

▼ Cucchiaino da cucina



Un cucchiaino come specchio

Procurati un cucchiaino di acciaio molto lucido nel cui interno puoi specchiarti o uno specchio concavo, di quelli usati per la cura del viso. Posizionalo all'altezza del tuo volto: come appare la tua immagine? Poi allontanati pian piano: cosa accade alla tua immagine man mano che ti allontani?

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





online.zanichelli.it/amaldi

FILM

- Rivelare i fotoni (8 minuti)
- Un esperimento che mostra la natura corpuscolare della luce (9 minuti)



Christiaan Huygens

(1629-1695) fisico, astronomo e matematico olandese. Grazie a un

telescopio costruito con le proprie mani scoprì un satellite di Saturno e la forma degli anelli di quel pianeta. Studiò le proprietà del pendolo e costruì orologi a pendolo. Ottenne risultati fondamentali sia nello studio della forza centrifuga, sia nell'analisi degli urti elastici. Sviluppò in modo coerente la teoria ondulatoria della luce.

1. ONDE E CORPUSCOLI

Che cos'è la luce? A partire dal 1600 sono state date due risposte diverse a questa domanda, da cui si sono sviluppati due modelli rivali: il *modello corpuscolare*, proposto da Isaac Newton, e il *modello ondulatorio*, sostenuto da Christiaan Huygens.

► Secondo il **modello corpuscolare**, la luce è un flusso di particelle microscopiche (*corpuscoli*) emesse dalle sorgenti luminose.



A

► Secondo il **modello ondulatorio**, la luce è un'onda, simile alle onde che si propagano nell'acqua e alle onde sonore.



B

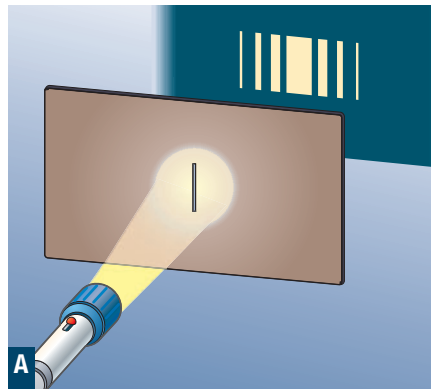
I corpuscoli, come piccoli proiettili, sono materia in movimento, mentre le onde trasportano energia ma non materia.

Fino all'inizio del 1800 la comunità degli scienziati riteneva valido il modello corpuscolare, perché descriveva in modo efficace la formazione delle ombre nette (dove arrivano i corpuscoli c'è luce, dove non arrivano c'è ombra) e la riflessione della luce (i corpuscoli rimbalzano come palline sulle superfici riflettenti). Invece, il modello ondulatorio era giudicato poco convincente, perché non era chiaro che tipo di perturbazione fosse la luce né in quale mezzo si propagasse.

L'affermazione del modello ondulatorio

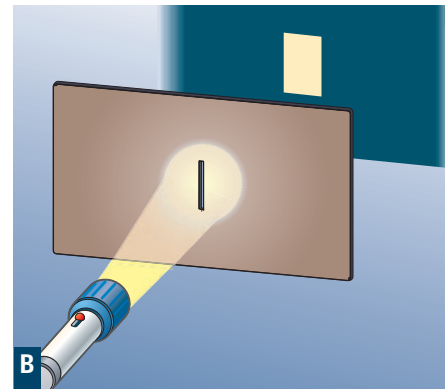
Nei primi decenni del 1800 alcuni esperimenti misero in evidenza che la luce non sempre disegna ombre nette. Questo modificò l'opinione di diversi scienziati a favore del modello ondulatorio.

► La luce che attraversa una fenditura molto sottile crea su uno schermo una serie di frange luminose alternate a zone scure.



A

► Il modello corpuscolare prevede invece che si formi una sola striscia di luce, circondata da due zone d'ombra.



B

Come è spiegato nel paragrafo 12, il modello ondulatorio descrive in modo efficace la formazione delle frange chiare e scure mediante la *diffrazione*. Questo modello ondulatorio si impone alla fine del 1800, quando trova conferma la previsione di James Maxwell (1831-1879), secondo cui

la luce è un'onda elettromagnetica: la perturbazione è costituita da campi elettrici e magnetici oscillanti che si propagano anche nel vuoto.

Nei decenni successivi fu scoperto che la luce è simile alle onde radio, ai raggi ultravioletti e ai raggi X, anch'essi onde elettromagnetiche, ma di frequenza diversa dalle onde luminose.

La luce è sia onda sia corpuscolo

La disputa sembrava finita con la vittoria del modello ondulatorio, quando nel 1905 il quadro si complicò di nuovo. Albert Einstein scoprì che la luce, quando incide su un metallo e provoca l'emissione di elettroni (*effetto fotoelettrico*), si comporta come se fosse costituita da una pioggia di particelle, i *fotoni*.

Oggi si ritiene che i modelli siano tutti e due validi, nel senso che descrivono caratteristiche diverse della luce.

In certe situazioni la luce si comporta come un'onda, in altre come un corpuscolo.

DOMANDA

► Completa la tabella.

	materia	energia
Un'onda trasporta		
Una particella trasporta		

2. I RAGGI DI LUCE

Diverse proprietà della luce (per esempio, la riflessione e la rifrazione) possono essere descritte immaginando che la luce sia costituita da raggi, simili a quelli emessi da un laser.

Un **raggio** luminoso è un fascio di luce molto sottile, che rappresentiamo con una retta.

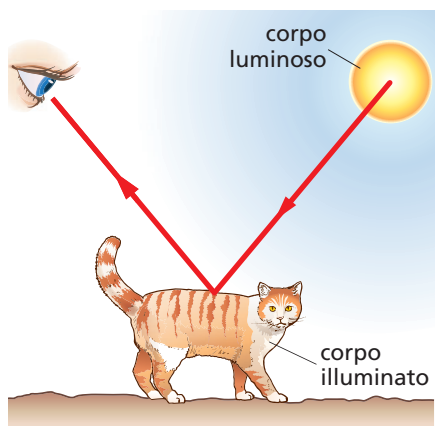
Questo semplice modello della propagazione della luce è coerente sia con il modello corpuscolare (i raggi sono le traiettorie dei corpuscoli) sia con il modello ondulatorio (i raggi sono la direzione in cui si propaga l'onda). Il modello dei raggi, però, non rende conto di molte proprietà della luce, come l'effetto fotoelettrico e la diffrazione. Per descrivere questi fenomeni bisogna rappresentare la luce come un insieme di corpuscoli oppure come un'onda.



online.zanichelli.it/amaldi

FILM

- La luce e le ombre (2 minuti)
- La diffusione della luce (2 minuti)



Le sorgenti di luce

I corpi che, come le lampadine o il fuoco, emettono la luce sono chiamati **corpi luminosi** o *sorgenti di luce*. I raggi che essi emettono colpiscono gli altri oggetti (cioè i **corpi illuminati**), sono diffusi in tutte le direzioni ed entrano, infine, nei nostri occhi (figura a sinistra).

Questo è il meccanismo che ci permette di vedere. I corpi che sono colpiti da un raggio luminoso possono fermarlo oppure possono lasciarsi attraversare da esso. Nel primo caso si dice che i corpi sono *opachi*, nel secondo si parla, invece, di corpi *trasparenti*. Sono opachi quasi tutti gli oggetti ordinari, mentre il vetro, l'aria e l'acqua sono trasparenti.

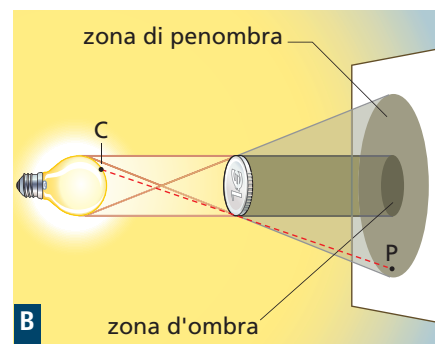
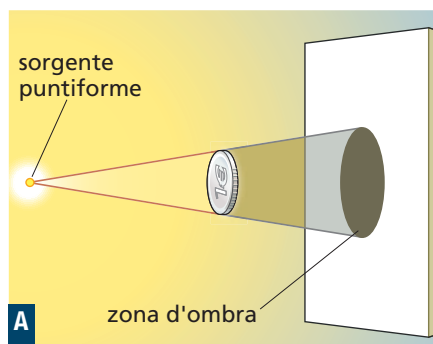
Tra queste due categorie ce ne è una intermedia, quella dei corpi *traslucidi*. Pur lasciando passare la luce, non permettono di distinguere la forma degli oggetti da cui essa proviene. Il vetro smerigliato e la carta sono esempi di corpi traslucidi.

La propagazione rettilinea della luce

Mettiamo un corpo opaco davanti a una sorgente luminosa e osserviamo l'ombra che si disegna sullo schermo.

► Se la sorgente è puntiforme, sullo schermo si forma un'ombra netta, che corrisponde alla forma circolare della moneta. La zona dove i raggi non arrivano si chiama *cono d'ombra*.

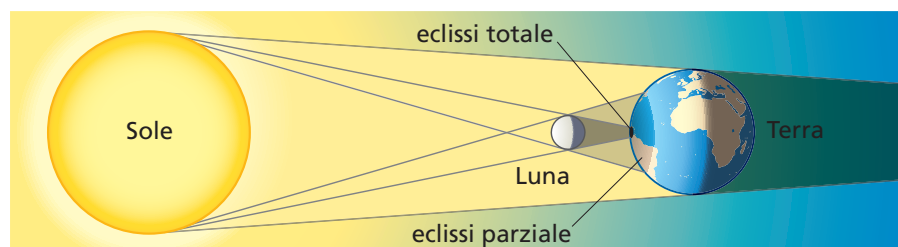
► Se la sorgente è estesa, intorno alla zona d'ombra c'è una zona di *penombra*, dove arriva solo una parte dei raggi. Il punto *P* è illuminato solo dai punti della lampadina che stanno sotto *C*.



Questi esperimenti suggeriscono che

i raggi luminosi si propagano in linea retta.

I più grandiosi fenomeni d'ombra che possiamo osservare sono le *eclissi*, conseguenza dei movimenti della Terra e della Luna. Quando la Luna passa tra il Sole e la Terra ed è allineata con essi, si ha una *eclissi di Sole* (figura sotto). L'eclissi è totale per i punti che si trovano nel cono d'ombra proiettato dalla Luna; è invece parziale per quelli che si trovano nella zona di penombra. Da tutti gli altri punti l'eclissi non è visibile.



La velocità della luce

Nel vuoto la luce si muove con velocità

$$c = 2,99792458 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Nell'aria la velocità è minore e differisce da quella nel vuoto di sole 3 parti su 1000. Per entrambe queste velocità si usa spesso il valore approssimato

$$c = 3,00 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

La luce percorre trecentomila chilometri al secondo.

Questa velocità è la massima possibile ed è sempre la stessa in tutti i sistemi di riferimento. Immaginiamo di allontanarci da una stella alla velocità di 30 000 km/s. La velocità della luce emessa dalla stella, misurata dall'astronave, non è 270 000 km/s, ma sempre 300 000 km/s.

Nei mezzi trasparenti la velocità della luce è minore che nel vuoto. Il rapporto tra la velocità c della luce nel vuoto e la velocità v nel mezzo trasparente si chiama **indice di rifrazione** assoluto del mezzo:

$$n = \frac{c}{v}.$$

Poiché v è più piccolo di c , n è sempre maggiore di 1. Per l'acqua, per esempio, n è uguale a 1,33. Ciò significa che la velocità della luce nell'acqua è uguale a $2,26 \times 10^8$. Per i valori di n vedi la tabella nel paragrafo 6.

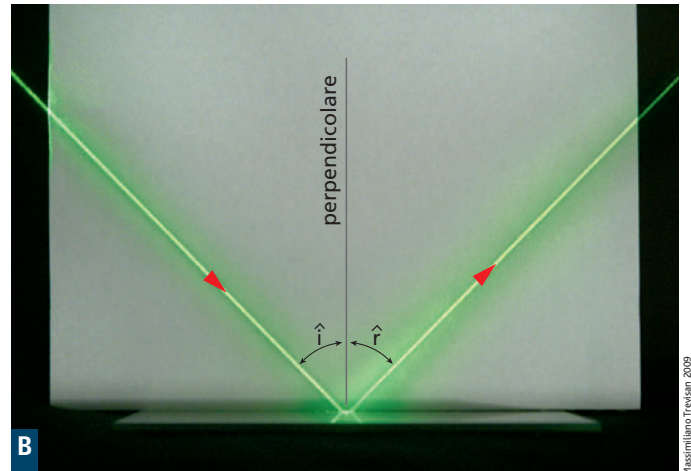
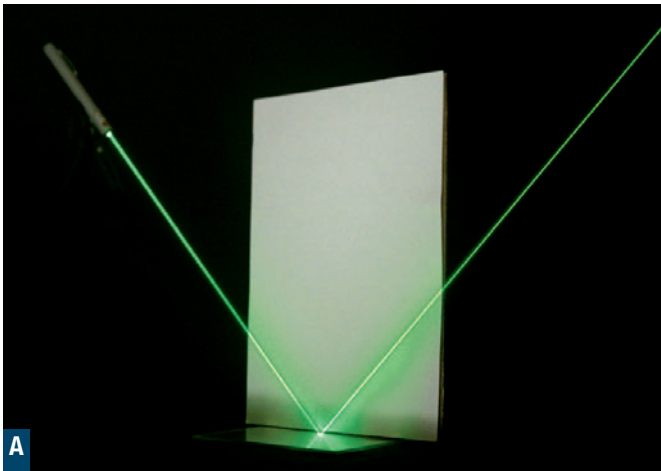
DOMANDA

- Nella figura dell'eclissi di Sole, indica con P un punto nella zona di penombra. Individua i punti del Sole che non mandano raggi in P .

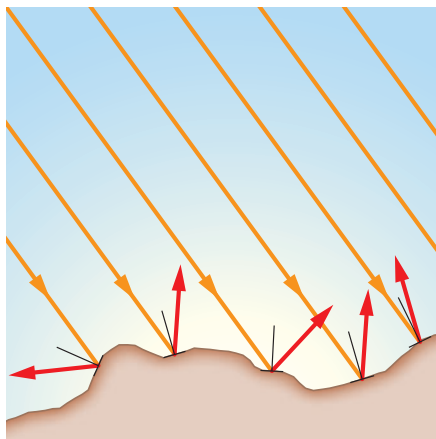
3. LA RIFLESSIONE E LO SPECCHIO PIANO

Inviando un sottile fascio di luce su una lamina di metallo piana e ben levigata. Dalla superficie emerge un raggio riflesso, anch'esso sottile e ben definito.

- Possiamo appoggiare un foglio di cartone sulla lamina, in modo che esso sia sfiorato dai due raggi. Quindi il raggio incidente e quello riflesso stanno in un unico piano.
- Se misuriamo l'angolo di incidenza \hat{i} , tra il raggio e la perpendicolare allo specchio, e l'angolo di riflessione \hat{r} , osserviamo che essi sono uguali.



Queste osservazioni sono riassunte nelle due leggi sperimentali della riflessione:



Prima legge: il raggio incidente, il raggio riflesso e la perpendicolare alla superficie riflettente nel punto di incidenza appartengono allo stesso piano.

Seconda legge: l'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione.

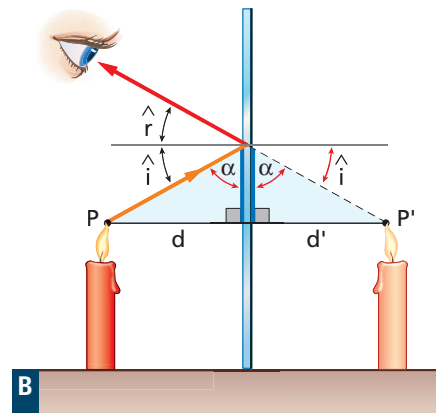
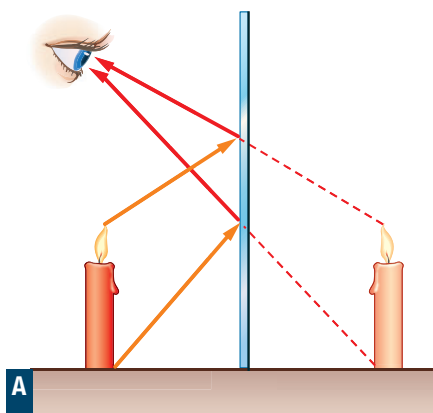
Le leggi della riflessione sono valide anche quando la superficie su cui incide il fascio luminoso è scabra, cioè ha delle asperità (figura a sinistra). Poiché tutte le piccole porzioni di superficie hanno inclinazioni diverse tra loro, i singoli raggi riflessi sono sparpagliati in tutte le direzioni. L'effetto che risulta è quello di una *luce diffusa* che proviene dalla superficie illuminata.

Lo specchio piano

Le leggi della riflessione descrivono come si forma l'immagine di un oggetto riflesso da uno specchio piano. Tra i tanti raggi emessi dalla candela e dalla sua fiamma, alcuni si riflettono sullo specchio e arrivano ai nostri occhi.

► L'immagine della candela e della fiamma si forma dietro lo specchio, lungo i prolungamenti dei raggi riflessi.

► L'immagine è simmetrica alla candela rispetto allo specchio. Ciò significa che le distanze d e d' sono uguali.



Queste distanze sono uguali, perché i due triangoli grigi sono uguali per il secondo criterio di uguaglianza. Infatti, i triangoli hanno il lato verticale in comune e due angoli adiacenti uguali: uno è l'angolo retto e l'altro è l'angolo $\alpha = 90^\circ - \hat{i}$.

Nel punto P' dove si forma l'immagine di P , al di là dello specchio, non c'è luce: se mettessimo uno schermo in quel punto, non vedremmo l'immagine della fiamma. Si dice che un'immagine di questo tipo è *virtuale* e non reale.

L'immagine riflessa da uno specchio piano è **virtuale** e appare in posizione simmetrica all'oggetto rispetto allo specchio.

Siamo talmente abituati all'idea che la luce si propaghi in linea retta, che il nostro cervello localizza la sorgente luminosa sul prolungamento dei raggi che arrivano all'occhio.

Immagine e oggetto non sono sovrapponibili. Essi sono *inversamente uguali*, cioè sono uguali, ma la destra è scambiata con la sinistra.

► Se davanti a uno specchio alziamo il braccio destro, vediamo che la nostra immagine alza il braccio sinistro.



► Per questa ragione la parola «ambulanza» è scritta alla rovescia, in modo che si legga bene dallo specchietto retrovisore.



DOMANDA

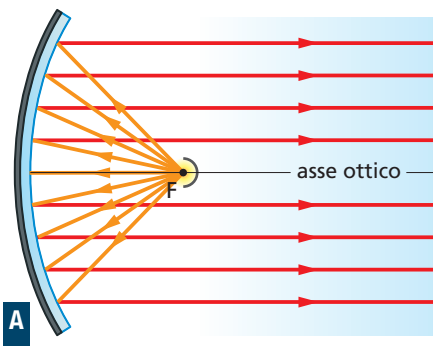
Metti una candela davanti a un piccolo specchio verticale appoggiato su un tavolo. Per tentativi ed errori, sistema un'altra candela identica dietro lo specchio, in modo che la sua parte superiore appaia la continuazione dell'immagine riflessa della prima candela.

► Che relazione c'è tra le distanze delle due candele con lo specchio?

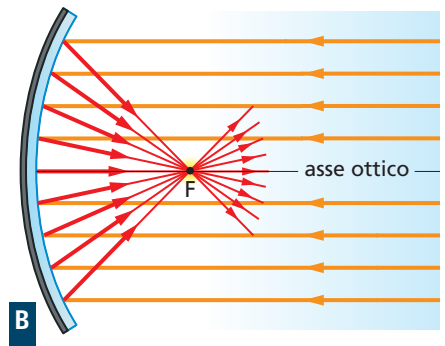
4. GLI SPECCHI CURVI

Nei fari delle auto (fotografia a destra) la luce emessa dalla lampadina è riflessa in avanti da uno specchio che ha il profilo a forma di parabola. Gli *specchi parabolici* hanno un punto, chiamato **fuoco**, che ha due proprietà.

► I raggi emessi da una sorgente puntiforme posta nel fuoco si riflettono sullo specchio, in modo da allontanarsi in un fascio di raggi paralleli.



► I raggi che arrivano paralleli all'asse di simmetria dello specchio (chiamato *asse ottico*), dopo essere stati riflessi, si intersecano tutti nel fuoco.

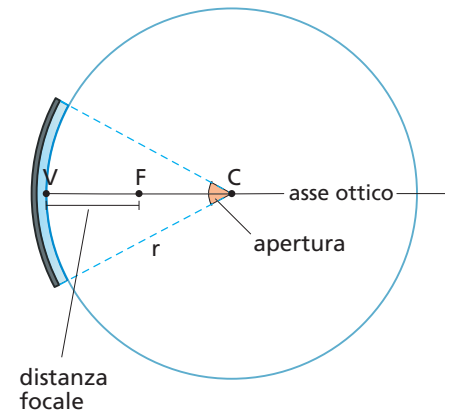


online.zanichelli.it/amaldi
FILM
 • La riflessione della luce (3 minuti)

Specchi sferici di piccola apertura

Gli specchi sferici, che sono ricavati da una porzione di una sfera (calotta sferica), hanno un fuoco ben definito solo se sono di piccola apertura, cioè se è piccolo l'angolo al centro sotteso dallo specchio (figura a destra). In uno specchio sferico:

- il *raggio* è il raggio della sfera da cui esso è tratto;
- l'*asse ottico* è il suo asse di simmetria, che passa per il centro C della sfera e per il vertice V dello specchio;

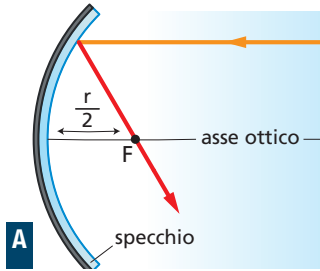


- la *distanza focale* è la distanza tra il fuoco F e il vertice V e si verifica sperimentalmente che è uguale alla **metà del raggio**:

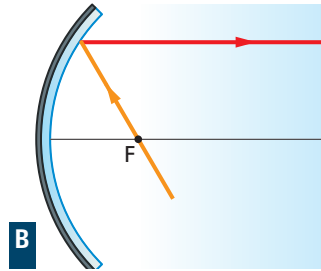
$$d_f = \frac{r}{2}.$$

Dato un oggetto luminoso, per disegnare la sua immagine basta seguire il percorso di alcuni suoi raggi dopo che sono stati riflessi dallo specchio.

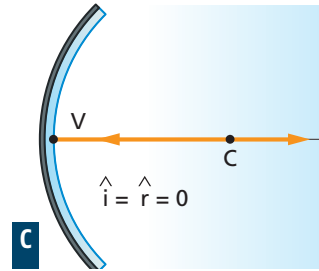
- Un raggio che arriva parallelo all'asse ottico è riflesso nel fuoco dello specchio.



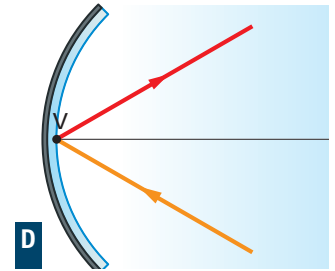
- Un raggio che passa per il fuoco è riflesso in direzione parallela all'asse ottico.



- Un raggio che passa per il centro è riflesso su se stesso, perché l'angolo di incidenza è zero.



- Un raggio che incide nel vertice è riflesso in modo simmetrico rispetto all'asse ottico.



È sufficiente tracciare due di questi raggi e individuare il punto in cui si intersecano. Lì si forma l'immagine dell'oggetto luminoso.

Specchi sferici concavi

Possiamo così esaminare il comportamento di uno specchio sferico *concavo* quando l'oggetto che si riflette ha una forma semplice, come una piccola freccia verde luminosa.

IN UNO SPECCHIO CONCAVO

Posizione dell'oggetto	Immagine	Schema
Oltre il centro	Reale, capovolta, rimpicciolita	
Tra il centro e il fuoco	Reale, capovolta, ingrandita	
Tra il fuoco e lo specchio	Virtuale, diritta, ingrandita	

- Quando la freccia luminosa AB è lontana dallo specchio, la sua immagine $A'B'$ è reale (perché lì si intersecano i raggi riflessi), capovolta e più piccola della freccia.
- Man mano che la freccia si avvicina allo specchio, l'immagine, sempre capovolta e reale, si ingrandisce allontanandosi dallo specchio.
- Quando la freccia oltrepassa il fuoco, l'immagine diventa virtuale (perché lì si intersecano i *prolungamenti* dei raggi riflessi), diritta e più grande.

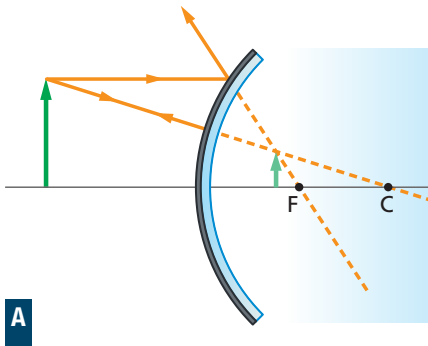
Nella vita quotidiana, gli specchi concavi sono spesso utilizzati per ottenere un'immagine riflessa ingrandita, come quella della **fotografia** a destra.



Specchi sferici convessi

► Gli specchi sferici *convessi* hanno il centro e il fuoco dalla parte opposta a quella da cui provengono i raggi di luce. Perciò l'immagine che si ottiene è sempre virtuale e rimpicciolita.

► Gli specchi sferici convessi sono spesso usati quando è necessario visualizzare spazi piuttosto ampi su una piccola superficie, come avviene nei negozi o in prossimità di incroci pericolosi.



PROVA TU

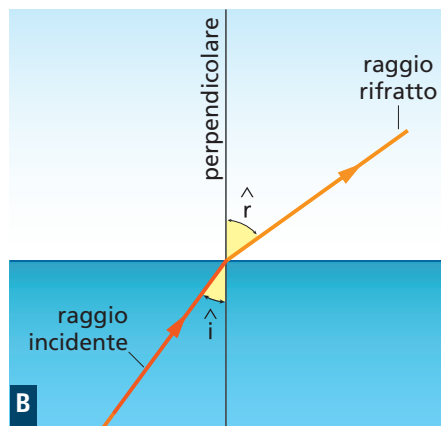
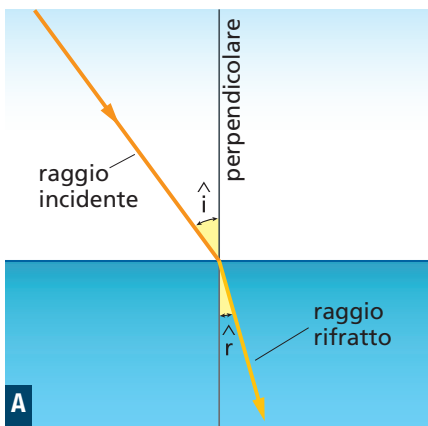
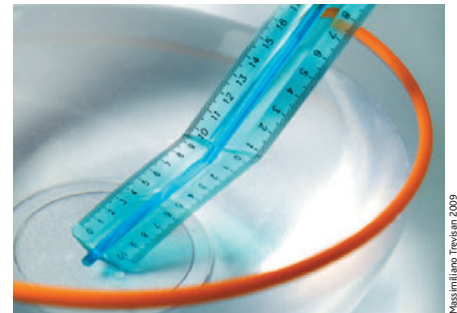
► Com'è l'immagine di un oggetto posto nel fuoco di uno specchio sferico concavo?

5. LA RIFRAZIONE

Guardando un righello immerso in un recipiente pieno d'acqua (**fotografia** a destra), notiamo che esso appare piegato. Questo accade perché i raggi di luce riflessi dal righello, passando dall'acqua all'aria, non escono in linea retta, ma si rifrangono, cioè si piegano.

► Quando un raggio passa dall'aria all'acqua, si piega verso la perpendicolare alla superficie di separazione.

► Quando un raggio passa dall'acqua all'aria, si allontana dalla perpendicolare alla superficie di separazione.



online.zanichelli.it/amaldi
FILM
 • La rifrazione della luce (5 minuti)

La rifrazione avviene ogni volta che un raggio attraversa la separazione tra due mezzi trasparenti nei quali la luce ha velocità diverse.

Le leggi della rifrazione

Due leggi sperimentali descrivono le proprietà della rifrazione quando un raggio passa da un mezzo trasparente con indice di rifrazione n_1 a un secondo mezzo trasparente con indice di rifrazione n_2 .

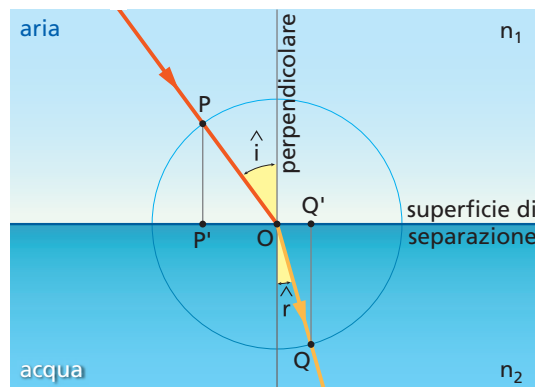
Prima legge: il raggio incidente, il raggio rifratto e la retta perpendicolare alla superficie di separazione dei due mezzi, nel punto di incidenza, appartengono allo stesso piano.

Seconda legge: il rapporto tra i segmenti $\overline{OP'}$ e $\overline{OQ'}$ è costante ed è uguale al rapporto tra l'indice di rifrazione del secondo mezzo e quello del primo mezzo:

$$\frac{\overline{OP'}}{\overline{OQ'}} = \frac{n_2}{n_1}$$

indice di rifrazione del mezzo 2
indice di rifrazione del mezzo 1

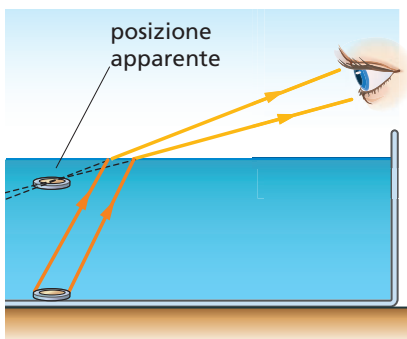
I segmenti OP' e OQ' sono individuati in questo modo (figura sotto): una circonferenza con centro il punto O , in cui avviene la rifrazione, interseca il raggio incidente e quello rifratto rispettivamente nei punti P e Q . P' e Q' sono le proiezioni di P e Q sulla superficie di separazione tra i due mezzi.



In sostanza, la seconda legge dice che aumentando l'angolo di incidenza aumenta anche l'angolo di rifrazione, ma in modo che il rapporto tra i due segmenti $\overline{OP'}$ e $\overline{OQ'}$ rimanga sempre lo stesso. Per esempio, se il primo mezzo è l'aria ($n_1 = 1$) e il secondo è l'acqua ($n_2 = 1,33$), $\overline{OP'}$ è 1,33 volte più lungo di $\overline{OQ'}$. Puoi trovare altri valori di n nella tabella nel prossimo paragrafo.

La rifrazione consente di spiegare alcuni fenomeni che capita di osservare nell'esperienza quotidiana. Per esempio, una moneta che si trova sul fondo di un recipiente pieno d'acqua è vista come se stesse più in alto (figura a sinistra).

I raggi riflessi dalla moneta escono dall'acqua allontanandosi dalla perpendicolare e arrivano all'occhio come se provenissero da un punto più in alto, dove si incontrano i loro prolungamenti.



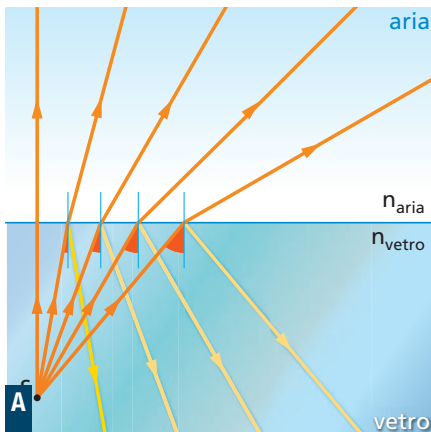
DOMANDA

► Che cosa succede quando il raggio incidente è perpendicolare alla superficie di separazione?

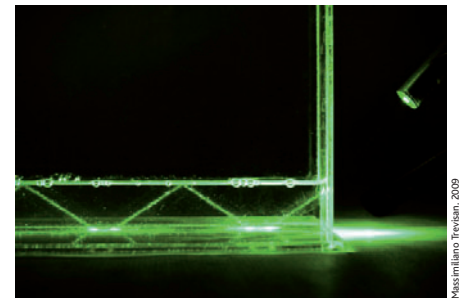
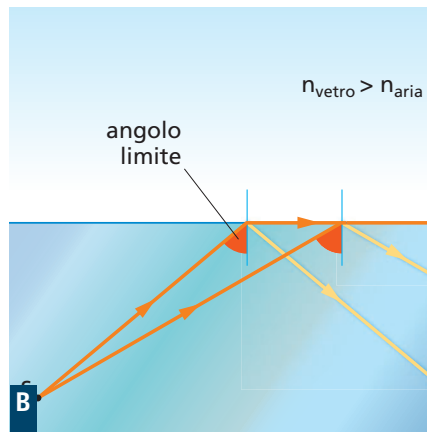
6. LA RIFLESSIONE TOTALE

Consideriamo un raggio di luce che si propaga in un blocco di vetro. Poiché l'indice di rifrazione del vetro è maggiore di quello dell'aria, il raggio rifratto si allontana dalla perpendicolare. Oltre al raggio rifratto si forma anche un debole raggio riflesso dentro il vetro.

► Aumentando l'angolo di incidenza, anche l'angolo di rifrazione aumenta e il raggio rifratto nell'aria si avvicina sempre più alla superficie di separazione.



► Esiste un *angolo limite* per cui il raggio rifratto è radente alla superficie di separazione. Per angoli di incidenza maggiori il raggio rifratto manca e c'è solo il raggio riflesso.



Si chiama **angolo limite** quel valore dell'angolo d'incidenza a cui corrisponde un angolo di rifrazione pari a 90° .

L'energia luminosa che, per angoli minori o uguali di quello limite, era suddivisa tra raggio rifratto e raggio riflesso, confluisce tutta nel raggio riflesso dentro il vetro. È questo il fenomeno della **riflessione totale**.

Si verifica in generale, quando un raggio di luce passa da un mezzo con indice di rifrazione maggiore a uno con indice di rifrazione minore.

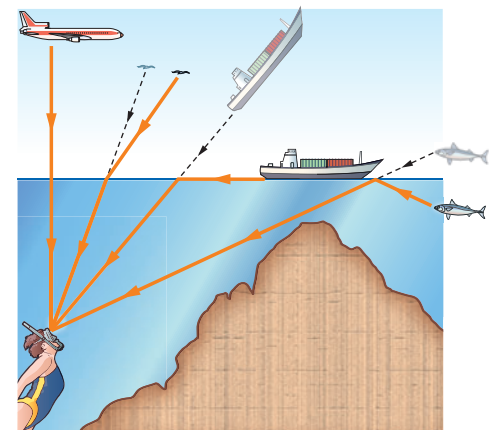
Il valore dell'angolo limite con l'aria dipende dal materiale (tabella sotto).

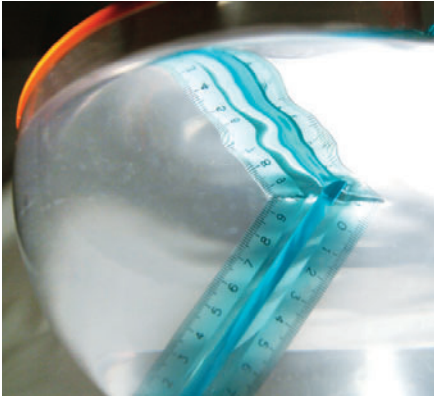
INDICE DI RIFRAZIONE ASSOLUTO E ANGOLO LIMITE CON L'ARIA

Sostanza	n^*	Angolo limite	Sostanza	n^*	Angolo limite
Ghiaccio	1,31	49,8°	Plexiglas	1,49	42,2°
Acqua	1,33	48,6°	Vetro	1,50-1,90	31,9-41,5°
Alcol etilico	1,36	47,2°	Sale (cloruro di sodio)	1,54	40,5°
Glicerina	1,47	42,9°	Diamante	2,42	24,4°

* per luce gialla

A causa della rifrazione, come è il mondo visto da un sub in immersione, che guarda verso la superficie tranquilla dell'acqua (figura a destra)? Il sub vede nella posizione corretta un aereo che passa direttamente sopra la sua testa, ma una nave che si trova in corrispondenza con l'angolo limite gli appare obliqua invece che orizzontale. Inoltre, è in grado di vedere, per riflessione totale, un pesce che si trova nascosto da uno scoglio.



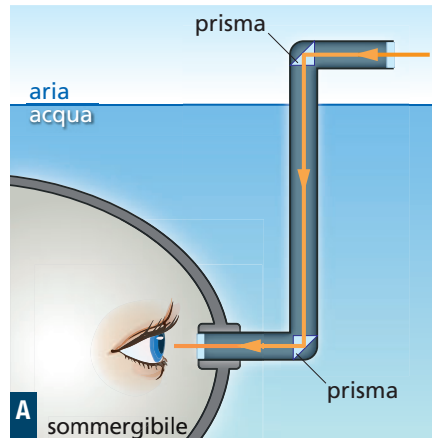


Un semplice esperimento per osservare il fenomeno della riflessione totale può esser fatto con un righello e una bacinella trasparente piena d'acqua, come mostrato nella **fotografia** accanto.

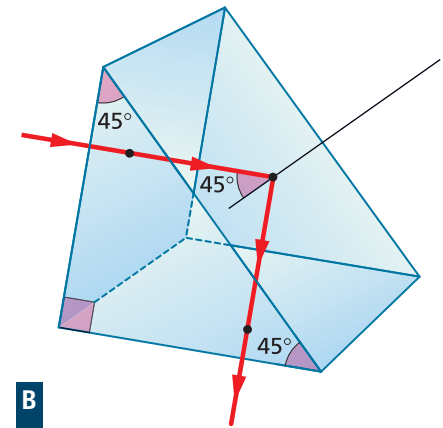
Il prisma

I periscopi montati nei sommergibili consentono di guardare al di sopra dell'acqua sfruttando il fenomeno della riflessione totale. Al loro interno vi sono dei prismi, che sono mezzi trasparenti limitati da superfici piane non parallele.

► La luce che penetra nel tubo è deviata due volte di 90° da due prismi che hanno la sezione a forma di triangolo rettangolo isoscele.

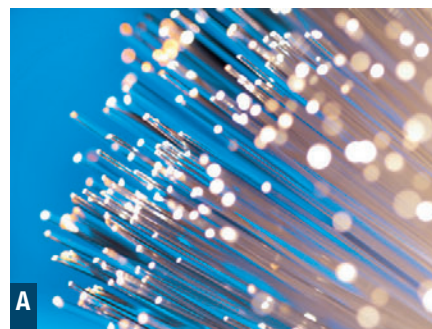


► Dentro ciascun prisma il raggio colpisce la faccia inclinata con un angolo superiore all'angolo limite ed è quindi riflesso totalmente.

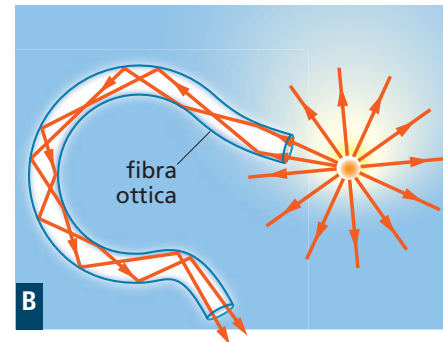


Le fibre ottiche

► Anche le fibre ottiche sono una tecnologia che si basa sul fenomeno della riflessione totale.

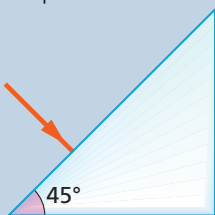


► La luce che vi penetra si riflette all'interno della fibra moltissime volte, fino a uscire all'altra estremità.



DOMANDA

► Disegna la traiettoria del raggio di luce, sapendo che l'angolo limite della sostanza trasparente è 42° .



Le fibre ottiche, che sono fili sottili di diametro anche minore di 1 mm, funzionano così da *guide di luce*.

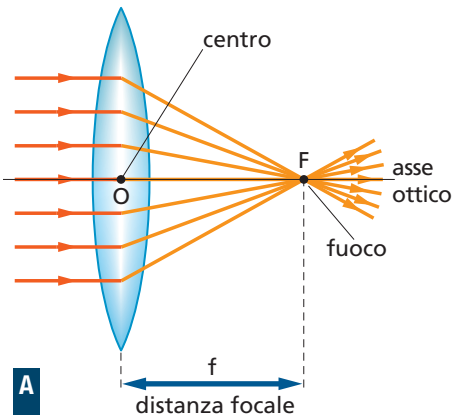
Esse sono impiegate in medicina per osservare gli organi all'interno del corpo umano. Per esempio, è possibile illuminare le pareti interne dello stomaco facendo scendere attraverso la bocca una fibra ottica nel tubo digerente. Un'altra fibra, affiancata alla prima, consente di vedere la zona illuminata incanalando un po' di luce verso l'esterno.

Le fibre ottiche sono utilizzate anche nelle telecomunicazioni. Al loro interno viaggiano onde elettromagnetiche luminose che trasportano segnali televisivi e comunicazioni telefoniche.

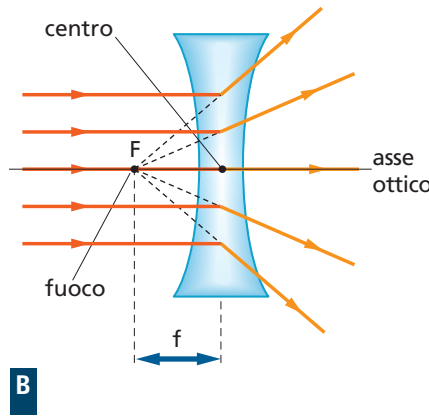
7. LE LENTI

Una **lente sferica** è un corpo trasparente delimitato da due superfici sferiche, che produce immagini ingrandite o rimpicciolite degli oggetti.

► Le *lenti convergenti* sono più spesse al centro che ai bordi. Fanno convergere in un punto (*fuoco*) un fascio di raggi paralleli all'asse ottico.



► Le *lenti divergenti* sono più spesse ai bordi che al centro. Fanno divergere da un punto (*fuoco*) un fascio di raggi paralleli all'asse ottico.



- L'asse ottico è la retta che congiunge i centri delle due superfici sferiche che delimitano la lente.
- Il centro O è il punto dell'asse ottico che divide a metà lo spessore della lente.
- La distanza focale f è la distanza tra il fuoco F e il centro.

► Sono lenti convergenti le lenti di ingrandimento e quelle per gli occhiali da presbite e da ipermetropia.

► Sono lenti divergenti le lenti per lo spioncino della porta di ingresso e quelle per gli occhiali da miopia.

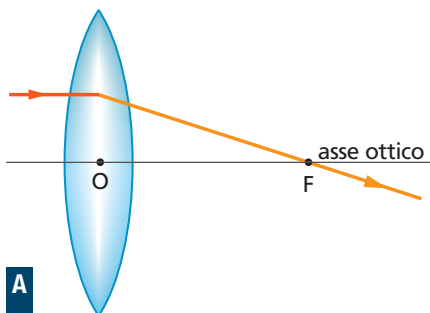


Un raggio di luce che colpisce una lente subisce due rifrazioni: la prima passando dall'aria al vetro e la seconda ritornando dal vetro all'aria. Nel seguito parleremo delle lenti sottili, che hanno uno spessore piccolo rispetto ai raggi delle superfici sferiche che le delimitano.

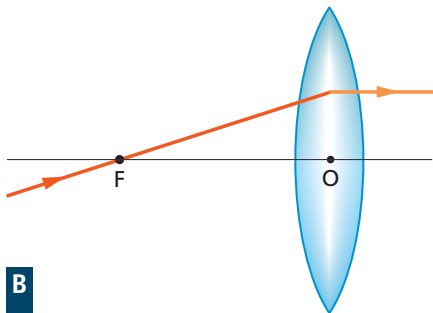
Le lenti convergenti

Dato un oggetto luminoso, per disegnare la sua immagine, basta seguire il percorso di alcuni suoi raggi dopo che sono stati rifratti dalla lente.

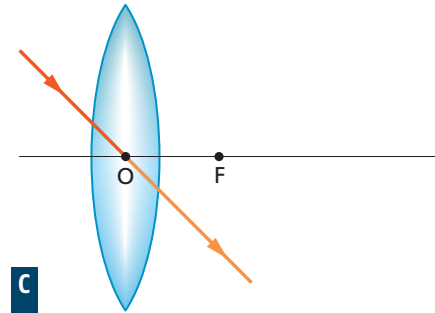
► Un raggio che arriva sulla lente parallelo all'asse ottico converge nel fuoco.



► Un raggio che passa per il fuoco è deviato in direzione parallela all'asse ottico.



► Un raggio che passa per il centro prosegue praticamente nella stessa direzione.



È sufficiente tracciare due di questi raggi e individuare il punto in cui si intersecano. Lì si forma l'immagine dell'oggetto luminoso. Possiamo così esaminare il comportamento di una lente sottile convergente quando l'oggetto che si riflette ha una forma semplice, come una freccia verde luminosa.

Oggetto e osservatore

L'osservatore si trova dal lato opposto della lente rispetto all'oggetto, a differenza del caso degli specchi.

IMMAGINI IN UNALENTE SOTTILE CONVERGENTE

Posizione dell'oggetto	Immagine	Schema
Oltre il doppio della distanza focale	Reale, capovolta, rimpicciolita	
Doppio della distanza focale	Reale, capovolta, della stessa dimensione	
Tra il fuoco e il doppio della distanza focale	Reale, capovolta, ingrandita	
Nel fuoco	Nessuna immagine	
Tra la lente e il fuoco	Virtuale, diritta, ingrandita	

- Quando la freccia luminosa AB dista dalla lente più del doppio della distanza focale ($2f$), la sua immagine $A'B'$ è reale (perché lì si intersecano i raggi rifratti), capovolta e più piccola della freccia.
- Man mano che la freccia si avvicina alla lente, l'immagine, sempre capovolta e reale, si ingrandisce. È uguale all'oggetto, quando questo è al doppio della distanza focale; diventa più grande quando l'oggetto sta tra $2f$ e f .
- Quando la freccia luminosa è sul fuoco, l'immagine non si forma, perché i raggi rifratti sono paralleli e non convergono.
- Oltre il fuoco, l'immagine diventa virtuale (perché lì si intersecano i prolungamenti dei raggi riflessi), diritta e più grande della freccia. È questo il modo in cui si usa la lente di ingrandimento.

Nelle lenti e negli specchi, si chiama **rapporto di ingrandimento** (o, semplicemente, **ingrandimento**) G il rapporto tra la lunghezza $\overline{A'B'}$ dell'immagine e la lunghezza \overline{AB} dell'oggetto:

$$G = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}.$$

Le lenti divergenti

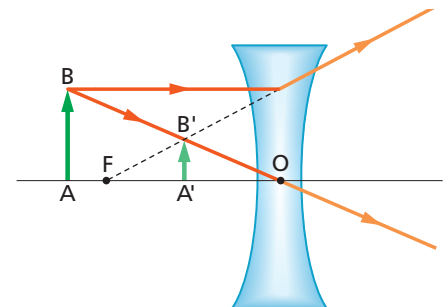
In una lente divergente (figura a destra) i raggi paralleli all'asse ottico divergono, in modo che i loro prolungamenti passino per il fuoco. L'immagine è sempre virtuale, diritta e rimpicciolita.



online.zanichelli.it/amaldi

APPROFONDIMENTO

- La formula delle lenti sottili e l'ingrandimento (3 pagine)



DOMANDA

Immagina di osservare, con una lente di ingrandimento, un oggetto posto su una parete dall'altro lato della strada.

- Come ti aspetti di vederlo?

8. MACCHINA FOTOGRAFICA E CINEMA

La *macchina fotografica* (figura a lato) è costituita da una scatola, in cui la luce entra da un'apertura (il diaframma) che si trova dietro un sistema di lenti (l'obiettivo). Queste lenti fanno convergere la luce sulla parete posteriore della scatola.

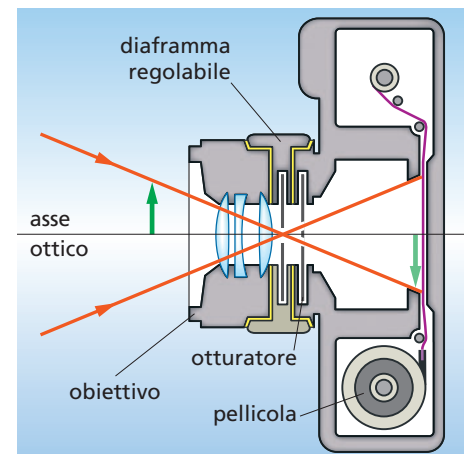
Lì si trova la pellicola, che è un sottile strato di plastica su cui è depositata una sostanza sensibile alla luce, oppure un rivelatore elettronico (detto CCD, *Charge Coupled Device*).

In condizioni normali il dispositivo sensibile è protetto da una tendina (l'otturatore) che ferma la luce. Quando scattiamo una fotografia, apriamo e chiudiamo rapidamente l'otturatore; in questo modo la luce giunge sul CCD o sulla pellicola.

Invece, in una fotocamera digitale è un congegno elettronico ad «accendere» e «spegnere» il rivelatore di luce.

Le pellicole devono essere sviluppate mediante un procedimento chimico, mentre i rivelatori elettronici, formati da milioni di elementi detti *pixel*, possono passare direttamente i segnali a un dispositivo di memoria.

L'obiettivo, che si comporta come una lente convergente, forma un'immagine reale e capovolta dell'oggetto fotografato.



► CCD

Il CCD è un dispositivo elettronico diviso in «pixel», su ciascuno dei quali si accumula una carica proporzionale all'intensità della luce che lo colpisce.

Per ottenere una fotografia nitida è necessario che l'immagine si formi esattamente sul piano del rivelatore (pellicola o CCD). A tal fine, un dispositivo di messa a fuoco regola la distanza tra questo e l'obiettivo, spostando leggermente in fuori o in dentro l'obiettivo (di solito in modo automatico).

Il cinema

Per il cinema sono necessari sia una macchina da presa sia uno speciale proiettore. La *macchina da presa* è una macchina fotografica che scatta, una dopo l'altra, numerose fotografie del soggetto (**fotografia** in basso). La luce che proviene dall'otturatore si deposita su una pellicola che scorre, la quale memorizza le fotografie successive. Nelle videocamere digitali, invece, la luce incide su un CCD e le informazioni così ottenute possono essere conservate su un nastro magnetico o nella memoria di un computer.



DOMANDA

In 0,5 s una lampadina viene accesa e spenta 17 volte.

► Vediamo una luce intermittente?

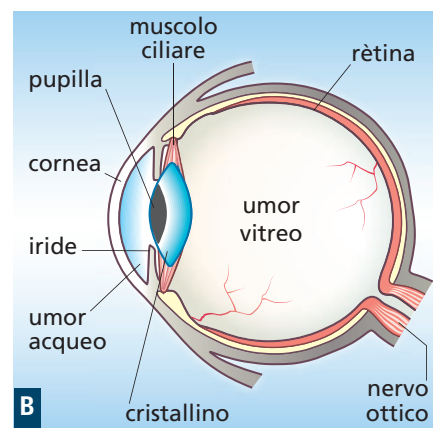
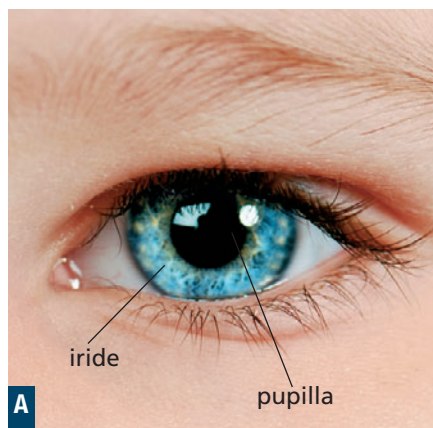
Il *proiettore* è in grado di proiettare velocemente le diverse fotografie, una dopo l'altra. Il nostro sistema visivo percepisce un'immagine continua (e non a scatti, come è in realtà), perché è incapace di distinguere cambiamenti di luce che si susseguono troppo rapidamente. È questo il fenomeno della *persistenza delle immagini*: il sistema visivo umano riesce a distinguere fino a 30 immagini al secondo. Oltre questo valore le immagini sono «fuse» tra loro e si ha l'illusione del movimento continuo.

9. L'OCCHIO

L'*occhio* è un globo racchiuso da una spessa membrana opaca, che presenta sul davanti una superficie trasparente detta *cornea*.

► Dietro la cornea vi è l'*iride*, un diaframma che ha nel centro un foro (la *pupilla*) attraverso cui penetra la luce.

► Dietro all'iride si trova il *cristallino*, un corpo trasparente a forma di lente, circondato dal muscolo ciliare.



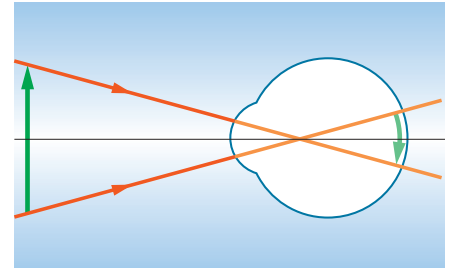
La pupilla è comandata, in modo inconscio, da un muscolo che ne fa variare il diametro a seconda dell'intensità della luce incidente. Nell'occhio si susseguono tre mezzi rifrangenti:

1. la cornea e l'umor acqueo (un liquido trasparente tra la cornea e l'iride), entrambi con indice di rifrazione $n_1 = 1,346$;
2. il cristallino, con indice di rifrazione $n_2 = 1,437$;
3. l'umor vitreo (una sostanza gelatinosa trasparente all'interno dell'occhio), con indice di rifrazione $n_1 = 1,346$.

Quando guardiamo un oggetto luminoso o illuminato, alcuni raggi di luce emessi dai suoi diversi punti entrano nell'occhio attraverso la pupilla (figura a destra). Dopo essere stati rifratti dai diversi mezzi trasparenti che incontrano, essi formano un'immagine reale e capovolta sul fondo dell'occhio, dove si trova una superficie coperta di elementi sensibili alla luce, la *rètina*.

L'occhio mette a fuoco gli oggetti modificando la curvatura del cristallino e, quindi, la sua distanza focale. È questo il meccanismo dell'*accomodamento*, che avviene grazie all'azione del muscolo ciliare.

Quando l'occhio normale è a riposo, il muscolo ciliare è rilasciato e il cristallino ha la minima curvatura: si dice che l'occhio è accomodato all'infinito (*punto remoto*). Contraendo il muscolo ciliare, si aumenta la curvatura del cristallino fino a formare sulla *rètina* l'immagine nitida di oggetti che si trovano alla distanza di 15 cm circa dall'occhio (*punto prossimo*). Ciò comporta, però, un certo sforzo; invece, l'occhio può rimanere accomodato senza sforzo sensibile alla *distanza della visione distinta* (circa 25 cm).



Presbiopia, miopia e ipermetropia

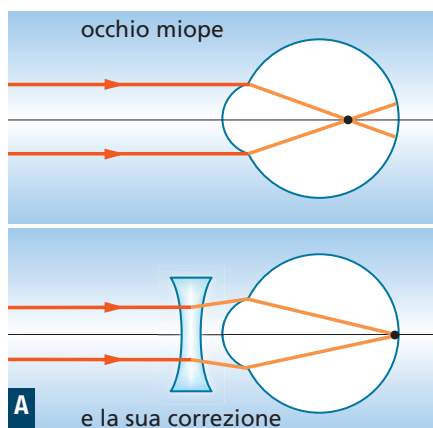
La distanza del punto prossimo aumenta in modo notevole con l'età. La perdita del potere di accomodamento dell'occhio con l'avanzare dell'età si chiama **presbiopia**.

Nell'occhio normale l'immagine di un oggetto molto lontano si forma spontaneamente sulla *rètina*.

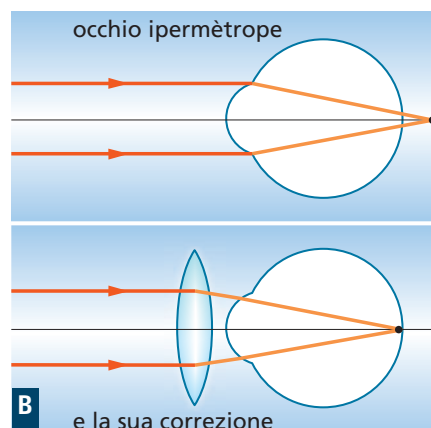
Nell'occhio *miope* l'immagine di un oggetto distante si forma prima della *rètina*. In quello *ipermetropico* si forma dietro di essa.

Miopia e ipermetropia si correggono ponendo davanti all'occhio una lente, che riporta l'immagine proprio sulla *rètina*.

► Nell'occhio miope il sistema è troppo convergente e l'immagine si forma prima della *rètina*. Il difetto si corregge con una lente divergente.



► Nell'occhio ipermetropico il sistema è poco convergente e l'immagine si forma al di là della *retina*. Il difetto si corregge con una lente convergente.



La presbiopia

È dovuta a un progressivo inaridimento del cristallino. È possibile correggerla con lenti convergenti. Le persone presbite devono allontanare il giornale per metterne a fuoco le lettere.

DOMANDA

► Osserva le tue pupille davanti a uno specchio in una stanza con poca luce. Se accendi una lampada, cosa accade alle tue pupille? Perché?

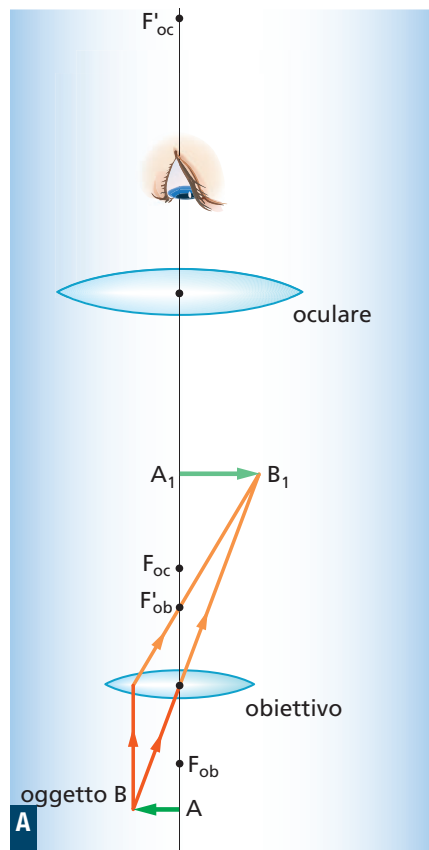
10. MICROSCOPIO E CANNOCCHIALE

Due strumenti che permettono di estendere le potenzialità della nostra vista sono il microscopio e il cannocchiale. Entrambi sono costituiti da due lenti convergenti: l'*obiettivo* e l'*oculare*.

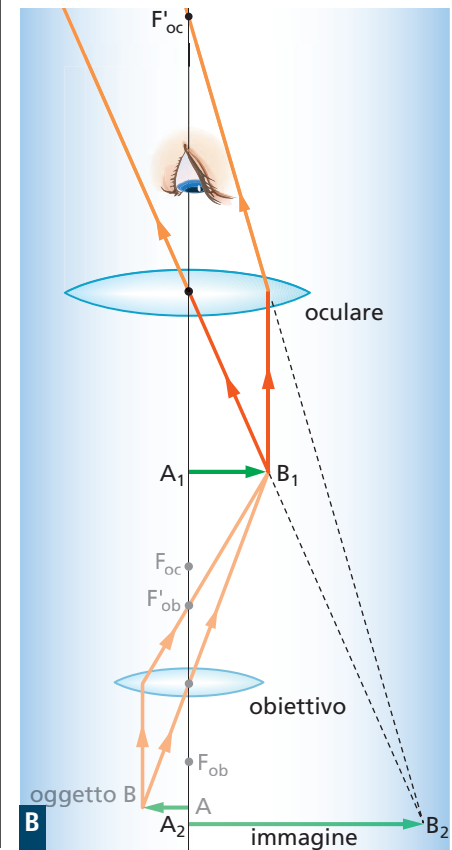
Il microscopio

Nel microscopio, l'oggetto AB che si vuole osservare è posto appena al di là del fuoco F_{ob} dell'obiettivo.

► Questa lente forma una prima immagine A_1B_1 reale, ingrandita e capovolta in una posizione intermedia tra l'oculare e il suo fuoco F_{oc} .



► A_1B_1 costituisce l'oggetto per l'oculare, che ne forma una seconda immagine A_2B_2 virtuale, ingrandita e diritta rispetto ad A_1B_1 (cioè capovolta rispetto ad AB).



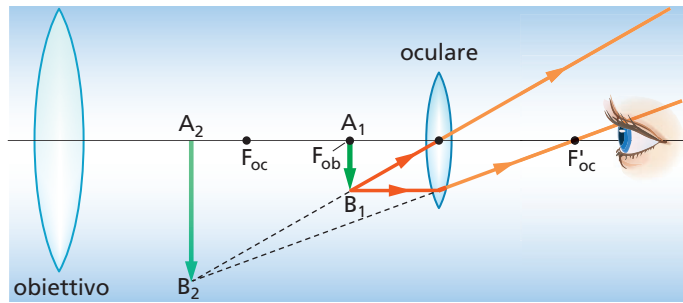
Il microscopio è progettato in modo che l'immagine A_2B_2 si formi a una distanza dall'occhio pari alla distanza della visione distinta.

Nel microscopio l'immagine dell'oggetto è virtuale e ingrandita.

Con i migliori microscopi si ottengono ingrandimenti di un migliaio di volte. È così possibile vedere oggetti dell'ordine del micrometro (10^{-6} m), per esempio i batteri.

Il cannocchiale

Il *cannocchiale astronomico* serve per osservare oggetti che si trovano molto lontani. Per le proprietà delle lenti convergenti, l'immagine A_1B_1 di un oggetto



molto lontano (che nella **figura** sopra non si vede) è reale, capovolta e rimpicciolita, e si forma proprio in corrispondenza del secondo fuoco F_{ob} dell'obiettivo.

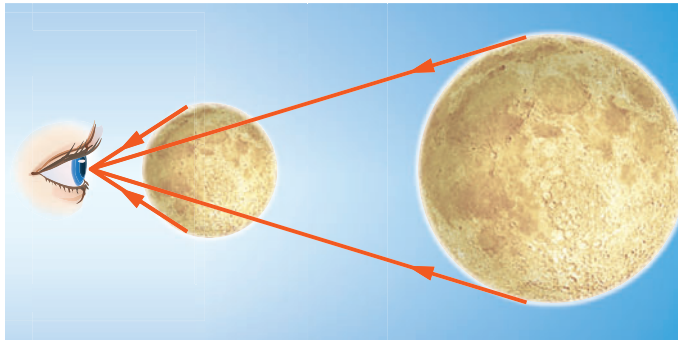
Il punto F_{ob} è posto tra l'oculare e il suo primo fuoco F_{oc} ; così l'oculare funziona da lente d'ingrandimento e forma un'immagine A_2B_2 di A_1B_1 che è virtuale, ingrandita e diritta (quindi è capovolta rispetto all'oggetto osservato).

Nei *cannocchiali terrestri* si pongono, lungo il cammino dei raggi, altre lenti o prismi che ribaltano una seconda volta l'immagine, in modo che l'immagine finale sia diritta. I *binocoli* sono formati da due cannocchiali terrestri fissati l'uno all'altro alla distanza degli occhi.

Nel cannocchiale l'immagine dell'oggetto è virtuale e rimpicciolita.

L'ingrandimento angolare del cannocchiale

Il cannocchiale non ingrandisce gli oggetti, come fa il microscopio. Per esempio, l'immagine della Luna vista nel cannocchiale è molto più piccola della Luna stessa (**figura** sotto). Però il cannocchiale crea un'immagine che è molto più vicina al nostro occhio dell'oggetto osservato.



Ciò ci permette di vedere la Luna (e ogni altro corpo) sotto un angolo visuale maggiore. Questo fatto permette di distinguere molti dettagli, perché l'immagine della Luna che si forma sulla retina è più grande di quella che si ottiene osservando la Luna a occhio nudo.

Il rapporto tra gli angoli sotto cui l'occhio vede l'immagine con o senza cannocchiale si chiama *ingrandimento angolare*.

DOMANDA

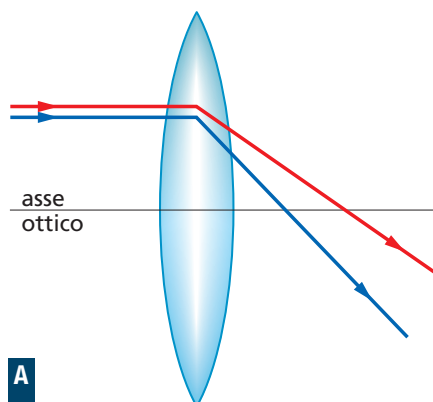
Rispondi alle seguenti domande riferite la prima volta al microscopio e la seconda al cannocchiale:

- ▶ rispetto all'obiettivo dove si trova l'oggetto?
- ▶ rispetto all'oculare dove si trova l'immagine creata dall'obiettivo?

11. LA DISPERSIONE DELLA LUCE

Il modello della lente sottile, a cui abbiamo fatto riferimento fino a ora, prevede che i raggi paralleli all'asse ottico convergano in un punto. Tuttavia, nelle lenti reali si osserva che il fuoco non è concentrato in un unico punto, ma occupa una piccola regione di spazio. Questo fenomeno ha diverse cause; una di esse è la **dispersione della luce**, cioè la diversa rifrazione dei colori.

► Il raggio di luce blu si piega più del raggio rosso dopo che ha attraversato la lente. Quindi i due raggi rifratti non passano per un unico punto.



► La diversa rifrazione dei colori produce delle frange colorate intorno all'immagine di un oggetto formata da una lente (*aberrazione cromatica*).

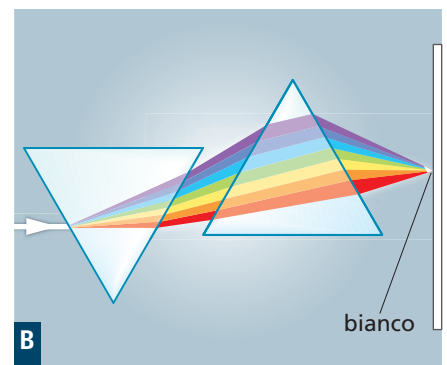
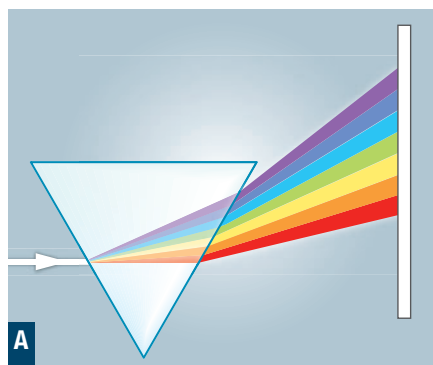
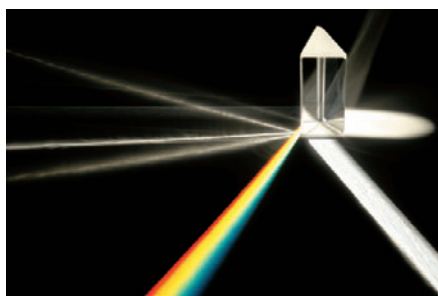


La luce bianca è la somma dei diversi colori

La luce bianca che incide su un prisma triangolare mette in evidenza il fenomeno della dispersione della luce.

► Un fascio di luce bianca, dopo che ha attraversato un prisma, si suddivide nei diversi colori che costituiscono lo spettro della luce.

► Aggiungendo un secondo prisma, capovolto rispetto al primo, i colori si ricombinano in un fascio di luce bianca.



INDICI DI RIFRAZIONE DEL VETRO FLINT

Colore	Indice di rifrazione
Violetto	1,522
Blu	1,516
Giallo	1,510
Rosso	1,507

Questo esperimento dice che

la luce bianca è la sovrapposizione dei diversi colori dello spettro.

La dispersione della luce è dovuta al fatto che l'indice di rifrazione di una sostanza trasparente dipende dal colore. Nella **tabella** a sinistra sono riportati alcuni valori dell'indice di rifrazione di un particolare tipo di vetro, relativi a luce di diversi colori.

L'arcobaleno (**fotografia** a destra) è prodotto dalla dispersione e dalla riflessione totale dei raggi solari all'interno delle goccioline di pioggia.

I colori

Per capire l'origine dei colori bisogna usare il modello ondulatorio, secondo il quale la luce è un'onda elettromagnetica prodotta da cariche elettriche che oscillano.

Ciascun colore corrisponde a una particolare frequenza e, quindi, a una particolare lunghezza d'onda.

Per esempio, un raggio di luce rossa è costituito da campi elettrici e magnetici che vibrano alla frequenza di 428 mila miliardi di vibrazioni al secondo ($4,28 \times 10^{14}$ Hz). Quando si propaga nel vuoto alla velocità c , quest'onda ha una lunghezza d'onda di:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4,28 \times 10^{14} \text{ Hz}} = 7,00 \times 10^{-7} \text{ m} = 700 \times 10^{-9} \text{ m} = 700 \text{ nm}.$$

La luce bianca è una miscela di onde che hanno lunghezze d'onda diverse (**tabella** seguente).

LUNGHEZZA D'ONDA DEI COLORI DELLO SPETTRO

Colore	Violetto	Azzurro	Verde	Giallo	Arancione	Rosso
λ (nm)	380-430	430-470	470-520	520-590	590-610	610-750

Perché gli oggetti hanno colori diversi? Perché quando sono investiti dalla luce bianca, come quella del Sole o di una lampadina, assorbono alcuni colori e ne riflettono altri.

► Le foglie sono verdi, perché diffondono il verde e assorbono tutti gli altri colori.



A

Drozdzewski/Shutterstock

► Il girasole è giallo, perché diffonde il giallo e assorbe tutti gli altri colori.



B

nakim/Shutterstock

Un corpo bianco diffonde tutti i colori, mentre un corpo nero li assorbe tutti.

La luce e il suono

La luce e il suono sono onde di tipi diversi. La luce è un'onda elettromagnetica che si propaga anche nel vuoto (per esempio dal Sole alla Terra), mentre il suono è un'onda di pressione che si propaga nella materia (aria, acqua...), ma non nel vuoto.



Adele La Rana

Onde luminose di diversa frequenza sono percepite dall'occhio come luci di diverso colore. Onde sonore di diversa frequenza sono percepite dall'orecchio come suoni di diversa altezza.

ONDE LUMINOSE E SONORE

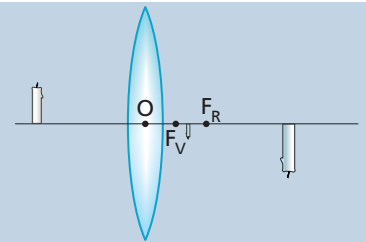
	Luce	Suono
Grandezza che oscilla	Campo elettrico e magnetico	Pressione
Sorgente	Cariche elettriche oscillanti	Vibrazioni meccaniche
Mezzo di propagazione	Vuoto e materia	Solo materia (aria, acqua...)
Velocità	3×10^8 m/s (vuoto)	3×10^2 m/s *
Frequenza	$10^{14} - 10^{15}$ Hz	20-20000 Hz
Lunghezza d'onda	380-750 nm	0,017-17 m *

* nell'aria

DOMANDA

La lente della figura ha un fuoco F_R per la luce di colore rosso e un altro fuoco F_V per la luce di colore violetto. L'oggetto è di colore bianco.

► Disegna dove si forma l'immagine per i raggi di colore rosso che provengono dall'oggetto e dove si forma, invece, l'immagine per i raggi di colore violetto.

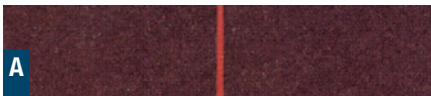


12. LA DIFFRAZIONE

Nell'esperienza quotidiana osserviamo che la luce disegna ombre nette. Tuttavia, in condizioni particolari la luce diffrange, cioè aggira gli ostacoli e invade la zona d'ombra.

Facciamo passare un fascio di luce attraverso una fenditura.

► Se la fenditura è larga, sullo schermo compare una striscia luminosa molto netta.



► Restringendo la fenditura, la striscia si allarga, invadendo progressivamente la zona d'ombra.



► Restringendo ancora la fenditura, compaiono delle frange luminose alternate a zone scure.



FISICA, a cura del PSC, Zanichelli, 1985

Si ha **diffrazione** quando la luce non si propaga in linea retta e invade quella che dovrebbe essere una zona d'ombra.

La diffrazione è un fenomeno tipico delle onde, che non si spiega con il modello corpuscolare della luce. Infatti, questo modello prevede che i corpuscoli di luce si propagano sempre in linea retta.

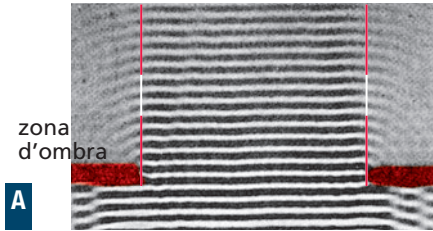
La diffrazione delle onde d'acqua e del suono

Anche le onde di acqua diffrangono. Facciamo passare un'onda attraverso una barriera.

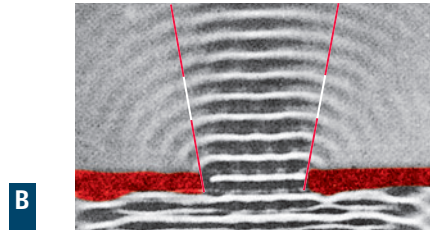
online.zanichelli.it/amaldi
 **FILM**

- La diffrazione della luce (4 minuti)

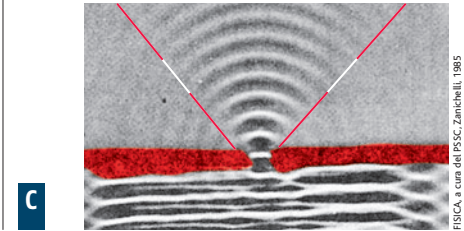
► Se la fenditura è larga, l'onda prosegue in linea retta e disegna una striscia perturbata molto netta.



► Restringendo la fenditura, la striscia si allarga ad essa, invadendo in parte la zona d'ombra.



► Restringendo ancora la fenditura, i fronti d'onda si incurvano e si allargano nella zona d'ombra.



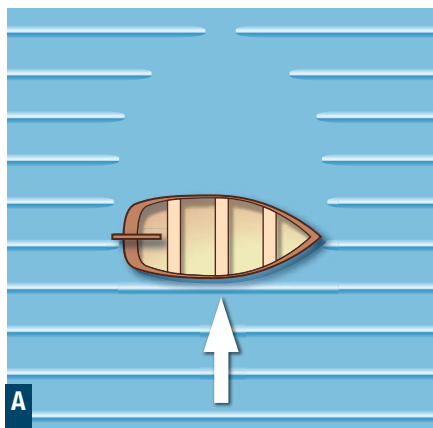
Nelle fotografie sopra è ben visibile la lunghezza d'onda dell'onda sull'acqua. Si nota che la diffrazione è quasi inesistente quando l'onda passa attraverso una fenditura molto più grande della sua lunghezza d'onda. Invece,

la diffrazione è molto marcata quando la fenditura ha dimensioni simili a quelle della lunghezza d'onda.

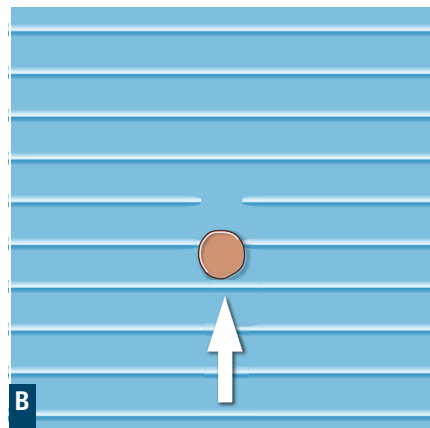
Questa è la ragione per cui sentiamo i suoni che provengono da un'altra stanza attraverso una porta aperta, anche se ci troviamo nella zona d'ombra. Il fenomeno si osserva in particolare negli studi di registrazione, dove il suono non attraversa le pareti insonorizzate. Le onde sonore hanno lunghezze d'onda dell'ordine del metro. Passando da una stanza all'altra, l'onda incontra delle aperture (le porte) che hanno dimensioni simili a quelle della sua lunghezza d'onda. Perciò essa diffrange e può essere udita anche da chi non si trova in corrispondenza dell'apertura della porta.

Le onde diffrangono anche quando incontrano un ostacolo.

► Se l'ostacolo è molto più grande della lunghezza d'onda, blocca la perturbazione e forma un'ombra netta.



► Se l'ostacolo ha dimensioni dell'ordine della lunghezza d'onda, viene aggirato e non crea la zona d'ombra.



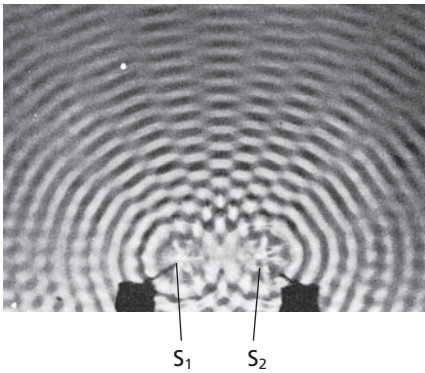
Poiché le onde luminose hanno lunghezze d'onda piccole (10^{-6} - 10^{-7} m) rispetto alle dimensioni degli oggetti ordinari, è difficile osservare la diffrazione della luce. Invece capita spesso di sentire suoni che diffrangono, perché hanno lunghezze d'onda molto più grandi (da centimetri a decine di metri).

DOMANDA

La nota più acuta che può essere suonata da un pianoforte ha una frequenza di 4186 Hz.

► Quanto deve essere ampia all'incirca un'apertura perché provochi una diffrazione significativa dell'onda sonora corrispondente a quella nota?

13. L'INTERFERENZA



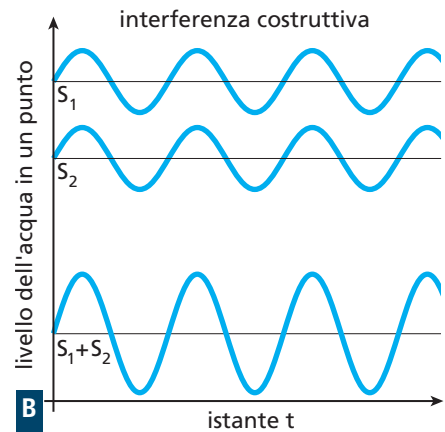
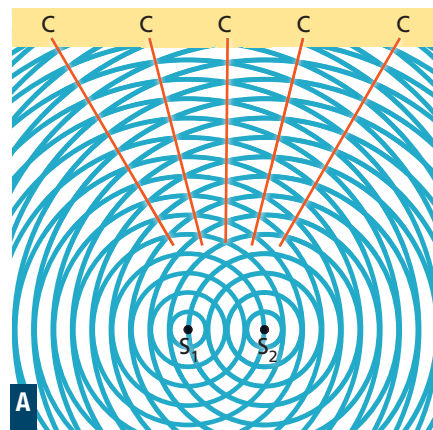
Immergiamo nell'acqua due punte che salgono e scendono insieme (*fotografia a lato*): esse generano due onde circolari, con lo stesso periodo e, quindi, la stessa lunghezza d'onda, che si propagano contemporaneamente nella bacinella.

Le increspature sulla superficie dell'acqua hanno una struttura piuttosto complessa, detta *figura di interferenza*.

In ogni punto arrivano le onde emesse dalle due sorgenti, che si sovrappongono, cioè si sommano o si sottraggono.

► Lungo le linee *C* l'acqua è molto perturbata, perché giungono insieme i massimi e poi i minimi di oscillazione delle due onde.

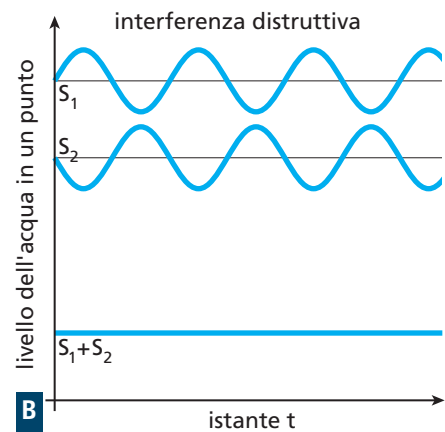
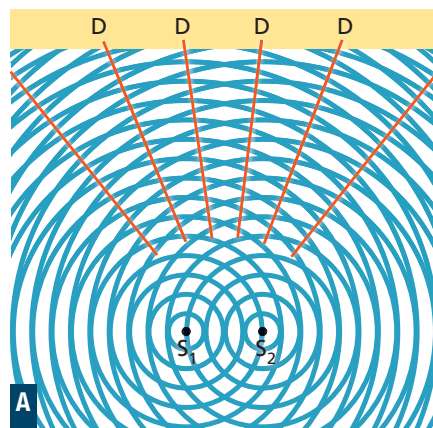
► In tali punti le due oscillazioni si sommano e producono un'oscillazione risultante pari al doppio di quella di ciascuna delle onde.



Nei punti delle linee *C* le due oscillazioni si sommano e si ha *interferenza costruttiva*. Invece, nei punti delle linee *D* le due oscillazioni si sottraggono e si ha *interferenza distruttiva*.

► Lungo le linee *D* l'acqua è poco perturbata: mentre arriva un massimo da una sorgente, dall'altra arriva un minimo.

► In ogni punto le due oscillazioni si sottraggono: la loro somma algebrica è un'oscillazione nulla che lascia l'acqua ferma.



Si ha **interferenza** quando due onde sommano i loro effetti: in alcuni punti si rinforzano (*interferenza costruttiva*), in altri si annullano (*interferenza distruttiva*).

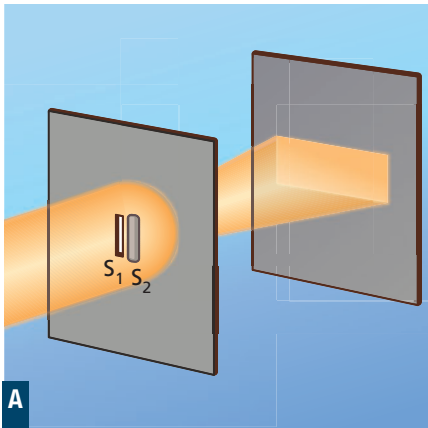


L'interferenza della luce

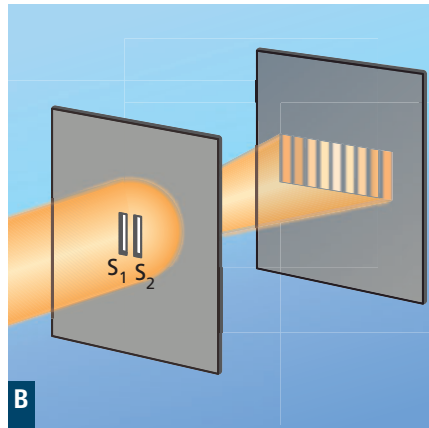
Con la luce si può effettuare un esperimento analogo a quello delle onde sull'acqua. Invece delle due punte che battono insieme, si usano due strette fenditure praticate su uno schermo illuminato da una sorgente luminosa di un solo colore.

Per il fenomeno della diffrazione, le due fenditure si comportano, oltre lo schermo, come due sorgenti luminose puntiformi.

► Se chiudiamo una delle due fenditure, la luce diffrange dall'altra e illumina una zona dello schermo in modo uniforme.

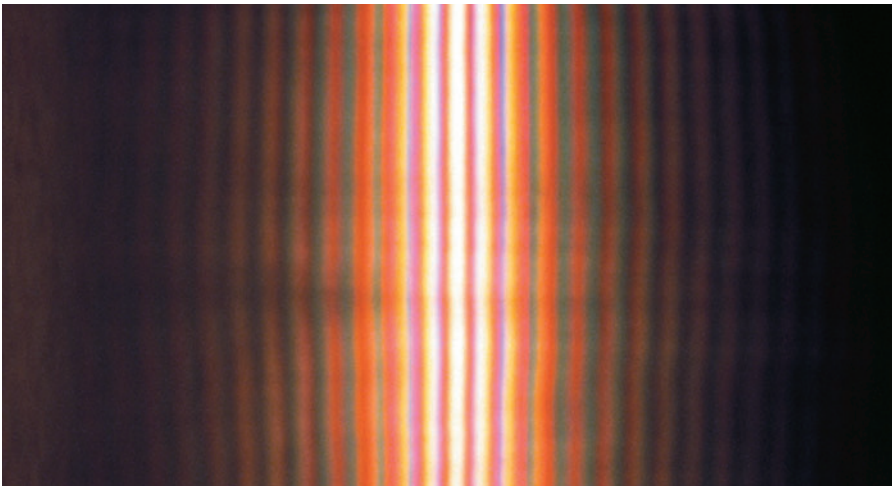


► Se si aprono entrambe le fenditure, sullo schermo compaiono frange luminose intervallate a frange scure.



- Nelle frange luminose si ha *interferenza costruttiva*: quando arriva un massimo da una sorgente, arriva un massimo anche dall'altra e anche i minimi arrivano insieme.
- Nelle frange scure si ha *interferenza distruttiva*: quando arriva un massimo da una sorgente, dall'altra arriva un minimo, in modo che la perturbazione è sempre uguale a zero.

La **foto** sotto mostra la figura d'interferenza dovuta alla doppia fenditura.



DOMANDA

- Descrivi come si comportano due palline quando si scontrano e due onde quando si sovrappongono.



IL METODO SCIENTIFICO

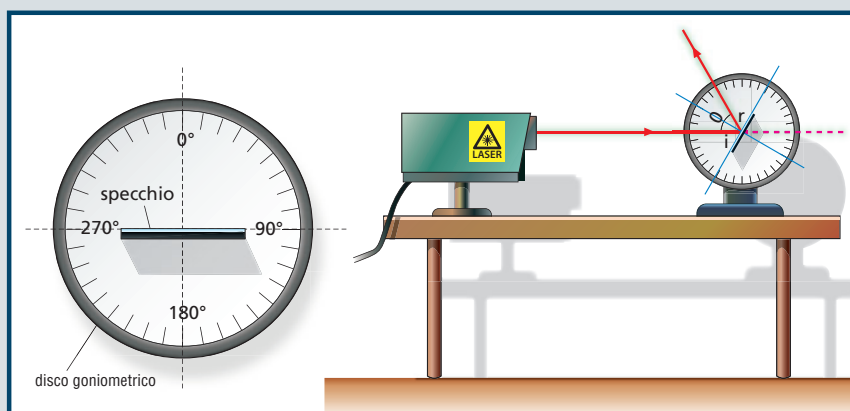
La riflessione della luce

■ DOMANDA

Che relazione c'è fra l'angolo d'incidenza e l'angolo di riflessione formati da un raggio di luce che colpisce uno specchio piano?

■ PER RISPONDERE PROGETTIAMO UN ESPERIMENTO

Una sorgente luminosa, per esempio un laser, produce un sottile fascio di luce che incide sulla superficie di uno specchio piano, da cui viene riflessa. Con un goniometro misuriamo l'angolo di incidenza i e l'angolo di riflessione r .



■ CHE COSA CI ASPETTIAMO?

Ci aspettiamo che il rapporto i/r tra l'angolo di incidenza e l'angolo di riflessione sia uguale a 1.

Strumento	Sensibilità	Portata
Disco goniometrico	1°	360°

■ ESEGUIAMO L'ESPERIMENTO

Prepariamo una tabella degli strumenti utilizzati e una tabella dei dati dove registreremo le misure sperimentali con le relative incertezze.

Tabella dei dati

i (°)	r (°)	$\Delta i/i$ (%)	$\Delta r/r$ (%)	i/r	$\Delta(i/r)/(i/r)$ (%)
10 ± 1	10 ± 1	10	10	1	20
20 ± 1	20 ± 1	5	5	1	10
30 ± 1	29 ± 1	3,3	3,4	0,97	7
40 ± 1	39 ± 1	2,5	2,6	0,96	5

- Fissiamo nel centro del disco goniometrico un piccolo specchio piano in modo che la superficie dello specchio sia parallela al diametro che passa per 90°, come nella figura.
- Disponiamo la sorgente di luce e il disco goniometrico con lo specchio sul banco da lavoro come mostra la figura, in modo

che il fascio di luce colpisca perpendicolarmente la superficie dello specchio, cioè con un angolo di 0°. Il raggio incidente e quello riflesso si sovrappongono.

- Ruotiamo di volta in volta il disco di un piccolo angolo (per esempio 10°), registriamo ogni angolo di incidenza i e

misuriamo il corrispondente angolo di riflessione r . Arriviamo fino a un angolo di incidenza di 70°.

- Calcoliamo l'incertezza percentuale associata alla misura dei due angoli.
- Calcoliamo il rapporto i/r tra l'angolo di incidenza e l'angolo di riflessione.

■ RISPOSTA

Dai dati sperimentali l'angolo di incidenza e l'angolo di riflessione risultano uguali a meno delle incertezze di misura. All'interno dell'incertezza, infatti, il rapporto i/r è uguale a 1.



I CONCETTI E LE LEGGI

LE PROPRIETÀ DELLA LUCE

A seconda delle situazioni, la luce si può descrivere come un'onda elettromagnetica (modello ondulatorio) che si propaga anche nel vuoto, o come un insieme di corpuscoli (modello corpuscolare) chiamati fotoni. Un raggio luminoso è un fascio di luce molto sottile che rappresentiamo con un segmento di retta.

INDICE DI RIFRAZIONE

$$n = \frac{c}{v} \quad c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{indice di rifrazione} = \frac{\text{velocità della luce nel vuoto}}{\text{velocità della luce nel mezzo}}$$

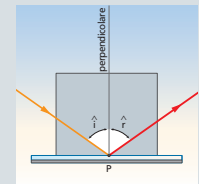
- La velocità c della luce nei **mezzi trasparenti** (che lasciano passare la luce) è minore di quella nel vuoto, quindi $n > 1$.
- L'indice di rifrazione di una sostanza trasparente dipende dal colore della luce che lo attraversa: infatti un fascio di luce bianca che attraversa un prisma si divide in diversi colori (**dispersione**).

PRIMA LEGGE DELLA RIFLESSIONE

Il raggio incidente, il raggio riflesso e la perpendicolare alla superficie riflettente nel punto di incidenza appartengono allo stesso piano.

SECONDA LEGGE DELLA RIFLESSIONE

L'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione.



RIFRAZIONE

Avviene ogni volta che un raggio luminoso attraversa la superficie di separazione tra due mezzi trasparenti nei quali la luce ha velocità diverse.

Prima legge

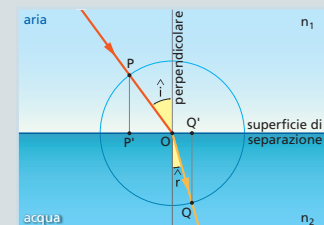
Il raggio incidente, il raggio rifratto e la retta perpendicolare alla superficie di separazione dei due mezzi, nel punto di incidenza, appartengono allo stesso piano.

Seconda legge

Il rapporto tra i segmenti $\overline{OP'}$ e $\overline{OQ'}$ è costante ed è uguale al rapporto tra l'indice di rifrazione del secondo mezzo e quello del primo mezzo:

$$\frac{\overline{OP'}}{\overline{OQ'}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Quando un raggio di luce passa da un mezzo con indice di rifrazione maggiore (vetro, acqua, ...) a uno con indice di rifrazione minore (aria) si ha la **riflessione totale**: esiste un angolo di incidenza, detto **angolo limite**, a cui corrisponde un angolo di rifrazione pari a 90° .



DIFFRAZIONE

Si ha quando la luce non si propaga in linea retta e invade una zona d'ombra: è evidente quando la luce attraversa una fenditura di dimensioni simili alla sua lunghezza d'onda.

- Sono fenomeni tipici delle onde che non si spiegano col modello corpuscolare della luce.

INTERFERENZA

È **costruttiva** quando gli effetti di due onde si rafforzano a vicenda; è **distruttiva** quando gli effetti di due onde si annullano a vicenda.



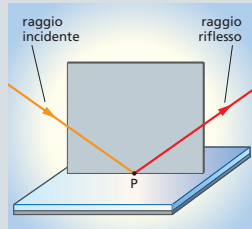
LA COSTRUZIONE DELLE IMMAGINI E GLI STRUMENTI OTTICI

Una lente è un corpo trasparente delimitato da due superfici sferiche, che produce immagini ingrandite o rimpicciolite degli oggetti. Se ha uno spessore piccolo rispetto ai raggi delle superfici sferiche che la delimitano, la lente si dice *sottile*.

SPECCHIO PIANO

L'immagine di un oggetto riflesso da uno specchio piano si forma dietro lo specchio, nel punto dove si incontrano i prolungamenti dei raggi, e appare in posizione simmetrica all'oggetto rispetto allo specchio.

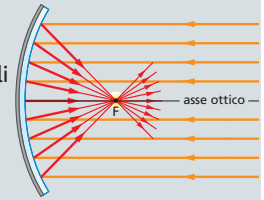
- Questa immagine è detta *virtuale* perché non è possibile raccoglierla su uno schermo.



SPECCHI CURVI

Il fuoco F di uno specchio parabolico ha due proprietà:

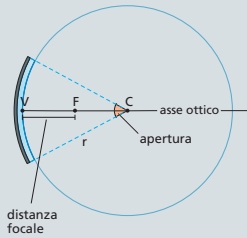
- 1) I raggi che passano per il fuoco si riflettono in modo da allontanarsi in un fascio di raggi paralleli all'asse ottico.
- 2) I raggi paralleli all'asse ottico dello specchio, dopo la riflessione passano per il fuoco.



SPECCHI SFERICI DI PICCOLA APERTURA

Uno specchio ricavato da una porzione di calotta sferica ha un fuoco ben definito se ha una **piccola apertura**, cioè se è piccolo l'angolo al centro formato dagli estremi dello specchio.

- Un raggio che arriva parallelo all'asse ottico è riflesso nel fuoco dello specchio.
- Un raggio che passa per il fuoco è riflesso in direzione parallela all'asse ottico.
- Un raggio che passa per il centro è riflesso su se stesso, perché l'angolo di incidenza è zero.
- Un raggio che incide nel vertice è riflesso in modo simmetrico rispetto all'asse ottico.
- La distanza focale è la distanza tra il fuoco F e il vertice V ed è uguale alla metà del raggio: $f = r/2$.



COSTRUZIONE DELLE IMMAGINI

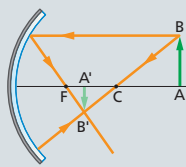
Specchio sferico concavo

Oggetto

Oltre il centro.

Immagine

Reale, capovolta, rimpicciolita.

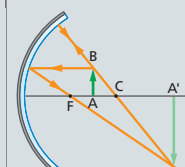


Oggetto

Tra il centro e il fuoco.

Immagine

Reale, capovolta, ingrandita.

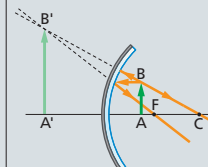


Oggetto

Tra il fuoco e lo specchio.

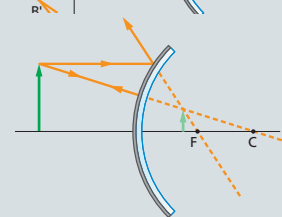
Immagine

Virtuale, diritta, ingrandita.



Specchio sferico convesso

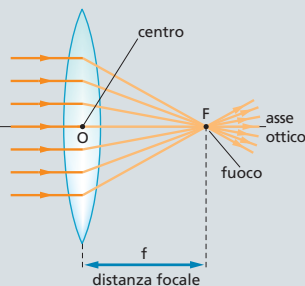
Immagine sempre virtuale diritta e rimpicciolita.



LENTE CONVERGENTE

È più spessa al **centro** che ai bordi.

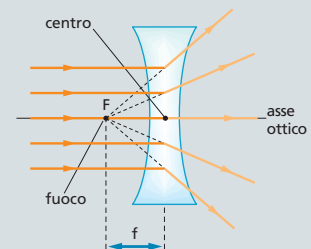
- L'immagine è reale e capovolta se oltre al fuoco; è virtuale e diritta se l'oggetto è tra la lente e il fuoco.



LENTE DIVERGENTE

È più spessa ai **bordi** che al centro.

- L'immagine è sempre virtuale, diritta se rimpicciolita.



ESERCIZI

1. ONDE E CORPUSCOLI

- 1** **Test.** C'è qualche differenza fra le onde luminose e le onde radio?
- A Nessuna, poiché sono entrambe onde elettromagnetiche.
- B Sì, le onde radio e le onde luminose hanno una frequenza diversa.
- C Sì, le onde radio si possono propagare anche in un mezzo materiale mentre le onde luminose si propagano solo nel vuoto.
- D Sì, le onde radio si propagano solo nel vuoto mentre le onde luminose si propagano anche in un mezzo materiale.

- 2** **Pensa come un fisico.** Un ologramma è un'immagine tridimensionale prodotta dall'interferenza di due fasci laser indirizzati sullo stesso oggetto (su di una banconota, per esempio).
- Quale dei due modelli (ondulatorio o corpuscolare) permette di spiegarne le proprietà?



- 3** **Caccia all'errore.** «Il modello corpuscolare descrive in modo convincente la formazione delle ombre, mentre il modello ondulatorio spiega efficacemente il fenomeno della riflessione della luce.»

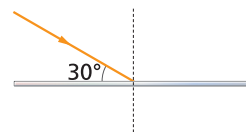
2. I RAGGI DI LUCE

- 4** **Quesito.** Segnala i materiali traslucidi presenti nel seguente elenco:
- a) Vetro smerigliato
b) Carta oleata
c) Policarbonato
d) Alabastro
e) Ghiaccio
- 5** L'indice di rifrazione dell'alcol etilico vale 1,36.
- Quanto vale la velocità della luce nell'alcol etilico? [$2,21 \times 10^8$ m/s]

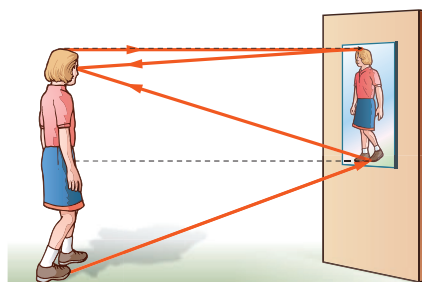
- 6** La distanza media Terra-Luna è di $3,84 \times 10^8$ m.
- Quanto tempo impiega un raggio luminoso per percorrerla? [1,28 s]

3. LA RIFLESSIONE E LO SPECCHIO PIANO

- 7** **Test.** Inviamo un sottile raggio di luce su una lastra di metallo piana e levigata. Il raggio forma con la superficie riflettente della lastra un angolo di 30° .
- Qual è l'ampiezza dell'angolo formato dal raggio riflesso con la perpendicolare alla superficie della lastra?
- A 30° B 60° C 120° D 0°



- 8** Sandra, who is 5 years old and 1 m tall, is looking at herself in the mirror.
- What is the minimum height of the mirror for Sandra to see herself in full?



- 9** Francesca si sta guardando allo specchio. Lo specchio si trova davanti a lei alla distanza di 1,0 m.
- Quale distanza la separa dalla sua immagine?
- Se lo specchio viene spostato verso Francesca di 50 cm, di quanto si sposta l'immagine? [2,0 m; 1,0 m]

4. GLI SPECCHI CURVI

- 10** **Completa le frasi.** Impiega le parole «fuoco», «asse ottico», «raggio».
- a) Il di uno specchio ricavato da una calotta sferica è ben definito solo se lo specchio ha una piccola apertura.
- b) I raggi che dopo la riflessione convergono tutti nel fuoco sono quelli che hanno colpito lo specchio parallelamente al suo
- c) Uno specchio sferico con distanza focale di 12 cm ha un di 24 cm.

- 11** **Completa la tabella.** La tabella si riferisce a uno specchio sferico di piccola apertura. Scegli dall'elenco la conseguenza corretta.

UN RAGGIO CHE...	VIENE RIFLESSO
1. passa per il fuoco	
2. passa per il centro	
3. arriva parallelo all'asse ottico	
4. incide nel vertice	

Elenco:

- a) su se stesso, dato che l'angolo di incidenza è zero.
 b) nel fuoco dello specchio.
 c) parallelamente all'asse ottico.
 d) in modo simmetrico rispetto all'asse ottico.

- 12** **Completa la tabella.**

TIPO DI SPECCHIO	OGGETTO	IMMAGINE	INGRANDIMENTO
sferico concavo	nel centro		
sferico convesso	davanti allo specchio		
sferico concavo	oltre il centro		
sferico concavo		reale, capovolta	ingrandita
sferico concavo	tra il fuoco e lo specchio		

- 13** Il raggio di uno specchio sferico di piccola apertura è pari a 1,5 m.

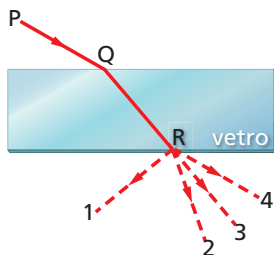
- ▶ Calcola la distanza tra il centro e il fuoco dello specchio. [75 cm]

- 14** Un'asticella si riflette in uno specchio sferico concavo di raggio 80 cm posto a 30 cm di distanza.

- ▶ Costruisci graficamente l'immagine dell'asticella.
 ▶ L'asticella viene ora allontanata dallo specchio di altri 60 cm. Costruisci graficamente l'immagine nella nuova posizione.

5. LA RIFRAZIONE

- 15** **Test.** In un giorno di sole, un raggio di luce incide su una finestra di vetro secondo il percorso PQR indicato nella figura.



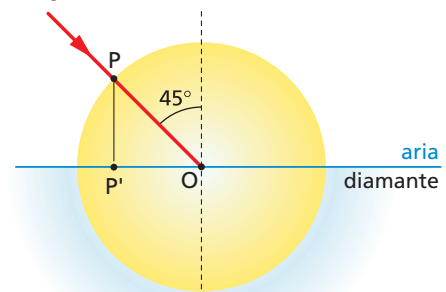
Quale tra i raggi tratteggiati rappresenta il percorso della luce entrante nella stanza? Motiva la tua scelta.

- A 1 C 3
 B 2 D 4

- 16** La velocità della luce nell'acqua è $2,254 \times 10^8$ m/s.

- ▶ Calcola l'indice di rifrazione dell'acqua. [1,33]

- 17** Un raggio di luce incide sulla superficie di separazione aria-diamante come è mostrato nella figura seguente.



Assumi che \overline{OP} sia uguale a 1 cm.

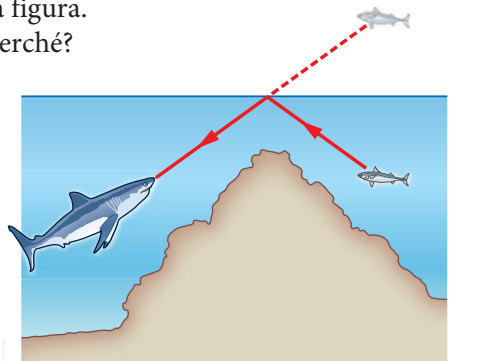
- ▶ Quanto vale $\overline{OP'}$?
 ▶ Se Q è il punto di intersezione del raggio rifratto con la circonferenza e Q' la proiezione di Q sulla superficie di separazione, quanto vale $\overline{OQ'}$?
 ▶ Disegna il raggio rifratto.
 (Per i valori degli indici di rifrazione fai riferimento alla tabella nel paragrafo 6.) [7 mm; 3 mm]

6. LA RIFLESSIONE TOTALE

- 18** **Test.** Un piccolo pesce rosso cerca di sfuggire a uno squalo affamato e si nasconde dietro uno

scoglio. Lo squalo però, guardando all'insù, lo vede come se nuotasse in aria, come è mostrato nella figura.

► Perché?



- A** Il pesce rosso gli sembra nuotare in aria a causa della riflessione totale.
B Lo squalo vede «doppio» per la fame.
C Il pesce rosso gli sembra nuotare in aria per effetto della rifrazione dei raggi del Sole dall'aria all'acqua.
D Nell'acqua i raggi di luce non procedono in linea retta.

19 Vero o falso?

- a. Per un raggio di luce che si propaga in una lastra di vetro, esiste sempre un raggio rifratto in aria e un debole raggio riflesso dentro il vetro. V F
 b. L'angolo limite è il valore di un angolo di rifrazione. V F
 c. Se un raggio di luce passa dall'aria al vetro, la riflessione totale non può mai verificarsi. V F

- 20** Un raggio colpisce la superficie di separazione vetro-aria con un angolo di incidenza pari a 60° .
 ★★
 ► Disegna il raggio rifratto, ricordando che l'angolo limite per la rifrazione vetro-aria è di circa 40° .

7. LE LENTI

21 Cancella le alternative sbagliate.

- a) L'asse ottico è la retta che congiunge i *centri/bordi* delle due superfici sferiche che delimitano la lente.
 b) Il centro O della lente è il punto *dell'asse ottico/della superficie* che divide a metà lo spessore della lente.
 c) La distanza focale f è la distanza tra il *fuoco F/bordo* della lente e il centro.

- 22** **Completa la tabella.** La tabella si riferisce a una lente sferica convergente sottile. Scegli dall'elenco la conseguenza corretta.

SE IL RAGGIO LUMINOSO...	VIENE RIFRATTO...
1. passa per il fuoco	
2. passa per il centro	
3. arriva parallelo all'asse ottico	

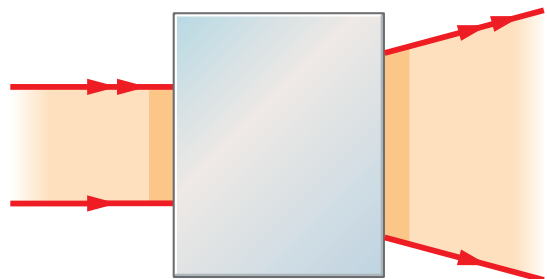
Elenco:

- a) con ottima approssimazione nella stessa direzione.
 b) in direzione parallela all'asse ottico.
 c) nel fuoco.

- 23** Una matita colorata è posta a una distanza tripla della distanza focale dal centro di una lente convergente.
 ★★★
 ► Costruisci graficamente l'immagine dell'oggetto.
 ► L'immagine è reale o virtuale? Diritta o capovolta? Rimpicciolita o ingrandita?
 ► A quale distanza dal centro della lente deve essere posta la matita per avere un'immagine della stessa dimensione?

- 24** Gregorio ha un difetto della vista e senza i suoi occhiali riesce a mettere a fuoco solo oggetti che distano meno di 2 m. Per riuscire a vedere correttamente la cima di un campanile molto lontano, gli occhiali devono produrre un'immagine virtuale, diritta e rimpicciolita.
 ★★★
 ► Di che tipo sono le lenti dei suoi occhiali?

- 25** **Test.** La figura rappresenta un fascio di raggi paralleli che provengono da sinistra ed entrano nella scatola.
 Che cosa deve contenere la scatola affinché il fascio emerga nel modo indicato? (Le frecce singole e doppie indicano le parti corrispondenti dei raggi entranti e di quelli uscenti.)



- A** Una lente convergente.
B Un prisma.
C Una lente divergente.
D Una lastra di vetro a facce piane e parallele.

8. MACCHINA FOTOGRAFICA E CINEMA

26 Vero o falso?

- a. L'obiettivo è un sistema di lenti equivalente a una lente divergente. V F
- b. Il diaframma è un'apertura che serve a regolare la quantità di luce che raggiunge la pellicola. V F
- c. La pellicola di una macchina fotografica viene impressionata dalla luce che entra attraverso l'otturatore. V F
- d. L'immagine prodotta dall'obiettivo è sempre reale e diritta. V F

27 Test. L'obiettivo di una macchina fotografica forma un'immagine:

- A reale e diritta.
 B virtuale e diritta.
 C reale e capovolta.
 D virtuale e capovolta.

- 28 **★★★** Sul corpo macchina di una fotocamera non automatica si possono selezionare diversi valori della velocità dell'otturatore (numero di scatti al secondo), che controlla la quantità di luce che arriva sulla pellicola: 1000, 500, 250, 125, 60, 30, 15, 8, 4, 2, 1. Un fotografo ha scelto di utilizzare una velocità di 1/125: ciò indica che a ogni scatto l'otturatore rimane aperto per 1/125 di secondo.
- Se si vuole aumentare la quantità di luce che entra nella fotocamera, quali valori di velocità occorre scegliere?

9. L'OCCHIO

- 29 **Completa la tabella.** Per ciascun difetto della vista, indica la sua origine scegliendo la frase opportuna dall'elenco, e il tipo di lente per la correzione del difetto.

	ORIGINE DEL DIFETTO	CORREZIONE DEL DIFETTO
1 miopia		
2 ipermetropia		
3 presbiopia		

Elenco:

- a) l'immagine si forma dietro la retina.
 b) il punto prossimo si allontana.
 c) l'immagine si forma davanti alla retina.

- 30 **Pensa come un fisico.** Anna e Alice vogliono accendere un fuoco con un paio di occhiali, utilizzando la luce del Sole. Anna è miope, Alice è ipermetrope.

- Quale paio di occhiali devono usare, quello di Anna o quello di Alice? Perché?

31 Caccia all'errore.

- a) Un occhio ipermetrope è troppo convergente.
 b) Quando il cristallino ha la massima curvatura, l'occhio è accomodato al punto remoto.
 c) Pupilla, cristallino e umor vitreo sono i tre mezzi rifrangenti che compongono l'occhio.

10. MICROSCOPIO E CANNOCCHIALE

32 Test. Stai guardando con un cannocchiale la Luna. L'immagine fornita:

- A è molto più vicina al nostro occhio della Luna.
 B in realtà è più lontana della Luna.
 C ha dimensioni maggiori di quelle della Luna.
 D copre un angolo visuale circa uguale a quello coperto dalla Luna.

33 Rispondi alle seguenti domande.

- In un microscopio, dove si trova (rispetto all'obiettivo) l'immagine fornita dall'obiettivo?
 ► E in un cannocchiale?

- 34 **★★★** Un microscopio è composto da due lenti convergenti. L'obiettivo ha una distanza focale di 12 mm; l'oculare ha una distanza focale di 32 mm. La distanza fra le lenti è di 72 mm. La cellula embrionale di un pesce da osservare è posta su un vetrino a una distanza di 16 mm dall'obiettivo.
- Costruisci graficamente l'immagine finale della cellula.
 ► Quanto dista l'immagine virtuale risultante dall'oculare?

[96 mm]

11. LA DISPERSIONE DELLA LUCE

35 Completa la tabella. Inserisci «sì» o «no».

	LA LUCE È UN'ONDA	IL SUONO È UN'ONDA
elettromagnetica	sì	
di pressione		
che si propaga nel vuoto		
e nella materia		

36 Cancella le alternative sbagliate.

- a) Il colore di un oggetto è dovuto alla *frequenza/ampiezza* della luce che viene *assorbita/riflessa*.

- b) Il colore *è/non* è una proprietà degli oggetti ma dipende dalla luce che li colpisce.
 c) La luce è un'onda che si propaga *anche/solo* nel vuoto.
 d) Onde sonore di diversa frequenza sono percepite dall'orecchio come suoni di diversa *intensità/altezza*.

37 ★★★ L'indice di rifrazione del vetro flint vale 1,51 per un raggio di luce rossa e 1,52 per un raggio di luce violetta.

- Qual è la velocità di propagazione di ciascuno dei due raggi all'interno di una lastra di vetro flint? $[1,99 \times 10^8 \text{ m/s}; 1,97 \times 10^8 \text{ m/s}]$

38 ★★★ La radiazione gialla emessa dal vapore di sodio ha una lunghezza d'onda di 589,0 nm nel vuoto.

- Calcola la frequenza della radiazione.
 ► Quanto vale il periodo?

$[5,09 \times 10^{14} \text{ Hz}; 1,96 \times 10^{-15} \text{ s}]$

12. LA DIFFRAZIONE

39 Quesito.

Le onde sonore hanno lunghezze d'onda dell'ordine del metro, mentre le onde di luce hanno lunghezze d'onda molto più piccole, dell'ordine di 10^{-7} m .

- Perché nella vita quotidiana la diffrazione del suono, che ci permette di ascoltare suoni e voci anche stando dietro una porta socchiusa, è un fenomeno molto comune, a differenza della diffrazione della luce?

40 PROBLEMA SVOLTO

Calcolo delle dimensioni dell'ostacolo

Un soprano emette una nota Sol, corrispondente alla frequenza $f = 784 \text{ Hz}$.

- Quanto deve essere ampio un ostacolo posto di fronte alla cantante per riuscire a «schermare» in modo significativo il canto?



Dati e incognite

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Frequenza	f	784 Hz	
INCOGNITE	Ampiezza dell'ostacolo		?	Per schermare il suono

Ragionamento

- Per schermare un'onda l'ostacolo deve essere decisamente più ampio della lunghezza d'onda λ relativa alla nota Sol cantata dal soprano.
- Quindi per prima cosa bisogna calcolare la lunghezza d'onda λ .
- **Dato nascosto:** la velocità del suono nell'aria è $v = 340 \text{ m/s}$.

Risoluzione

Calcoliamo la lunghezza d'onda:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{784 \text{ Hz}} = \frac{340}{784} \frac{\frac{\text{m}}{\text{s}}}{\frac{1}{\text{s}}} = 0,434 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \text{s} = 0,434 \text{ m}$$

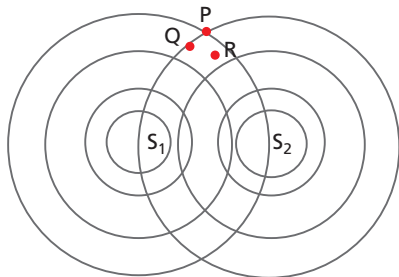
Controllo del risultato

La lunghezza d'onda della nota emessa dalla soprano è circa 43 cm; ciò significa che, come è confermato dall'esperienza, per schermare le onde sonore occorre avere a disposizione ostacoli decisamente più grandi, cioè ampi alcuni metri.

- 41** ★★★ Un'onda sonora (ultrasuono) emessa da un pistrello ha una frequenza di 50 000 Hz.
- Che dimensione deve avere un ostacolo per schermarla?

13. L'INTERFERENZA

- 42** **Test.** Le circonferenze disegnate nella figura rappresentano i massimi di oscillazione di due onde prodotte sulla superficie dell'acqua dalle due sorgenti S_1 e S_2 (per esempio due punte che salgono e scendono insieme).



- In quali punti gli effetti delle onde si rinforzano (interferenza costruttiva) e in quali si annullano (interferenza distruttiva)?

- A Rinforzo in P , annullamento in R .
 B Rinforzo in Q , annullamento in R .
 C Rinforzo in R , annullamento in P .
 D Rinforzo in P , annullamento in Q .

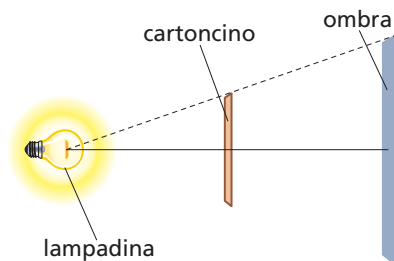
43 **Vero o falso?**

- a. Una regione in cui si ha interferenza costruttiva è caratterizzata da frange scure. V F
- b. Quando un minimo da una sorgente luminosa arriva insieme a un minimo proveniente da un'altra sorgente luminosa, si ha interferenza distruttiva. V F
- c. In un concerto tenuto al chiuso, se la cresta di un'onda sonora incontra in un punto la gola di un'onda sonora identica si ottiene il silenzio. V F

PROBLEMI GENERALI

- 1** ★★★ Un cartoncino opaco di forma quadrata ostacola il passaggio della luce proveniente da una lampada che si trova a 15 cm di distanza. L'ombra disegnata dal cartoncino è un quadrato di lato 12 cm e si staglia su una parete a 30 cm dalla lampada.

- Quanto è lungo il lato del cartoncino? [6 cm]



- 2** ★★★ Una lente sottile convergente ha una distanza focale di 13,8 cm. Davanti alla lente, a una distanza di 30,0 cm dal centro della lente e perpendicolarmente all'asse ottico, è posta una torcia. La torcia è lunga 8,0 cm ed è tagliata a metà dall'asse ottico.

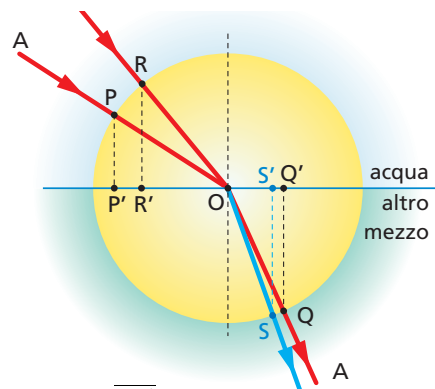
- Costruisci l'immagine della torcia.

- 3** ★★★ Sull'ultimo numero di una rivista di divulgazione scientifica trovi scritto che un raggio di luce gialla con una lunghezza d'onda di 550 nm si propaga nel vuoto alla frequenza di 6×10^{14} Hz. Sei sorpreso e un po' indispettito: questa notizia è falsa!

- Perché?
- Qual è il valore giusto della frequenza?

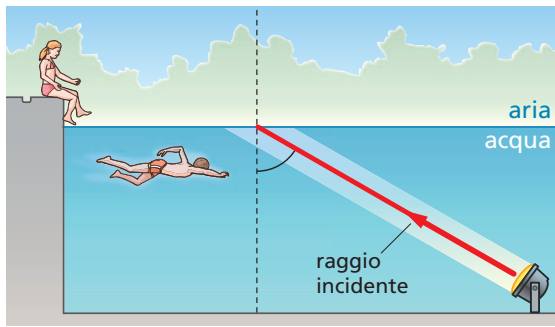
[5,45 $\times 10^{14}$ Hz]

- 4** ★★★ Il raggio di luce A subisce una rifrazione passando dall'acqua a un altro mezzo trasparente. Assumi che $\overline{OP'}$ sia 3,64 cm e che $\overline{OQ'}$ valga 2,00 cm. Poi un secondo raggio di luce B incide sulla superficie di separazione in modo che $\overline{OR'}$ sia 2,73 cm.



- Quanto vale $\overline{OS'}$?
- Disegna il raggio B rifratto.
- Qual è l'indice di rifrazione del secondo mezzo? Di che materiale si tratta? [1,50 cm; 2,42]

- 5** ★★★ In una sera d'estate, Alberto organizza una festa in piscina. Sul fondo della piscina si trova un faretto elettrico. Il fascio di luce emesso dal faretto raggiunge la superficie di separazione acquaria come mostrato nella figura. Carlo, che sta nuotando sott'acqua, vede la luce emessa dal faretto, mentre a Lucia seduta sul bordo della piscina sembra che il faretto sia spento.



- ▶ Quanto vale l'angolo di incidenza α del fascio luminoso? (Ricorda che l'angolo limite per la rifrazione acqua-aria vale circa 49° .)
- ▶ Se il fascio di luce venisse rifratto radente alla

superficie di separazione (cioè con angolo di rifrazione uguale a 90°), quale sarebbe il valore dell'angolo di incidenza?

- 6** ★★★ Bernardo è in viaggio in automobile e all'improvviso un sasso rimbalza sul parabrezza (che ha indice di rifrazione 1,5) incrinandolo. Per tentare di ripararlo, il carrozziere invece di sostituire l'intero vetro, inietta nella fessura provocata dal sasso una resina sintetica. Per rendere invisibile la fessura, la luce deve continuare in linea retta quando passa dal vetro alla resina.
- ▶ Per ottenere questo effetto, quanto deve valere l'indice di rifrazione della resina iniettata nella fessura?

TEST



online.zanichelli.it/amaldi

TEST INTERATTIVI 20 test (30 minuti)

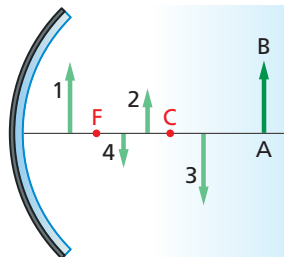
- 1** L'immagine prodotta da uno specchio piano è:

- A sempre virtuale.
- B sempre reale.
- C virtuale o reale a seconda della distanza dell'oggetto dallo specchio.
- D virtuale o reale a seconda della distanza focale dello specchio.

- 2** L'uomo invisibile protagonista di un romanzo di H.G. Wells diventava invisibile modificando l'indice di rifrazione del suo corpo. Quale doveva essere il valore di questo indice di rifrazione?

- A Uguaale a zero.
- B Uguaale al valore dell'indice di rifrazione dell'aria.
- C Maggiore del valore dell'indice di rifrazione dell'aria.
- D Minore del valore dell'indice di rifrazione dell'aria.

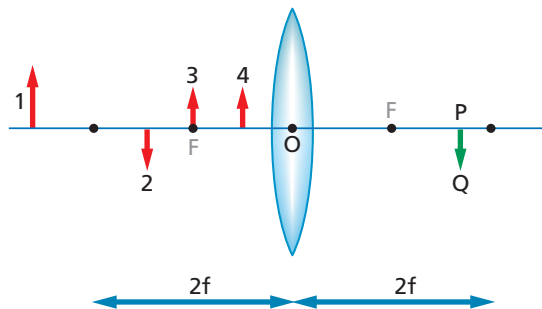
- 3** La figura rappresenta la formazione dell'immagine mediante uno specchio concavo. Quale tra le frecce numerate è l'immagine della freccia AB?



- A 1
- B 2
- C 3
- D 4

- 4** La figura rappresenta la formazione dell'immagine di un oggetto mediante una lente convergente. Quale delle quattro frecce numerate a sinistra della lente ha come immagine la freccia PQ?

- A 1
- B 2
- C 3
- D 4

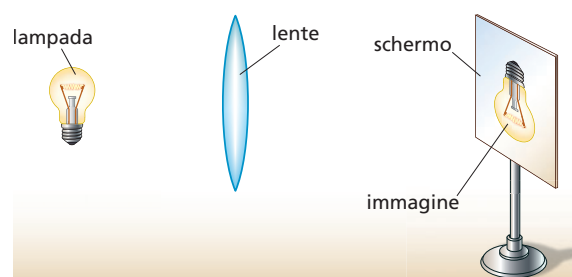


- 5** Se si guarda un foglio di carta bianca attraverso un vetro blu, il foglio sembra avere colore blu. Ciò accade perché:

- A la luce blu viene assorbita dal vetro colorato.
- B la luce blu si propaga più rapidamente nel vetro colorato di blu.
- C il vetro assorbe tutti i colori tranne il blu.
- D il vetro aggiunge una luce blu a quella che proviene dal foglio di carta.

(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, anno 2000)

- 6** In figura si vedono una lente, una lampada e uno schermo messo in modo che l'immagine della lampada formata dalla lente sia a fuoco su di esso.



Successivamente la lampada viene spostata verso sinistra, allontanandola dalla lente, e lo schermo viene messo in modo che l'immagine su di esso sia ancora a fuoco.

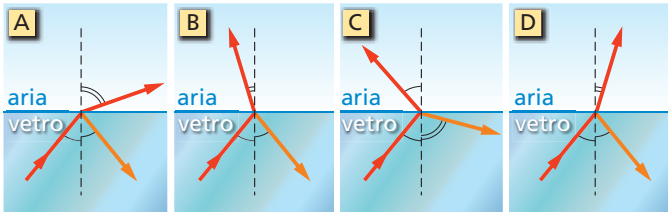
► Fatto questo:

- A l'immagine è più piccola e lo schermo più vicino alla lente.
- B l'immagine è più piccola e lo schermo più lontano dalla lente.
- C l'immagine ha le stesse dimensioni di prima e lo schermo si trova nella stessa posizione.
- D l'immagine è più grande e lo schermo è più vicino alla lente.
- E l'immagine è più grande e lo schermo è più lontano dalla lente.

(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 1996)

- 7** Un raggio di luce attraversa un blocco di vetro e ne colpisce la superficie a contatto con l'aria. Sulla superficie una parte della luce si riflette e una parte viene rifratta.

► Quale delle seguenti figure descrive correttamente la riflessione e la rifrazione del raggio di luce?



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

- 8** Un'asticciola diritta immersa parzialmente nell'acqua può apparire spezzata in corrispondenza della superficie dell'acqua.

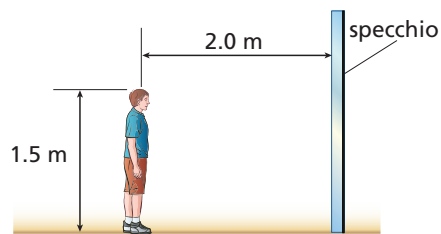
► Ciò è dovuto al fatto che:

- A la luce proveniente dalla parte immersa dell'asticciola viene parzialmente riflessa dalla superficie dell'acqua.
- B i raggi di luce provenienti dall'occhio che guarda sono rifratti alla superficie di separazione dell'aria dall'acqua.
- C l'acqua è sempre meno profonda di quanto non appaia a chi la guardi dall'alto.
- D la luce proveniente dalla parte immersa dell'asticciola viene rifratta nel passaggio dall'acqua all'aria.
- E l'occhio può ricevere solamente la luce contenuta in un cono abbastanza stretto.

(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 1995)

- 9** Una persona si trova in piedi a 2 m da uno specchio piano, come mostrato in figura.

► Quanto è lontana dalla persona la sua immagine?



- A 2 m
- B 3 m
- C 3,5 m
- D 4 m

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

LA FISICA DEL CITTADINO

SPECCHIETTI RETROVISORI

In diversi Paesi gli specchietti retrovisori delle auto posti dalla parte del passeggero portano la scritta «gli oggetti nello specchio sono più vicini di come appaiono» (fotografia sotto).



Robert Coussé - Baker 2009

Ciò significa che l'immagine riflessa è più piccola dell'oggetto reale alla stessa distanza.

Domanda 1: secondo te, che tipo di specchio è utilizzato per costruire gli specchietti retrovisori?

Domanda 2: per quale motivo gli specchietti sono costruiti in quel modo?

Domanda 3: a tuo parere, perché si scrive quell'avvertenza sugli specchi?