

L'OTTICA

(dal greco *optiché* = *arte del guardare*)

L'*ottica* è quella parte della Fisica che studia quella categoria di fenomeni che noi consideriamo determinati da un particolare agente fisico chiamato *luce*.

L'ottica viene comunemente divisa in due parti:

- *ottica geometrica*, che studia la propagazione della luce senza fare alcuna ipotesi sulla sua natura, basandosi essenzialmente sul concetto di raggio luminoso e sulle leggi della riflessione e rifrazione della luce;
- *ottica ondulatoria*, che studia la propagazione della luce, partendo dall'ipotesi che essa avvenga per mezzo di onde.

Esistono, per altro, alcuni fenomeni, come quelli che riguardano l'emissione e l'assorbimento della luce da parte della materia, che non possono essere interpretati con l'ipotesi ondulatoria.

(Accenneremo brevemente a tali fenomeni quando tratteremo della struttura elettrica della materia).

■ LA LUCE

La luce è un'*onda elettromagnetica* le cui frequenze vanno da $4 \cdot 10^{14}$ Hz a $8 \cdot 10^{14}$ Hz circa. In un mezzo omogeneo e isotropo la luce si propaga, in ogni direzione, in linea retta.

La luce è definita *onda* perché si comporta come tale. Infatti dà luogo a fenomeni, quali l'interferenza, la diffrazione, la polarizzazione, che sono caratteristici delle onde.

■ LA NATURA DELLA LUCE

Fin dall'antichità l'uomo si è interrogato sulla natura della luce e ha proposto varie interpretazioni di tale fenomeno.

Fino alla metà del 1600 l'ipotesi più accreditata è stata quella secondo la quale la luce è un insieme di corpuscoli (*teoria corpuscolare della luce*).

Secondo tale teoria, sostenuta principalmente da **Isaac Newton**, i corpuscoli, partendo dalla sorgente e muovendosi in linea retta, rimbalzerebbero su alcuni corpi (*corpi opachi*) e ne attraverserebbero altri (*corpi trasparenti*).

Infine, penetrando nell'occhio, vi stimolerebbero la sensazione visiva.

Intorno alla metà del 1600 un italiano, padre **Grimaldi**, osservò per primo che il fenomeno della diffrazione non era spiegabile mediante l'ipotesi corpuscolare.

Incominciò così a farsi strada l'idea che la natura della luce fosse di tipo ondulatorio (*teoria ondulatoria della luce*) e nel 1670 lo scienziato olandese **Christian Huygens** avanzò l'ipotesi che la luce fosse costituita da *onde elastiche* che trasportavano energia e non materia.

In effetti, mentre la teoria corpuscolare permetteva di spiegare solo alcuni fenomeni ottici, quali la riflessione e la rifrazione, la teoria ondulatoria consentiva di spiegare tutti i fenomeni ottici.

Quindi, quale delle due teorie della luce si presta meglio a interpretare i fenomeni luminosi? La risposta a questo interrogativo è parziale. Infatti la luce ha un comportamento che, in un certo senso, è « ambiguo »: in certe situazioni si comporta come fosse costituita da onde, in altre come se fosse costituita da corpuscoli di energia, chiamati **fotoni**, simili in qualche modo alle particelle immaginate da Newton.

Questa « dualità » della luce costituisce uno dei problemi più affascinanti e sconcertanti della fisica moderna.

OTTICA GEOMETRICA

■ SORGENTI DI LUCE

Sono **sorgenti di luce** tutti i corpi che emettono luce propria (*sorgenti primarie o corpi luminosi*).



Ad esempio, sono sorgenti di luce il Sole, la fiamma di una candela, il filamento incandescente di una lampadina, ...

Sono sorgenti artificiali tutte le sostanze che riscaldate ad una temperatura superiore agli 800 °C emettono luce.

Gli oggetti che ci circondano sono visibili perché inviano ai nostri occhi la luce che ricevono da una sorgente primaria e si chiamano **corpi illuminati**.



Un esempio caratteristico è la **Luna** che diffonde la luce che riceve dal Sole.

■ CORPI TRASPARENTI E OPACHI

Alcuni corpi, come un muro o una lastra di metallo, che non si lasciano attraversare dalla luce sono detti **opachi**; altri invece, come il vetro e l'acqua, che si lasciano attraversare dalla luce si chiamano **trasparenti**.

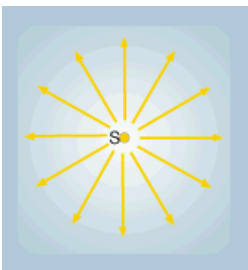
La trasparenza o l'opacità di un corpo non dipendono solo dalla sostanza di cui esso è costituito, ma anche dal suo spessore e dallo stato della sua superficie.

I metalli, per esempio l'oro, ridotti in lamine sottilissime lasciano passare la luce; al contrario l'acqua, in forti spessori, assorbe completamente la luce, per cui nel mare, alla profondità di 500 metri, si ha buio anche in pieno giorno. Anche il vetro può diventare opaco sotto un spessore considerevole. Quando si parla quindi di corpi opachi o trasparenti è solo questione di grado.

D'altra parte, non tutti i corpi considerati trasparenti lo sono allo stesso modo: alcuni lasciano vedere i contorni degli oggetti, altri no.

I primi si dicono **diafani**, i secondi **traslucidi** o **pellucidi**. Sono esempi di corpi traslucidi il vetro smerigliato, la carta oleata, alcune porcellane.

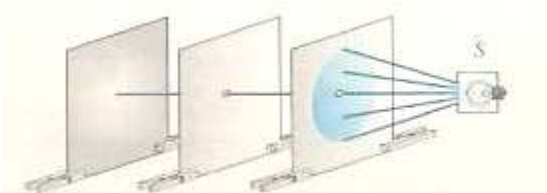
■ PROPAGAZIONE RETTILINEA DELLA LUCE



La luce si propaga nell'aria in linea retta.

La stessa cosa avviene in qualunque altro mezzo trasparente e omogeneo.

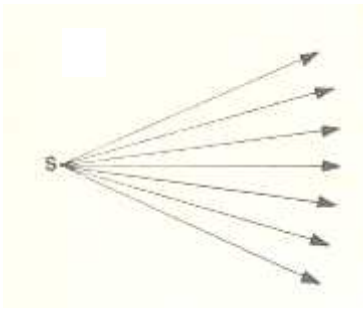
Interponendo uno schermo opaco tra una sorgente luminosa di piccole dimensioni e il nostro occhio, non vediamo la luce.



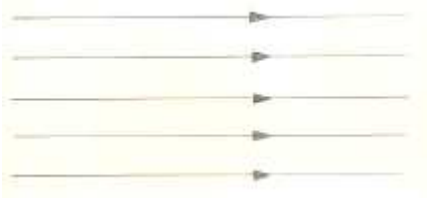
Ma se lo schermo è forato, e il foro è allineato con la sorgente e la pupilla del nostro occhio, noi possiamo vedere la

luce. Un altro schermo forato interposto tra il primo schermo e l'occhio, ci farà giungere la luce solo se il suo foro è allineato con il primo foro e la sorgente.

La direzione secondo la quale si propaga la luce si chiama **raggio luminoso**.



Un insieme di raggi luminosi condotti per uno stesso punto S costituisce un **fascio conico** di raggi.



Se i raggi sono rettilinei e paralleli, il fascio si dice **parallelo** o cilindrico.

In particolare si chiama **pennello luminoso** un fascio parallelo di luce, poco esteso trasversalmente.

■ CONSEGUENZE DELLA PROPAGAZIONE RETTILINEA DELLA LUCE

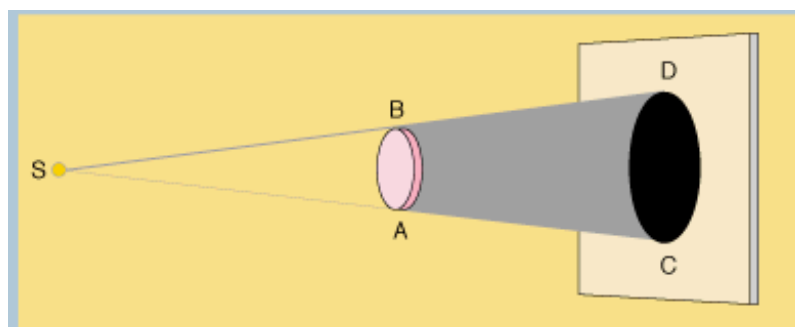
La propagazione rettilinea della luce permette di spiegare l'esistenza delle ombre, le eclissi e la formazione delle immagini in una camera oscura.

– L'OMBRA



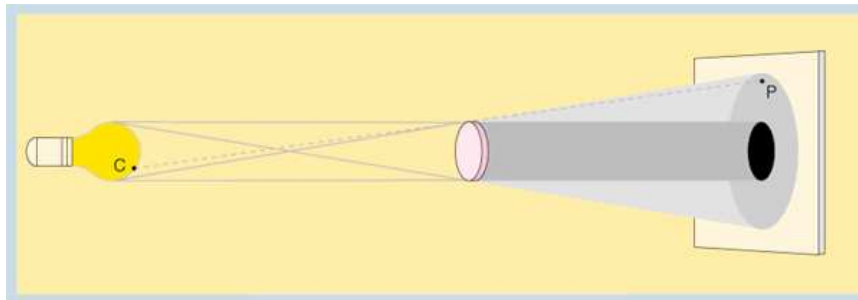
– Sorgente puntiforme

L'ombra sullo schermo è a contorno marcato.



- **Sorgente estesa**

L'ombra sullo schermo non ha un contorno marcato, ma si passa gradualmente dall'ombra completa alla luce piena attraverso la regione della penombra.

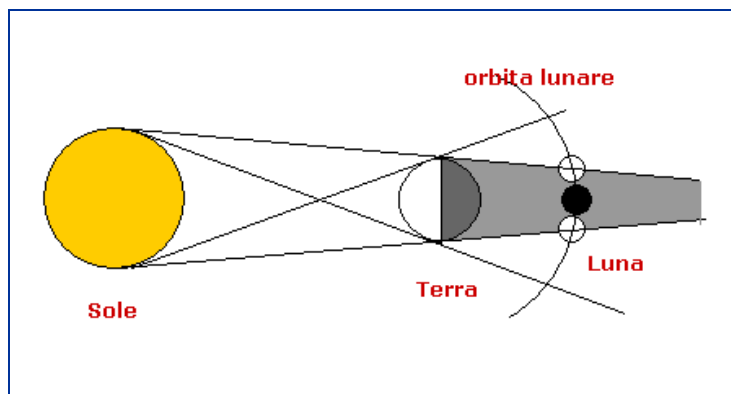


- **ECLISSI**

Quando il Sole, la Terra e la Luna sono perfettamente allineati, si ha una eclisse di Sole o di Luna

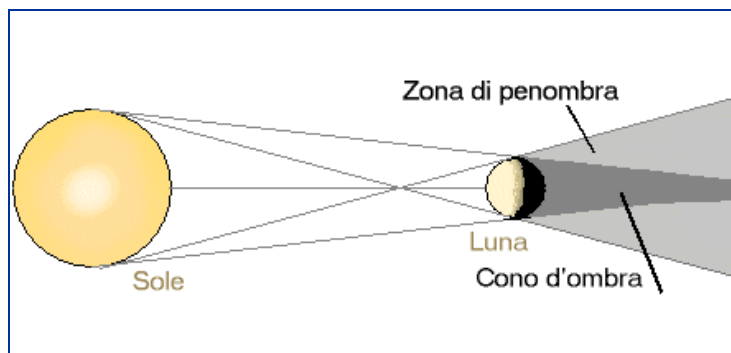
- **Eclisse di Luna**

Se la Terra si interpone fra la Luna e il Sole proiettando la propria ombra sulla Luna, che viene così oscurata, si ha un' **eclisse di Luna**.



- **Eclisse di Sole**

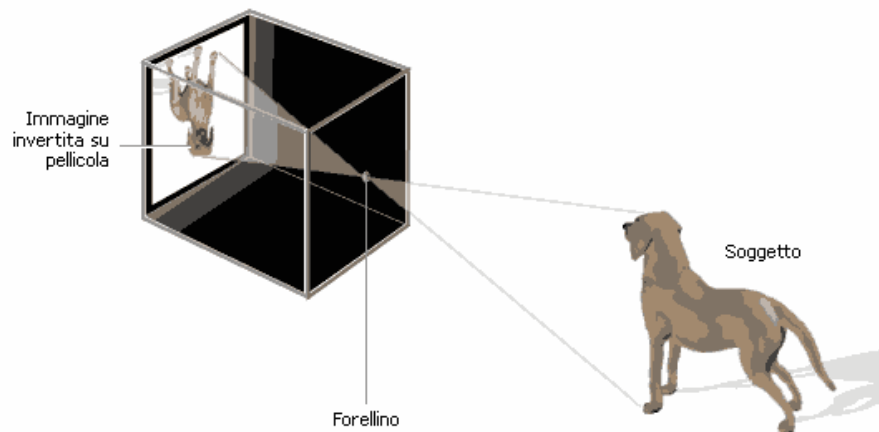
Se invece è la Luna a trovarsi interposta fra Terra e Sole, essa proietta la propria ombra sulla Terra, oscurando il Sole: si ha così un' **eclisse di Sole**.



– CAMERA OSCURA

È costituita da una scatola a pareti annerite con un piccolo foro al centro di una faccia e la parete opposta costituita da una lastra di vetro smerigliato.

Ponendo un oggetto fortemente illuminato davanti al foro, si vedrà sul vetro l'immagine capovolta dell'oggetto.

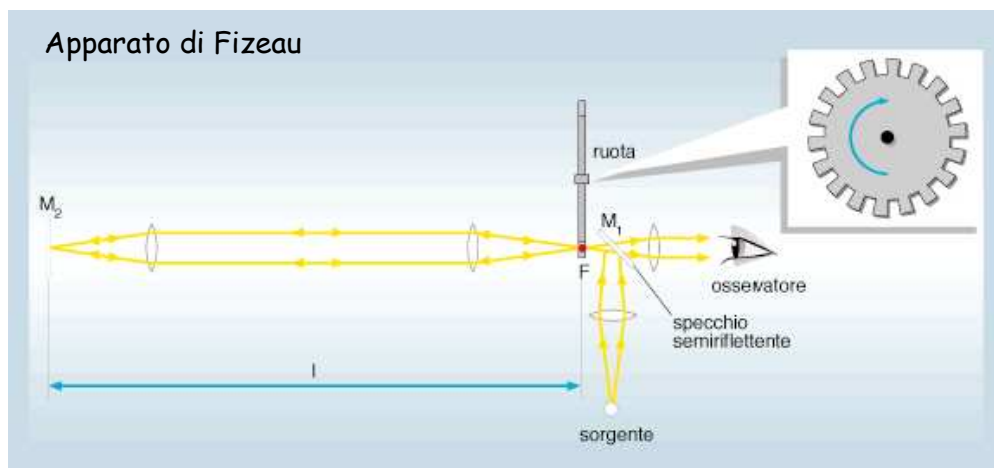


■ VELOCITÀ DELLA LUCE

Nell'antichità si pensava che la luce si propagasse istantaneamente, ovvero che la sua velocità non fosse calcolabile.

Solo nel 1676 l'astronomo danese Rømer riuscì a dimostrare, su basi astronomiche, che la luce ha una velocità finita.

Nel 1849 il fisico francese Fizeau riuscì a determinare, non più su basi astronomiche ma terrestri, il valore (313 000 km/s) della velocità della luce.



Il primo vero metodo di laboratorio fu quello di Foucault, perfezionato poi, nel 1923, dallo statunitense A. Michelson che trovò il valore di $2,997930 \cdot 10^8$ m/s.

Il valore della velocità della luce *nel vuoto* oggi ricavato è:

$$c = 2,997925 \times 10^8 \text{ m/s}$$

e *nell'aria* con velocità di pochissimo inferiore.

Per entrambe queste velocità si assume di solito il valore approssimato

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 300000 \text{ km/s.}$$

■ INTENSITÀ LUMINOSA E INTENSITÀ DI ILLUMINAZIONE

Tutti i corpi colpiti dalla luce proveniente da una sorgente ottica si riscaldano. Ciò significa che la sorgente ottica trasferisce a tali corpi, mediante la luce, una certa quantità di energia.

A tale proposito si definisce **intensità luminosa di una sorgente** l'energia che la sorgente emette nell'unità di tempo.

Si definisce **intensità di illuminazione** di una superficie l'energia trasferita a una superficie di 1 m^2 in un secondo.

L'unità di intensità luminosa è la **candela (cd)**: è 1/60 della radiazione emessa da 1 cm^2 di superficie totalmente assorbente portato alla temperatura di fusione del platino.

L'unità di intensità di illuminazione è il **lux (lx)**: è l'illuminazione prodotta da una sorgente luminosa pari a 1 candela su una superficie normale alla direzione dei raggi, posta a 1 metro di distanza.

Il confronto tra le intensità luminose di due sorgenti, che emettano luce

dello stesso colore, viene fatto indirettamente confrontando le illuminazioni che esse producono su uno schermo: a questo scopo si usano i **fotometri**.

Per mezzo del fotometro si trova sperimentalmente la **legge delle distanze**:

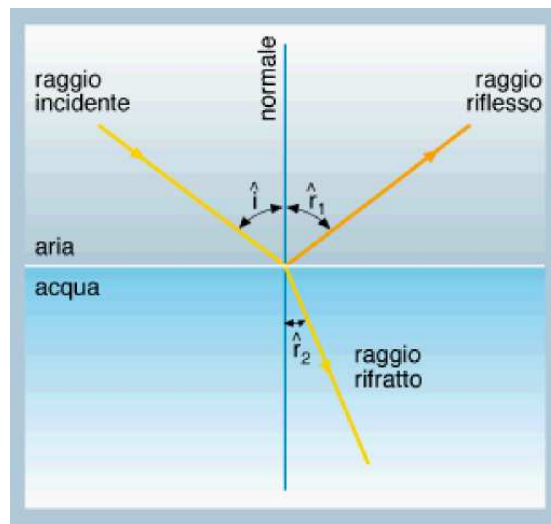
le intensità luminose di due sorgenti, che provocano una eguale illuminazione su uno schermo, sono proporzionali ai quadrati delle rispettive distanze dallo schermo.



FOTOMETRO DI BUNSEN

■ RIFLESSIONE

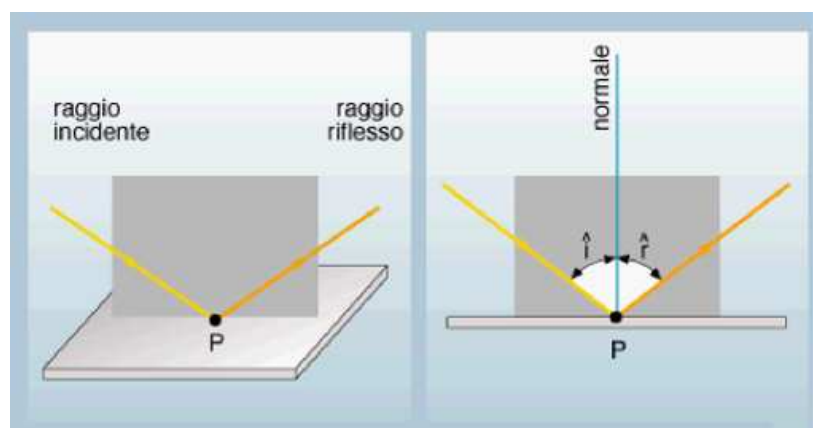
Un raggio di luce, che passi da un mezzo trasparente a un altro, si divide in un raggio riflesso che, fortemente deviato, si propaga nel primo mezzo, e un raggio rifratto, che si propaga nel secondo mezzo. Se il secondo mezzo è opaco, il raggio rifratto manca: la superficie di separazione dei due mezzi è una superficie riflettente, cioè è uno **specchio**.



Leggi della riflessione

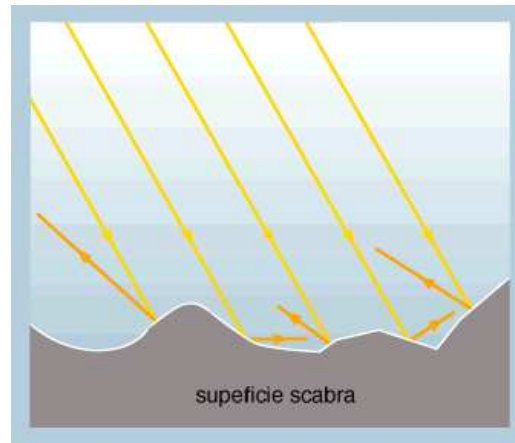
1° - *Il raggio incidente, il raggio riflesso e la normale alla superficie riflettente nel punto di incidenza giacciono in uno stesso piano.*

2° - *Gli angoli di incidenza e di riflessione sono uguali.*



■ DIFFUSIONE

Un fascio di luce che incide su di una superficie scabra (cioè irregolare) viene diffuso, cioè i raggi che lo compongono vengono riflessi in diverse direzioni.



■ RIFRAZIONE

Un raggio di luce, nel passaggio da un mezzo trasparente ad un altro cambia la sua direzione.

Leggi della rifrazione

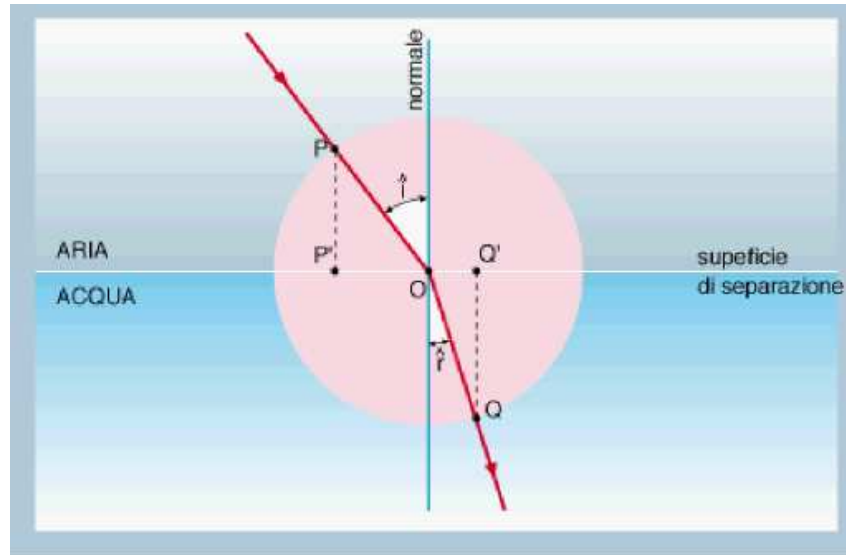
1° - Il raggio incidente, il raggio rifratto e la normale alla superficie di separazione di due mezzi trasparenti nel punto di incidenza stanno nello stesso piano.

2° - Il rapporto tra i seni dei due angoli, di incidenza e di rifrazione, è costante:

$$\frac{\text{sen}\hat{i}}{\text{sen}\hat{r}} = n_{AB}$$

n_{AB} è l'indice di rifrazione del mezzo B (in cui entra la luce) relativo al mezzo A (da cui la luce proviene).

Se $n_{AB} > 1 \Rightarrow$ il secondo mezzo B è più rifrangente del mezzo A e il raggio rifratto si avvicina alla normale.



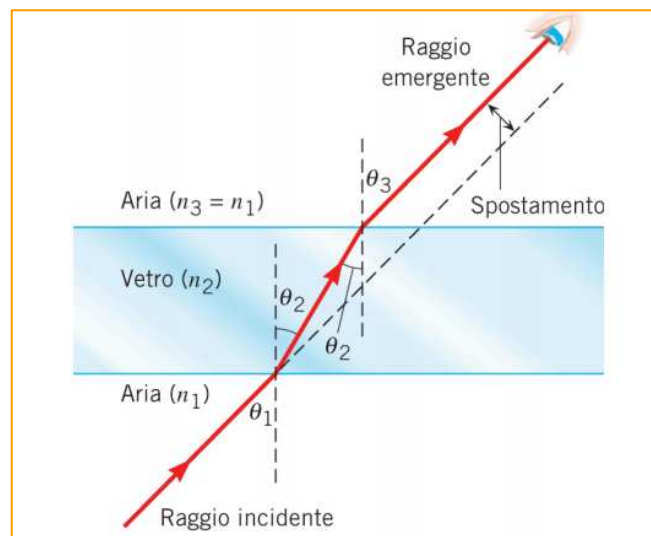
Se $n_{AB} < 1 \Rightarrow$ il secondo mezzo B è meno rifrangente del mezzo A e il raggio rifratto si allontana dalla normale.

Indice di rifrazione di alcune sostanze					
Solidi a 20 °C		Liquidi a 20 °C		Gas a 0 °C, 1 atm	
Cloruro di sodio	1,544	Acqua	1,333	Aria	1,000 293
Diamante	2,419	Alcol etilico	1,362	Biossido di carbonio	1,000 45
Ghiaccio (a 0 °C)	1,309	Benzene	1,501	Idrogeno (H ₂)	1,000 271
Quarzo cristallino	1,544	Bisolfuro di carbonio	1,632	Ossigeno (O ₂)	1,000 139
Quarzo fuso	1,458	Tetracloruro di carbonio	1,461		
Vetro (ottico)	1,523				

Quando la luce penetra in un mezzo trasparente provenendo dal vuoto, l'indice di rifrazione si chiama **indice di rifrazione assoluto** del mezzo.

– RIFRAZIONE E LASTRA DI VETRO

Un raggio luminoso che incide su una lamina a facce piane e parallele emerge dalla lamina in direzione parallela a quella del raggio incidente.



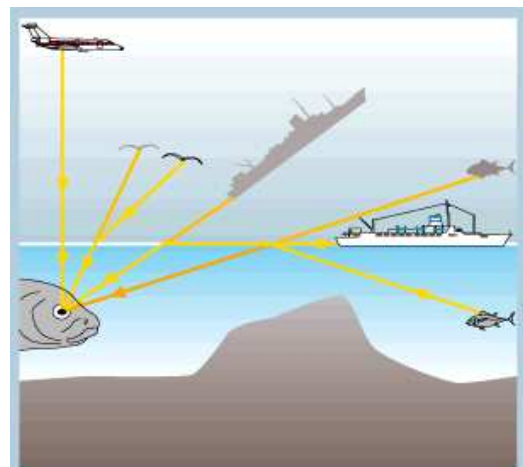
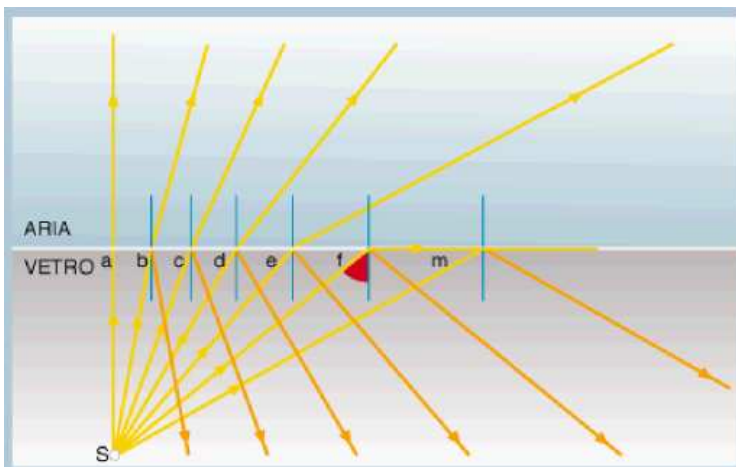
■ RIFLESSIONE TOTALE

Quando la luce passa da un mezzo più rifrangente a uno meno rifrangente, esiste sempre un particolare angolo di incidenza, per cui il raggio rifratto è radente alla superficie di separazione dei due mezzi; esso si chiama **angolo limite**.

Se l'angolo di incidenza è maggiore dell'angolo limite, il raggio rifratto manca e si ha soltanto il raggio riflesso: è questo il fenomeno della **riflessione totale**.

Il seno dell'angolo limite è pari al rapporto dell'indice di rifrazione assoluto n_A del mezzo meno rifrangente all'indice n_B del mezzo più rifrangente.

$$\text{seni}_{\hat{i}_L} = \frac{n_A}{n_B}$$



– APPLICAZIONI DELLA RIFLESSIONE TOTALE

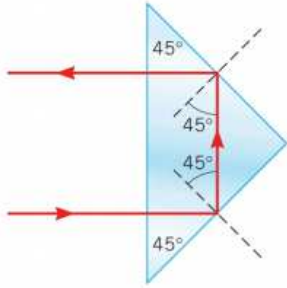
Il prisma a riflessione totale (prismi di Amici e di Porro)

Si dice *prisma*, un sistema ottico formato da un mezzo omogeneo e trasparente limitato da due facce piane e non parallele.

Un raggio luminoso che incide sulla faccia di un prisma viene deviato, penetrando nell'interno del prisma per emergere o essere totalmente riflesso.

Esistono due tipi di *prismi a riflessione totale*: il prisma di Porro e quello di Amici.

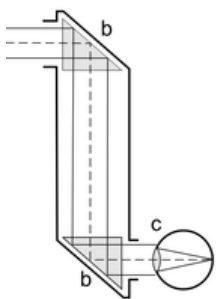
○ Il prisma di Porro



Quando la luce giunge perpendicolarmente su una delle facce del prisma, arriva sulla faccia opposta obliqua con un angolo di 45° . Essendo questo angolo maggiore dell'angolo limite del vetro che è di 42° , la luce è totalmente riflessa dentro il prisma ed emerge dalla sua seconda faccia con una deviazione totale di 90° rispetto al raggio incidente. Quindi il raggio emergente è parallelo al raggio incidente.

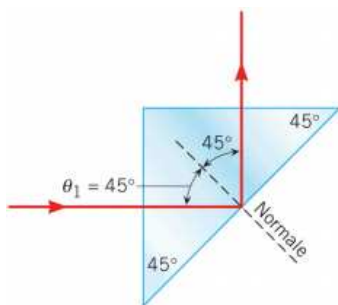
È grazie a questo tipo di prisma che si è potuti arrivare alla costruzione dei periscopi, strumenti importanti per le osservazioni effettuate da posizioni nascoste, come per esempio dai sottomarini.

È grazie a questo tipo di prisma che si è potuti arrivare alla costruzione dei periscopi, strumenti importanti per le osservazioni effettuate da posizioni nascoste, come per esempio dai sottomarini.



Nel periscopio sono presenti almeno due prismi collocati in modo tale che il raggio uscente dal primo arrivi al secondo, opportunamente inclinato, e possa farlo riuscire in direzione perpendicolare rispetto al raggio in entrata.

○ Il prisma di Amici



Anche in questo caso la luce incide a 45° e si ha una riflessione totale.

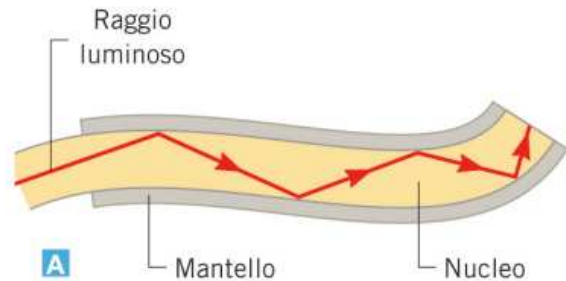
– Fibre ottiche

Le fibre ottiche sono dei sottilissimi fili di vetro o di plastica, molto trasparenti alla luce, a sezione cilindrica, flessibili, con uno svariatissimo campo di applicazioni nei settori della medicina, dell'astronomia, delle telecomunicazioni, e perfino dell'arredamento.

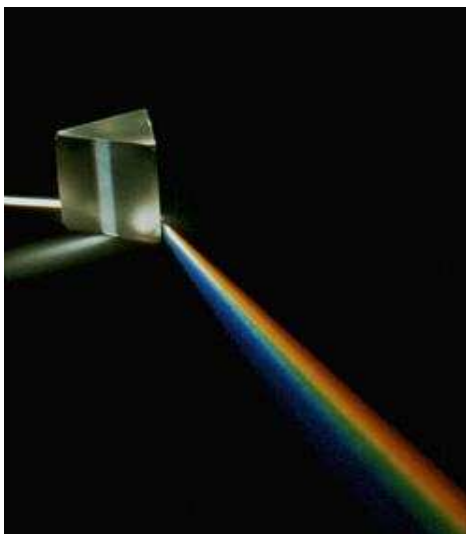
Sono costituite da una parte centrale detta *core* (nucleo) e da una parte esterna detta *cladding* (mantello) e realizzate in silice, che è il costituente principale del comune vetro, e da una guaina protettiva.

La luce, una volta immessa nella fibra, vi rimane intrappolata perché i raggi incidono sempre con un angolo superiore all'angolo limite.

La luce viene immessa nella fibra ottica ad una estremità e, attraverso riflessioni successive, arriva all'altra estremità.



■ LA DISPERSIONE DELLA LUCE



Se sul prisma incide un sottile fascio di luce bianca, dall'altra parte emerge un fascio più spesso e colorato. Nell'ordine si distinguono il rosso, l'arancione, il giallo, il verde, l'indaco e il violetto.

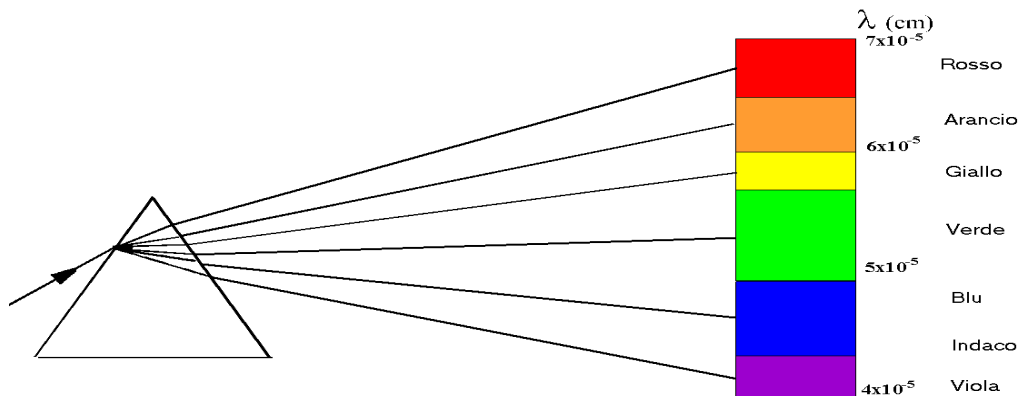
Questo fenomeno è noto come dispersione della luce.

Un raggio di luce di un solo colore, che incide sulla faccia di un prisma di vetro a sezione triangolare, subisce due rifrazioni. Una quando passa dall'aria al vetro e l'altra quando passa dal vetro all'aria, dopo aver attraversato il prisma.



Colore	Indice di rifrazione n
Rosso	1,520
Arancione	1,522
Giallo	1,523
Verde	1,526
Blu	1,531
Violetto	1,538

I raggi luminosi di colori diversi sono deviati verso il basso con angoli diversi.



Il fenomeno della dispersione della luce fu studiato da Newton nella seconda metà del Seicento. Egli chiamò spettro la striscia colorata di luce in cui si divide la luce bianca.

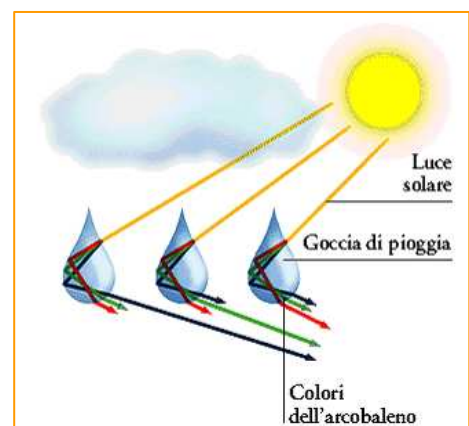
– ARCOBALENO



La dispersione della luce si verifica anche in natura con il fenomeno dell'arcobaleno.

L'arcobaleno è dovuto alla dispersione ottica della luce solare ossia da una serie di successive rifrazioni e riflessioni della luce solare nelle gocce di acqua piovana.

Ogni gocciolina d'acqua funge da prisma scomponendo la luce bianca proveniente dal Sole. Il raggio di luce solare subisce una rifrazione nell'attraversare, entrando, la superficie della goccia d'acqua, separandosi quindi nei colori dello spettro, e poi questi incidono, dall'interno, sulla seconda superficie con un angolo maggiore dell'angolo limite. Quindi si riflettono totalmente, per poi uscire di nuovo in aria all'indietro, dalla stessa parte cioè da cui è entrato il raggio originario. In questo modo si ottiene la separazione nei colori componenti del raggio di sole e si vede l'arcobaleno.



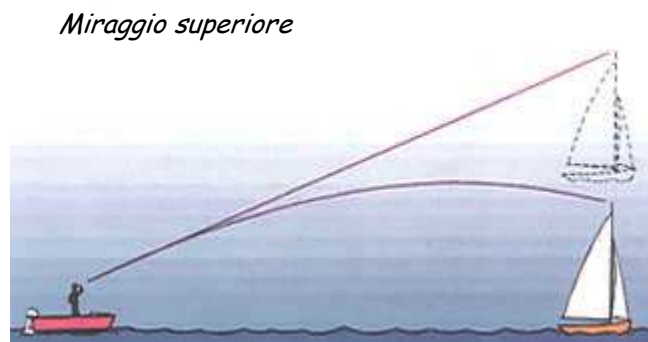
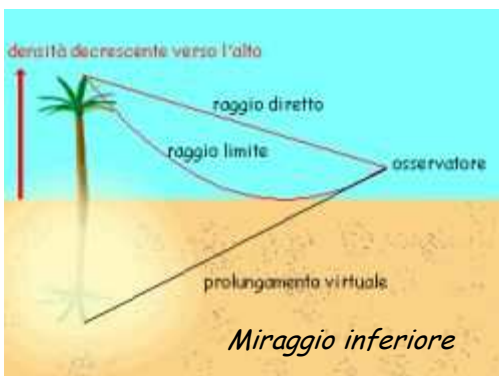
I vari colori dell'arcobaleno si hanno perché i raggi di diverso colore (diversa lunghezza d'onda) non sono deviati dello stesso angolo: in questo modo la luce solare incidente, normalmente bianca, viene scomposta nei suoi costituenti dal rosso al violetto.

– IL MIRAGGIO

Il miraggio è dovuto a fenomeni di rifrazione e riflessione totale della luce solare.

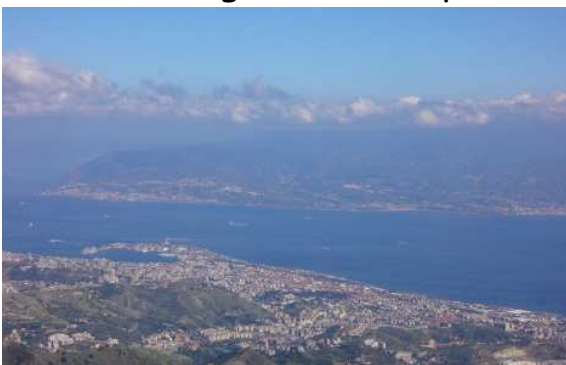
Il miraggio si verifica quando la luce solare incontra uno strato d'aria più calda rispetto agli strati sovrastanti dove l'aria è più fredda e di densità maggiore. Così i raggi di luce subiscono una riflessione totale ed è possibile vedere le immagini come se fossero riflesse al suolo.

Esistono vari tipi di miraggio: *inferiore* (l'immagine appare riflessa inferiormente), *superiore* (l'immagine appare riflessa superiormente), *multiplo* (diversi effetti di miraggio inferiore e superiore si sommano e le immagini degli oggetti all'orizzonte vengono allungate verso l'alto; è anche chiamato fata morgana).



La Fata Morgana

La Fata Morgana, è un tipo di miraggio in cui l'immagine apparente muta velocemente forma; viene così chiamato per la caratteristica di riprodurre un oggetto lontano come se fosse sospeso nel cielo e capovolto, proprio come le apparizioni dell'omonimo personaggio della mitologia celtica.



In Italia, questo raro fenomeno si manifesta nelle calde giornate estive dalla costa calabrese dello Stretto di Messina.