{ Hz}) \times \left(\frac{340 \text{ m/s}}{340 \text{ m/s} - 30 \text{ m/s}} \right) = 439 \text{ Hz}$$

Quando si allontana, invece, sente un suono di frequenza:

$$f_o = (400 \text{ Hz}) \times \left(\frac{340 \text{ m/s}}{340 \text{ m/s} + 30 \text{ m/s}} \right) = 368 \text{ Hz}$$

■ L'osservatore si muove rispetto alla sorgente

L'effetto Doppler si verifica anche quando la sorgente del suono rimane ferma e l'osservatore si allontana o si avvicina. Indichiamo con v_o la velocità dell'osservatore. Se egli si avvicina alla sorgente, la frequenza f_o che egli percepisce si calcola con la formula:

$$f_o = f_s \cdot \left(\frac{v + v_o}{v} \right)$$

ed è maggiore della frequenza f_s della sorgente.

Se, invece, l'osservatore si allontana dalla sorgente, la frequenza che percepisce è:

$$f_o = f_s \cdot \left(\frac{v - v_o}{v} \right)$$

ed è minore di quella emessa dalla sorgente.

■ Il bang supersonico

Che cosa succede se la sorgente si muove velocemente? Quanto maggiore è la velocità della sorgente, tanto più schiacciate risultano le creste delle onde che si propagano. Se la sorgente si muove con una velocità uguale a quella del suono, le creste sono molto fitte, si sovrappongono e ne deriva una forte perturbazione dell'aria circostante.

Consideriamo un aereo che viaggia a velocità prossima a quella del suono (340 m/s = 1224 km/h). Le onde emesse nella direzione del moto si accumulano l'una sull'altra formando un'onda di grande ampiezza chiamata **onda d'urto**. In presenza di onda d'urto, l'energia sonora si concentra in una piccola zona. Per superare la velocità del suono, l'aereo deve attraversare l'onda d'urto; nel linguaggio comune si dice che deve superare *il muro del suono*. Mentre l'onda d'urto scorre sulla superficie terrestre, l'osservatore che si trova nelle vicinanze ode un forte rumore simile a un'esplosione, detto **bang supersonico**.



Applica definizioni e leggi
a p. 14

■ Riflessione, trasmissione, assorbimento

- 1** Un suono si propaga dall'aria all'acqua.
- Quali fenomeni si verificano sulla superficie di separazione aria-acqua?
 - Nel passaggio da un mezzo all'altro, cambia la frequenza del suono?
 - Cambia la velocità?
- 2** Un materiale fonoassorbente ha la proprietà di assorbire buona parte dell'onda sonora che vi arriva sopra.
- Un materiale del genere deve essere poco elastico o molto elastico?
 - Un mucchio di neve è un buon assorbente del suono oppure no?

■ Le proprietà della riflessione

3 Vero o falso?

Le seguenti affermazioni si riferiscono alla riflessione di un'onda sonora da parte di una parete.

- a) Onda riflessa e onda incidente si propagano con velocità diversa. V F
- b) L'onda riflessa si propaga nella stessa direzione dell'onda incidente. V F
- c) La frequenza dell'onda riflessa è diversa dalla frequenza dell'onda incidente. V F
- d) Onda incidente e onda riflessa hanno uguale lunghezza d'onda. V F

- 4** Un ragazzo si trova a 500 m da una parete rocciosa. Lancia un urlo e riceve l'eco (velocità del suono = 340 m/s).
- Quanto tempo passa tra l'emissione del suono e il ricevimento dell'eco?
- 5** Un colpo di pistola viene sparato in direzione di una parete verticale che dista 15 m.
- Perché non si sente l'eco dello sparo?
 - Se la parete si trova a 200 m l'eco si sente nitidamente. Con quale ritardo giunge l'eco nel punto in cui è avvenuto lo sparo?

■ Gli ultrasuoni

- 6** Un pesante camion fa vibrare la massicciata stradale con una frequenza di 4,0 Hz.
- Nell'aria circostante si propagano dei suoni, degli infrasuoni o degli ultrasuoni?
 - Qual è la lunghezza d'onda delle onde che si propagano nell'aria?
- 7** Un'onda longitudinale si propaga nell'aria alla velocità di 350 m/s, con una lunghezza d'onda uguale a 1,5 cm.
- Con quale frequenza si propaga l'onda?
 - Quella calcolata fa parte delle frequenze udibili da

un orecchio umano normale?

- 8** Il pipistrello invia ultrasuoni sugli ostacoli per individuare la distanza. Supponi che la parete di una caverna si trovi a una distanza di 60 m e che gli ultrasuoni viaggino alla velocità di 340 m/s.
- Dopo quanto tempo riceve il segnale di ritorno?
- 9** Gli ultrasuoni vengono usati anche a scopo terapeutico, soprattutto nella cura di artrosi articolari. Onde ultrasonore investono l'articolazione malata e vengono assorbite cedendo la loro energia.
- In quale forma è trasportata l'energia dagli ultrasuoni?
 - In quale forma si disperde l'energia nel tessuto articolare?
- 10** Da una nave, un sonar invia ultrasuoni indirizzandoli verso il fondo del mare alla ricerca di un relitto. La velocità degli ultrasuoni nell'acqua è di 1500 m/s. L'onda riflessa viene ricevuta dopo 2,5 s.
- A quale profondità si trova il relitto?
- 11** La maggior parte delle macchine fotografiche digitali è dotata di una messa a fuoco automatica (autofocus). La macchina emette ultrasuoni che vengono riflessi dall'oggetto fotografato e raccolti da un sensore.
- Quanto tempo impiega per mettere a fuoco un oggetto posto a 40 m di distanza?

■ L'ecografia

- 12** La «diagnosi ecografica ultrasonora» è usata in ginecologia, oftalmologia, cardiologia e neurologia.
- Che cos'è una ecografia?
 - Quali frequenze si sfruttano per gli ultrasuoni?
- 13** In un'ecografia vengono utilizzati ultrasuoni di lunghezza d'onda uguale a 2,5 mm. Supponi che la velocità degli ultrasuoni nel corpo umano sia 1500 m/s.
- Verifica che gli ultrasuoni si propagano con una frequenza di 0,6 MHz.
 - Quale lunghezza d'onda dovrebbero avere per propagarsi con una frequenza di 1,2 MHz?



Altri problemi sulla **riflessione del suono** a fine unità, p. 23

■ Osservazione

- 1 La sirena di una nave, ferma in un porto, emette un fischio per avvisare che è in procinto di salpare.
- Un marinaio sulla nave e un uomo che è fermo sul molo ricevono il suono con la stessa frequenza?
 - Che cosa succede se il fischio persiste anche mentre la nave si muove?

■ La sorgente si muove rispetto all'osservatore

- 2 Mentre un'autoambulanza si avvicina al luogo di un incidente alla velocità di 90 km/h, la sirena emette un'onda sonora con una frequenza di 450 Hz. Supponi che il suono si propaghi con una velocità di 340 m/s.
- Qual è la frequenza percepita da una persona ferma sul luogo dell'incidente?
 - La lunghezza d'onda percepita è maggiore, minore o uguale di quella emessa?
- 3 Un viaggiatore fermo in stazione sente il fischio del treno che sta arrivando alla velocità di 72 km/h. Il fischio è emesso alla frequenza di 800 Hz.
- Qual è la frequenza che percepisce il viaggiatore fermo in stazione?
- 4 Un'onda sonora che incide su di una superficie viene riflessa. Se la superficie è ferma l'onda riflessa ha la stessa frequenza di quella incidente, se invece è in moto l'onda riflessa cambia frequenza.
- Da che cosa dipende la variazione di frequenza?
- 5 Un microfono fermo raccoglie un'onda sonora emessa a 1000 Hz da una sorgente che gli si sta avvicinando alla velocità di 60 m/s.
- Calcola la frequenza percepita dal microfono.
- 6 Mentre un aereo decolla, allontanandosi dalla torre di controllo, emette un segnale sonoro di frequenza 600 Hz.

E. BEVMA



- Quando l'aereo ha una velocità di 180 km/h, qual è la frequenza che riceve un controllore di volo?
- Quando la velocità è 360 km/h, la frequenza ricevuta dal controllore di volo è doppia?

- 7 Mentre un treno passa sui binari di una stazione alla velocità di 72 km/h, il capostazione, fermo sulla banchina, vede il treno allontanarsi e riceve un suono di frequenza 755,5 Hz.

- Quale frequenza ha emesso la sirena del treno?

- 8 Se la sorgente sonora si allontana dall'osservatore fermo, vale la formula:

$$f_o = f_s \frac{v}{v + v_s}$$

- Spiega perché la frazione $\frac{v}{v + v_s}$ è minore di 1.
- La frequenza f_o è minore o maggiore di f_s ?

■ L'osservatore si muove rispetto alla sorgente

- 9 Un'automobile si sta avvicinando alla velocità di 72 km/h ad una stazione ferroviaria, dove una locomotiva ferma sta emettendo un fischio alla frequenza di 800 Hz.

- Qual è la frequenza percepita dall'autista dell'automobile?
- Confronta questo risultato con quello dell'esercizio 3. Sono uguali o diversi?

- 10 Un ricevitore sonoro si avvicina a una sorgente sonora in quiete, che vibra alla frequenza di 1000 Hz.

- Il ricevitore registra una frequenza di 1180 Hz.
- Calcola la velocità del ricevitore.

- 11 La sirena di un faro emette un suono di frequenza 700 Hz. Il passeggero di una nave percepisce una frequenza minore del 2% rispetto a quella emessa.

- Qual è la frequenza percepita dal passeggero?
- La nave si sta allontanando o avvicinando al faro?

- 12 Se l'osservatore si avvicina alla sorgente sonora ferma, vale la formula:

$$f_o = f_s \left(\frac{v + v_o}{v} \right)$$

- Spiega perché la frazione racchiusa tra parentesi è maggiore di 1.
- La frequenza f_o è maggiore o minore di f_s ?

■ Il bang supersonico

13 Vero o falso?

- a) Perché si crei un'onda d'urto, la sorgente sonora deve muoversi con una velocità uguale o maggiore di quella del suono. V F
- b) Il muro del suono corrisponde a una velocità della sorgente di circa 1200 m/s. V F
- c) Quando un aereo vola a velocità uguale a quella del suono deve superare una zona in cui l'aria è molto compressa. V F



Altri problemi sull'effetto Doppler a fine unità, p. 24



L'ondoscopio

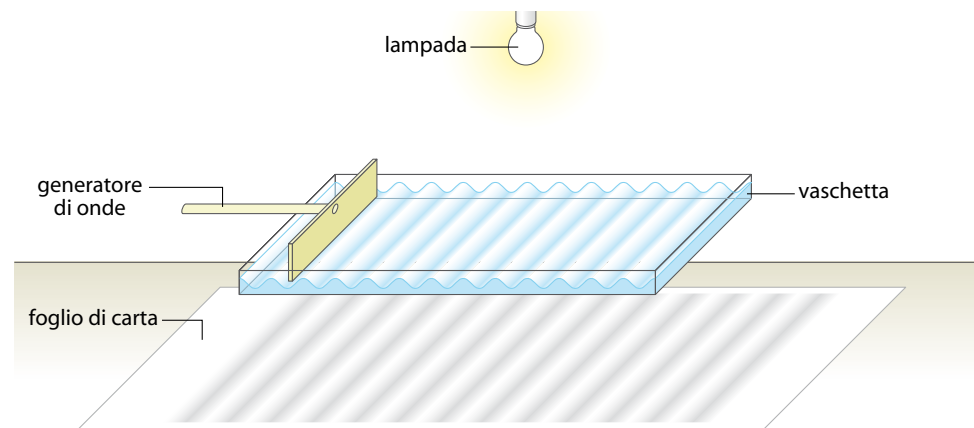
► Come è possibile studiare le onde in laboratorio?

Il problema

I fenomeni legati alla propagazione delle onde sono caratteristici di molte situazioni diverse. È però difficile visualizzare le onde e misurare direttamente le loro grandezze caratteristiche: se non possiamo localizzare i ventri e le creste di una particolare onda, non possiamo nemmeno misurare grandezze come la lunghezza d'onda o la frequenza. In che modo possiamo superare queste difficoltà?

Una strategia

Introduciamo un nuovo dispositivo sperimentale, l'*ondoscopio*. Si tratta di una vaschetta con il fondo trasparente, nella quale è possibile versare uno strato sottile di acqua. Un generatore di onde, come un'asta o una punta oscillante collegata a un motore, può colpire la superficie dell'acqua facendola oscillare periodicamente. Una lampada illumina l'acqua dall'alto e proietta l'immagine ingrandita delle onde prodotte su un foglio di carta sottostante. In pratica la superficie dell'acqua si comporta come una lente e crea un'immagine luminosa dei fronti d'onda.



Con l'ondoscopio è facile osservare i fenomeni tipici della propagazione delle onde.

- Ponendo un ostacolo rettilineo, come un righello, lungo il percorso dell'onda, si può osservare la *riflessione*: il fronte d'onda rettilineo prodotto dal generatore, incontrando l'ostacolo, viene riflesso e si forma un secondo fronte d'onda rettilineo, parallelo all'ostacolo, che si allontana da quest'ultimo.
- Se l'ostacolo è parallelo al fronte d'onda originario, si può variare la frequenza del generatore (o spostare l'ostacolo) in modo che i due fronti d'onda (incidente e riflesso) formino una regione di *onde stazionarie*, dove i ventri e le creste delle onde non cambiano posizione nel tempo. Ottenere delle onde stazionarie è un metodo semplice per misurare la lunghezza d'onda come distanza fra due ventri successivi (o fra due creste).
- Mettendo sotto il pelo dell'acqua un piano inclinato con una pendenza molto lieve otteniamo che la profondità dell'acqua varia gradualmente. In questo modo osserviamo il fenomeno della *rifrazione*: il fronte d'onda cambia direzione e le onde si fanno più vicine fra loro.
- Con due righelli affiancati e paralleli al fronte d'onda, possiamo creare un ostacolo interrotto da una fenditura. Dopo la fenditura il fronte d'onda continua a propagarsi, ma si deforma. Più la fenditura è stretta, più il nuovo fronte d'onda diventa circolare. È il fenomeno della *diffrazione*.

Modificando la frequenza del generatore e quindi delle onde, si può osservare anche che, quando la frequenza è bassa, le onde sono più distanti, e viceversa. La lunghezza d'onda si può determinare fotografando l'immagine sul foglio, su cui è stato posto anche un righello, e misurando la distanza tra i fronti d'onda nella fotografia. Si può misurare anche la velocità delle onde, seguendo un particolare fronte d'onda e misurando con un cronometro il tempo che impiega per passare da un estremo all'altro del foglio.

Riassumendo

Osservazioni

- In una regione dove si sovrappongono onde incidenti e onde riflesse con fronti paralleli, le linee luminose proiettate sul foglio appaiono immobili.
- Al diminuire della frequenza la lunghezza d'onda aumenta e viceversa.

Interpretazioni

- La sovrapposizione di onde incidenti e onde riflesse, in particolari condizioni, crea il fenomeno delle onde stazionarie, con nodi in cui l'acqua non oscilla e che restano nella stessa posizione al passare del tempo.
- La velocità di propagazione delle onde varia poco con la lunghezza d'onda, perciò lunghezza d'onda e frequenza sono all'incirca inversamente proporzionali.

Le misure

Impostando il generatore su una frequenza abbastanza bassa, facciamo delle misure di lunghezza d'onda e velocità.

- Effettuiamo misure ripetute del tempo impiegato da un fronte d'onda a percorrere la larghezza di un foglio di carta largo $l = 42$ cm:

	misura 1	misura 2	misura 3	misura 4	media
Δt (s)	1,5	1,4	1,6	1,5	1,5

- Otteniamo la velocità dividendo la larghezza del foglio per l'intervallo di tempo:

$$v = \frac{0,42 \text{ m}}{1,5 \text{ s}} = 0,28 \text{ m/s}$$

- Misuriamo la lunghezza d'onda su una fotografia:

$$\lambda = 0,05 \text{ m}$$

La frequenza delle onde deve essere $f = v/\lambda = 6$ Hz, pari a sei onde generate al secondo.

- Ripeti l'esperienza, trascrivendo qui i dati:

	misura 1	misura 2	misura 3	misura 4	media
Δt (s)					

- $v = \dots\dots\dots$ m/s
- $\lambda = \dots\dots\dots$ m
- $f = v/\lambda = \dots\dots\dots$ Hz

Domande

- ▶ Che valore della frequenza otterresti con questi dati?
 $v = 0,20$ m/s; $\lambda = 0,025$ m
- ▶ Cosa ci aspettiamo che succeda se nella diffrazione usiamo al posto di una piccola fenditura in un ostacolo rettilineo, un ostacolo di piccole dimensioni?



Per collegare le idee

► Come si può generare un'onda?

- Le onde sono prodotte da corpi che oscillano; se le oscillazioni sono armoniche, l'onda è di tipo sinusoidale.

► Quali sono le grandezze che caratterizzano un'onda?

- Le grandezze caratteristiche sono l'ampiezza, la lunghezza d'onda, il periodo, la frequenza e la velocità. La frequenza di un'onda è uguale alla frequenza del corpo che oscilla. La lunghezza d'onda è la distanza che l'onda percorre durante un periodo T ; λ dipende dal mezzo in cui l'onda si propaga.

► Da che cosa dipende la velocità di un'onda?

- Quando un'onda periodica di frequenza f e lunghezza d'onda λ si propaga con velocità v , le tre grandezze sono legate dall'equazione dell'onda: $v = \lambda \cdot f$.

► Che cos'è un'onda sonora?

- Le onde sonore sono prodotte da corpi che vibrano e producono vibrazione del mezzo in cui si propagano. Sono onde di tipo longitudinale: lo spostamento locale delle particelle del mezzo è nella stessa direzione di propagazione dell'onda.

► Qual è la differenza fra gli infrasuoni e gli ultrasuoni?

- Gli infrasuoni sono onde con frequenza minore di 20 Hz; gli ultrasuoni hanno frequenza maggiore di 20 000 Hz. Entrambi non sono percepibili da un orecchio umano, ma solo da alcuni animali.

► Che cos'è la potenza acustica?

- La potenza acustica (P_a) è una grandezza che caratterizza le sorgenti sonore: è il rapporto fra l'energia (E) emessa dalla sorgente e l'intervallo di tempo (Δt) in cui viene emessa:

$$P_a = \frac{E}{\Delta t}$$

- L'energia emessa da un'onda si distribuisce nello spazio, perciò in punti distanti dalla sorgente arriva meno energia che nei punti più vicini.

► Da che cosa dipende l'intensità di un'onda?

- L'intensità dell'onda è il rapporto fra la potenza e l'area su cui incide l'energia trasportata dall'onda. Una sorgente puntiforme emette energia che si distribuisce in tutto lo spazio, su una superficie sferica che ha il centro nella sorgente.

Alla distanza r dalla sorgente, l'intensità dell'onda è

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

ed è inversamente proporzionale al quadrato della distanza.



► Che cosa succede a un suono che si propaga?

- Il suono può essere assorbito da un mezzo che ha poca elasticità, oppure può attraversare il mezzo, oppure essere riflesso. In particolare, la riflessione è il fenomeno responsabile dell'eco.

► Che cos'è l'effetto Doppler?

- Quando una sorgente sonora e un osservatore si muovono l'uno rispetto all'altro, si verifica l'effetto Doppler: la frequenza che l'osservatore percepisce è diversa da quella che la sorgente emette.

► Quali sono le conseguenze dell'effetto Doppler?

- Un suono di frequenza f_s emesso da una sorgente in movimento è percepito con una frequenza f_o da un osservatore fermo: se la sorgente si avvicina la frequenza f_o è maggiore di f_s , viceversa, se la sorgente si allontana la frequenza f_o è minore di f_s .
- Anche se la sorgente è ferma e l'osservatore è in moto la frequenza emessa e quella percepita sono diverse.

► Quali sono le applicazioni più importanti dell'effetto Doppler?

- Un'onda che incide su una superficie in moto viene riflessa e cambia frequenza. La variazione di frequenza dipende dalla velocità v della superficie riflettente. Misurando la frequenza di emissione e quella di ritorno si può risalire alla velocità v . Su questo principio si basano alcuni dispositivi che permettono di determinare la velocità degli oggetti (sonar, autovelox, ecografo).



Test e quesiti

■ Test

- 1** Un sasso cade in uno stagno e produce delle onde che si propagano sulla superficie dell'acqua. La velocità di propagazione:
- A coincide con la velocità delle singole molecole d'acqua interessate dalla perturbazione ondosca;
 - B coincide con la velocità con cui è caduto il sasso nello stagno;
 - C coincide con la velocità media del movimento delle molecole d'acqua;
 - D non ha nessuna relazione con la velocità delle molecole d'acqua o con la velocità del sasso.
- 2** Per un'onda che si propaga in un determinato mezzo la lunghezza d'onda e la frequenza:
- A sono inversamente proporzionali;
 - B sono direttamente proporzionali;
 - C dipendono dall'ampiezza dell'onda;
 - D sono in correlazione lineare.
- 3** Due onde che si propagano con velocità uguali hanno anche la stessa lunghezza d'onda?
- A Sì, se hanno anche la stessa ampiezza.
 - B Sì, se hanno lo stesso periodo.
 - C Sì, se hanno frequenza diversa.
 - D No, in nessun caso.
- 4** Un suono giunge alle tue orecchie. Da che cosa dipende la frequenza del suono che ascolti?
- A Dalla distanza della sorgente.
 - B Dalle caratteristiche del mezzo che il suono attraversa.
 - C Dalle caratteristiche della sorgente che emette.
 - D Dalla temperatura dell'aria circostante.
- 5** Un suono si propaga sempre in un mezzo. Durante la propagazione l'onda sonora:
- A trasporta quantità di moto;
 - B trasporta materia;
 - C trasporta energia;
 - D non trasporta potenza.
- 6** Come varia l'intensità di un suono mentre si allontana dalla sorgente?
- A È direttamente proporzionale alla distanza dalla sorgente.
 - B È inversamente proporzionale alla distanza dalla sorgente.
 - C È inversamente proporzionale al quadrato della distanza dalla sorgente.
 - D Le risposte precedenti sono tutte errate.

- 7** Due persone si trovano in una stanza, a distanza diversa da un altoparlante ricevono:
- A un suono di frequenza diversa.
 - B il suono nello stesso istante.
 - C un suono della stessa intensità.
 - D una diversa quantità di energia.
- 8** Supponi che delle onde sonore incidano sulla superficie dell'acqua. Una parte viene riflessa e un parte rifratta. Rispetto alle onde incidenti, le onde riflesse e quelle rifratte:
- A hanno la stessa frequenza;
 - B hanno la stessa velocità;
 - C mantengono la stessa lunghezza d'onda;
 - D mantengono la stessa direzione di propagazione.
- 9** L'ecografia è un test diagnostico che sfrutta:
- A la diffrazione degli ultrasuoni;
 - B la riflessione degli ultrasuoni;
 - C la rifrazione degli ultrasuoni;
 - D l'assorbimento degli ultrasuoni.
- 10** La sirena di un'autoambulanza emette un suono. Quale dei seguenti osservatori sente il suono più acuto?
- A Un passante che vede l'autoambulanza avvicinarsi.
 - B Un passante che vede l'autoambulanza allontanarsi.
 - C Un passeggero seduto accanto all'autista.
 - D Un automobilista che viaggia alla stessa velocità dell'autoambulanza.

■ Quesiti

- 11** Quando un'onda si propaga in un mezzo, la frequenza dell'onda cambia?
- 12** Un ricevitore sonoro capta l'energia trasportata da un suono. Da che cosa dipende la quantità di energia?
- 13** Il decibel è unità di misura del SI?
- 14** Quando il suono si riflette su una parete rigida, la frequenza risulta modificata?
- 15** Un osservatore che si avvicina a una sorgente sonora ferma, riceve una frequenza maggiore o minore di quella emessa?



online.zanichelli.it/ruffo_fisica

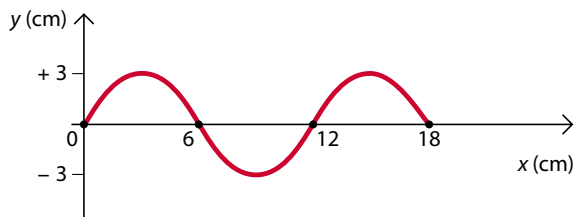
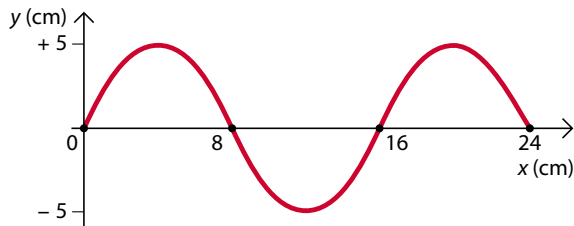
TEST INTERATTIVI, 30 minuti (20 test)
TEST E QUESITI, 1 pagina

Saper applicare le leggi relative alla propagazione di un'onda

► Come individuare le grandezze caratteristiche di un'onda

- Ampiezza e lunghezza d'onda (λ) si possono ricavare da un grafico $y = f(x)$.
- Periodo T e frequenza f sono legate dalla relazione $f \cdot T = 1$.
- La velocità si calcola mediante la legge fondamentale delle onde: $v = \lambda \cdot f$.

1 Nella figura seguente sono riportate due onde.



- Quale onda ha l'ampiezza maggiore e quanto vale?
- Quale onda ha lunghezza d'onda minore e quanto vale? [5 cm; 12 cm]

2 Un'onda compie 50 oscillazioni complete in un secondo.

- Quanto vale il periodo dell'onda?
- Qual è la frequenza dell'onda?
- È possibile calcolare la velocità dell'onda?

[0,02 s; 50 Hz]

3 Un vibratore di frequenza 100 Hz è connesso a una molla e produce onde che si propagano con velocità di 25 m/s.

- Spiega perché le onde si propagano con lunghezza d'onda di 25 cm.
- Se la velocità delle onde fosse 12,5 m/s, la lunghezza d'onda sarebbe 12,5 cm?

4 Un'onda, che si sposta su una corda, ha una lunghezza d'onda di 80 cm e percorre 4 m in 5 s.

- Calcola la velocità dell'onda.
- Qual è la frequenza dell'onda?

[0,8 m/s; 1 Hz]

► Come applicare le leggi relative alla propagazione del suono

• In un mezzo omogeneo, un suono di lunghezza d'onda λ e frequenza f si propaga con una velocità $v = \lambda \cdot f$.

• Ogni sorgente sonora emette una potenza acustica

$$P_a = \frac{E}{\Delta t}$$

• L'intensità che raggiunge un rivelatore di suoni, posto a distanza r dalla sorgente, si calcola con la formula:

$$I = \frac{P_a}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

5 La frequenza massima che un orecchio umano può ascoltare è 20 000 Hz.

► Qual è la lunghezza d'onda che corrisponde a questa frequenza, se il suono viaggia alla velocità di 340 m/s?

[0,017 m]

6 Nel ferro il suono si propaga con una velocità di 6000 m/s, nell'acqua la velocità è 1500 m/s. Un diapason, che vibra con frequenza di 400 Hz, emette un suono che si propaga nei due mezzi.

► Verifica che il rapporto fra le lunghezze d'onda dei due suoni vale 4.

7 Un altoparlante ha una potenza massima di 20 W.

► Qual è l'energia massima che può emettere in 30 secondi?

► Quale potenza dovrebbe avere per emettere nello stesso tempo $2,4 \times 10^3$ J?

[6,0 × 10² J; 80 W]

8 Una sorgente sonora puntiforme emette con una potenza di 12,56 W.

► Qual è l'intensità sonora che capta un ricevitore posto a un metro di distanza?

► E se il ricevitore è posto a due metri dalla sorgente?

[1,0 W/m²; 0,25 W/m²]

9 L'intensità dell'onda prodotta da un terremoto a 50 km dall'epicentro è $1,6 \times 10^6$ W/m².

► Qual è l'intensità dell'onda a 200 km di distanza dall'epicentro?

[1,0 × 10⁵ W/m²]

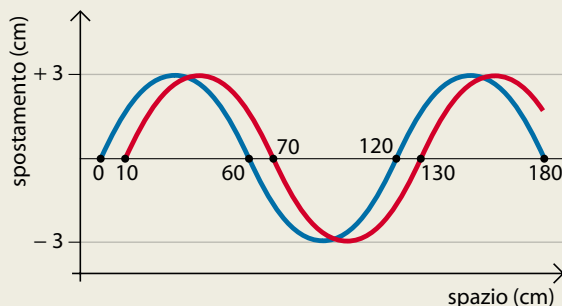
13.1 La propagazione delle onde

1 PROBLEMA SVOLTO

■ ■ ■ **Onda su una corda**

Nella figura è rappresentata un'onda periodica su una corda. La curva blu rappresenta la forma della corda al tempo $t = 0$ s, la curva rossa rappresenta la forma della corda all'istante $t = 0,2$ s.

► Determiniamo le grandezze caratteristiche dell'onda.



Analisi e soluzione

Dati	Incognite
Grafico	Grandezze caratteristiche dell'onda

Ampiezza e lunghezza d'onda si ricavano osservando la curva che rappresenta l'onda; per le altre grandezze caratteristiche dell'onda si utilizza la relazione $v = \lambda \cdot f$.

- Quando un punto della corda è raggiunto dall'onda oscilla fra -3 cm e $+3$ cm; perciò l'ampiezza dell'onda è 3 cm.

- La lunghezza d'onda è la distanza fra due creste successive:

$$\lambda = 120 \text{ cm} = 1,2 \text{ m}$$

- Poiché l'onda si sposta di 10 cm in 0,2 s, la velocità è:

$$v = \frac{0,1 \text{ m}}{0,2 \text{ s}} = 0,5 \text{ m/s}$$

- Applichiamo la relazione $v = \lambda \cdot f$ per calcolare la frequenza:

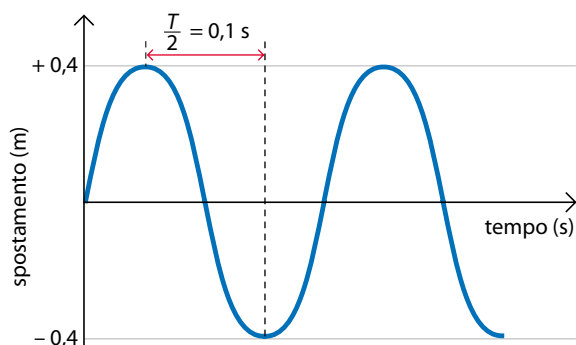
$$f = \frac{\lambda}{v} = \frac{0,5 \text{ m/s}}{1,2 \text{ m}} = 0,42 \text{ Hz}$$

- Il periodo è il reciproco della frequenza:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,42 \text{ Hz}} = 2,4 \text{ s}$$

2 La figura che segue rappresenta un'onda sinusoidale che viaggia con velocità di 100 m/s.

■ ■ ■



- Scrivi il periodo, l'ampiezza dell'onda e la frequenza.

- Calcola la lunghezza d'onda. [0,2 s; 0,4 m; 5 Hz; 20 m]

3 Disegna due volte la figura del problema precedente.

■ ■ ■

- Sul primo disegno traccia il profilo di un'altra onda sinusoidale della stessa ampiezza con frequenza doppia.

- Sul secondo disegno traccia il profilo di un'altra onda sinusoidale della stessa frequenza con ampiezza doppia.

4 Un'onda ha una frequenza di 4,0 Hz e una lunghezza d'onda di 5,5 m.

■ ■ ■

- Quante creste passano in un dato punto del mezzo in ogni secondo?

- Qual è la distanza tra due creste successive?
- Quale distanza percorre la prima cresta in un secondo? [4; 5,5 m; 22 m/s]

5 Una nave è ancorata al molo. Un marinaio osserva le onde che colpiscono la prua e nota che le creste si succedono a intervalli di 10 secondi.

- Se la distanza fra due creste successive è 6,0 m, qual è la velocità delle onde?
- Dopo un po' di tempo, la velocità delle onde aumenta a 2,4 m/s. Qual è l'intervallo di tempo fra due creste successive? [0,6 m/s; 2,5 s]

6 La velocità delle onde che si propagano in una corda si calcola con la formula $v = \sqrt{\frac{F_T}{mL}}$, dove F_T è la tensione

nella corda, m la massa e L la lunghezza.

Una corda lunga 5,20 m e massa 2,50 kg viene sottoposta a una tensione di 400 N. Nelle onde che si propagano sulla corda, una cresta e un ventre distano 20 cm.

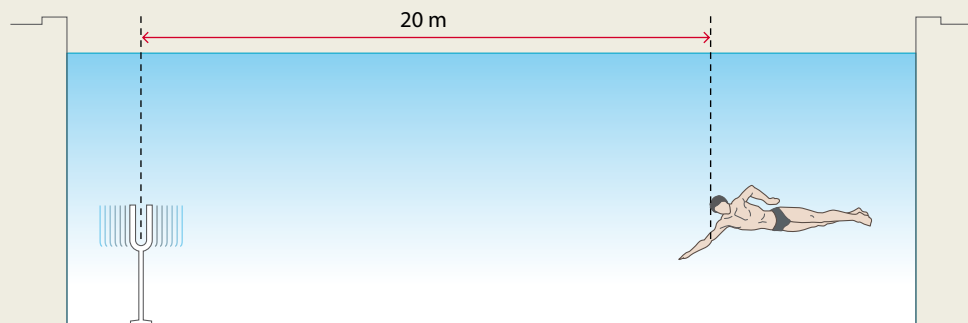
- Con quale velocità si propaga l'onda sulla corda?
- Calcola lunghezza d'onda e frequenza.
- A parità di massa, se la corda fosse più spessa, la velocità sarebbe maggiore o minore di quella calcolata? [28,8 m/s; 40,0 cm; 72,1 Hz]

13.2 Le onde sonore

7 PROBLEMA SVOLTO

Propagazione del suono in acqua

Un diapason, sul fondo di una piscina, emette un suono di frequenza 440 Hz che si propaga con lunghezza d'onda di 3,5 m. Un ragazzo sott'acqua ascolta il suono a 20 m di distanza.



- Dopo quanto tempo riceve il suono?

Analisi e soluzione

Dati	Incognite
Frequenza del suono: $f = 440$ Hz Lunghezza d'onda: $\lambda = 3,5$ m Distanza: $d = 20$ m	Intervallo di tempo: $\Delta t = ?$

Noti la frequenza e la lunghezza d'onda, la relazione $v = \lambda \cdot f$ permette di calcolare la velocità del suono. Per calcolare l'intervallo di tempo che il suono impiega per arrivare all'orecchio del ragazzo si utilizza la definizione di velocità: $v = \text{distanza} / \text{intervallo di tempo}$.

- Calcoliamo la velocità, ricavandola dall'equazione dell'onda:
$$v = \lambda \cdot f = (3,5 \text{ m}) \times (440 \text{ Hz}) = 1540 \text{ m/s}$$

- Dalla definizione di velocità,

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

ricaviamo l'intervallo di tempo:

$$\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{20 \text{ m}}{1540 \text{ m/s}} = 0,013 \text{ s}$$

Osservazione

Se il suono viaggiasse in aria, il ragazzo lo riceverebbe dopo un tempo maggiore perché nell'aria la velocità del suono è minore.

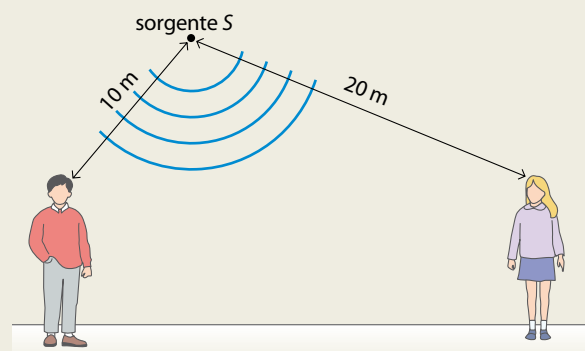
- 8** Una sorgente sonora posta sul fondo di un lago emette un suono che si propaga verso la superficie alla velocità di 1500 m/s.
- Quanto è profondo il lago se il suono arriva in superficie dopo mezzo secondo?
 - La lunghezza d'onda in acqua e quella in aria sono uguali o diverse? Spiega. [750 m/s]
- 9** La velocità del suono in acqua dipende dalla temperatura dell'acqua, secondo la legge empirica
- $$v = 1410 + 4,2 \cdot T$$
- dove T è espressa in gradi centigradi, 1410 e 4,2 sono delle costanti.
- Qual è la temperatura dell'acqua del problema precedente?
 - Qual è l'unità di misura che bisogna associare al numero 1410?
 - Spiega perché la costante 4,2 che compare nella formula ha come unità di misura $\text{m}/(\text{s} \cdot ^\circ\text{C})$. [21,43 °C]
- 10** Il suono si propaga in una barra di ferro e percorre una distanza di 6,70 cm in 11,0 microsecondi.

- Qual è la velocità del suono?
 - Se viene dato un colpo a un'estremità di una sbarra di ferro lunga 100 m, dopo quanto tempo si sente il suono all'altro estremo? [6,09 × 10³ m/s; 1,64 × 10⁻² s]
- 11** In un gas monoatomico, la velocità del suono si calcola con la formula $v = \sqrt{\frac{1,67 p}{d}}$, dove p è la pressione del gas e d la sua densità. L'elio è un gas monoatomico che alla pressione di 1 atm (1,013 × 10⁵ N/m²) e alla temperatura di 0 °C ha una densità di 0,179 g/m³.
- Qual è la velocità del suono in quelle condizioni?
 - Possiamo applicare la stessa formula per calcolare la velocità del suono nell'idrogeno? [972 m/s]
- 12** Un cannone spara un proiettile. Il suono si propaga in assenza di vento e arriva alle orecchie di un soldato, che si trova alla distanza di 8 km, dopo 24,0 secondi.
- Con quale velocità si è propagato il suono?
 - In presenza di un vento a velocità di 40,0 m/s, che spira dal soldato al cannone, dopo quanto tempo il suono dello sparo arriva al soldato? [333 m/s; 27,3 s]

13 PROBLEMA SVOLTO
Sorgente sonora

Una sorgente sonora puntiforme emette 600 J di energia in un minuto. Un bambino e una bambina ascoltano il suono come in figura.

- Calcoliamo l'intensità sonora che ricevono i due bambini.



Analisi e soluzione

Dati	Incognite
Potenza della sorgente: $P = 600 \text{ J/min}$	Due intensità sonore
Distanze dei bambini dalla sorgente	

La potenza della sorgente è il rapporto tra l'energia emessa e l'intervallo di tempo: $P = E/\Delta t$. L'energia emessa si distribuisce in tutte le direzioni attorno alla sorgente. In un punto a distanza r l'intensità si calcola con la formula $I = P/4\pi \cdot r^2$.

- Potenza emessa:

$$P = \frac{600 \text{ J}}{60 \text{ s}} = 10 \text{ W}$$

- Il bambino dista 10 m dalla sorgente, perciò l'intensità che riceve vale:

$$I = \frac{10 \text{ W}}{4 \times (3,14) \times (10 \text{ m})^2} = 8,0 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$$

- La bambina riceve 1/4 di quella intensità, cioè $2,0 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$, perché l'intensità che riceve è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dalla sorgente.

Osservazione

Se la bambina fosse a una distanza tripla, riceverebbe un'intensità pari a 1/9 di $8,0 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$.

- 14** La potenza massima di una cassa acustica è 40 W.
 ► Qual è l'energia massima che la cassa emette in 5,0 s?
 ► Su un microfono posto a 2,0 m dalla cassa giunge la stessa quantità di energia? Spiega. [2,0 × 10² J]

- 15** Una sorgente sonora puntiforme emette 2,0 J di energia al secondo.
 ► Completa la tabella sul quaderno (*d* è la distanza, *I* l'intensità).

<i>d</i> (m)	1	2	3	4	5
<i>I</i> (W/m ²)

- Costruisci il grafico intensità-distanza.
[0,16 W/m²; 0,04 W/m²; 0,018 W/m²; 9,9 × 10⁻³ W/m²; 6,4 × 10⁻³ W/m²]

- 16** Una sorgente sonora emette una frequenza di 800 Hz.
 ► Quante volte vibra in un secondo?
 ► Quanto tempo impiega l'onda a fare un'oscillazione completa? [800; 1,25 × 10⁻³ s]

- 17** Sul timpano dell'orecchio giunge un suono di 40 dB.
 ► Esprimi l'intensità sonora in unità SI.
 ► Qual è la potenza sonora che giunge sul timpano se la sua area è circa 1,0 cm²?
 ► Quanta energia arriva sul timpano in 10 secondi? [1,0 × 10⁻⁸ W/m²; 1,0 × 10⁻¹² W/m²; 1,0 × 10⁻¹¹ J]

13.3 La riflessione del suono

18 PROBLEMA SVOLTO

■ ■ ■ L'eco

Il tempo necessario per distinguere due suoni che arrivano su un orecchio è un decimo di secondo. Supponi che un colpo di pistola venga sparato verso una parete verticale.

- Qual è la distanza minima che deve avere la parete perché si senta l'eco?
- Se la parete è a 25 m, con quale ritardo giunge l'eco nel punto in cui è avvenuto lo sparo?

Analisi e soluzione

Se la distanza della parete è *d*, il tempo che il suono impiega per andata e ritorno è: $t = 2d/v$.

- In un decimo di secondo, il suono percorre alla velocità di 340 m/s una distanza:

$$d = \frac{t \cdot v}{2} = \frac{0,1 \text{ s} \times 340 \text{ m/s}}{2} = 17 \text{ m}$$

- Se la parete dista 25 m, per andare e tornare il suono percorre 50 m, perciò:

$$t = \frac{50 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} = 0,147 \text{ s}$$

Questo è anche il ritardo con cui giunge l'eco.

- 19** Gli ultrasuoni dei delfini hanno frequenza $f = 2,5 \times 10^5$ Hz e si propagano in acqua con velocità di 1500 m/s.
 ► Fuori dall'acqua, con quale lunghezza d'onda si propagano?
 ► È possibile che un ultrasuono in acqua sia percepito come suono in aria? [1,4 × 10⁻³ m]

- 20** Un telemetro invia ultrasuoni su un corpo, raccoglie gli ultrasuoni riflessi e fornisce la distanza del corpo.
 ► Se viene puntato sul muro di una stanza e segnala una distanza di 4,2 m, quanto tempo hanno impiegato gli ultrasuoni per arrivare al muro?
 ► Se il muro fosse distante 2,1 m, il tempo calcolato nella domanda precedente sarebbe la metà? [0,012 s]

- 21** L'ecografia usa ultrasuoni di frequenza 1,8 MHz.
 ► Qual è la loro lunghezza d'onda in aria?
 ► Qual è la lunghezza d'onda nei tessuti cellulari se la velocità è circa 1500 m/s? [1,9 × 10⁻⁴ m; 8,3 × 10⁻⁴ m]

- 22** Un bambino lascia cadere un sasso in un pozzo vuoto profondo 8,2 m. Il sasso urta sul fondo del pozzo e il suono dovuto all'urto giunge alle orecchie del bambino.
 ► Quanto tempo impiega il sasso per arrivare sul fondo del pozzo?
 ► Calcola il tempo che il suono impiega per arrivare alle orecchie del bambino.
 ► Dopo quanto tempo, dal momento in cui ha lasciato il sasso, il bambino ode il suono? [1,3 s; 0,024 s, 1,3 s]

13.4 L'effetto Doppler

23 PROBLEMA SVOLTO

■ ■ ■ L'autovelox

Un agente, fermo sul ciglio della strada, dove il limite di velocità è di 50 km/h, sta controllando il traffico. Puntato l'autovelox su di un'auto in avvicinamento, registra un aumento del 10% della frequenza di ritorno rispetto alla frequenza emessa, che è di 40 000 Hz.

► L'agente farà la multa all'automobilista?

Analisi e soluzione

Dati	Incognite
Velocità limite: 50 km/h Aumento di frequenza: $\Delta f = 10\%$ Frequenza emessa: $f_s = 40\,000$ Hz	Velocità sorgente: $v_s = ?$

Si può calcolare la frequenza che riceve l'autovelox perché si conosce l'aumento percentuale rispetto a quella emessa. Poi, applicando la formula dell'effetto Doppler, $f_o = f_s \cdot v / (v - v_s)$, valida nel caso in cui la sorgente si avvicina all'osservatore, si trova la velocità della sorgente.

- Se l'aumento della frequenza registrata dall'apparecchio è del 10%, significa che la frequenza di ritorno percepita dall'osservatore è

$$f_o = 40\,000 + 40\,000 \times 0,10 = 44\,000 \text{ Hz}$$

- La velocità del suono è $v = 340$ m/s; sostituiamo nella formula della frequenza i valori:

$$f_o = \frac{f_s \cdot v}{v - v_s}$$

$$44\,000 = \frac{40\,000 \times 340}{340 - v_s}$$

$$340 - v_s = \frac{40\,000 \times 340}{44\,000}$$

$$v_s = 340 \text{ m/s} - 309 \text{ m/s} = 31 \text{ m/s}$$

Si tratta di una velocità maggiore di 100 km/h, perciò l'automobilista prende la multa.

24 ■ ■ ■ Uno studente fermo sente il suono di una sirena e si accorge che il suono diventa sempre più acuto.

- La sirena si sta allontanando o si sta avvicinando?
- Quale formula può calcolare la frequenza percepita?
- Il suono emesso dalla sirena ha una frequenza di 1000 Hz e si sta muovendo alla velocità di 90 km/h. Qual è la frequenza che riceve lo studente?

$$[1,1 \times 10^3 \text{ Hz}]$$

25 ■ ■ ■ Un automobilista è fermo a un passaggio a livello. Un treno che arriva a 108 km/h lancia un fischio di frequenza 900 Hz.

- Mentre il treno si avvicina, quale frequenza riceve l'automobilista?
- E mentre il treno si allontana?

$$[987 \text{ Hz}; 827 \text{ Hz}]$$

26 ■ ■ ■ Un ragazzo in bicicletta, che si muove con velocità costante di 18,0 km/h, si sta avvicinando a una sirena ferma che produce un suono di frequenza 1000 Hz.

- Quale frequenza avverte il ciclista mentre si avvicina alla sirena?
- Qual è la frequenza quando si allontana?
- Spiega che cosa succede se la sirena si muove con la stessa velocità della bicicletta. $[1,01 \times 10^3 \text{ Hz}; 985 \text{ Hz}]$

27 ■ ■ ■ La sirena di una banca emette un suono di frequenza 4100 Hz, che si propaga con velocità di 340 m/s. Un ragazzo in moto passa davanti alla banca a 90 km/h.

- Calcola la frequenza percepita dal ragazzo mentre si avvicina alla banca.
- Qual è la variazione percentuale di frequenza percepita?
- Mentre si allontana dalla sorgente sonora la frequenza percepita è diversa, anche la variazione percentuale è diversa? $[4,4 \text{ kHz}; 7\%]$



online.zanichelli.it/ruffo_fisica

PROBLEMI RIASSUNTIVI, 1 pagina

SOLUZIONI DEGLI ESERCIZI

UNITÀ 13

■ 13.1 La propagazione delle onde [p. 4]

- 1 a) V; b) V; c) F; d) V; e) F
- 3 a) F; b) F; c) V; d) F
- 4 100 Hz; 6000
- 5 1,5 m/s; 15
- 6 20 m; 50
- 10 4 m; 2 m; 1,3 m

■ 13.2 Le onde sonore [p. 8]

- 1 a) V; b) V; c) F; d) V
- 2 0,1 s; no
- 3 500 Hz; 200 m/s
- 6 14,4 m/s; 0 Hz
- 7 120 W; $3,6 \times 10^4$ J
- 9 15 W; 75 J; 150 J; 300 J; 600 J
- 10 V; F; V; F
- 11 $3,2 \times 10^{-2}$ W/m²
- 13 $2,0 \times 10^{-4}$ W
- 14 $1,0 \times 10^{-8}$ W/m²
- 15 $8,4 \times 10^{-11}$ W; $2,1 \times 10^{-11}$ W
- 16 $3,8 \times 10^{-3}$ W/m²; $9,6 \times 10^{-4}$ W/m²;
 $4,2 \times 10^{-4}$ W/m²; $2,4 \times 10^{-4}$ W/m²;
 $1,5 \times 10^{-4}$ W/m²
- 17 250 J; 0,078 W/m²

■ 13.3 La riflessione del suono [p. 13]

- 3 a) F; b) V; c) F; d) V
- 4 2,94 s
- 5 1,2 s
- 6 85 m
- 7 $2,3 \times 10^4$ Hz; no
- 8 0,35 s
- 10 $1,9 \times 10^3$ m
- 11 0,24 s
- 13 1,25 mm

■ 13.4 L'effetto Doppler [p. 14]

- 2 486 Hz; minore
- 3 850 Hz
- 5 1,2 kHz
- 6 523 Hz
- 7 800 Hz
- 9 847 Hz
- 10 61,2 m/s
- 11 686 Hz
- 13 a) F; b) F; c) V