

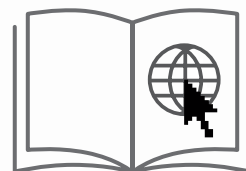
The background of the cover is a high-speed photograph of water splashing, with several large, clear water droplets and many smaller bubbles scattered throughout. The droplets are in various stages of motion, some appearing to be falling or rising, creating a sense of dynamic energy.

Franco Bagatti
Elis Corradi
Alessandro Desco
Claudia Ropa

Conoscere la materia
Seconda edizione

Elettromagnetismo

LM LIBRO MISTO



SU WWW.ONLINE.ZANICHELLI.IT
160 ESERCIZI INTERATTIVI
CHIMICA ORGANICA (56 PAGINE)

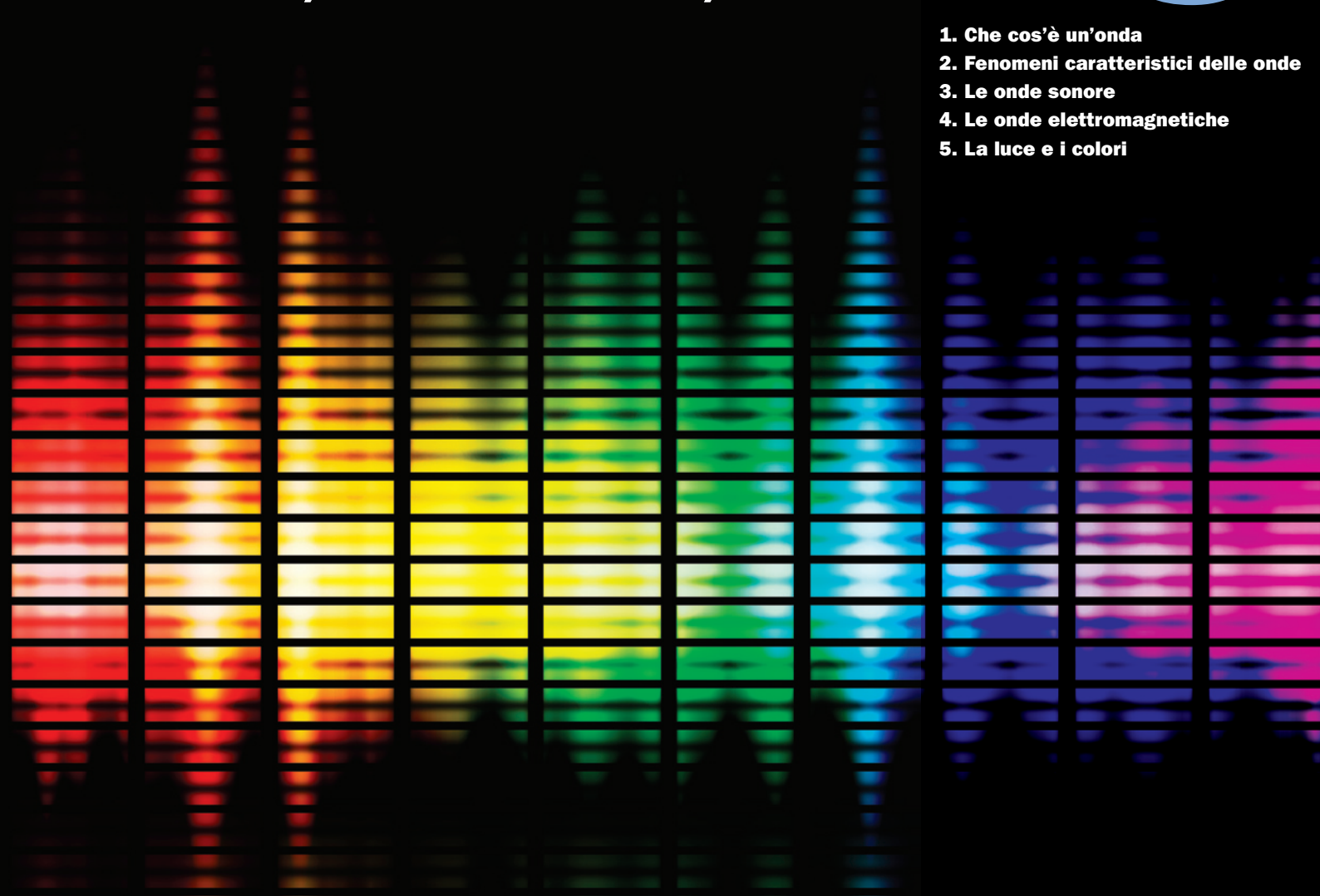
SCIENZE ZANICHELLI



Onde, radiazioni, luce

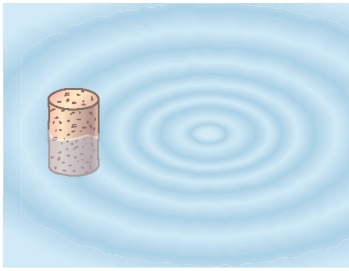
F8

1. Che cos'è un'onda
2. Fenomeni caratteristici delle onde
3. Le onde sonore
4. Le onde elettromagnetiche
5. La luce e i colori



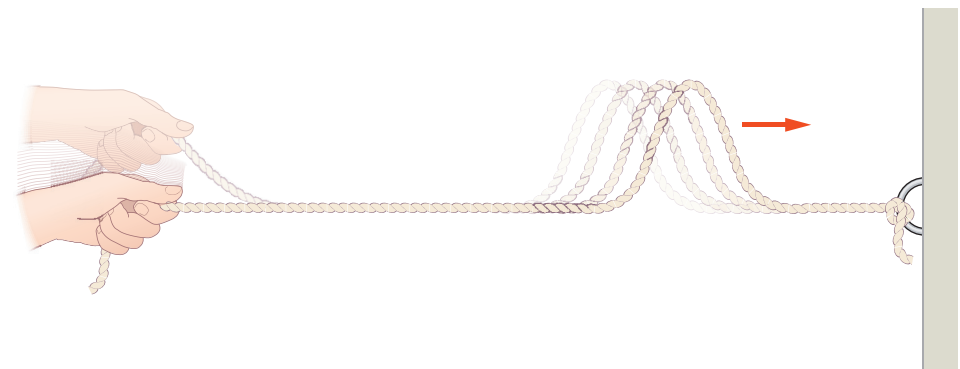
1. Che cos'è un'onda

Le onde e la materia




▲ **Figura 1** Un oggetto che galleggia sull'acqua si sposta su e giù in verticale e non segue il movimento dell'increspatura.

► **Figura 2** Muovendo bruscamente l'estremità di una corda si crea una deformazione che si propaga fino all'altra estremità.



Anche in questo caso la corda non si sposta lungo la direzione in cui si muove la «gobba», poiché essa è ancora saldamente trattenuta dalla mano; ciò che si muove lungo la corda è una *deformazione trasversale* creata dal nostro movimento.

Nei nostri esempi, il sasso gettato nello stagno e il movimento della mano sono azioni che hanno creato una *perturbazione dello stato di quiete* dell'acqua e della corda: diciamo che nell'acqua e nella corda si è formata un'onda. Dato che per creare la perturbazione abbiamo fatto un lavoro, l'energia spesa viene trasformata e si trasferisce nella corda e nell'acqua, dove si propaga proprio attraverso l'onda.

 Un'onda è una perturbazione che propagandosi nello spazio trasporta energia senza che ci sia trasporto di materia.

Le onde possono essere divise in due grandi categorie: le *onde meccaniche* o *elastiche* e le *onde elettromagnetiche*.

- Le **onde meccaniche** si propagano soltanto in presenza di materia perché la perturbazione è costituita da uno spostamento delle particelle che costituiscono il *mezzo materiale* e la propagazione è dovuta all'elasticità di questo. Oltre a quelle descritte negli esempi del sasso nell'acqua e della corda, sono onde meccaniche le *onde sonore* che si propagano nell'aria e le *onde sismiche* prodotte dai sommovimenti della crosta terrestre.
- Le **onde elettromagnetiche** si propagano sia nella materia sia nello spazio vuoto. Il loro nome deriva dal tipo di perturbazione che riguarda un campo elettrico e un campo magnetico associati. La *luce* e le *onde radio* sono esempi di onde elettromagnetiche.

Origine e forma delle onde

Vogliamo ora definire alcune caratteristiche delle onde, indispensabili per comprendere meglio le manifestazioni a cui esse danno luogo.

Anzitutto se c'è un'onda, c'è anche una **sorgente**, cioè un luogo dove l'onda viene generata e da cui prende origine. L'onda può propagarsi dalla sorgente in diversi modi. Se facciamo riferimento alla *direzione di propagazione*, le onde possono essere a una, a due oppure a tre dimensioni. Vediamo subito qualche esempio.

Nell'esempio della corda già illustrato, la sorgente si trova nell'estremità della corda che viene mossa dalla mano; la direzione di propagazione dell'onda è rappresentata da una linea ideale che coincide con la corda tesa e quindi si tratta di un'onda *a una dimensione*.

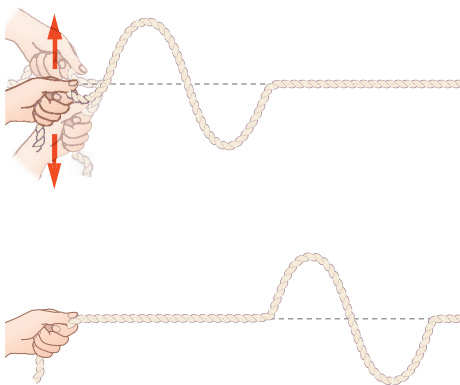
Invece le onde sull'acqua sono un esempio di *onde a due dimensioni* o *onde piane*. Il punto dello stagno in cui cade il sasso è la sorgente e le onde concentriche che si allargano costituiscono il *fronte dell'onda*; la direzione di propagazione è rappresentata dagli immaginari raggi delle circonferenze che si formano sulla superficie dell'acqua.

Se si tocca la superficie dell'acqua con un'assicella tenuta orizzontalmente si possono ottenere onde a due dimensioni con fronte d'onda piano; in questo caso la direzione di propagazione è una linea perpendicolare al fronte dell'onda (figura 3)

Infine, le onde generate da una sorgente sonora sono *onde a tre dimensioni* perché si propagano in tutte le direzioni dello spazio; i fronti dell'onda sono superfici di sfere e la direzione di propagazione è rappresentata dai raggi delle sfere che, a mano a mano che si allontanano dalla sorgente, diventano sempre più grandi.

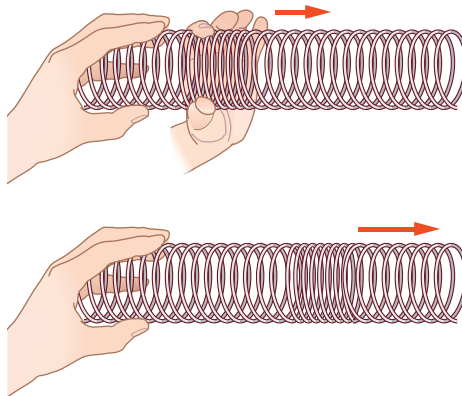
Un'altra classificazione delle onde si basa sul modo di oscillazione delle particelle del mezzo in relazione alla direzione di propagazione dell'onda.

Si hanno **onde trasversali** quando le particelle del mezzo oscillano perpendicolarmente alla direzione di propagazione, come nel caso delle onde causate dal sasso nell'acqua e di quelle nella corda.



L'estremità della corda viene spostata prima in alto e poi in basso: sulla corda si propaga un'onda trasversale, costituita da una gobba seguita da una valle.

Si hanno **onde longitudinali** quando le particelle del mezzo oscillano parallelamente alla direzione di propagazione, come le onde sonore e quelle che si possono produrre in una molla.

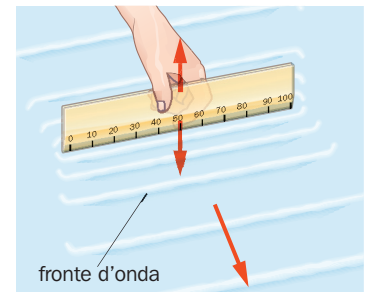


Una porzione della molla viene compressa e poi rilasciata: sulla molla si propaga un'onda longitudinale, costituita da spire ravvicinate.

PROVA TU

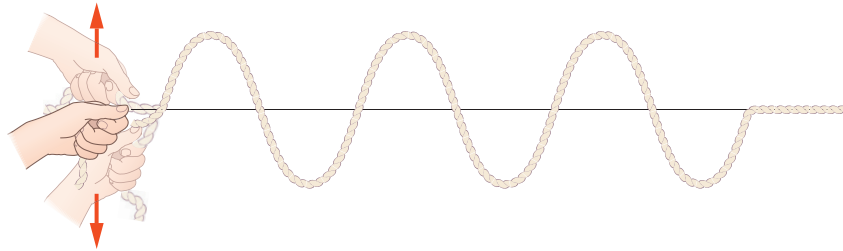
Se con la punta di una matita si tocca ritmicamente la superficie di un liquido in quiete, si osserva che si formano onde.

- ▶ a) Dove si trova la sorgente?
- ▶ b) Si tratta di onde a una, a due o a tre dimensioni?
- ▶ c) Che forma ha il fronte d'onda?
- ▶ d) Sono onde trasversali o longitudinali?



▲ **Figura 3** Battendo ritmicamente la superficie dell'acqua con un righello tenuto orizzontalmente si creano onde bidimensionali con fronti d'onda rettilinei.

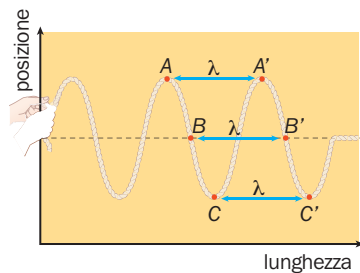
► **Figura 4** Tutta la corda è investita da un'onda che è formata dalla ripetizione regolare di gobbe e di valli.



Per effetto di questa ripetuta perturbazione, ottenuta muovendo ritmicamente la mano in su e in giù, lungo la corda si propaga un *treno di onde* che fa assumere alla corda una *forma sinusoidale*; continuando il movimento armonico della sorgente (il movimento della mano) si avrà sempre la stessa forma sinusoidale che si propaga lungo la corda.

Passiamo ora ad esaminare le tre grandezze che caratterizzano un'onda periodica.

Lunghezza d'onda



▲ **Figura 5** La forma sinusoidale assunta dalla corda è causata da una perturbazione armonica di intensità costante.

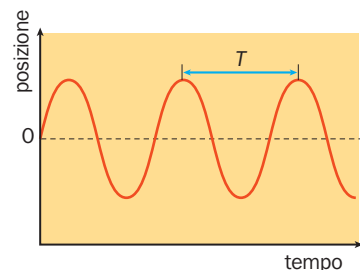
La **figura 5** evidenzia una regolarità nella forma dell'onda: infatti gli apici delle gobbe della corda, detti *creste*, sono distanziati l'uno dall'altro di una stessa lunghezza; questa è detta *lunghezza d'onda* e viene spesso simboleggiata con λ , una lettera dell'alfabeto greco che si pronuncia *lambda*. I diversi punti della corda che si trovano nella stessa situazione di moto causato dalla perturbazione si dicono *in fase* tra loro: il punto *A*, per esempio, è in fase con il punto *A'*, il punto *B* con il punto *B'*, il punto *C* con *C'*, e così via.

Pertanto possiamo arrivare a esprimere la seguente definizione di validità generale.

! In un treno di onde che si propagano si chiama **lunghezza d'onda** (λ) la distanza tra due punti consecutivi tra loro in fase.

La lunghezza d'onda rappresenta la misura nello spazio della periodicità con cui avviene la perturbazione e, come ogni lunghezza, si misura in metri.

Periodo e frequenza



▲ **Figura 6** Rappresentazione del movimento periodico di un punto della corda percorsa da un'onda.

Nella **figura 6** è illustrato come varia la posizione di un punto della corda quando viene investito dall'onda periodica che si sta spostando in senso longitudinale. La curva ha ancora forma sinusoidale, ma il suo significato è diverso da quello illustrato in precedenza. Il punto si muove nel tempo con regolarità compiendo ogni volta un'oscillazione completa, cioè un ciclo: prima si solleva, poi scende, passa per la posizione di partenza, scende ancora e poi risale fino alla posizione di partenza. Il tempo per effettuare il ciclo è sempre uguale.

! Si chiama **periodo** (T) di un'onda l'intervallo di tempo in cui si compie una oscillazione completa della perturbazione.

Dunque, anche il movimento dei punti della corda è un moto armonico e il periodo descrive la periodicità dell'onda nel tempo. Naturalmente l'unità di misura del periodo è il secondo.

Possiamo anche osservare che il periodo corrisponde al tempo che intercorre tra due successive posizioni dello stesso punto nella stessa fase.

Come per tutti i fenomeni che variano periodicamente nel tempo, è utile ricordare anche un'altra grandezza, che corrisponde all'inverso del periodo: la *frequenza*, che si esprime in 1/s, cioè in hertz (Hz). Nel caso delle onde, in effetti, si preferisce indicare la frequenza invece che il periodo. Riferendoci al nostro esempio dell'onda che si propaga nella corda, la frequenza esprime il numero di volte che in 1 s un punto della corda compie una oscillazione completa.



La **frequenza** (f) è quella caratteristica di un'onda che ne indica il numero di oscillazioni complete effettuate in 1 s.

Immaginiamo ora di seguire visivamente il moto dell'onda, osservando per esempio una cresta, cioè l'apice dell'oscillazione, per cogliere la rapidità con cui essa si propaga nella corda: la cresta si sposta di uno spazio uguale alla lunghezza d'onda impiegando un intervallo di tempo uguale a T . Possiamo così arrivare al concetto di *velocità dell'onda*: essa è definita dal rapporto tra lo spazio percorso e l'intervallo di tempo impiegato, cioè tra la lunghezza d'onda e il periodo:

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

Dal momento che $1/T$ corrisponde a f , si può affermare che la velocità di un'onda si ottiene anche dal prodotto tra lunghezza d'onda e frequenza:

$$v = \lambda \cdot f$$

Questa relazione mostra che, stabilita la velocità di propagazione dell'onda, la lunghezza d'onda e la frequenza di questa sono grandezze inversamente proporzionali.

Ampiezza ed energia

Per completare la presentazione delle proprietà caratteristiche delle onde occorre ricordare un'altra grandezza importante, l'energia che queste trasportano. Come abbiamo già detto, l'energia trasportata da un'onda è connessa all'energia spesa per creare la perturbazione; se ci riferiamo ancora all'esempio dell'onda nella corda e osserviamo la relativa figura, possiamo osservare che lo spostamento verticale della mano determina l'entità dello spostamento del punto estremo della corda dalla sua posizione iniziale di quiete, e quindi è una misura dell'ampiezza della perturbazione che si propaga.



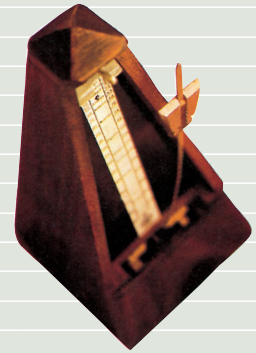
Si definisce **ampiezza** di un'onda meccanica lo spostamento massimo di un punto del mezzo dalla sua posizione di equilibrio.

Ebbene, si può dimostrare che *l'energia associata all'onda è direttamente proporzionale al quadrato della sua ampiezza*.

Per descrivere l'energia associata a un'onda è utile fare riferimento a un'altra grandezza, l'*intensità di un'onda* (I): essa corrisponde alla quantità di energia trasportata nell'unità di tempo (cioè la potenza) attraverso l'unità di area della superficie perpendicolare alla direzione di propagazione. Nel caso delle onde elettromagnetiche l'ampiezza corrisponde alla massima variazione del campo elettrico e di quello magnetico (figura 7).



Per saperne di più



Il *metronomo* è uno strumento utilizzato per scandire il tempo durante le esercitazioni musicali. Esso è simile a un pendolo rovesciato di cui si può variare la frequenza di oscillazione. Il moto del metronomo, quando l'angolo di oscillazione è piccolo, è un moto armonico e la velocità durante l'oscillazione varia in modo sinusoidale.

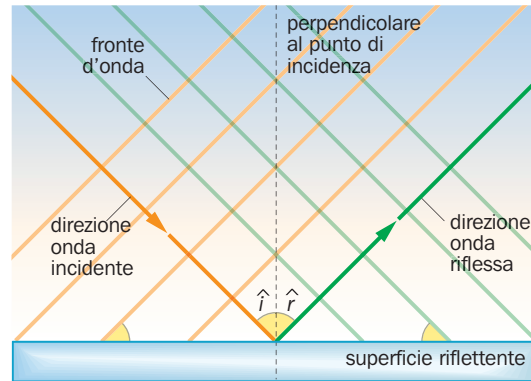
◀ **Figura 7** L'intensità delle onde elettromagnetiche che provengono dal Sole e raggiungono la superficie della Terra dipende ovviamente da molti fattori, principalmente di natura geografica e climatica. Considerando soltanto le ore di soleggiamento, si può considerare un valore medio di 1000 W/m^2 . Uno degli impegni nella ricerca in campo energetico concerne lo sviluppo di tecnologie volte a catturare e sfruttare il più possibile questa grande fonte di energia gratuita e inesauribile.

2. Fenomeni caratteristici delle onde

La riflessione

Quando un'onda incontra un ostacolo che ne impedisce la propagazione, essa viene riflessa, proprio come accade a una palla da biliardo quando urta contro una sponda.

► **Figura 8** Rappresentazione schematica della riflessione di onde piane.



Nella figura 8 sono rappresentati fronti rettilinei di onde periodiche (colore arancione) che investono una superficie riflettente e le stesse onde riflesse (colore verde). Nella figura vengono anche evidenziate le due direzioni dei fronti d'onda, rispettivamente in rosso e in verde. Si osserva che la direzione di propagazione dell'onda forma un angolo con la perpendicolare alla superficie riflettente nel punto di incidenza che è uguale a quello che il fronte d'onda forma con la superficie riflettente.

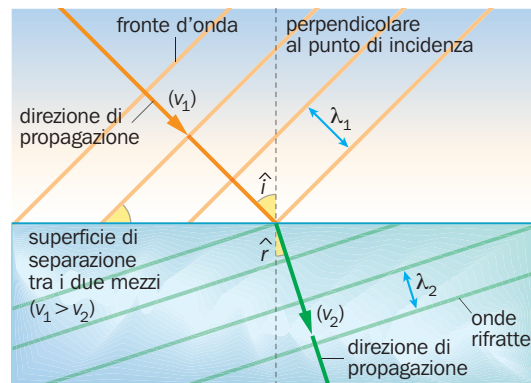
Questo angolo si chiama *angolo di incidenza* (\hat{i}) se si riferisce all'onda incidente e *angolo di riflessione* (\hat{r}) se si riferisce all'onda riflessa.

Si può verificare sperimentalmente la validità di una legge fondamentale della riflessione: *gli angoli di incidenza e di riflessione sono uguali e giacciono sullo stesso piano in cui giace la retta perpendicolare alla superficie nel punto di incidenza.*

La rifrazione

Il fenomeno della *rifrazione* si verifica quando l'onda attraversa la superficie che separa mezzi materiali diversi e consiste in un cambiamento della direzione di propagazione.

► **Figura 9** Rappresentazione schematica della rifrazione di onde piane.



Ciò è dovuto al fatto che quando cambia il mezzo, cambia la velocità di propagazione dell'onda ma la frequenza rimane la stessa. Poiché lunghezza d'onda e frequenza sono legate dalla relazione $\lambda \cdot f = v$, cambiando la velocità deve cambiare anche la lunghezza d'onda.

Nella figura 9 è schematizzato il fenomeno della rifrazione di onde piane con fronte rettilineo.

Si osserva in questa situazione che l'*angolo di incidenza* (\hat{i}) è diverso dall'*angolo di rifrazione* (\hat{r}). Inoltre, per valori piccoli di \hat{i} , si trova sperimentalmente che il rapporto tra i due angoli è costante ed è uguale al rapporto tra le velocità dell'onda nei due mezzi.

La diffusione

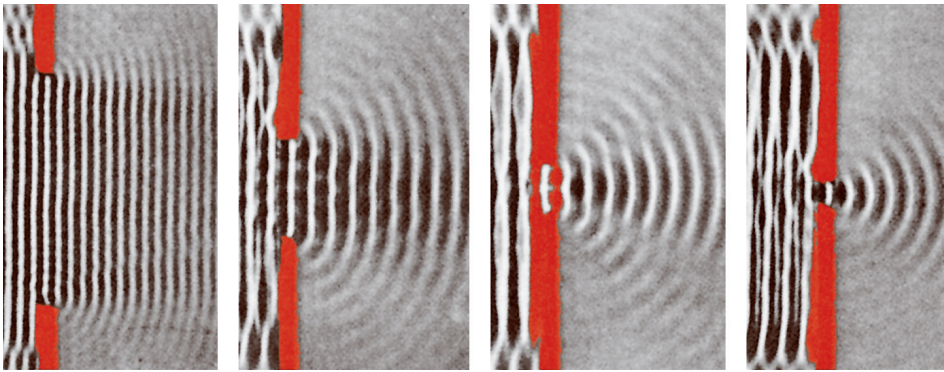
Quando l'onda incontra ostacoli con superfici irregolari, essa viene riflessa o rifratta un po' in tutte le direzioni; questo fatto, nel caso di un'onda tridimensionale, determina il fenomeno della *diffusione* tutto lo spazio a disposizione. È il caso per esempio del suono emesso da uno strumento, suono che incontrando ostacoli si diffonde in ambienti anche molto spaziosi come un teatro o una discoteca e che può essere perce-

pito in ogni loro punto. In relazione alle onde, diciamo che una superficie è irregolare quando le dimensioni delle irregolarità sono assai più grandi rispetto alla lunghezza d'onda.

La diffrazione

La *diffrazione* è un fenomeno tipico delle onde e consiste nel fatto che il loro modo di propagarsi dipende dalle dimensioni dell'ostacolo che incontrano mentre si propagano in un mezzo. Quando le dimensioni dell'ostacolo sono piccole rispetto alla lunghezza d'onda si ha una deflessione delle linee di propagazione tale da consentire all'onda di aggirare l'ostacolo. Quando invece le dimensioni dell'ostacolo sono grandi la deflessione del fronte d'onda non è apprezzabile. Le onde del mare, per esempio, sono bloccate da una barriera di scogli ma sono in grado di aggirare un ostacolo di dimensioni inferiori, come un palo piantato nell'acqua.

Il fenomeno della diffrazione si può osservare anche quando l'onda incontra un ostacolo in cui è presente un varco, cioè una *fenditura*: se la fenditura è grande (sempre in relazione alla lunghezza d'onda) l'onda prosegue nella propria direzione, se invece la fenditura è piccola, si osserva che i fronti d'onda si incurvano e producono un allargamento del fronte (figura 10).



◀ **Figura 10** Diffrazione di onde piane attraverso una fenditura: le onde proseguono in linea retta se la larghezza della fenditura è grande rispetto alla lunghezza d'onda, mentre se la fenditura è stretta si generano onde circolari.

Sovrapposizione e interferenza

Un'altra proprietà delle onde consiste nel fatto che quando due o più onde si incontrano in una regione dello spazio si ha la loro *sovrapposizione*. Per esempio, quando ascoltiamo un concerto, i suoni provenienti dai vari strumenti raggiungono simultaneamente i nostri timpani. In questa situazione si verifica che l'effetto determinato dalla sovrapposizione delle onde è dato dalla somma degli effetti che le singole onde avrebbero prodotto in quel punto.

Nel caso di onde elastiche, l'ampiezza della perturbazione in ogni punto del mezzo è il risultato della sovrapposizione delle ampiezze delle onde che convergono in quel punto. Se la sollecitazione avviene nello stesso verso (*in fase*), l'ampiezza aumenta, se avviene nel verso opposto (*opposizione di fase*), l'ampiezza diminuisce e può anche annullarsi.

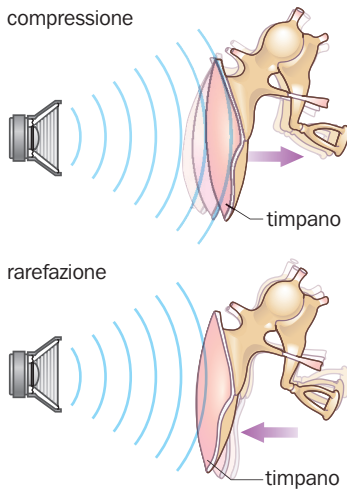
Se abbiamo due sorgenti che producono onde di uguale ampiezza e frequenza che possono sovrapporsi, si osserva un fenomeno chiamato *interferenza*: i punti del mezzo in cui le onde sono in fase o in opposizione di fase rimangono sempre gli stessi e, di conseguenza, nel mezzo si osserverà l'alternarsi di zone in cui l'onda ha un'ampiezza molto grande con altre in cui lo è molto meno e con altre ancora in cui l'ampiezza dell'onda è addirittura nulla (figura 11).



◀ **Figura 11** Le due punte che toccano periodicamente la superficie dell'acqua costituiscono due sorgenti di uguale frequenza: le onde generate danno luogo a un fenomeno di *interferenza*. Si osservano infatti zone scure, dette linee nodali, dove le onde giungono in opposizione di fase e l'ampiezza risultante è nulla.

3. Le onde sonore

Suoni, infrasuoni, ultrasuoni



▲ **Figura 12** La membrana dell'altoparlante vibra generando un'onda sonora che si propaga nell'aria e che investe il nostro orecchio.

Nel corso di una normale giornata siamo continuamente sollecitati (anche troppo!) da molti suoni, a volte gradevoli, come quelli della musica, a volte sgradevoli, come il rumore del traffico. In ogni caso il *suono* è un fenomeno di interazione, dato che esso è strettamente legato all'*udito*, cioè alla capacità dell'uomo di percepire quelle che sono chiamate *onde sonore*.

! Viene chiamato **suono** l'insieme delle onde meccaniche longitudinali che si propagano in un mezzo elastico e che sono percepite dall'orecchio umano.

Il suono giunge a noi propagandosi nell'aria, per una distanza più o meno lunga, ma non può propagarsi nel vuoto. Le vibrazioni della sorgente si trasmettono nell'aria perché le molecole del gas vibrano nella stessa direzione di propagazione dell'onda. Il suono è dunque un'onda longitudinale in cui si ha un'alternanza di zone in cui l'aria è più compressa, o più densa, e di zone in cui lo è meno. In un punto dell'aria investito dall'onda sonora la pressione aumenta e diminuisce con la stessa frequenza con cui vibra la sorgente. Quando le perturbazioni che si propagano nell'aria arrivano all'orecchio, fanno vibrare una membrana, il timpano. Le vibrazioni del timpano sono poi trasmesse alla parte più interna dell'orecchio, dove sono convertite in impulsi nervosi che giungono al cervello e sono da questo interpretati come suoni (**figura 12**).

PROVA TU

Un ragazzo sta ascoltando un concerto d'organo.

► Di quale tipo sono le onde che arrivano al suo orecchio e dove e come hanno origine?

Le onde sonore che l'orecchio umano può percepire hanno valori di frequenza compresi tra un minimo di 20 Hz e un massimo di 20 kHz. Ovviamente questi limiti non vanno intesi in modo rigido, perché non tutte gli orecchi umani hanno la medesima sensibilità.

Un corpo che vibra con una frequenza compresa in questo intervallo costituisce una *sorgente sonora*. Ne sono un esempio le corde vocali, la membrana di un altoparlante, le corde di una chitarra.

Le onde sonore con frequenza minore di 20 Hz sono chiamate **infrasuoni**; quelle che hanno frequenza maggiore di 20 kHz sono chiamate **ultrasuoni**.

Si dà il nome di *altezza* a una qualità della sensazione sonora che è determinata dalla frequenza delle onde sonore; infatti si dice che un suono è più alto (o più acuto) di un altro se la frequenza del primo è maggiore di quella del secondo.

Quando l'onda sonora ha andamento perfettamente sinusoidale si dice che il suono è *puro*. Il *diapason* è uno strumento che genera un suono puro di una ben determinata frequenza (**figura 13**). Occorre però dire che è quasi impossibile sentire suoni puri, e infatti quelli che siamo normalmente abituati a sentire (voci, rumori, urti ...) non sono puri. I suoni che hanno la stessa frequenza e la stessa ampiezza ma differiscono per la forma dell'onda vengono percepiti come diversi e si dice che hanno un diverso *timbro*.



▲ **Figura 13** Il diapason è uno strumento costituito da una forcella in acciaio a forma di U i cui rami sono detti rebbi. Quando è percosso, il diapason genera un suono puro (detto armonica) di una ben determinata frequenza. Per accordare gli strumenti musicali si usa un diapason che emette la nota «la», il suono costituito da onde con la frequenza di 440 Hz.

Velocità e intensità dei suoni

La *velocità del suono* dipende dal mezzo elastico in cui l'onda si propaga. Per esempio la velocità del suono vale circa 340 m/s nell'aria, 1500 m/s nell'acqua e più di 5000 m/s nell'acciaio.

Il fenomeno della diffrazione delle onde sonore fa sì che di solito il suono si senta comunque, nonostante gli ostacoli, perché, nella maggior parte delle situazioni, gli ostacoli che si frappongono tra sorgente e uditore hanno dimensioni simili alla lun-

ghezza d'onda delle onde sonore. In alcuni casi accade che le onde sonore vengano riflesse e così può accadere che si verifichino fenomeni chiamati *eco* e *rimbombo*.

Un breve grido, emesso in una valle circondata da alte montagne, viene riflesso avanti e indietro e quindi viene udito più volte; l'**eco** si percepisce chiaramente se la distanza tra la sorgente e la parete riflettente è tale che le onde riflesse non possano sovrapporsi con quelle emesse successivamente dalla sorgente; in altre parole occorre che l'intervallo di tempo tra il segnale emesso e quello riflesso sia sufficientemente ampio.

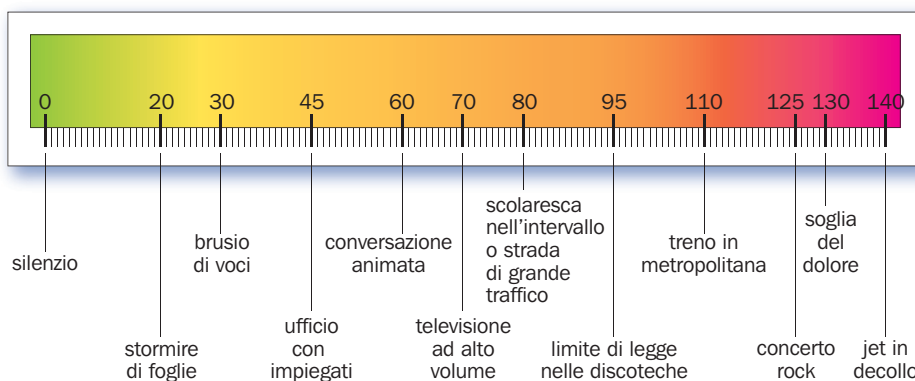
Il **rimbombo** è, come l'eco, un fenomeno di riflessione che però si verifica quando la distanza tra la sorgente sonora e la parete riflettente è piccola. In alcune sale, o nelle chiese, il suono riflesso si sovrappone spesso al suono diretto rafforzandolo e prolungandolo. Per evitare questo fenomeno, che altera il suono originale, negli ambienti chiusi si adottano accorgimenti, come le pareti fonoassorbenti, che, attenuando i fenomeni di riflessione, permettono una equilibrata diffusione del suono.

Un modo per misurare il *livello di intensità sonora* (comunemente chiamato volume del suono) fa riferimento alla variazione periodica della pressione dell'aria determinata dall'onda; pertanto è stata definita un'unità di misura chiamata **decibel (dB)** che è correlata con il pascal, l'unità di misura della pressione.

Sono stati stabiliti convenzionalmente i seguenti limiti di riferimento:

- 0 dB sono equivalenti a $2 \cdot 10^{-5}$ Pa e corrispondono alla *soglia minima udibile* dall'orecchio umano a una frequenza di 1000 Hz;
- 130 dB sono equivalenti a 200 Pa e corrispondono alla *soglia del dolore* a una frequenza di 1000 Hz;

Si deve notare che i due limiti sono riferiti a suoni della stessa frequenza, 1000 Hz. Questa precisazione è necessaria poiché la sensibilità dell'orecchio umano dipende molto dalla frequenza: alla frequenza di 20 Hz, per esempio, la soglia minima udibile sale a 60 dB. La scelta di riferirsi a 1000 Hz è suggerita dal fatto che si tratta di una frequenza prossima ai valori delle onde sonore più diffuse. La sensibilità dell'orecchio è massima per suoni di frequenza prossima a 2000 Hz. La **figura 14** mostra il livello di intensità del rumore riferita ad alcune situazioni comuni.



Sempre più spesso si sente parlare di **inquinamento acustico**, un fenomeno che costituisce attualmente uno dei principali fattori di degrado ambientale nelle nostre città. Con questo termine si indica l'aumento, oltre una soglia accettabile, dell'intensità sonora ambientale. L'esposizione prolungata e senza protezioni a rumori compresi tra 65 dB e 85 dB può provocare danni all'apparato uditivo oltre a disturbi neuroendocrini, effetti psicosomatici e psicosociali. Se si supera il valore di 85 dB si manifestano disturbi fisici molto gravi con alterazioni preoccupanti di molte funzionalità. Per questo motivo ci sono leggi che disciplinano questa materia imponendo limiti massimi al livello di intensità sonora nelle abitazioni, nei luoghi pubblici e di lavoro e disponendo che le persone addette a lavori rumorosi indossino adeguati dispositivi di protezione.

Per saperne di più



Alcuni animali (come i delfini e i pipistrelli) sono dotati di apparati in grado di emettere e di ricevere *ultrasuoni*, che l'orecchio dell'uomo non può avvertire. Anche i fischietti di richiamo per i cani emettono ultrasuoni.

Gli ultrasuoni sono utilizzati in diversi campi; esistono per esempio apparecchiature a ultrasuoni per frantumare i calcoli renali e altre che sono impiegate per rilevare la presenza di tubi metallici all'interno delle pareti in muratura.

◀ **Figura 14** Quando il suono supera un certo livello di intensità diventa insopportabile, ma soprattutto nocivo perché può provocare danni al nostro organismo.

4. Le onde elettromagnetiche

Come si generano le radiazioni elettromagnetiche

Quando cominciarono a studiare le *onde* (o *radiazioni*) *elettromagnetiche*, gli scienziati, che già conoscevano le proprietà delle onde meccaniche, trovarono difficile accettare l'idea che le onde elettromagnetiche potessero propagarsi nel vuoto. Per questo motivo fu immaginata una sostanza, a cui fu dato il nome di *etere*, che avrebbe dovuto permeare tutto lo spazio e costituire il mezzo di trasmissione delle onde elettromagnetiche. L'esistenza di questo fluido non è mai stata dimostrata e oggi le teorie che spiegano le radiazioni elettromagnetiche sottolineano proprio il fatto che queste radiazioni si propagano anche in assenza di materia.

Abbiamo visto come si origina un'onda meccanica; ora cercheremo di comprendere come si generano le onde elettromagnetiche.

All'origine delle radiazioni elettromagnetiche c'è un campo elettrico. Se la carica che genera il campo è ferma, il campo rimane costante nel tempo; se invece la carica si muove, anche il campo si modifica nel tempo. Inoltre occorre tener presente che una carica in movimento costituisce una corrente elettrica e quindi, come si è già detto, essa genera anche un campo magnetico. Viceversa, se nello spazio si rileva la presenza contemporanea di un campo elettrico e di un campo magnetico (ovvero di un *campo elettromagnetico*) possiamo essere certi che in qualche punto vi è una carica elettrica in movimento che li genera. Possiamo riassumere queste considerazioni con la seguente definizione.

! Le **radiazioni elettromagnetiche** sono onde a tre dimensioni che vengono generate a seguito dell'accelerazione di una carica elettrica.

Se il moto della carica è armonico, cioè oscillante con andamento sinusoidale nel tempo, anche il campo elettromagnetico che viene generato in ogni punto dello spazio varia in modo sinusoidale con la stessa frequenza.

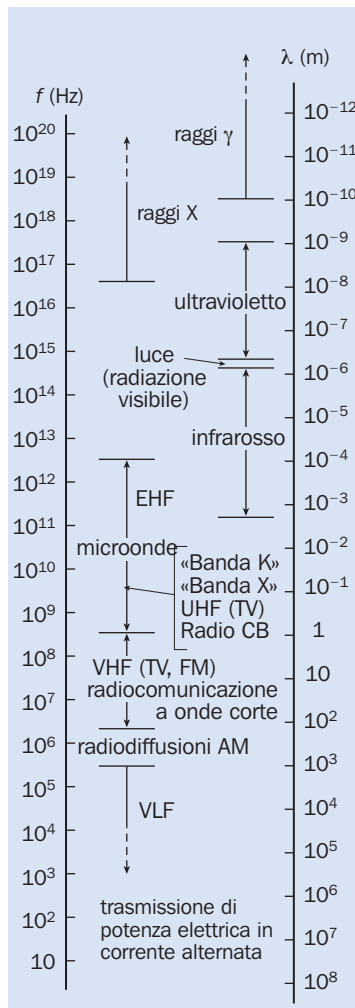
In concreto, una sorgente di onde elettromagnetiche, cioè quella che comunemente chiamiamo *antenna trasmittente*, può essere costituita da un conduttore in cui circola una corrente alternata di opportuna frequenza. Ai capi di un secondo conduttore che viene investito dall'onda elettromagnetica si genera una tensione alternata di uguale frequenza e pertanto questo conduttore costituisce l'*antenna ricevente*. In questo modo si produce e si riceve una categoria di onde elettromagnetiche dette *onde radio*.

Queste sono chiamate anche *onde hertziane*, dal nome del fisico tedesco H.R. Hertz che nel 1887 fece i primi esperimenti con le onde elettromagnetiche, che pure erano già state previste teoricamente dallo scienziato scozzese J.C. Maxwell venti anni prima. Negli anni successivi fu un altro scienziato, l'italiano G. Marconi, a scoprire la possibilità di trasmettere segnali a grandi distanze per mezzo delle onde radio. In poco più di un secolo il settore delle telecomunicazioni ha conosciuto uno sviluppo strabiliante che ha coinvolto numerosi aspetti della vita quotidiana.

Lo spettro elettromagnetico

Come abbiamo anticipato esistono diverse tipologie di onde elettromagnetiche che si differenziano in base alla loro frequenza e alla loro lunghezza d'onda. Infatti, la materia può emettere onde elettromagnetiche in molti modi diversi; di conseguenza, le onde prodotte possono avere frequenza e lunghezza d'onda diverse e quindi diversi sono gli effetti a cui danno luogo interagendo tra loro e con la materia.

L'insieme delle radiazioni elettromagnetiche conosciute è chiamato **spettro elettromagnetico** e copre un intervallo di frequenze molto ampio: da un minimo di 50 Hz (la frequenza delle onde emesse dalla corrente che circola nelle nostre case) fino a un massimo di 10^{23} Hz, la frequenza dei raggi γ (figura 15).



▲ **Figura 15** Classificazione delle onde elettromagnetiche in base alla frequenza; osservando le due scale dei valori si nota che per ciascun tipo di radiazione il prodotto $f \cdot \lambda$ è costante.

Vediamo ora quali sono i diversi fenomeni che interessano la materia e che danno origine alle diverse radiazioni elettromagnetiche.

Come sappiamo, tutti i corpi sono costituiti da atomi che contengono elettroni in movimento: a seguito di variazioni del livello di energia degli elettroni la materia può emettere *radiazioni luminose*, cioè radiazioni elettromagnetiche che vengono «percepite» dai nostri occhi.

Le *radiazioni infrarosse* o *IR*, la cui intensità e frequenza sono in relazione con la temperatura assoluta del corpo stesso, sono invece dovute all'agitazione termica degli atomi e delle molecole (figura 16).

Alcuni *materiali radioattivi*, a seguito di trasformazioni che avvengono nel nucleo degli atomi, emettono spontaneamente radiazioni elettromagnetiche molto pericolose per gli organismi viventi, i *raggi γ* .

Alcune radiazioni presenti nello spettro solare, le *radiazioni ultraviolette* o *UV* e i *raggi X*, possono anche essere prodotte artificialmente.

Come abbiamo visto, il processo attraverso il quale la materia emette radiazioni elettromagnetiche è molto complesso e comporta sempre una trasformazione di energia: gli atomi ricevono energia in una forma e la emettono in una forma diversa, che è appunto la radiazione.

Sfruttando l'interazione delle radiazioni elettromagnetiche con la materia è possibile, per esempio, scaldare, illuminare, abbronzarsi, fotografare, radiografare, eccetera. In tutte queste situazioni vi è sempre una trasformazione di energia per cui gli effetti che si riscontrano dipendono anche dall'energia trasportata dalla radiazione, che è correlata alla sua frequenza. Se aumenta la frequenza della radiazione, aumenta anche la sua capacità di penetrare nella materia: i *raggi X* e i *raggi γ* , che trasportano molta energia (hanno alta frequenza), sono anche detti *radiazioni ionizzanti* poiché possono trasformare in ioni (particelle dotate di carica elettrica) gli atomi dei corpi con cui interagiscono.

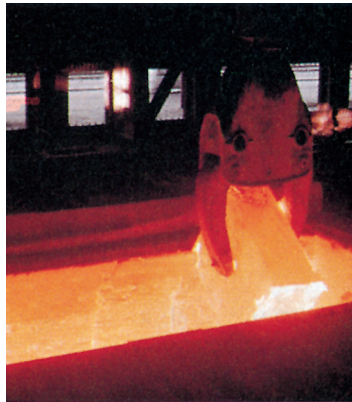
Gli effetti delle radiazioni sull'organismo umano si possono in ogni caso ricondurre ad alterazioni di tipo biochimico. Elevate dosi di radiazioni molto energetiche, come quelle che si possono ricevere a seguito di esplosioni atomiche o di incidenti in centrali nucleari, possono portare a gravi conseguenze, fino alla morte.

Radiazioni a minore frequenza, come i *raggi UV*, possono dare luogo a effetti non immediatamente evidenti, ma che possono evolvere con gravi conseguenze per le strutture genetiche delle cellule.

Effetti negativi sull'uomo dovuti a radiazioni elettromagnetiche di frequenza relativamente bassa, come le onde utilizzate per le trasmissioni radio e televisive, non sono ancora stati scientificamente accertati. Tuttavia, il moltiplicarsi delle sorgenti di questo tipo e l'aumento della loro potenza, a causa dell'impetuoso sviluppo delle telecomunicazioni, invita alla prudenza e a un attento e costante monitoraggio.

La velocità delle radiazioni elettromagnetiche fu determinata per la prima volta nel 1676 dall'astronomo danese O.C. Roemer. Oggi sappiamo che la velocità delle onde elettromagnetiche è massima nel vuoto e non dipende dalla lunghezza d'onda; tutte le radiazioni elettromagnetiche si propagano infatti con la stessa, altissima velocità, comunemente indicata come velocità della luce, circa 300 000 km/s.

La velocità della radiazione elettromagnetica, a seguito della teoria della relatività, è una costante fisica indicata con c e rappresenta un valore limite che la materia non può raggiungere. Essa vale $2,99792458 \cdot 10^8$ m/s ed è usata dal Sistema Internazionale per definire l'unità di misura della lunghezza.



◀ **Figura 16** Il lingotto di acciaio diventa rovente, cioè luminoso, soltanto quando la temperatura è sufficientemente alta per cui i suoi atomi emettono radiazioni elettromagnetiche visibili di colore rosso.

I protagonisti della scienza



L'inventore italiano **Guglielmo Marconi** (1874-1937) è famoso per aver sviluppato un sistema di telegrafia senza fili utilizzando le onde radio.

Nel 1901 Marconi stabilisce tra Terranova (Canada) e Poldhu (Gran Bretagna) la prima trasmissione transatlantica: si ha così la conferma che le onde radio possono propagarsi a grande distanza nonostante la curvatura terrestre.

Marconi ottiene il premio Nobel per la fisica nel 1909 assieme al fisico tedesco K. F. Braun per il loro contributo allo sviluppo del telegrafo senza fili. La notorietà di Marconi era così diffusa che alla sua morte le stazioni radio di tutto il mondo interruppero contemporaneamente per due minuti le trasmissioni in segno di lutto.

5. La luce e i colori

Che cos'è la luce

Sia che venga dal Sole o dalla fiamma di una candela, da una lampada a fluorescenza o dalla scarica di un fulmine, possiamo definire la *luce* nel seguente modo.



La **luce** è l'insieme delle radiazioni elettromagnetiche che possono essere percepite dall'occhio umano.

I nostri occhi sono organi straordinari, anche se da un punto di vista strettamente tecnico dobbiamo dire che costituiscono un apparato ricettore di onde molto limitato: essi infatti sono sensibili soltanto alle radiazioni elettromagnetiche con frequenza compresa tra $4 \cdot 10^{14}$ e $8 \cdot 10^{14}$ Hz, valori a cui corrispondono lunghezze d'onda comprese tra 370 nm e 750 nm.

La luce, come tutte le onde, è generata da una sorgente: così noi possiamo vedere il Sole, le fiamme, le lampadine accese perché le radiazioni prodotte da questi corpi luminosi raggiungono direttamente i nostri occhi. Ma noi possiamo vedere anche altri corpi: la Luna, una fotografia o il libro che state leggendo sono visibili quando sono illuminati, cioè quando diffondono, anche parzialmente, le radiazioni provenienti da sorgenti luminose. Stabilita la differenza tra corpi luminosi (*sorgenti di luce*) e corpi illuminati, deve essere chiaro che, in ogni caso, i corpi che vediamo sono quelli dai quali partono le radiazioni che raggiungono i nostri occhi.

Normalmente la superficie dei corpi presenta irregolarità di dimensioni maggiori della lunghezza d'onda della luce, che di conseguenza viene diffusa in tutte le direzioni; quando le onde luminose incontrano superfici metalliche molto lisce (superfici *speculari* o anche *specchi*) danno luogo al fenomeno della riflessione.

In passato gli specchi erano un lusso riservato alle persone facoltose, ma oggi vengono realizzati a livello industriale stendendo un sottile strato metallico (di solito argento, o platino per usi scientifici) sulla superficie di materiali trasparenti, come vetro o cristallo.

L'aria e l'acqua si comportano di solito come materiali trasparenti e quando una radiazione luminosa passa da un mezzo trasparente a un altro si possono osservare gli effetti del fenomeno della rifrazione ([figura 17](#)).



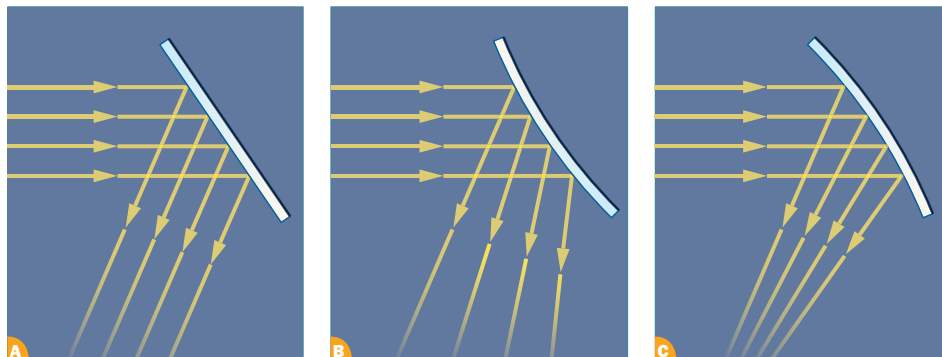
▲ **Figura 17** Il bastone immerso solo in parte nell'acqua appare piegato. Il fenomeno si spiega con la *rifrazione della luce*: infatti, la velocità delle radiazioni luminose provenienti dalla parte del bastone immersa nell'acqua cambia quando arrivano nell'aria. Di conseguenza all'occhio dell'osservatore esterno la parte immersa del bastone appare piegata in alto.

La luce e le immagini

È utile puntualizzare che molti fenomeni associati alla luce possono essere compresi usando l'espressione *raggio luminoso*: questo indica l'immaginaria linea retta di propagazione della luce.

Sfruttando i fenomeni della riflessione e della rifrazione della luce, si possono realizzare dispositivi ottici (specchi, prismi e lenti) mediante i quali è possibile ottenere un'immagine che può risultare ingrandita o rimpicciolita, diritta o capovolta. Consideriamo per esempio tre tipi di specchi ([figura 18](#)).

► **Figura 18** In base alla forma della superficie riflettente gli specchi possono essere piani, convessi e concavi. Tipi particolari di specchi concavi, detti parabolici, sono utilizzati come concentratori di radiazioni nelle centrali elettriche solari.



In base alla superficie riflettente gli specchi possono essere piani (A) o curvi (o sferici) (B, C). Gli specchi sferici possono essere concavi (C), con la parte riflettente interna, o convessi (B), con la parte riflettente esterna. Gli specchi retrovisori esterni di un'automobile sono convessi e danno un'immagine diritta e rimpicciolita. Gli specchi concavi, danno un'immagine diritta e ingrandita di un oggetto vicino; se l'oggetto è lontano dallo specchio l'immagine risulta rimpicciolita e rovesciata.

Possiamo anche classificare le immagini ottenute con dispositivi ottici in due gruppi fondamentali: *immagini reali* e *immagini virtuali*.

Si hanno **immagini reali** quando nella zona dello spazio dove i nostri occhi vedono l'immagine passano realmente i raggi luminosi.

Si hanno invece **immagini virtuali** quando nella zona dello spazio dove i nostri occhi vedono l'immagine non passano realmente i raggi luminosi. Per esempio, l'immagine che vediamo in uno specchio, al di là dello specchio, è virtuale (figura 19).

Combinando gli effetti di specchi, prismi e lenti si costruiscono strumenti ottici adatti a creare l'immagine di oggetti vicini o lontani: il *cannocchiale*, il *microscopio*, il *telescopio* e la *macchina fotografica* sono senza dubbio tra i più noti.

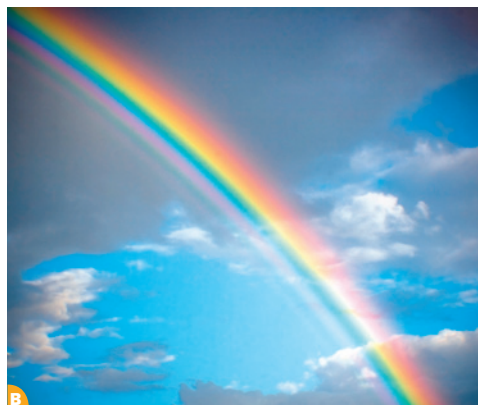
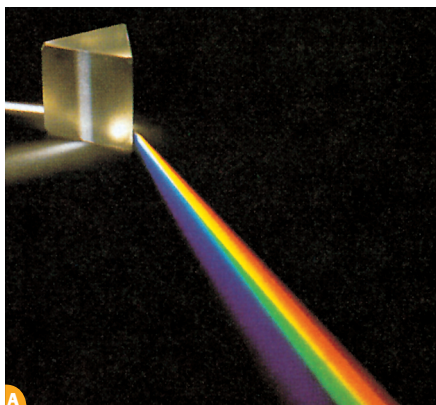
Con il microscopio ottico è stato possibile vedere le cellule animali e vegetali e questo fatto ha contribuito fortemente allo sviluppo delle scienze biologiche. Dobbiamo però chiarire che c'è un limite alla capacità di ingrandimento di un microscopio. Infatti, a causa della diffrazione, i particolari più piccoli che si possono vedere con una radiazione sono dell'ordine di grandezza della sua lunghezza d'onda. Dal momento che le radiazioni luminose hanno una lunghezza d'onda 1000-10 000 volte più grandi delle dimensioni degli atomi, dobbiamo concludere che questi restano invisibili.

La luce e i colori

C'è un aspetto delle radiazioni luminose che è sempre sotto i nostri occhi e che in genere rende piacevole la nostra vita: il **colore**. Per spiegare perché molti oggetti sono colorati è necessario approfondire le conoscenze su ciò che chiamiamo *luce*.

La luce che proviene dal Sole, chiamata anche *luce bianca*, è un insieme di radiazioni elettromagnetiche di diversa frequenza. Quando un fascio di luce bianca viene rifratto, si osservano gli effetti di un fenomeno chiamato *dispersione*: le diverse componenti della luce vengono deviate con angoli diversi, secondo la rispettiva frequenza. In particolare, il risultato della dispersione risulta piuttosto evidente quando il fascio attraversa un prisma, in cui subisce una doppia rifrazione. Dal prisma il fascio di luce esce allargato e suddiviso in bande colorate: l'insieme delle bande prende il nome di *spettro della luce bianca* (figura 20A). Una situazione simile si verifica quando appare un arcobaleno (figura 20B).

Lo spettro, in realtà, è costituito da infiniti colori, ma il nostro occhio è in grado di distinguerne soltanto alcuni. I colori all'estremità dello spettro sono il rosso, che corrisponde alla radiazione di frequenza minore, e il violetto, che corrisponde alla radiazione di frequenza maggiore.



▲ **Figura 19**

Nell'immagine reale la scritta appare rovesciata, mentre la stessa scritta, riflessa dallo specchietto retrovisore, si legge immediatamente perché appare diritta.

◀ **Figura 20**

A) Si può osservare che la radiazione violetta (frequenza maggiore) subisce la deviazione maggiore.

B) L'arcobaleno è sempre un fenomeno spettacolare, che si può spiegare in base a sovrapposizione di vari effetti: rifrazione, dispersione e riflessione della luce all'interno delle gocce (sferiche) di pioggia sospese nell'aria. Irade, nella mitologia greca, era la personificazione dell'*arcobaleno* e ancora oggi i colori che costituiscono lo spettro della luce bianca sono detti *colori dell'iride*.

Le radiazioni non visibili con frequenza minore della luce rossa sono dette *raggi infra-rossi* mentre quelle con frequenza maggiore della luce viola vengono chiamate *raggi ultravioletti*.

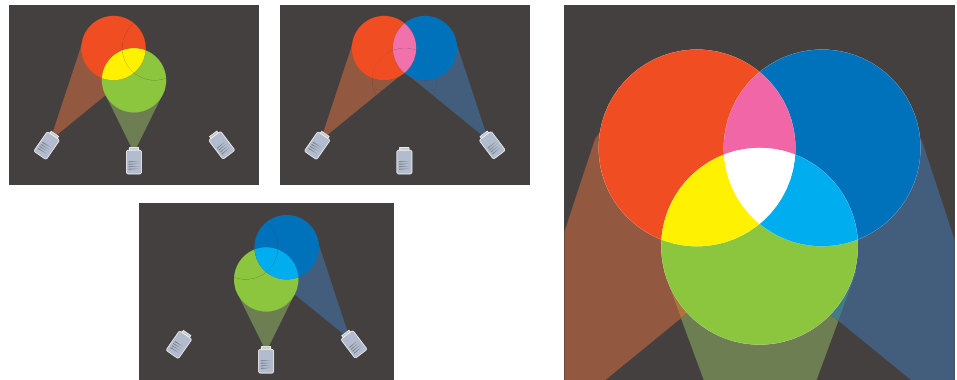
Una radiazione luminosa è detta *luce monocromatica* quando è formata soltanto da onde della stessa frequenza; naturalmente, quando una radiazione monocromatica attraversa un prisma viene rifratta ma non dispersa.

Il fenomeno della dispersione della luce bianca si spiega considerando che la velocità delle radiazioni elettromagnetiche (che nel vuoto è la stessa per tutte le onde, di qualsiasi frequenza esse siano) diminuisce quando le onde attraversano un mezzo trasparente e questa decelerazione è maggiore per le onde di maggiore frequenza (o di minore lunghezza d'onda). Pertanto, quando la luce bianca attraversa il prisma, le onde di diversa frequenza che la compongono subiscono una rifrazione diversa: le radiazioni di colore rosso, che hanno frequenza minore, sono rifratte meno di quelle violette, che hanno frequenza maggiore.

Vogliamo sottolineare che attribuire il colore rosso o violetto alle onde di diversa frequenza non significa attribuire loro una caratteristica intrinseca dal momento che il colore è il risultato di una elaborazione cerebrale dello stimolo raccolto dalla retina. Questo spiega perché gli individui affetti da *daltonismo* (un difetto dell'apparato visivo) percepiscono i colori in modo diverso, proprio come gli animali che hanno apparati visivi e nervosi diversi da quello umano.

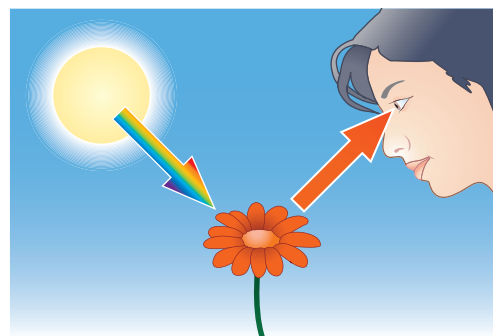
Prendiamo ora in considerazione tre diverse sorgenti di radiazioni elettromagnetiche, una rossa, una blu e una verde. È possibile verificare che componendo opportunamente questi tre tipi di luce si possono ottenere tutti i colori dello spettro della luce visibile. Per questo il rosso, il blu e il verde sono detti *colori primari* (figura 21).

► **Figura 21** Componendo opportunamente i colori primari si ottengono tutti i colori possibili. La *sintesi additiva* dei tre colori determina una sensazione cromatica di saturazione chiamata bianco.



Dopo aver indicato la natura fisica del colore, possiamo capire perché gli oggetti che abbiamo intorno appaiono variamente colorati. La luce bianca quando colpisce gli oggetti, viene in parte diffusa: il colore che vediamo corrisponde alle frequenze delle radiazioni diffuse, che dipendono dalle sostanze che costituiscono la superficie dei corpi.

Quando la luce bianca colpisce la superficie di un fiore alcune radiazioni interagiscono con le sostanze presenti e vengono assorbite; il risultato è che la superficie del fiore diffonde soltanto le *radiazioni complementari*; la figura a lato mostra che sono proprio queste radiazioni che arrivano al nostro occhio e che ci fanno affermare «il fiore è rosso».



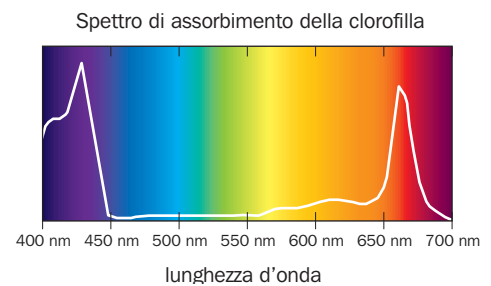
Per lo stesso motivo, le foglie delle piante ci appaiono verdi perché contengono clorofilla, una sostanza che assorbe selettivamente le radiazioni della luce bianca complementari al verde.

Con uno strumento chiamato spettrofotometro è possibile misurare l'assorbimento di una sostanza quando viene colpita da tutte le radiazioni che costituiscono la luce bianca. I due *picchi di assorbimento* presenti nella figura qui a lato dimostrano che la clorofilla assorbe in prevalenza nella zona violetta e nella zona rossa dello spettro. Pertanto il colore diffuso dalla clorofilla è quello complementare, cioè il verde.

Se un corpo illuminato dal Sole ci appare bianco, possiamo affermare che esso riflette e diffonde tutte le radiazioni dello spettro visibile; viceversa, se lo vediamo nero significa che non diffonde alcuna radiazione: il nero pertanto non è un colore, poiché c'è colore soltanto se c'è radiazione.

In base a queste considerazioni sulla relazione tra luce e colore possiamo chiederci di quale colore appare un corpo quando è illuminato da una luce monocromatica, cioè da una radiazione visibile di una determinata frequenza. Se per esempio illuminiamo un limone con una radiazione blu che cosa dobbiamo aspettarci? A seguito di quello che abbiamo detto sulla riflessione e sulla diffusione, dobbiamo concludere che il corpo può diffondere soltanto la radiazione che lo ha colpito e quindi noi vedremo il limone di colore blu! Il limone riapparirà con il «suo» colore giallo quando verrà illuminato dalla normale luce bianca.

Possiamo quindi arrivare a una conclusione di validità generale che sottolinea un altro aspetto dell'interazione tra radiazione elettromagnetica e materia: *il colore non è una proprietà intrinseca di un corpo, ma dipende dal tipo di radiazione che lo illumina.*



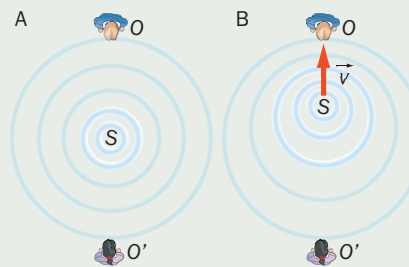
L'effetto Doppler

Probabilmente a tutti noi è accaduto di notare che il suono di una sirena, come per esempio quella di un mezzo di soccorso, è abbastanza acuto quando il mezzo si sta avvicinando mentre diventa più grave quando si allontana.

Questo fenomeno si verifica quando la sorgente dell'onda è in moto rispetto all'osservatore ed è chiamato **effetto Doppler**, dal nome del fisico austriaco C.J. Doppler che per primo lo studiò.

Quando l'onda si propaga dalla sorgente che l'ha generata la sua velocità è la stessa in tutte le direzioni, ma se anche la sorgente è in movimento i fronti d'onda che si muovono nello stesso verso sono ravvicinati poiché la sorgente «rincorre» l'onda; viceversa, i fronti d'onda che si muovono in verso opposto a quello della sorgente sono più distanziati poiché la sorgente si allontana continuamente dagli stessi.

Per comprendere come viene percepito questo fenomeno consideriamo di essere seduti sulla gradinata in curva di uno stadio e di avere un amico seduto sulla gradinata della curva opposta. Al centro del campo c'è una sorgente sonora; fino a quando essa è ferma il suono che viene udito sulle gradinate è lo



stesso. Se ora la sorgente inizia a muoversi verso di noi ci accorgiamo che il suono diviene più acuto, proprio perché corrisponde a un'onda con lunghezza d'onda minore e quindi frequenza maggiore. Viceversa il nostro amico sulla gradinata opposta vede la sorgente allontanarsi e percepisce un suono più grave perché riceve un'onda con lunghezza d'onda maggiore e quindi con frequenza minore.

L'effetto Doppler è tanto più marcato quanto maggiore è la velocità di spostamento della sorgente rispetto alla velocità delle onde generate e un effetto del tutto particolare si ottiene quando la sorgente sonora si muove addirittura con velocità maggiore di quella dell'onda.

In tal caso i fronti delle onde generate rimangono indietro rispetto alla sorgente e si

sommano formando una scia molto intensa, a forma di cono, che ha per vertice la sorgente stessa e si allarga sempre più all'indietro.

Quando un osservatore è investito dalla scia ode un suono molto intenso: si tratta del cosiddetto «bang supersonico», che si verifica quando un aereo a reazione viaggia con velocità superiore a quella del suono, cioè, come si è soliti dire, supera il muro del suono.

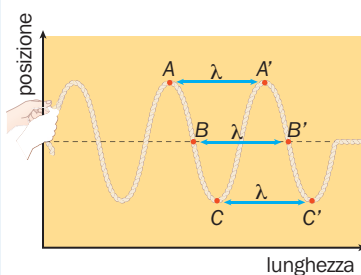
L'effetto Doppler avviene per tutte le onde, anche per quelle elettromagnetiche. Osservando le radiazioni provenienti da stelle o galassie lontane si è scoperto che le lunghezze d'onda sono maggiori di quelle misurate sulla Terra. Si tratta del cosiddetto *spostamento verso il rosso delle radiazioni*. Questo fenomeno può essere spiegato con l'effetto Doppler ammettendo che tutte le galassie si stiano allontanando da noi. Misurando la variazione della lunghezza d'onda è possibile determinare la velocità della sorgente e anche la sua distanza. Poiché si osserva che la velocità di allontanamento di una galassia è direttamente proporzionale alla sua distanza, si giunge alla conclusione che l'Universo si sta espandendo. Su questo fatto si basa l'ipotesi sull'origine dell'Universo che va sotto il nome di Big Bang.

LE ONDE E LA MATERIA

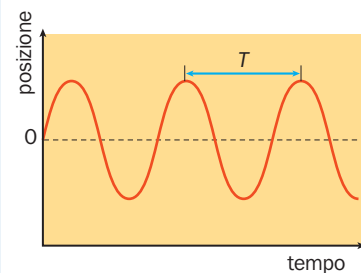
Un'onda è una perturbazione che propagandosi nello spazio trasporta energia senza che ci sia trasporto di materia

Le onde prendono sempre origine in un punto (la **sorgente**) in cui è prodotta la perturbazione e possono essere classificate in modi diversi.

Se la perturbazione è continua e costante viene generato un treno di onde di forma sinusoidale che si propaga illimitatamente nello spazio e nel tempo.



In un treno di onde che si propagano si chiama **lunghezza d'onda** (λ) la distanza tra due punti consecutivi tra loro in fase.



Si chiama **periodo** (T) di un'onda l'intervallo di tempo in cui si compie una oscillazione completa della perturbazione.

La **frequenza** (f) indica il numero di oscillazioni complete effettuate in 1 s. L'unità di misura è l'hertz (Hz).

La **velocità di un'onda** (v) si ottiene dal rapporto tra la lunghezza d'onda e il periodo:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{ovvero} \quad v = \lambda \cdot f$$

Sono **onde meccaniche** (o elastiche) le onde che si propagano solo in presenza di un mezzo materiale, come quelle sonore e quelle sismiche.

Sono **onde elettromagnetiche** le onde che si possono propagare anche nel vuoto, come le onde radio o le radiazioni luminose.

In base alla *direzione di propagazione* si hanno:

- **onde a una dimensione** come quelle che si producono pizzicando la corda di una chitarra
- **onde a due dimensioni** come quelle che si formano gettando un sasso in uno stagno
- **onde a tre dimensioni** come quelle sonore che si propagano in tutte le direzioni dello spazio

In base alla *oscillazione delle particelle del mezzo* rispetto alla direzione di propagazione dell'onda si hanno:

- **onde trasversali** quando le particelle del mezzo oscillano perpendicolarmente alla direzione di propagazione (come le onde prodotte in una corda)
- **onde longitudinali** quando le particelle del mezzo oscillano parallelamente alla direzione di propagazione (come le onde sonore)

Si definisce **ampiezza** di un'onda meccanica lo spostamento massimo di un punto del mezzo dalla sua posizione di equilibrio.

L'**energia** associata all'onda è direttamente proporzionale al quadrato della sua ampiezza.

L'**intensità** di un'onda corrisponde alla quantità di energia trasportata nell'unità di tempo attraverso l'unità di area della superficie perpendicolare alla direzione di propagazione.

Le onde possono dare origine a fenomeni caratteristici.

La **riflessione**: si ha quando un'onda incontra una superficie che ne impedisce la propagazione e viene riflessa; l'angolo di incidenza e l'angolo di riflessione sono uguali.

La **rifrazione**: si ha quando l'onda attraversa la superficie che separa mezzi materiali diversi e consiste in un cambiamento della direzione di propagazione; il rapporto tra angolo di incidenza e l'angolo di rifrazione è uguale al rapporto tra le velocità dell'onda nei due mezzi.

La **diffusione**: si ha quando l'onda incontra ostacoli e superfici irregolari; essa viene riflessa o rifratta un po' in tutte le direzioni e può diffondersi in tutto lo spazio a disposizione.

La **diffrazione**: si ha quando l'onda incontra un ostacolo le cui dimensioni sono piccole rispetto alla sua lunghezza d'onda; si manifesta una deflessione delle linee di propagazione tale da consentire all'onda di aggirare l'ostacolo.

L'**interferenza**: si ha quando due o più onde dello stesso tipo si incontrano in una regione dello spazio e si ha la loro sovrapposizione.

MAPPA DI SINTESI

LE ONDE SONORE

Viene chiamato **suono** l'insieme delle onde meccaniche longitudinali che si propagano in un mezzo elastico e che sono percepite dall'orecchio umano.
Il suono, a prescindere da dove è stato prodotto, si trasmette nell'aria per mezzo di onde longitudinali in cui si crea un'alternanza di zone in cui l'aria è più compressa, o più densa, e di zone in cui lo è meno.

Le onde sonore che giungono al nostro orecchio fanno vibrare una membrana, il timpano, vengono convertite in impulsi nervosi che giungono al cervello e da questo interpretati come suoni.
Le onde sonore che l'orecchio umano può percepire hanno valori di frequenza compresi tra un minimo di 20 Hz e un massimo di 20 kHz.

Le caratteristiche delle onde sonore sono:

- l'**altezza**: un suono è tanto più alto (o acuto) quanto maggiore è la sua frequenza
- il **timbro**: dipende dalla forma dell'onda; solo le onde sinusoidali sono suoni puri
- la **velocità**: nell'aria vale 340 m/s, nei liquidi e nei solidi è di norma maggiore
- l'**intensità**: si misura in decibel (dB); la soglia del dolore è fissata a 130 dB per una frequenza di 1000 Hz

Le onde sonore con frequenza minore di 20 Hz sono chiamate **infrasuoni**; quelle che hanno frequenza maggiore di 20 kHz sono chiamate **ultrasuoni**.

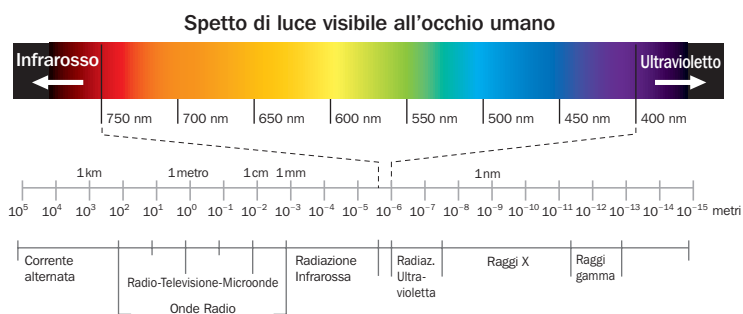
Le onde sonore possono dare origine a fenomeni caratteristici.
L'**eco** è un fenomeno che si verifica quando la distanza tra la sorgente e la parete riflettente è tale che le onde riflesse non possano sovrapporsi con quelle emesse successivamente dalla sorgente.
Il **rimbombo** è, come l'eco, un fenomeno di riflessione che però si verifica quando la distanza tra la sorgente sonora e la parete riflettente è piccola.

LE ONDE ELETTROMAGNETICHE E LA LUCE

Le onde elettromagnetiche sono costituite dalla propagazione della variazione armonica di un campo elettrico e di un campo magnetico associati. Si chiama **spettro delle radiazioni elettromagnetiche** l'insieme delle onde a tre dimensioni che vengono generate a seguito della accelerazione di una carica elettrica. Esso comprende le radiazioni che vanno da quelle emesse dalla corrente alternata di un circuito elettrico domestico ($f = 50$ Hz) fino ai raggi γ ($f = 10^{23}$ Hz).

Nel vuoto tutte le onde elettromagnetiche viaggiano alla stessa velocità: essa vale circa 300 000 km/s.

Gli occhi dell'uomo costituiscono l'apparato recettore delle onde elettromagnetiche con frequenza compresa tra $4 \cdot 10^{14}$ Hz e $8 \cdot 10^{14}$ Hz.



Noi possiamo vedere i corpi che sono sorgenti di luce e quelli che sono riflettori di luce.

Le immagini che si formano sulla retina possono essere **reali** o **virtuali** (è virtuale l'immagine fornita da uno specchio piano).

Si chiama **spettro della luce bianca** l'insieme delle radiazioni cromatiche che si osservano quando la luce bianca subisce la **dispersione**. Gli oggetti ci appaiono bianchi, diversamente colorati o neri a seconda che la luce bianca che arriva sulla loro superficie sia riflessa totalmente, parzialmente o completamente assorbita.

Le radiazioni elettromagnetiche possono interagire con la materia; l'energia trasportata è direttamente proporzionale alla loro frequenza. Per questo i raggi γ e i raggi X sono **radiazioni ionizzanti** cioè possono trasformare in ioni gli atomi dei corpi con cui interagiscono. Anche i raggi ultravioletti possono danneggiare il patrimonio genetico delle cellule.

1. Che cos'è un'onda

- 1** Qual è il criterio fondamentale che consente di classificare le onde in due grandi categorie?
- 2** In base a quale criterio un'onda può essere classificata come trasversale?
- 3** Perché si può affermare che un'onda sonora è tridimensionale?
- 4** Quale relazione c'è tra l'ampiezza di un'onda e l'energia trasportata?
- 5** Che cosa determina qualunque tipo di onda?
- 6** In quali categorie possono essere classificate le onde?
- 7** Dove si propagano le onde elettromagnetiche?
- 8** Che cosa si intende per sorgente dell'onda?
- 9** Dove si propagano le onde elastiche?
- 10** Quando si può affermare che due punti dell'onda sono in fase?
- 11** Che cosa è la lunghezza d'onda?
- 12** Che cosa si intende per periodo di un'onda?
- 13** Che cosa si intende per frequenza di un'onda?
- 14** Che cosa indica l'ampiezza di un'onda elastica?
- 15** Quale grandezza relativa a un'onda che si propaga in una molla è in relazione con l'energia trasportata dall'onda stessa?
- 16** Quando hanno la stessa frequenza
- 17** Quando si trovano nella stessa situazione di posizione e di moto
- 18** Quando si trovano alla stessa distanza dalla sorgente che genera l'onda
- 19** La distanza a cui arriva l'onda
- 20** La distanza tra due punti consecutivi in fase
- 21** L'ampiezza dell'onda
- 22** Le dimensioni dell'onda
- 23** La forma sinusoidale dell'onda
- 24** L'intervallo di tempo in cui si compie un'oscillazione completa della perturbazione
- 25** L'intervallo di tempo in cui si propaga l'onda
- 26** L'intervallo di tempo in cui si interrompe la perturbazione
- 27** La distanza che percorre un'oscillazione completa della perturbazione
- 28** Il numero di oscillazioni complete effettuate in 1 s
- 29** L'intervallo di tempo in cui si compie una oscillazione completa della perturbazione
- 30** La distanza che percorre un'oscillazione completa della perturbazione
- 31** Il numero di oscillazioni complete che compie la perturbazione nel tempo di un periodo
- 32** Il numero di oscillazioni complete effettuate in 1 s
- 33** Il numero di secondi che impiega la perturbazione a compiere un'oscillazione completa
- 34** Lo spostamento massimo di un punto del mezzo dalla sua posizione di equilibrio
- 35** Lo spostamento minimo di un punto del mezzo dalla sua posizione
- 36** La distanza di un punto dell'onda dalla sua posizione di equilibrio
- 37** Lo spostamento del mezzo dalla posizione dell'onda
- 38** Lo spostamento massimo percorso da un punto dell'onda
- 39** La frequenza
- 40** La lunghezza d'onda
- 41** L'ampiezza
- 42** Il periodo
- 43** Nessuna delle grandezze precedenti

AUTOVERIFICA

- 16** Un'onda periodica si propaga con una frequenza di 85 Hz. Qual è il periodo dell'onda?
- 17** Una boa galleggia sull'acqua del mare e in un certo istante, investita dalla cresta di un'onda, si trova a una altezza di 40 cm rispetto al livello di quiete.
- a) A che altezza si troverà la boa dopo un quarto di periodo dal passaggio della cresta?
b) E dopo mezzo periodo dal passaggio della cresta?
- 18** Quale relazione definisce la velocità di propagazione di un'onda?
- A $v = \lambda \cdot T$
 B $v = \lambda / f$
 C $v = \lambda / T$
 D $v = T / \lambda$
 E $v = \frac{f}{\lambda}$
- 23** Quale fenomeno si osserva quando un'onda passa da un mezzo di propagazione a un altro senza ostacoli?
- A La diffrazione B La riflessione
 C La rifrazione D La diffusione
 E L'interferenza
- 24** Quale affermazione è corretta a proposito degli angoli di incidenza e di rifrazione?
- A L'angolo minore si trova nel mezzo in cui è maggiore la velocità dell'onda
 B L'angolo maggiore si trova nel mezzo in cui è minore la velocità dell'onda
 C Gli angoli sono sempre uguali indipendentemente dai materiali
 D L'angolo minore si trova nel mezzo in cui la velocità dell'onda è uguale a quella della luce nel vuoto
 E L'angolo minore si trova nel mezzo in cui è minore la velocità dell'onda

2. Fenomeni caratteristici delle onde

- 19** Quale fenomeno relativo alle onde consente di osservare le immagini attraverso lo specchietto retrovisore di un'automobile?
- 20** Una lampada è posta in un angolo di una stanza. Quale fenomeno relativo alle onde consente di spiegare perché la luce emessa dalla lampada illumina tutta la stanza?
- 21** In quale situazione si osserva il fenomeno della riflessione di un'onda?
- A L'onda incontra una superficie dalla quale viene respinta
 B L'onda attraversa la superficie di separazione tra due materiali diversi
 C L'onda incontra una superficie che ne cambia l'ampiezza
 D L'onda cambia la frequenza perché passa attraverso materiali diversi
 E L'onda cambia la lunghezza d'onda perché passa attraverso materiali diversi
- 22** Che cosa si osserva a seguito della riflessione di un'onda?
- A L'angolo di incidenza è sempre maggiore dell'angolo di riflessione
 B Gli angoli di incidenza e di riflessione sono diversi e giacciono sul piano di propagazione dell'onda
 C Gli angoli di incidenza e di riflessione sono perpendicolari alla superficie riflettente
 D L'angolo di incidenza e di riflessione sono uguali indipendentemente dal materiale riflettente
 E Gli angoli di incidenza e di riflessione dipendono dalla frequenza delle onde
- 25** Il fenomeno della diffrazione si osserva quando un'onda incontra ostacoli:
- A di dimensioni uguali alla sua lunghezza d'onda
 B di dimensioni piccole rispetto alla sua lunghezza d'onda
 C di dimensioni più grandi o più piccole rispetto alla sua frequenza
 D di dimensioni più grandi o più piccole rispetto al suo periodo
 E di dimensioni uguali alla sua frequenza
- 26** In quale situazione si osserva il fenomeno della diffusione di un'onda?
- A Quando l'onda incontra fenditure di dimensioni molto più grandi o molto più piccole rispetto alla sua lunghezza d'onda
 B Quando l'onda si sovrappone a un'altra onda di uguale frequenza
 C Quando l'onda incontra una fenditura molto più piccola della sua lunghezza d'onda
 D Quando l'onda incontra ostacoli irregolari e viene riflessa o rifratta in tutte le direzioni
 E Quando l'onda incontra una fenditura molto più grande della sua lunghezza d'onda
- 27** Quale delle seguenti affermazioni si riferisce al fenomeno della interferenza di un'onda?
- A L'onda, nella sua propagazione, attraversa due mezzi differenti
 B L'onda si sovrappone a un'altra onda di uguale frequenza
 C L'onda aggira un ostacolo di dimensioni maggiori della sua lunghezza d'onda
 D L'onda è assorbita dal mezzo in cui si propaga
 E L'onda incontrando una fenditura irregolare viene rifratta in tutte le direzioni

3. Le onde sonore

- 28** Da che cosa dipende la velocità di propagazione delle onde sonore?
- 29** Come si chiama l'unità di misura del livello di intensità del suono?
- 30** Che cosa si intende con il termine inquinamento acustico?
- 31** Qual è la proprietà che accomuna infrasuoni e ultrasuoni?
- 32** Qual è la proprietà che differenzia infrasuoni e ultrasuoni?
- 33** Perché puoi udire un suono anche se tra la sorgente e le tue orecchie si frappone un ostacolo?
- 34** Quale proprietà caratterizza le onde sonore rispetto le altre onde meccaniche?
- A Hanno un'altissima frequenza
- B Hanno una sola lunghezza d'onda
- C Si propagano anche nell'aria
- D Si propagano anche nel vuoto
- E Si propagano solo nel vuoto
- 35** Che cosa caratterizza il cosiddetto timbro di un'onda sonora?
- A La frequenza
- B L'intensità
- C La velocità
- D La forma della onda
- E La lunghezza d'onda
- 36** Quale proprietà ha un suono che diciamo alto?
- A Ha un'elevata intensità
- B Si trasmette con grande velocità
- C Ha una frequenza molto alta
- D Ha un forte timbro
- E Ha elevata lunghezza d'onda
- 37** Quale proprietà delle onde sonore spiega l'eco e il rimbombo di un suono?
- A La riflessione
- B La rifrazione
- C La diffrazione
- D L'interferenza
- E La diffusione
- 38** Le onde sonore si propagano:
- A solo nel vuoto B solo nella materia
- C solo nei fluidi D nel vuoto e nell'aria
- E solo nell'aria
- 39** Quali sono le frequenze minima e massima delle onde udibili dall'orecchio umano? Determina la lunghezza d'onda di queste onde nell'aria (dove la velocità è di 340 m/s) e nell'acqua (dove la velocità è di 1500 m/s).

- 40** Considera un lungo tratto di un binario di ferro: in un punto preciso il binario viene colpito con un colpo di martello. Sapendo che appoggiando l'orecchio sul binario in un punto distante 6,5 km il suono prodotto si avverte dopo 1,27 s, calcola la velocità del suono nel ferro.

4. Le onde elettromagnetiche

- 41** Qual è la differenza fondamentale tra un'onda meccanica e un'onda elettromagnetica?
- 42** Che cosa si intende per spettro delle radiazioni elettromagnetiche?
- 43** Hanno maggiore lunghezza d'onda le microonde o i raggi infrarossi?
- 44** Che cosa differenzia a livello energetico le radiazioni elettromagnetiche visibili da quelle chiamate raggi X?
- 45** La capacità comune a tutti i corpi di emettere radiazioni infrarosse viene sfruttata per effettuare fotografie notturne. Quale proprietà dei corpi correlata all'emissione di radiazioni infrarosse è messa in evidenza da queste immagini?
- 46** Le radiazioni solari che investono la Terra durante le ore centrali di una giornata estiva sono più ricche di radiazioni ultraviolette. Per quale motivo i medici consigliano di limitare l'esposizione al sole durante queste ore?
- 47** Tutte le radiazioni elettromagnetiche si propagano sempre alla stessa velocità?
- 48** Di quale tipo sono le onde elettromagnetiche?
- A Onde a una dimensione
- B Onde a due dimensioni
- C Onde a tre dimensioni
- D Onde elastiche
- E Onde meccaniche
- 49** Come si può generare una radiazione elettromagnetica?
- A Accelerando la materia nel vuoto
- B Accelerando la materia nell'etere
- C Solo in presenza dell'etere
- D Accelerando una carica elettrica
- E Accelerando la materia
- 50** Quale aspetto caratterizza la velocità nel vuoto delle onde elettromagnetiche?
- A È proporzionale alla loro frequenza
- B È inversamente proporzionale alla loro frequenza
- C È indipendente dalla loro frequenza e dalla loro lunghezza d'onda
- D È proporzionale alla loro intensità
- E È inversamente proporzionale alla loro lunghezza d'onda

AUTOVERIFICA

- 51** Quale tra i seguenti tipi di onde non è una radiazione elettromagnetica?
- A Onde radio
 - B Raggi ultravioletti
 - C Microonde
 - D Raggi X
 - E Ultrasuoni

- 52** Le onde radio dette a *modulazione di frequenza* (FM) hanno una frequenza dell'ordine di 10^2 MHz. Qual è la loro lunghezza d'onda media nel vuoto?

5. La luce e i colori

- 53** Che cosa si intende per spettro della luce bianca?
- 54** Quale caratteristica differenzia la luce gialla da quella blu?
- 55** Che cosa occorre fare per ottenere una radiazione monocromatica dalla luce bianca?
- 56** Perché una banana illuminata dalla luce solare appare di colore giallo?
- 57** Quale caratteristica fondamentale distingue la luce dalle altre radiazioni elettromagnetiche?
- A È un'onda meccanica che viene percepita dall'orecchio umano
 - B È un'onda elastica che è percepita dall'occhio umano
 - C È formata da onde elettromagnetiche percepibili dall'occhio umano
 - D È un'onda elettromagnetica che viaggia in linea retta e non può subire riflessioni
 - E È il solo tipo di onde elettromagnetiche che non danneggiano l'organismo umano
- 58** Il fenomeno della dispersione della luce si ha quando:
- A una radiazione monocromatica subisce rifrazione
 - B una radiazione monocromatica subisce riflessione
 - C la luce bianca subisce rifrazione
 - D la luce bianca subisce riflessione
 - E la luce subisce il fenomeno dell'interferenza
- 59** Quale aspetto della luce bianca può essere esaminato con un prisma di vetro?
- A La riflessione che si verifica quando incontra un ostacolo
 - B I fenomeni che avvengono quando interagisce con l'occhio umano
 - C L'interferenza che si verifica quando incontra un'altra radiazione
 - D La velocità con cui si propaga nei diversi materiali
 - E L'insieme di tutte le diverse radiazioni che la costituiscono

- 60** Che cosa caratterizza i diversi colori delle radiazioni luminose?
- A L'angolo con cui sono riflesse da una superficie speculare
 - B La lunghezza d'onda
 - C Il mezzo in cui si propagano
 - D La velocità con cui si propagano nel vuoto
 - E L'intensità della radiazione

- 61** Il colore di un oggetto è determinato da:
- A il tipo di radiazioni assorbite dall'oggetto
 - B soltanto il tipo di luce che illumina l'oggetto
 - C l'insieme delle radiazioni che l'oggetto diffonde
 - D la forma dell'oggetto e la sua composizione chimica
 - E soltanto la composizione chimica dell'oggetto

- 62** Qual è la condizione per cui una radiazione è detta monocromatica?
- A È capace di generare un solo colore
 - B Viene diffusa solo da un prisma
 - C È formata dalle onde visibili dello spettro elettromagnetico
 - D È formata soltanto da onde della stessa frequenza
 - E È formata soltanto da luce bianca

- 63** Quanto vale il rapporto numerico tra la frequenza delle radiazioni violette e quella delle radiazioni rosse?
- A 2
 - B 0,5
 - C $4 \cdot 10^8$ MHz
 - D $8 \cdot 10^8$ MHz
 - E 1

- 64** Perché un oggetto illuminato da luce bianca appare di colore rosso?
- A Si trova ad altissima temperatura
 - B Assorbe il colore rosso e riflette tutti gli altri
 - C Assorbe tutte le radiazioni visibili
 - D Riflette il colore rosso e assorbe tutti gli altri
 - E Assorbe tutte le radiazioni non visibili

- 65** Sul piano di un tavolo nero che si trova in una stanza buia è appoggiata un'arancia. Di quale colore appare il frutto se viene colpito da radiazioni monocromatiche con lunghezza d'onda di 370 nm?

Le risposte si trovano in fondo al libro

- 1** Quali tipi di radiazioni elettromagnetiche sono sicuramente molto pericolose per l'organismo umano?
- 2** Le onde elettromagnetiche con frequenza $1,5 \cdot 10^{10}$ Hz sono percepite dall'occhio umano?
- 3** Come viene classificata un'onda se l'oscillazione del mezzo elastico in cui si propaga è perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda stessa?
- A Trasversale
 B Longitudinale
 C Elastica
 D Meccanica
 E Elettromagnetica
- 4** Una zattera in mare aperto viene investita da un treno di onde; quale tipo di moto compie?
- A Si muove nella direzione e nel verso delle onde
 B Si muove nella direzione delle onde ma con verso contrario
 C Si alza e si abbassa restando nello stesso punto
 D Si muove descrivendo una traiettoria sinusoidale
 E Nessuna descrizione precedente è corretta
- 5** Che cosa succede a una radiazione quando passa dall'aria all'acqua?
- A Subisce una diffrazione
 B Rallenta ma mantiene la propria direzione
 C Interferisce con il raggio riflesso
 D Subisce una rifrazione
 E Subisce una riflessione
- 6** Quale caratteristica ha la vibrazione di un mezzo quando viene investito da un'onda elastica longitudinale?
- A È perpendicolare alla direzione di propagazione
 B È orizzontale con andamento sinusoidale
 C È parallela alla direzione di propagazione
 D Si muove seguendo la propagazione dell'onda
 E Nessuna delle affermazioni precedenti è corretta
- 7** Le onde elastiche possono essere:
- A sia trasversali sia longitudinali
 B solo trasversali
 C solo longitudinali
 D né trasversali né longitudinali
 E solo bidimensionali
- 8** Due onde elettromagnetiche (A e B) si propagano nel vuoto; l'onda B ha una frequenza doppia di quella dell'onda A. Quale relazione esprime correttamente il confronto tra le due onde?
- A $\lambda_B = 2\lambda_A$ B $\lambda_B = \lambda_A$ C $\lambda_A = 2\lambda_B$
 D $v_A = 2v_B$ E $v_A = 1/v_B$
- 9** Si può udire un suono che nell'aria ha una lunghezza d'onda di 1,0 cm?
- 10** La velocità di una radiazione elettromagnetica mentre attraversa una lastra di vetro è:
- A sempre maggiore di quella nel vuoto
 B comunque uguale a quella nel vuoto
 C tanto maggiore di quella nel vuoto quanto più grande è la sua frequenza
 D sempre minore di quella nel vuoto
 E tanto minore di quella nel vuoto quanto più piccola è la sua lunghezza d'onda
- 11** Supponiamo che sulla Luna (che dista mediamente 380 000 km dalla Terra) sia fatta avvenire un'esplosione nucleare. L'esperimento è seguito da un telescopio posto sulla Terra.
- a) Dopo quanto tempo si osserverà l'esplosione?
b) Dopo quanto tempo si avvertirà il rumore della stessa?
- 12** Quale caratteristica hanno sempre in comune due diverse radiazioni elettromagnetiche monocromatiche?
- A Hanno la stessa frequenza
 B Hanno la stessa lunghezza d'onda
 C Si propagano sempre con la stessa velocità
 D Hanno la stessa ampiezza
 E Nessuna delle affermazioni precedenti è vera
- 13** Tenendo conto che la formazione di glucosio attraverso il processo di fotosintesi clorofilliana richiede 15,6 kJ/g, calcola la massa di glucosio che viene prodotta da un irraggiamento solare di 10 ore su una superficie foliare attiva di 15 m² ammettendo che la radiazione assorbita sia convertita completamente in energia chimica.
- 14** Quando la luce solare attraversa un prisma quale tipo di radiazioni ha l'angolo di rifrazione minore?
- A Nessuno, perché viaggiano tutte alla stessa velocità
 B Quelle rosse, perché hanno maggiore frequenza
 C Quelle violette perché hanno maggiore frequenza
 D Quelle rosse perché la loro velocità è minore
 E Nessuno, perché il prisma è un corpo trasparente