

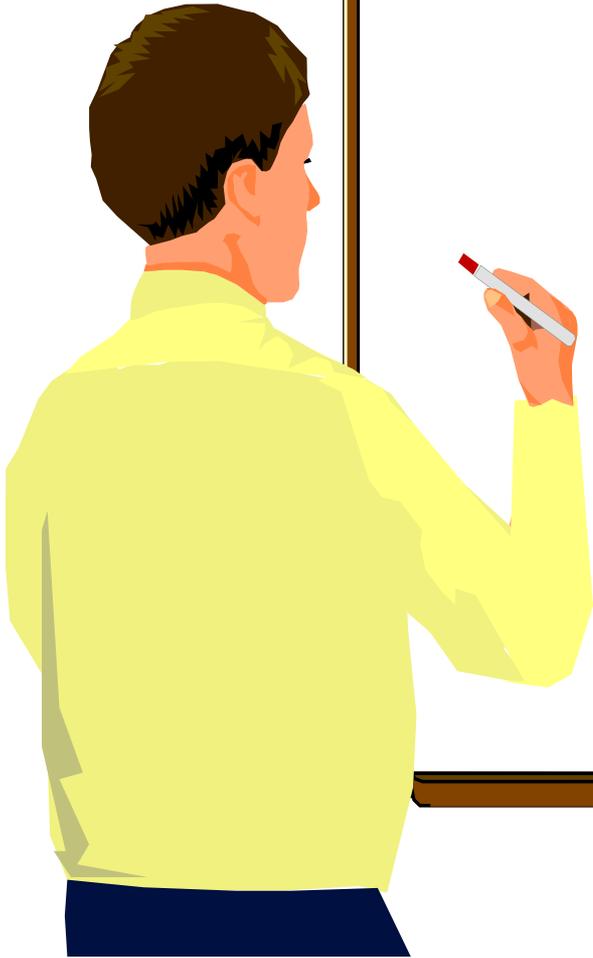
FISICA

Onde

Le onde luminose

Autore: prof. Pappalardo Vincenzo

*docente di **Matematica e Fisica***



MODELLO CORPUSCOLARE E ONDULATORIO

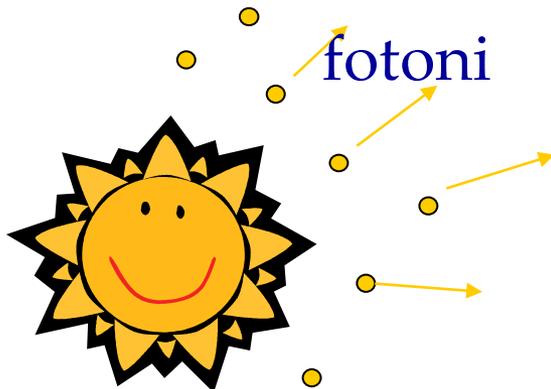
Già gli antichi filosofi greci si erano posti il problema della natura della luce: essi ritenevano che la luce fosse costituita da particelle piccolissime capaci di stimolare il senso della vista, una volta a contatto con gli occhi. Nei secoli successivi questa ipotesi fu sostanzialmente accettata, anche se non si riusciva a separare il concetto fisico della luce dall'aspetto biologico della visione.

Solo a partire dalla seconda metà del Seicento si tentò di capire e interpretare la natura fisica della luce. Iniziò così una lunga controversia scientifica, durata quasi due secoli, che vedeva contrapposti due modelli fondamentali: **il modello corpuscolare** (proposto da **Newton**) e **quello ondulatorio** (proposto da **Huygens**).

TEORIA CORPUSCOLARE

LA LUCE E' UN FLUSSO DI
PARTICELLE
MICROSCOPICHE

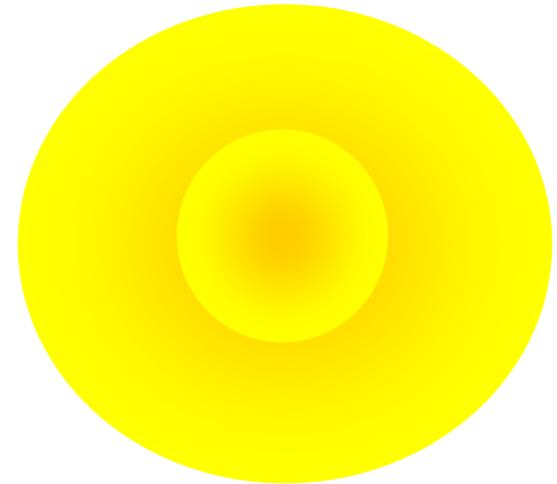
emesse a ritmo continuo dalle
sorgenti luminose



TEORIA ONDULATORIA

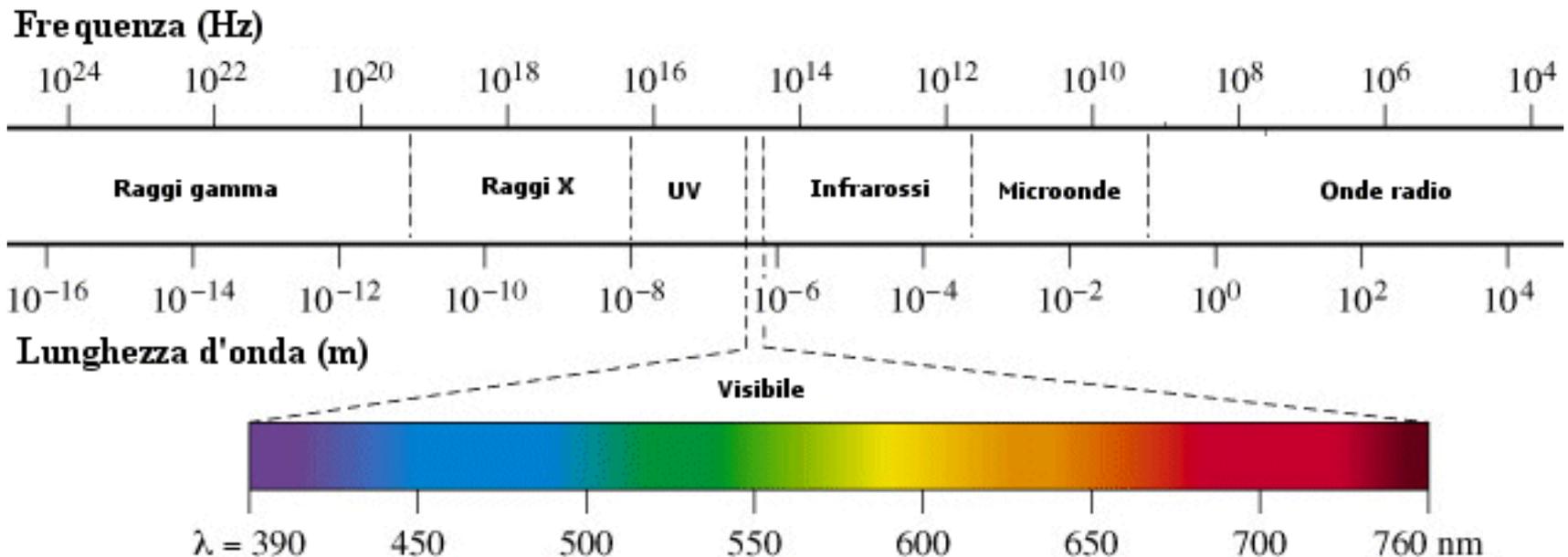
LA LUCE E' UN 'ONDA

che si propaga come le onde
meccaniche

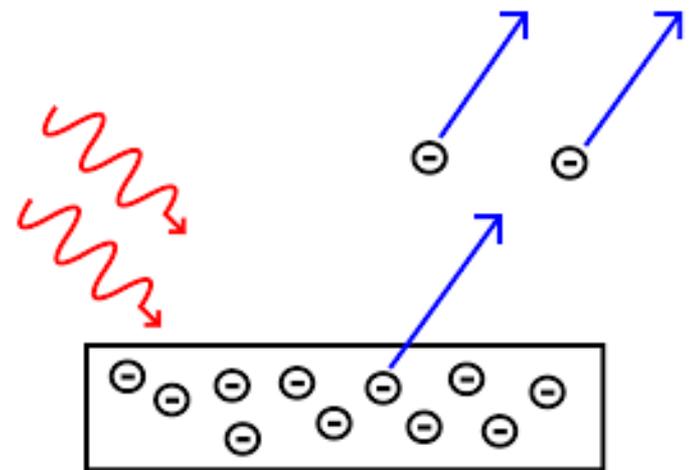


La luce non ha bisogno di alcun mezzo per propagarsi, nemmeno dell'etere.

L'esistenza dell'etere, ancora ammessa da Maxwell, fu negata, alla fine del XIX secolo, da Michelson e Morley, attraverso un famoso esperimento. Con Maxwell l'ottica diventò un capitolo dell'elettromagnetismo. Se infatti consideriamo tutto lo spettro delle onde elettromagnetiche, la luce non è che una frazione minima dello spettro, compresa all'incirca fra $0,8 \mu\text{m}$ e $0,4 \mu\text{m}$.



La disputa sembrava finita con la vittoria del modello ondulatorio, quando nel 1905 il quadro si complicò di nuovo. **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 la luce ha una doppia natura: corpuscolare e ondulatoria.

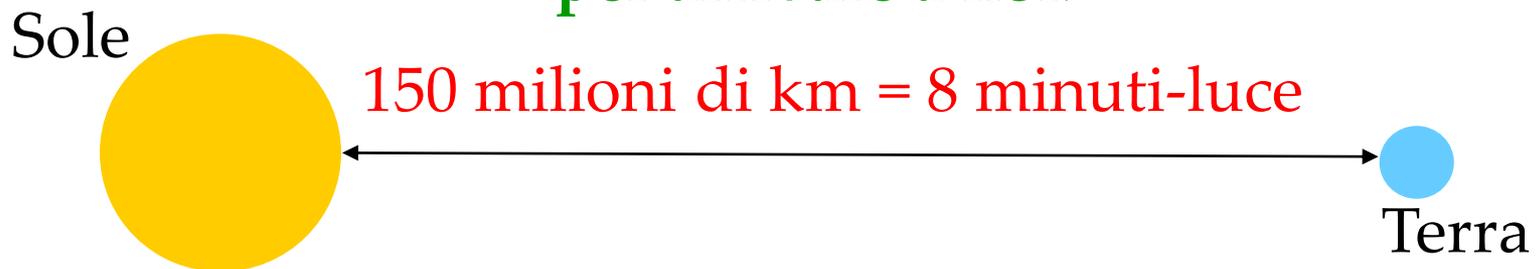
In certe situazioni fisiche la luce si comporta come un'onda, in altre come un insieme di corpuscoli.

velocità della luce

La luce può propagarsi in un mezzo trasparente (aria, vetro, acqua) ma anche nel VUOTO.

La sua velocità nel vuoto è 300.000 km/s

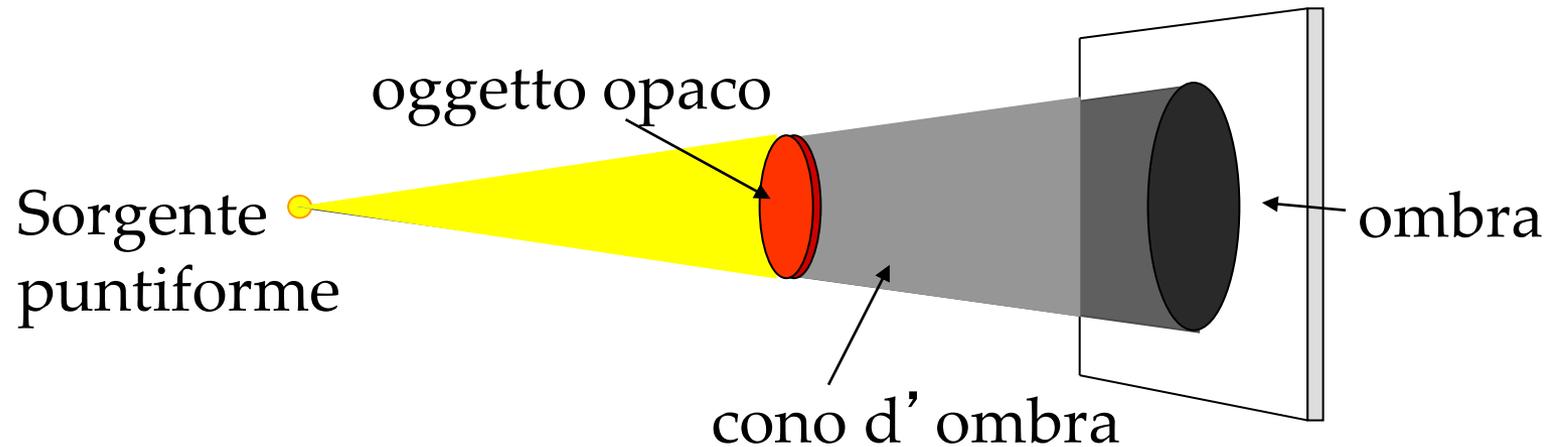
La luce proveniente dal sole impiega circa 8 minuti per arrivare a noi.



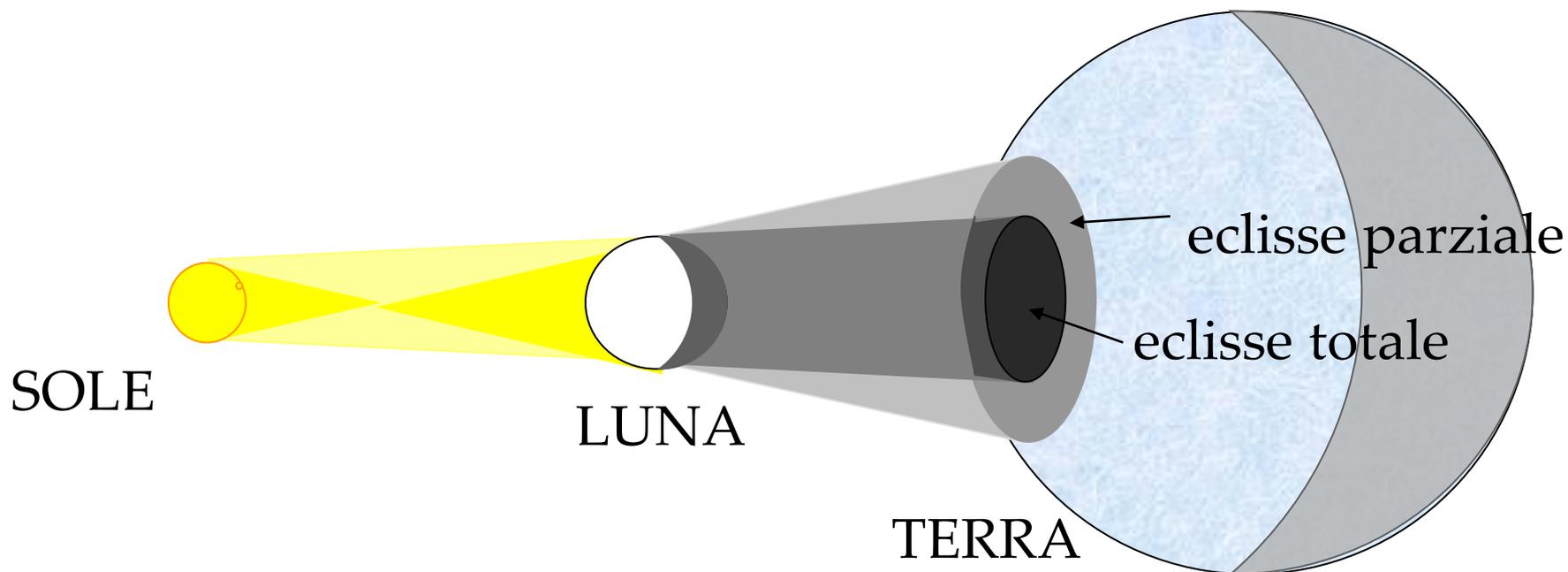
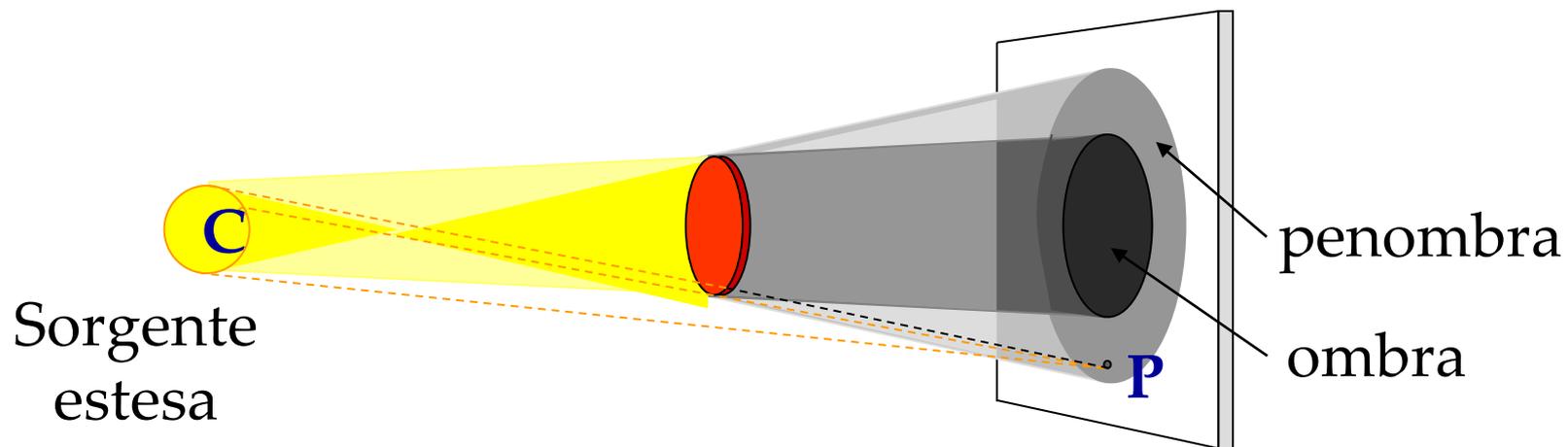
la propagazione della luce

la luce si propaga in linea retta

Grazie a questa caratteristica, possiamo spiegare la formazione delle ombre:

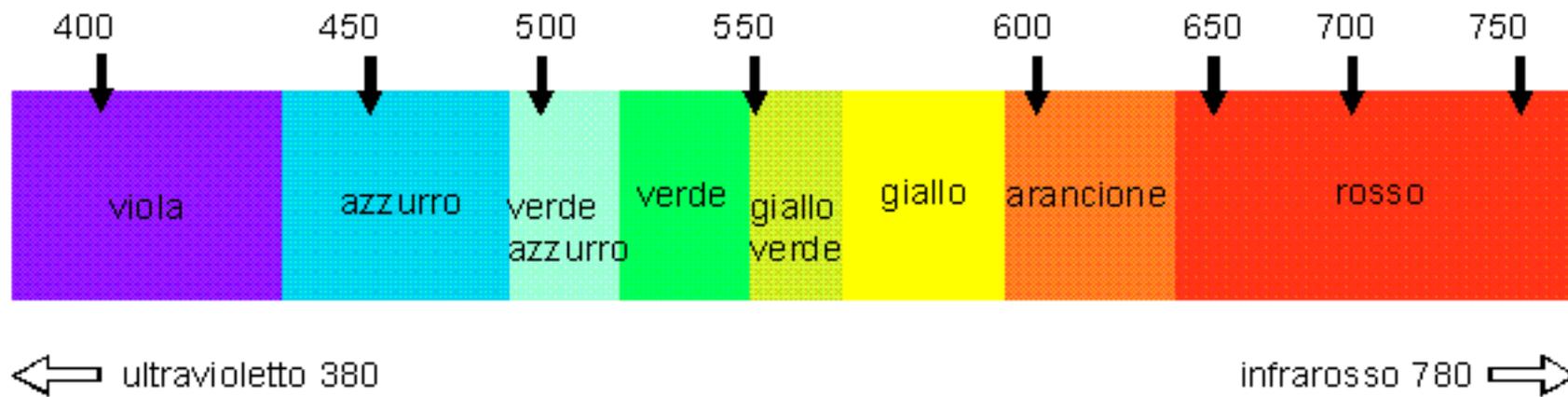


... e della penombra:



I COLORI E LUNGHEZZA D'ONDA

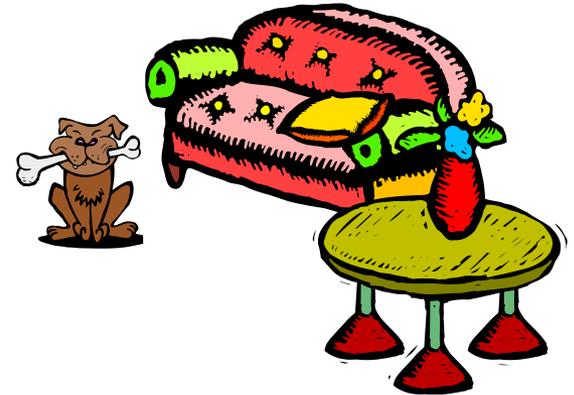
A ciascun colore della luce corrisponde una particolare lunghezza d'onda (o frequenza) dell'onda luminosa.



Perché vediamo gli oggetti?

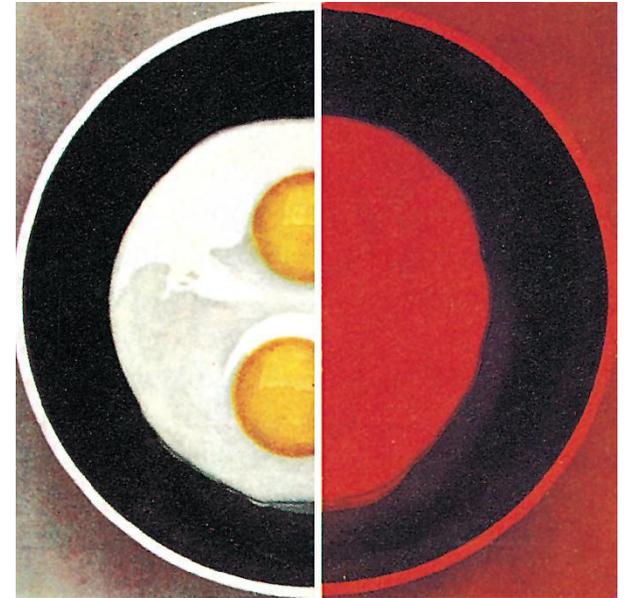
Noi vediamo gli oggetti perché da essi partono radiazioni luminose che giungono al nostro occhio

Una **SORGENTE LUMINOSA** emette luce propria, mentre gli **OGGETTI ILLUMINATI** diffondono in tutte le direzioni la luce da cui vengono investiti.



Perché hanno colori diversi?

Perché quando gli oggetti sono investiti da luce bianca, come quella del Sole o di una lampadina, assorbono alcuni colori e ne diffondono altri.



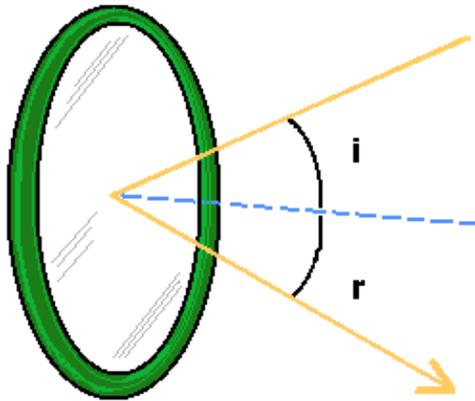
Quindi:

Il colore non è una proprietà tipica di un oggetto, ma dipende dalla luce che lo colpisce.

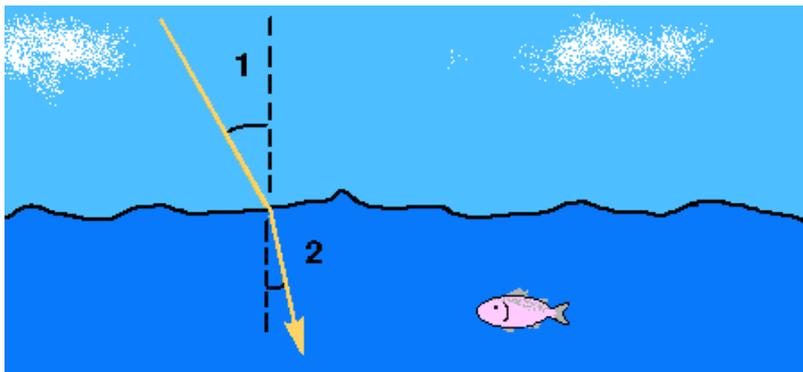
RIFLESSIONE E RIFRAZIONE

Cosa avviene quando la luce colpisce un oggetto?

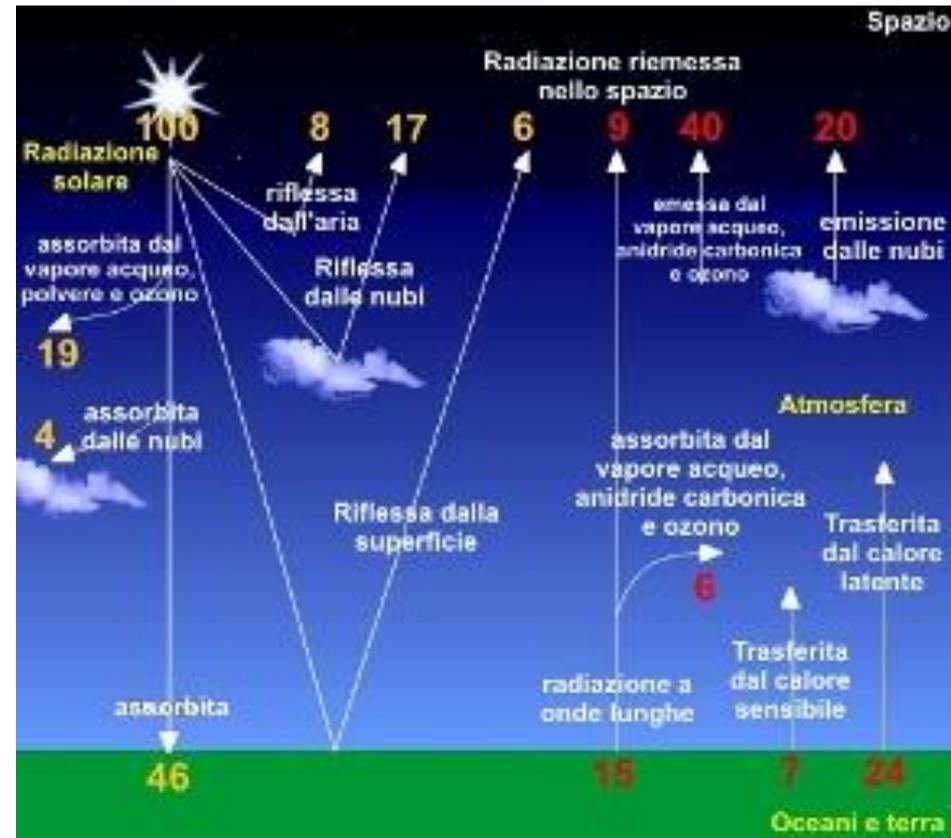
può essere riflessa



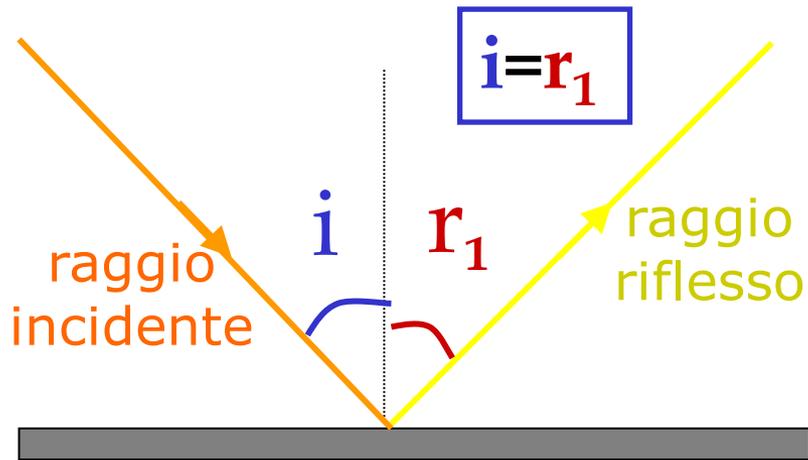
trasmessa



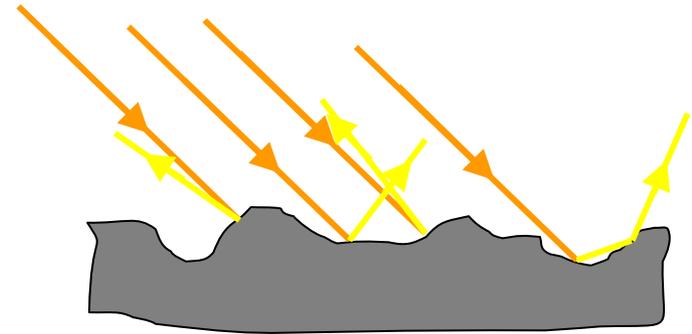
assorbita e poi riemessa



leggi della riflessione



Superficie riflettente liscia
(specchio)



Superficie scabra

1^a legge: il raggio incidente, il raggio riflesso e la normale alla superficie riflettente giacciono nello stesso piano.

2^a legge: l'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione:

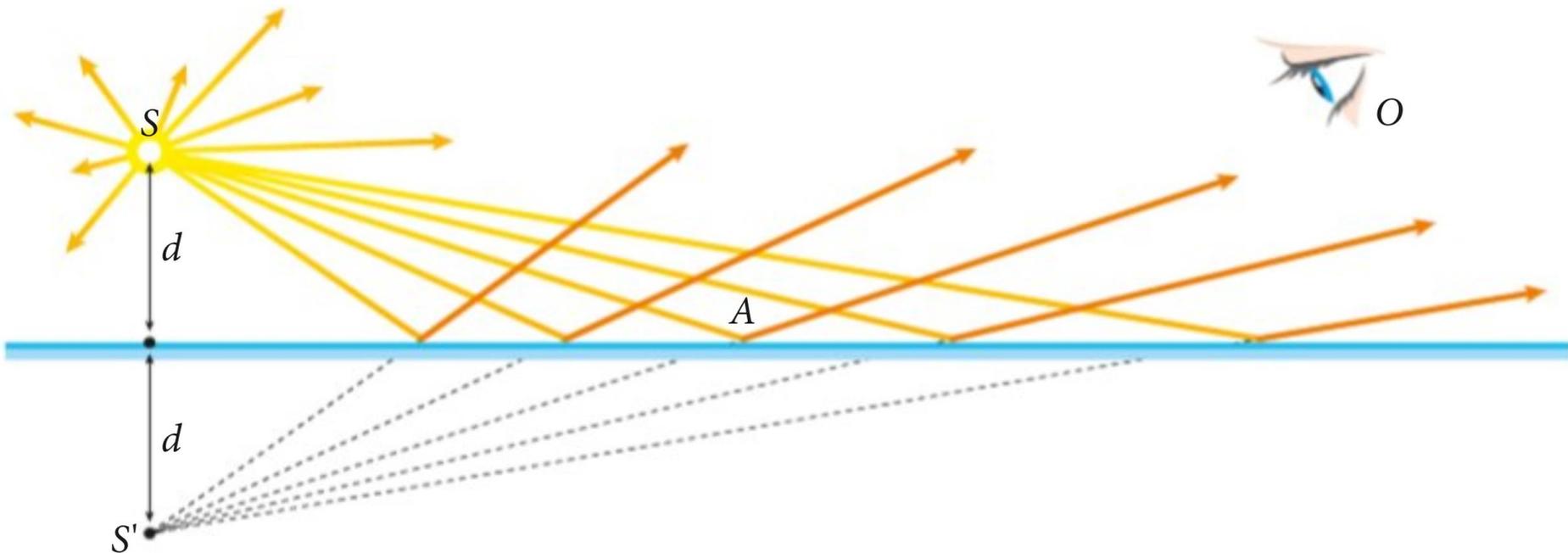
$$i = r_1$$

Specchi piani

Una sorgente puntiforme S irraggia luce in tutte le direzioni. Se la mettiamo davanti a uno specchio, oltre a ricevere i suoi raggi diretti, riceviamo anche quelli riflessi.

I raggi riflessi arrivano ai nostri occhi come se provenissero da un punto S' posto dietro lo specchio, alla stessa distanza d dalla superficie riflettente alla quale, davanti, si trova S .

- I raggi *diretti* ci fanno vedere la sorgente S come un punto luminoso.
- I raggi *riflessi* ci fanno vedere come un punto luminoso anche S' , che è l'immagine di S prodotta dallo specchio.

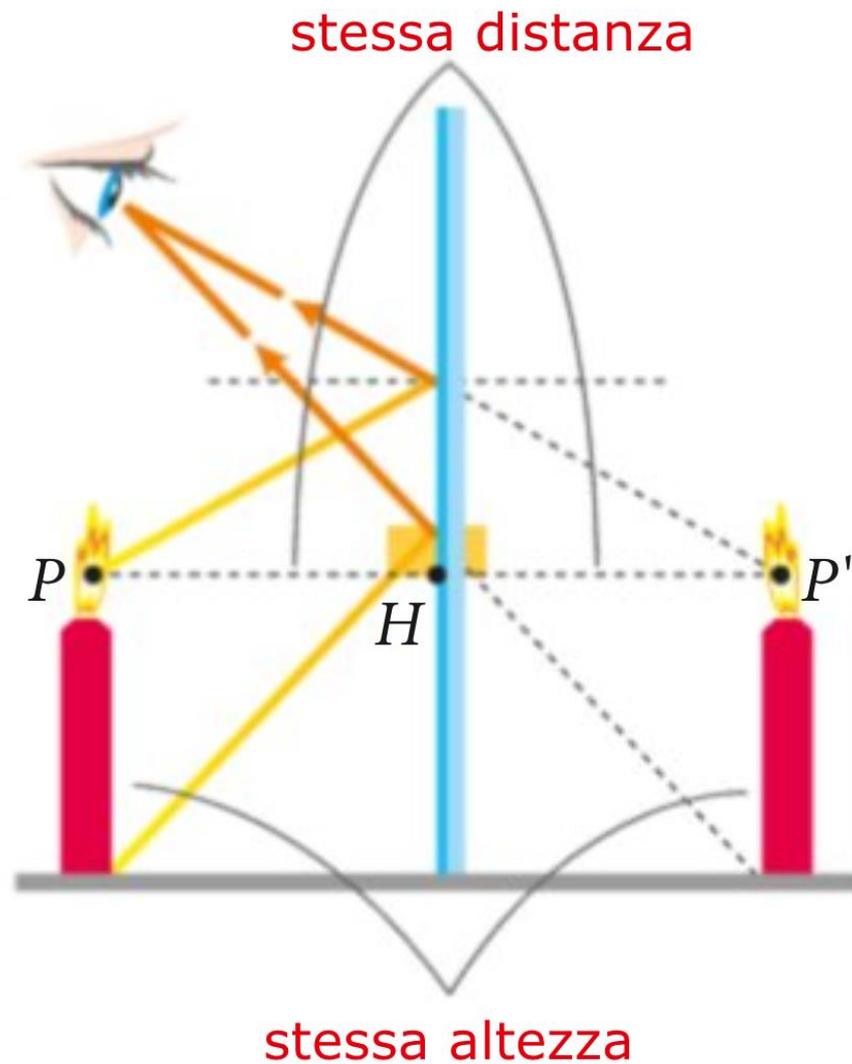


Diciamo che S' è un'immagine *virtuale*, perché la vediamo come se da essa uscissero i raggi di luce riflessi, ma in realtà per S' non passa alcun raggio.

In un'immagine virtuale convergono i *prolungamenti* dei raggi di luce che ci giungono agli occhi.

Se davanti allo specchio mettiamo un oggetto esteso (una sorgente di luce che emette raggi o anche un corpo illuminato che diffonde raggi), lo specchio produce, punto per punto, un'immagine virtuale di tutto l'oggetto.

L'immagine virtuale di un oggetto esteso prodotta da uno specchio piano ha le stesse dimensioni dell'oggetto, è diritta, cioè orientata come l'oggetto, e si trova nella posizione simmetrica a quella dell'oggetto rispetto allo specchio.



L'oggetto e la sua immagine si trovano faccia a faccia e dunque *non sono sovrapponibili*.

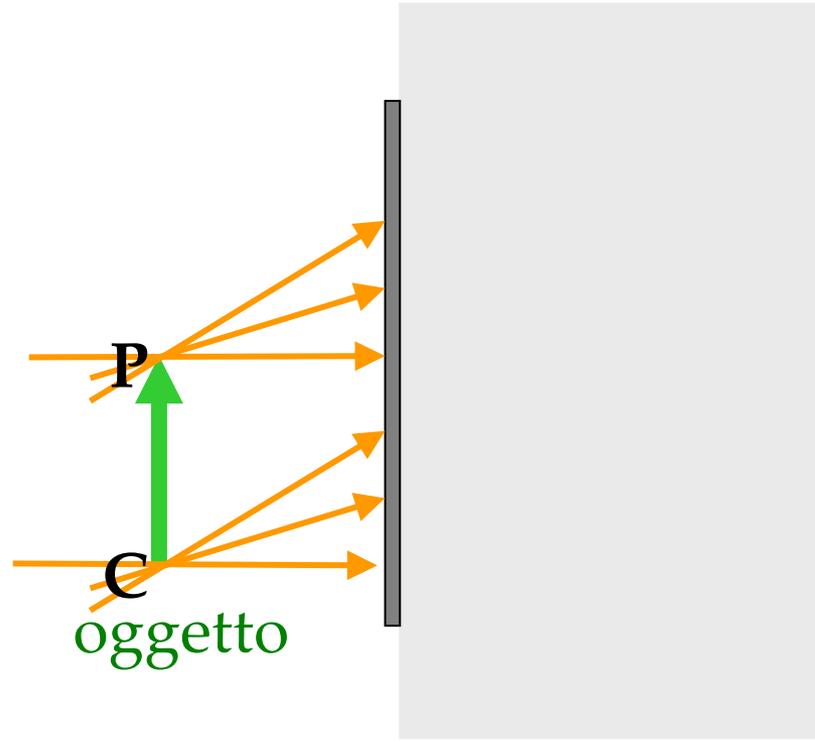
Per questa ragione la parola «ambulanza» è scritta alla rovescia sul veicolo, in modo che gli automobilisti possano leggerla nel verso giusto nello specchietto retrovisore.

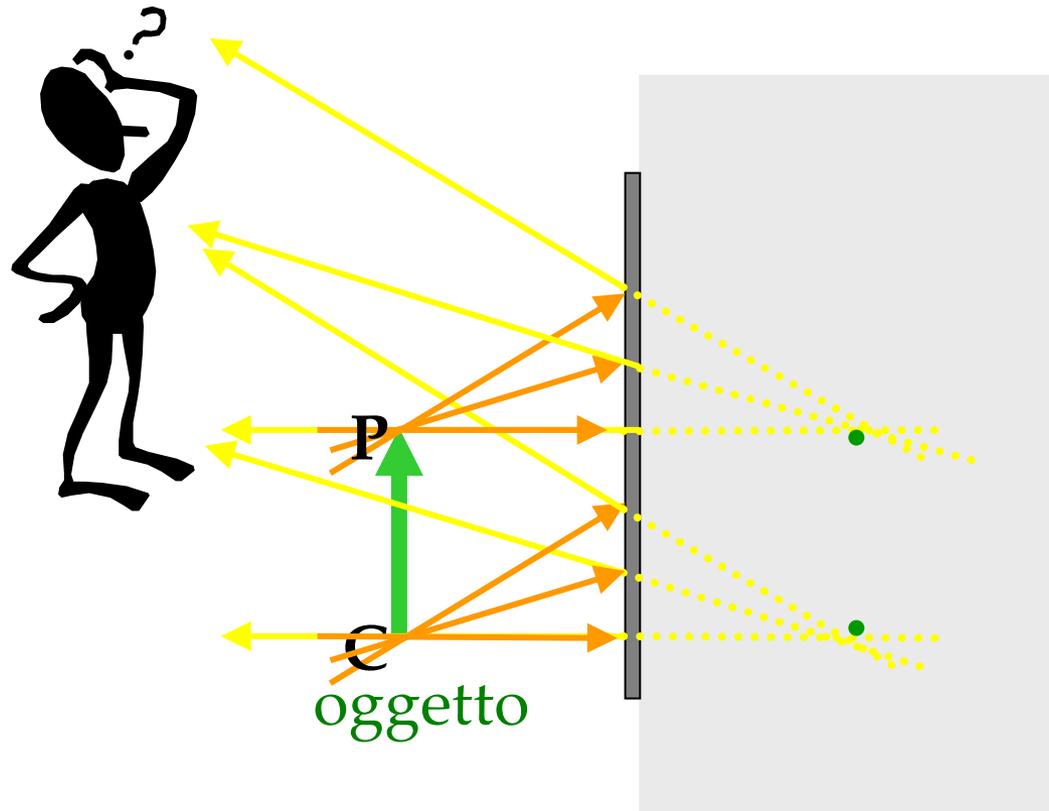
riflessione su uno specchio piano



oggetto

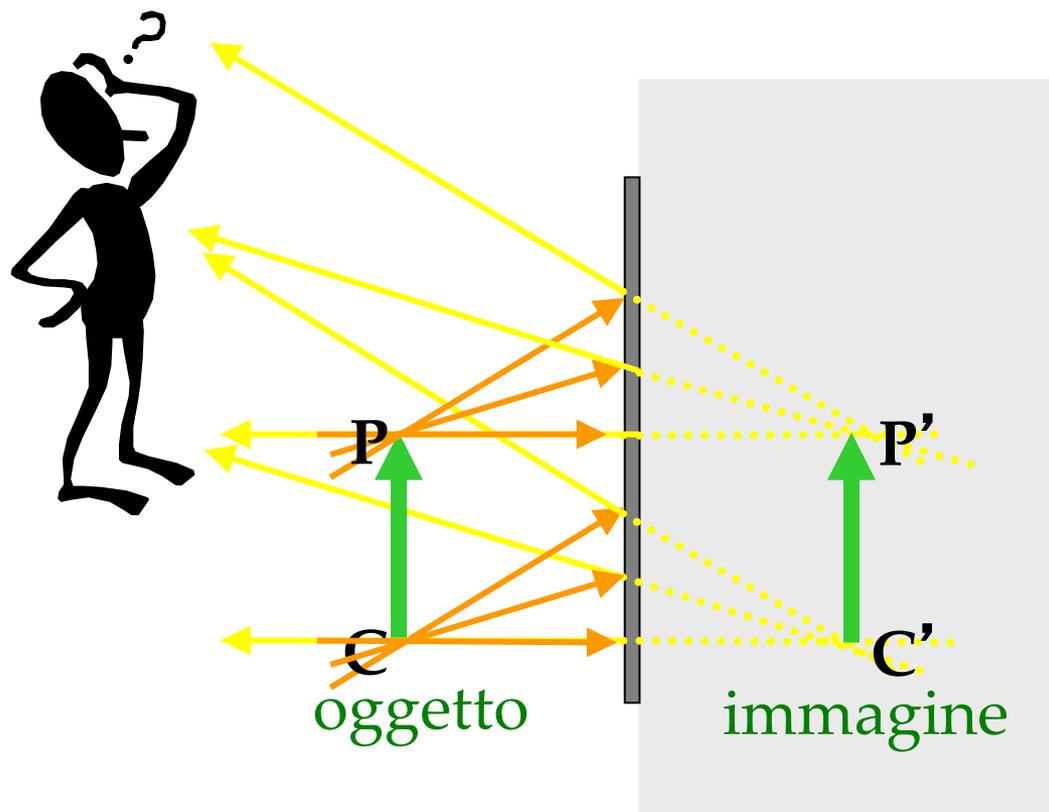






riflessione su uno specchio piano

L'immagine è VIRTUALE, delle stesse dimensioni dell'originale, DRITTA, ma NON E' SOVRAPPONIBILE ALL'ORIGINALE



Specchi sferici

Se ti specchi in un mestolo da cucina di acciaio, vedi un'immagine molto diversa da quella prodotta da uno specchio piano.

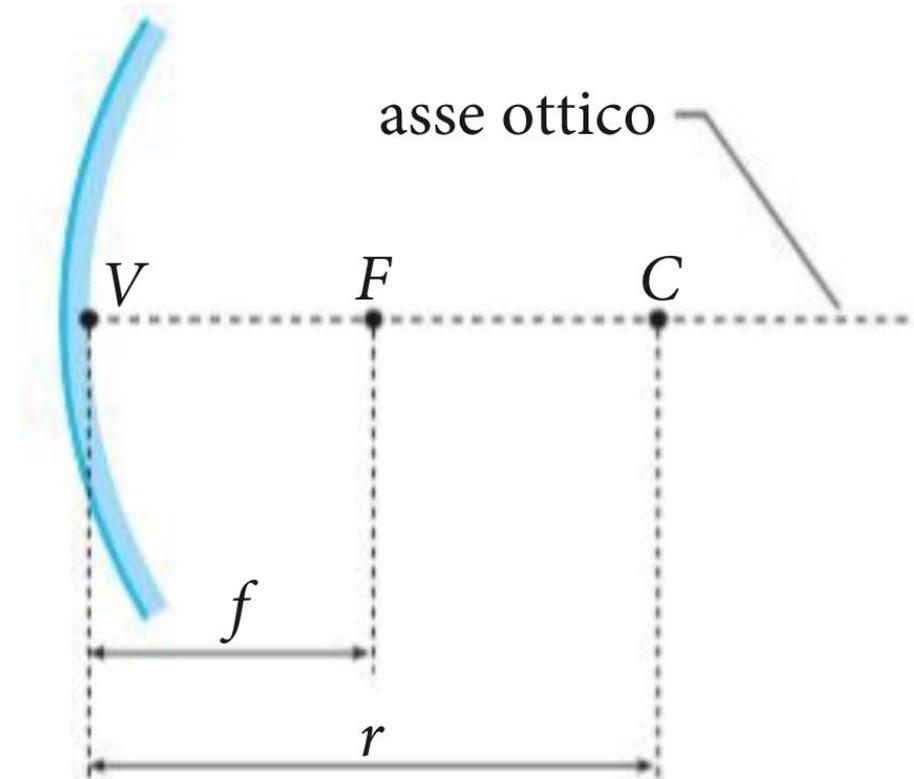
Il mestolo ha due superfici riflettenti curve:

- quella interna è uno *specchio concavo*, in cui, se sei abbastanza lontano, vedi la tua immagine capovolta;
- quella esterna è uno *specchio convesso*, che ti dà un'immagine diritta e rimpicciolita.

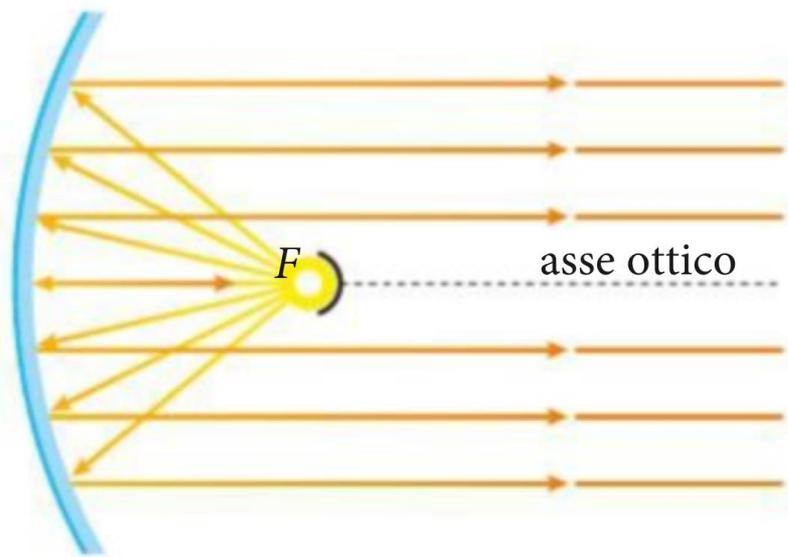
Uno **specchio sferico** ha la forma di una calotta sferica. In esso si definiscono:

- il centro C e il raggio r , che sono il centro e il raggio della sfera a cui appartiene la superficie riflettente;
- l'*asse ottico*, cioè l'asse di simmetria;
- il vertice V , intersezione dell'asse ottico con la superficie riflettente.

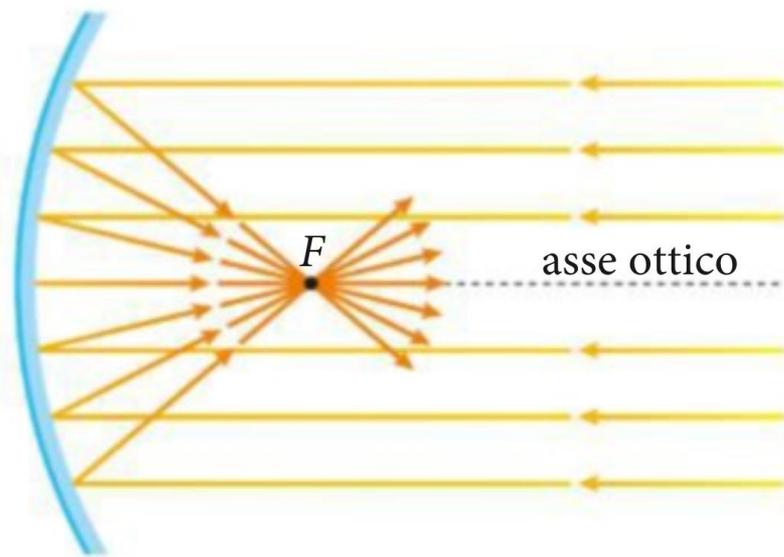
A questo tipo di specchio è inoltre associato un punto F , chiamato **fuoco** e posto sull'asse ottico, che ha le due seguenti proprietà:



- i raggi emessi da una sorgente puntiforme posta in F , dopo essersi riflessi, si allontanano dallo specchio in un fascio di raggi paralleli all'asse ottico;



- in maniera simmetrica, i raggi che arrivano sullo specchio parallelamente all'asse ottico si intersecano tutti in F dopo la riflessione.



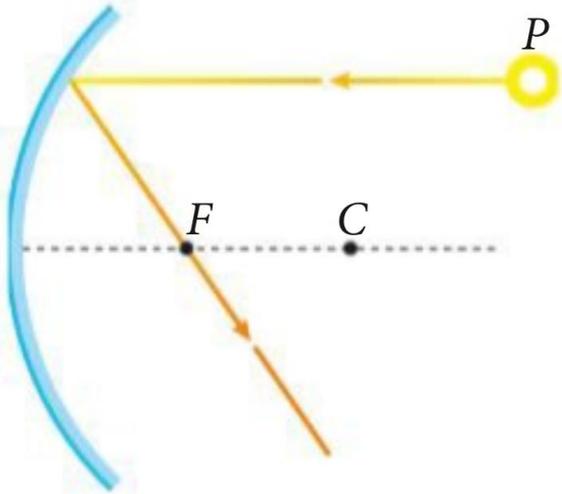
Il fuoco F di uno specchio sferico di piccola apertura è a metà tra il vertice V e il centro C . In questo tipo di specchio la distanza f di F da V , detta **distanza focale**, è dunque la metà di r :

$$f = \frac{r}{2}$$

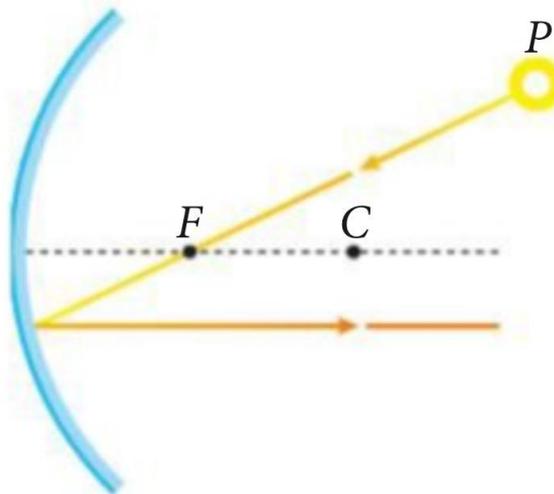
Le immagini prodotte

Per disegnare l'immagine di un punto P di un oggetto, basta seguire il percorso di alcuni dei raggi uscenti da P , che vengono riflessi dallo specchio.

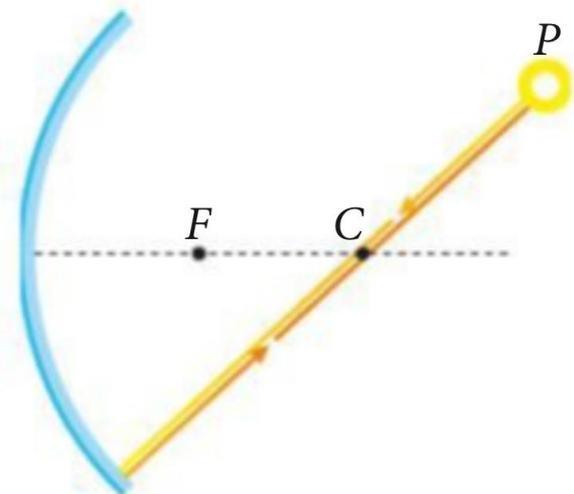
■ Il raggio che arriva parallelo all'asse ottico è riflesso nel fuoco.



■ Il raggio che passa per il fuoco è riflesso parallelamente all'asse.



■ Il raggio che passa per il centro è riflesso su sé stesso.



L'immagine del punto P si forma nel punto P' in cui si incontrano due qualsiasi di questi raggi riflessi, detti *raggi principali*. Nello stesso punto, dopo la riflessione, si incontrano anche tutti gli altri raggi.

IMMAGINI PRODOTTE DAGLI SPECCHI SFERICI

Posizione dell'oggetto

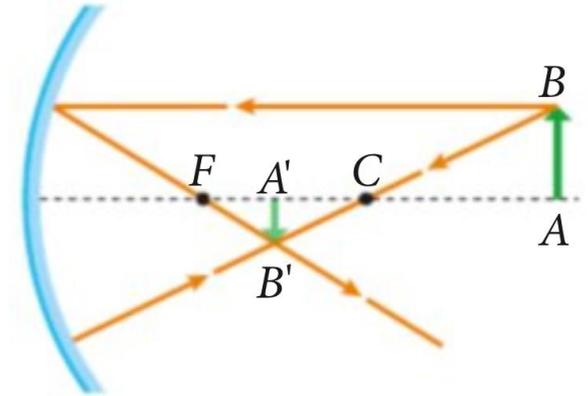
Proprietà dell'immagine

Schema

Specchio concavo

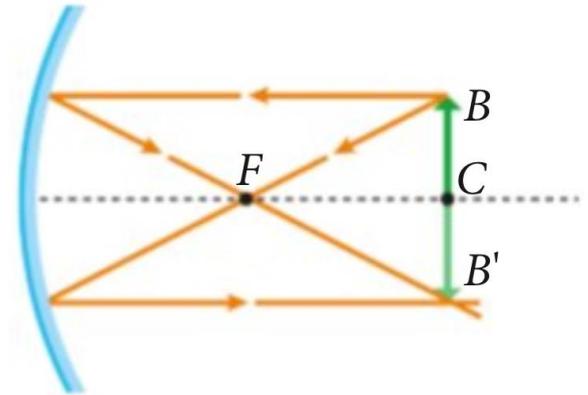
Più lontano del centro

Reale, capovolta,
rimpicciolita



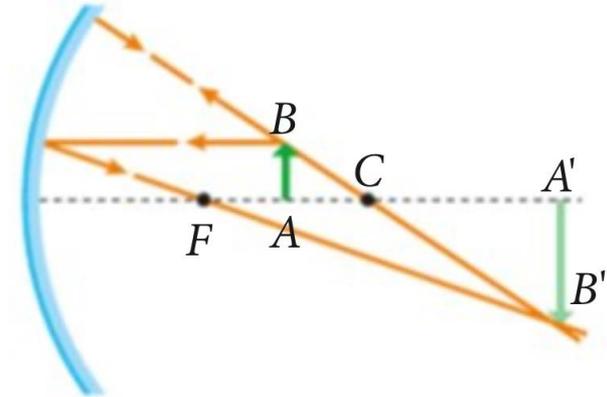
Nel centro

Reale, capovolta, delle stesse
dimensioni



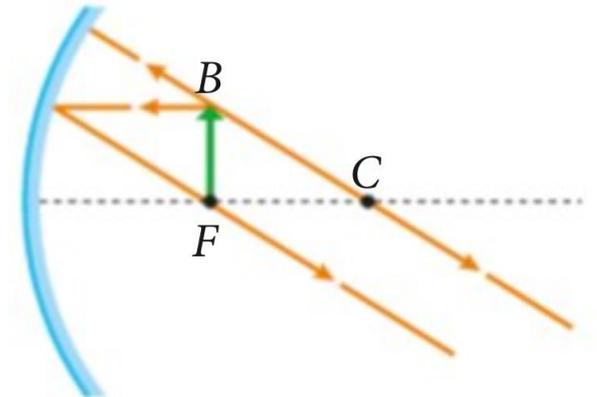
Tra il centro e il fuoco

Reale, capovolta, ingrandita



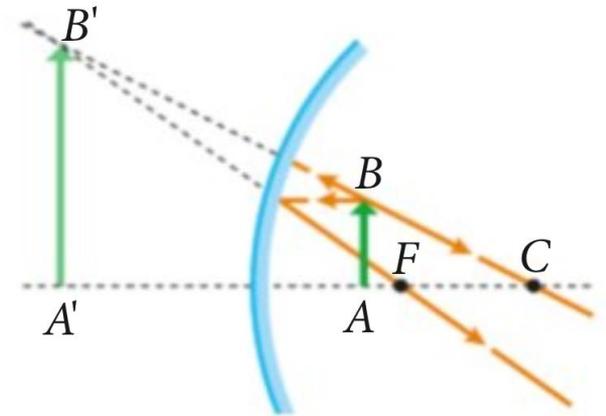
Nel fuoco

Nessuna immagine



Tra il fuoco e lo specchio

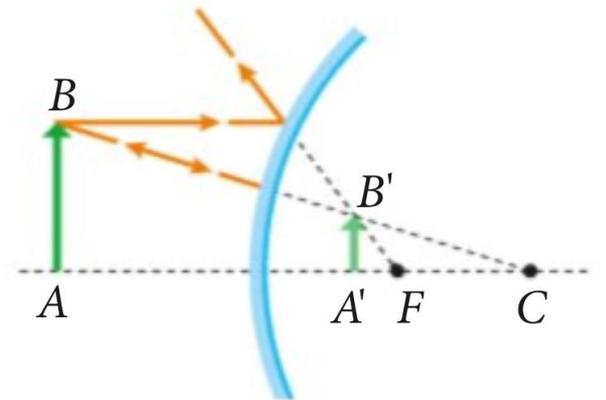
Virtuale, diritta, ingrandita



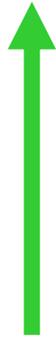
Specchio convesso

Qualsiasi

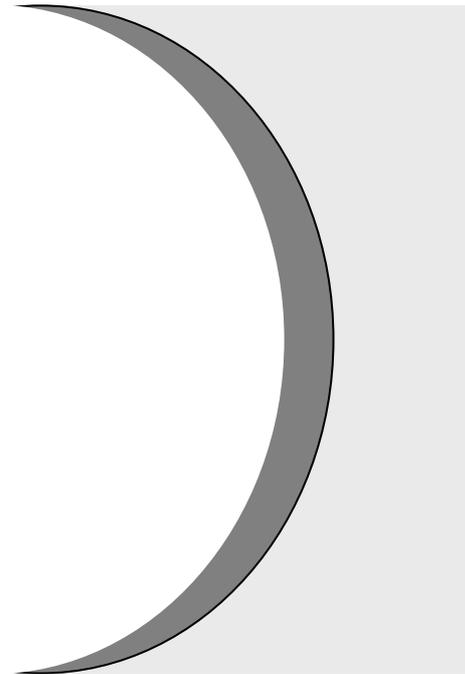
Virtuale, diritta,
rimpicciolita

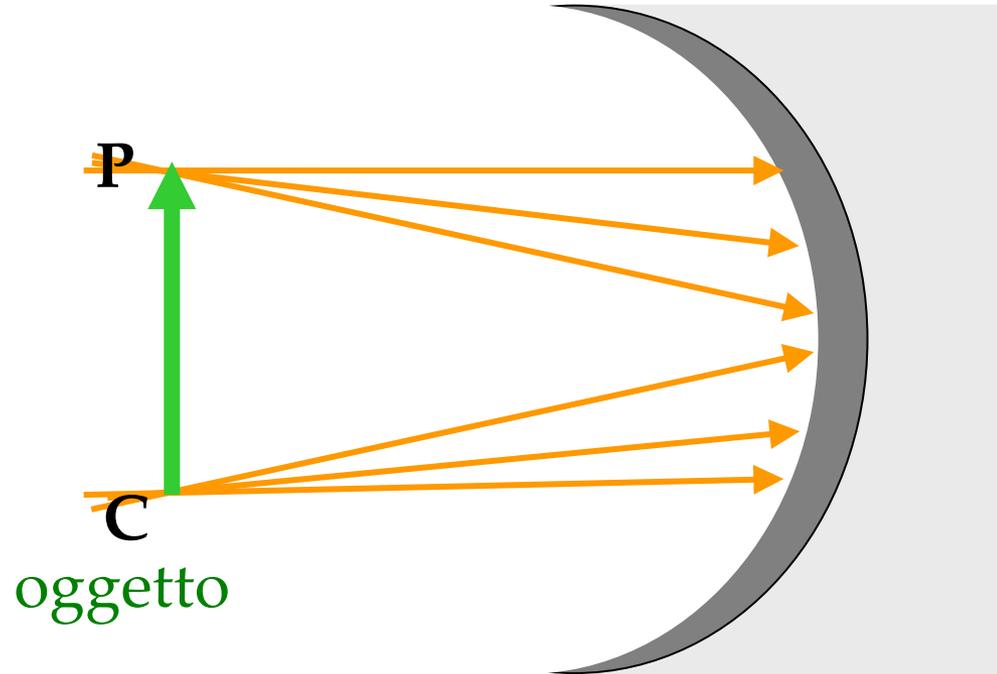


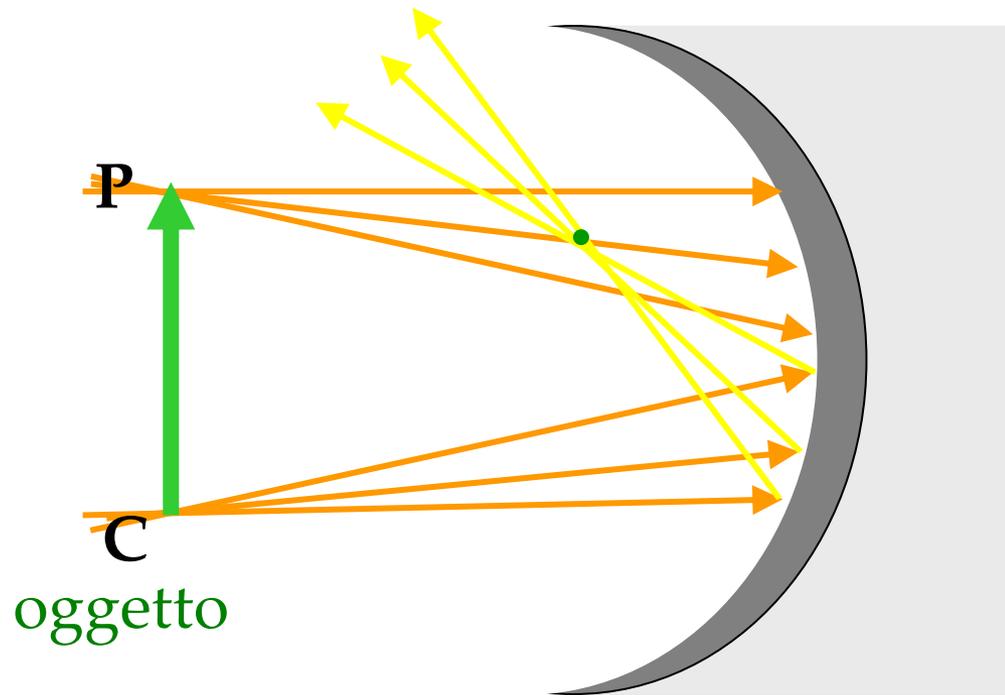
riflessione su uno specchio concavo

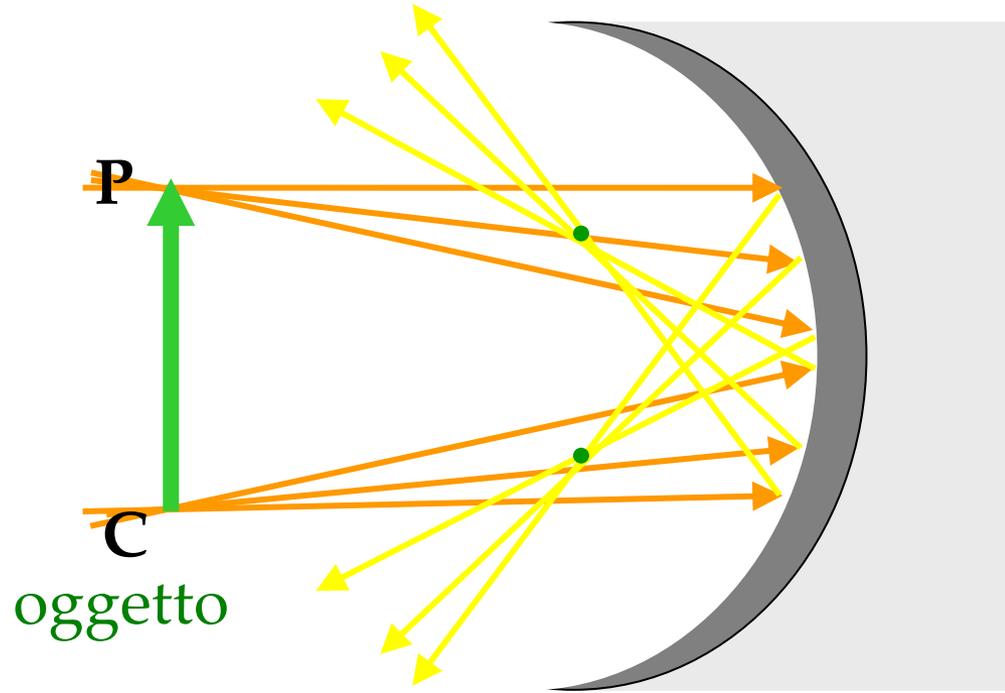


oggetto



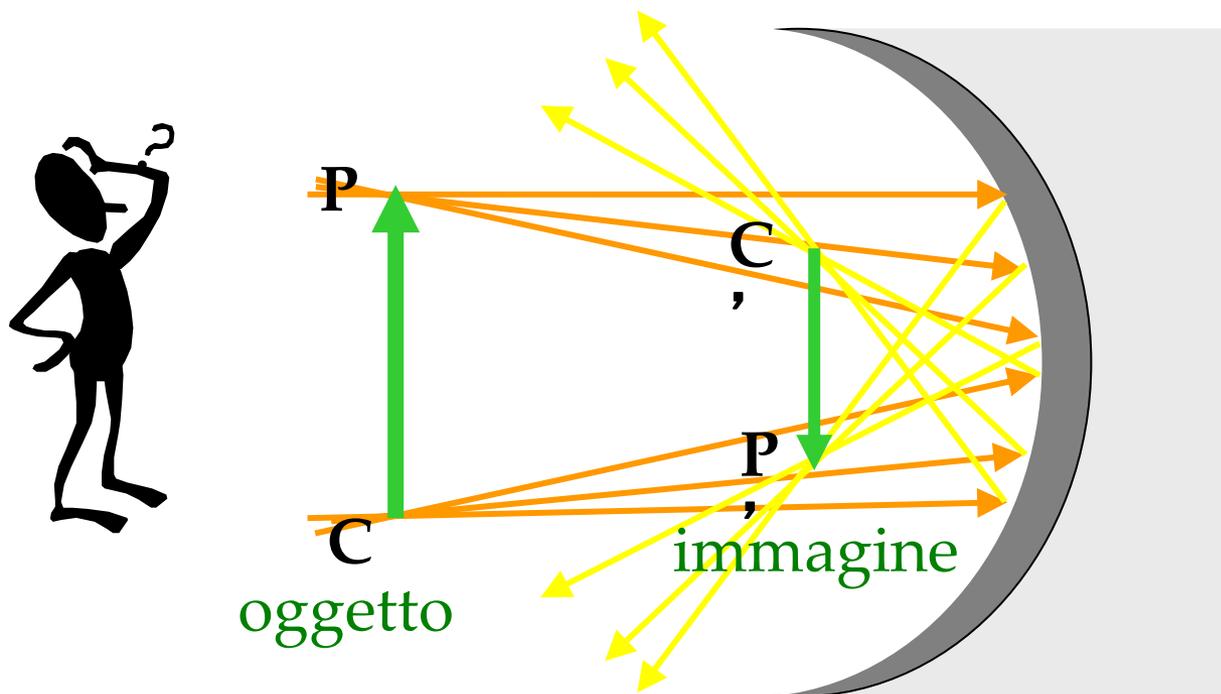






riflessione su uno specchio concavo

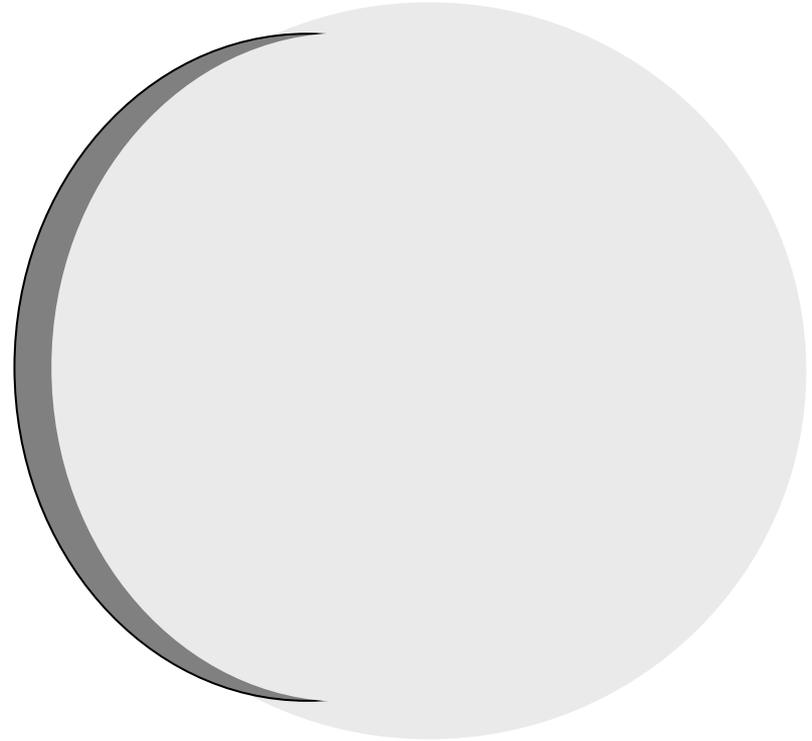
L'immagine è REALE, rimpicciolita e CAPOVOLTA

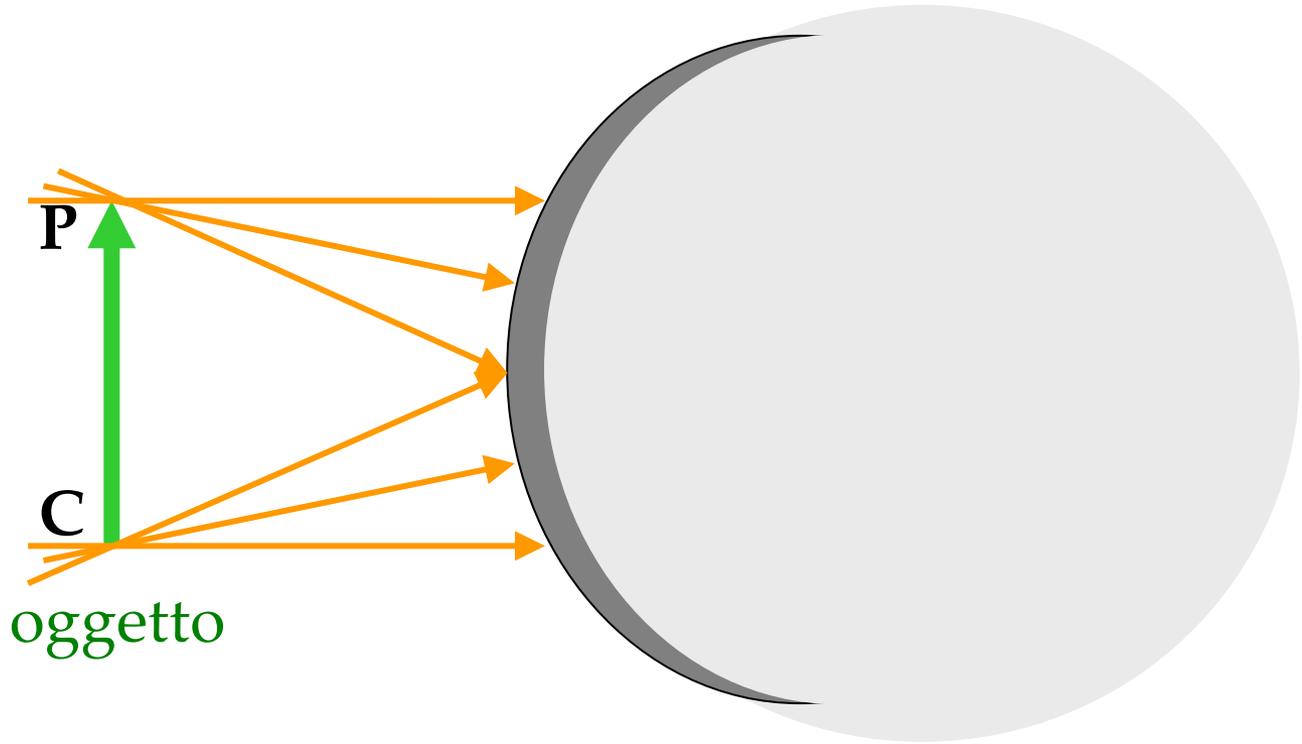


riflessione su uno specchio convesso

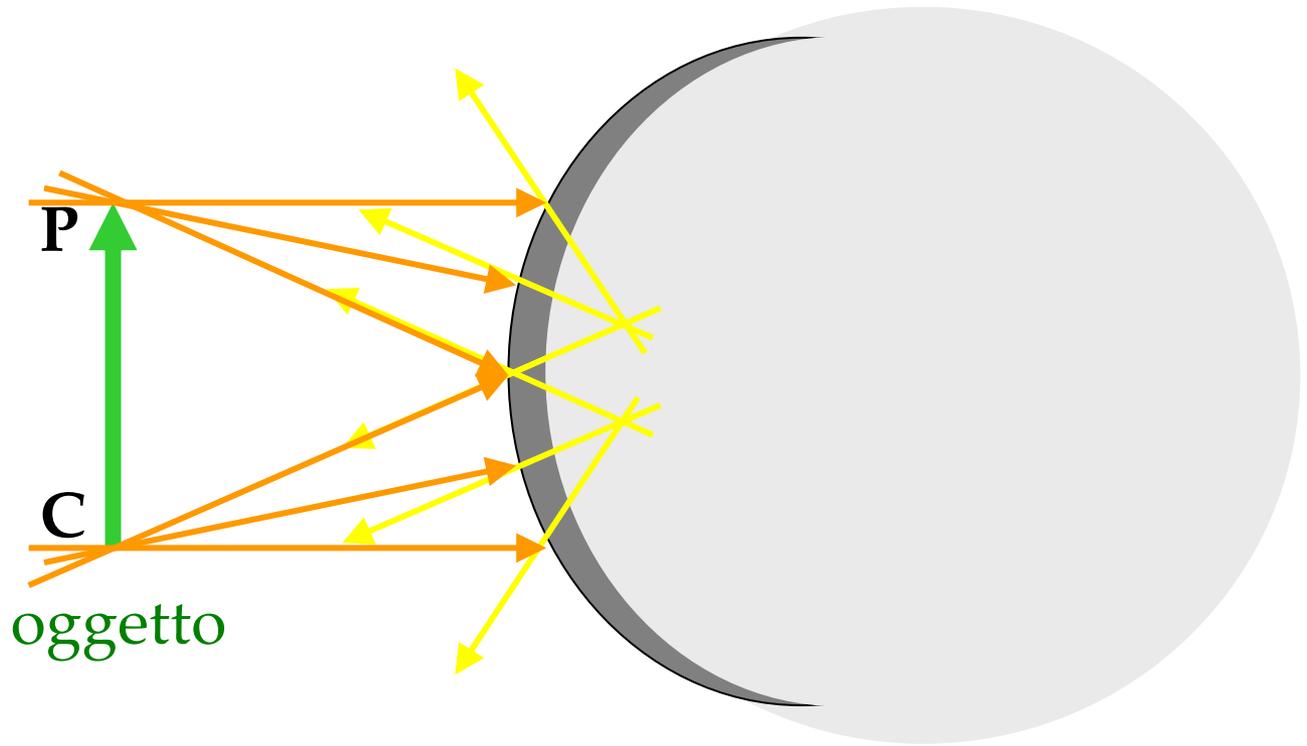


oggetto



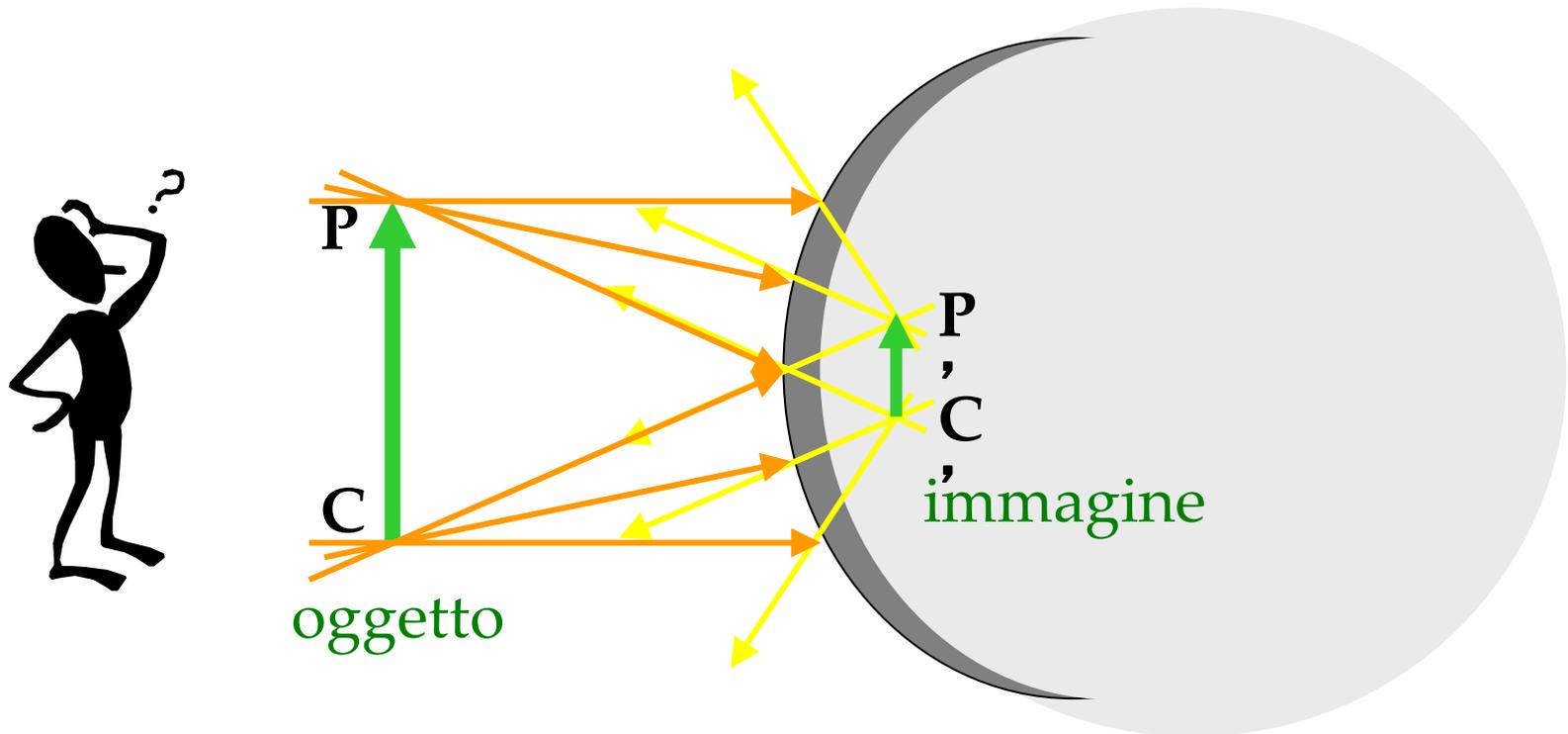


oggetto



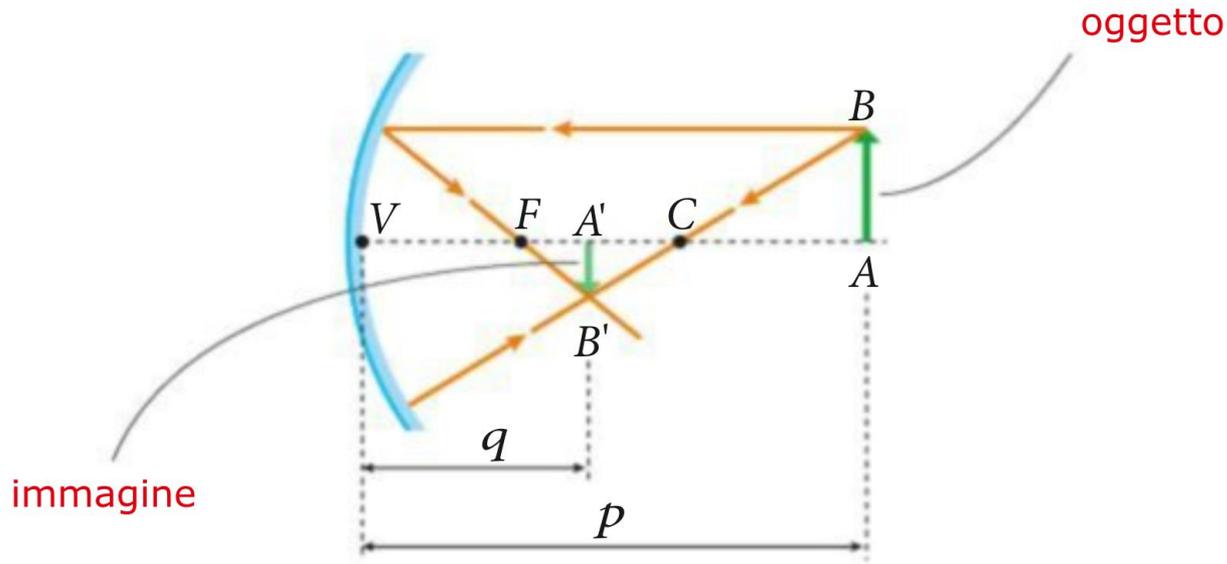
riflessione su uno specchio convesso

L'immagine è **VIRTUALE**, rimpicciolita e **DRITTA**



La legge dei punti coniugati

Come nella figura, indichiamo con $p = \overline{AV}$ la distanza di un oggetto AB dal vertice di uno specchio e con $q = \overline{A'B'}$ la distanza dal vertice alla quale si forma l'immagine $A'B'$.



Se, per esempio, conosciamo p e vogliamo determinare q , possiamo costruire l'immagine dell'oggetto con il metodo grafico, ma possiamo anche applicare la **legge dei punti coniugati**:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad [3]$$

Diagram illustrating the lens equation with labels:

- p : distanza oggetto-specchio (m)
- q : distanza immagine-specchio (m)
- f : distanza focale (m)

Per usare l'equazione [3] dobbiamo considerare le distanze f , p e q come grandezze precedute da un segno:

- il segno di f è *positivo* per gli specchi concavi e *negativo* per gli specchi convessi;
- il segno di q è *positivo* per le immagini reali e *negativo* per quelle virtuali.

Invece il segno di p è sempre positivo.

Consideriamo, per esempio, uno specchio convesso di raggio r . La sua distanza focale f , che per la [2] ha valore assoluto uguale alla metà di r , è negativa. Perciò, in questo caso, dobbiamo porre $f = -\frac{r}{2}$ e riscrivere la [3] come segue:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = -\frac{2}{r}$$

da cui otteniamo

$$\frac{1}{q} = -\left(\frac{1}{p} + \frac{2}{r}\right)$$

Poiché p e r sono grandezze positive, il risultato ottenuto mostra che q è negativa, cioè che l'immagine è virtuale. Alla stessa conclusione eravamo arrivati applicando il metodo grafico.

PER ESEMPIO

Una candela è posta davanti a uno specchio sferico concavo di raggio $r = 1,0$ m, alla distanza $p = \frac{3}{2}r$ dal vertice.

- ▶ A quale distanza dal vertice dello specchio si forma l'immagine della candela?
- ▶ L'immagine è reale o virtuale?

Risoluzione

- Lo specchio è concavo; quindi la sua distanza focale f è positiva:

$$f = \frac{r}{2}$$

Per trovare la distanza q dell'immagine, ricaviamo prima il suo reciproco dalla [3]:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p} = \frac{2}{r} - \frac{2}{3r} = \frac{6-2}{3r} = \frac{4}{3r}$$

- Otteniamo così:

$$q = \frac{3r}{4} = \frac{3(1,0 \text{ m})}{4} = \mathbf{0,75 \text{ m}}$$

Il fatto che q sia positiva indica che l'immagine è reale.

L'ingrandimento

Chiamiamo **ingrandimento** il numero G che ha come valore assoluto il rapporto tra l'altezza h' dell'immagine e l'altezza h dell'oggetto:

$$|G| = \frac{h'}{h} = \frac{\overline{A'B'}}{AB} \quad [4]$$

Quando l'immagine è più grande dell'oggetto, si ha $|G| > 1$; quando è più piccola, si ha $|G| < 1$.

Per tutti gli specchi, concavi o convessi, vale la seguente equazione:

ingrandimento (numero puro)

$$G = -\frac{q}{p}$$

distanza

immagine-specchio (m)

distanza

oggetto-specchio (m)

[5]

Il segno «-» che compare nella [5] fa sì che, prendendo q con il segno appropriato (positivo per le immagini reali e negativo per quelle virtuali), G sia positivo quando l'immagine è diritta rispetto all'oggetto e negativo quando è capovolta.

LE INFORMAZIONI FORNITE DA G

**Segno e valore
assoluto di G**

$$\begin{cases} G < 0 \\ |G| > 1 \end{cases} \\ \Rightarrow G < -1$$

$$\begin{cases} G < 0 \\ |G| < 1 \end{cases} \\ \Rightarrow -1 < G < 0$$

$$\begin{cases} G > 0 \\ |G| < 1 \end{cases} \\ \Rightarrow 0 < G < 1$$

$$\begin{cases} G > 0 \\ |G| > 1 \end{cases} \\ \Rightarrow G > 1$$

**Proprietà
dell'immagine**

$$\begin{cases} \text{capovolta} \\ \text{ingrandita} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{capovolta} \\ \text{rimpicciolita} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{diritta} \\ \text{rimpicciolita} \end{cases}$$

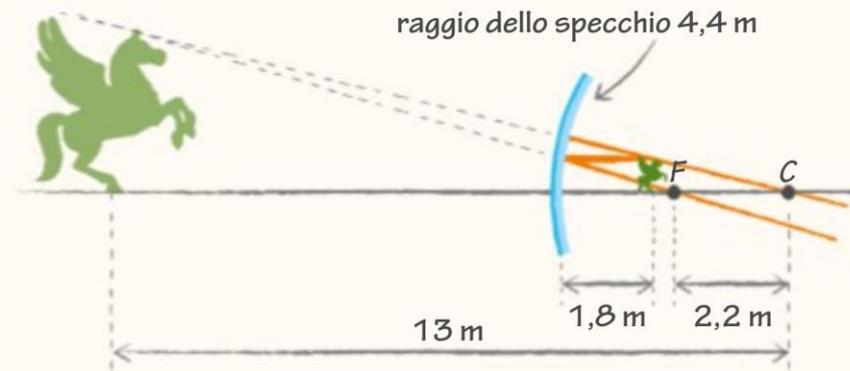
$$\begin{cases} \text{diritta} \\ \text{ingrandita} \end{cases}$$

PROBLEMA MODELLO 1

Calcolo dell'ingrandimento di uno specchio sferico

Per realizzare la scenografia di uno spettacolo teatrale un tecnico posiziona dietro al palcoscenico un enorme specchio sferico con una distanza focale di 2,2 m. In un punto nascosto del palco, davanti allo specchio, viene posizionato un modellino di un cavallo alato alto 60 cm. Si vuole fare in modo che il pubblico veda un cavallo alto 3 m che vola in lontananza sopra il palcoscenico.

- ▶ Che tipo di specchio ha scelto il tecnico?
- ▶ Il modellino va posizionato capovolto?
- ▶ A quale distanza dallo specchio si deve posizionare il modellino del cavallo?
- ▶ A quale distanza rispetto al centro dello specchio si vedrà l'immagine del cavallo se tutto funziona?



ANALISI

DATI

- Distanza focale dello specchio: $f = 2,2 \text{ m}$
- Altezza del modellino: $h = 60 \text{ cm}$
- Altezza dell'immagine: $h' = 3 \text{ m}$

INCOGNITE

- Tipo di specchio?
- Distanza del modellino dallo specchio: $p = ?$
- Distanza dell'immagine dal centro dello specchio: $d = ?$

RISOLUZIONE

- **STABILIAMO CHE TIPO DI SPECCHIO OCCORRE** L'oggetto si trova tra lo specchio e il fuoco e l'immagine è ingrandita, allora lo specchio deve essere concavo e l'immagine prodotta sarà virtuale.
- **CALCOLIAMO L'INGRANDIMENTO** L'immagine virtuale prodotta è diritta, quindi l'ingrandimento è positivo e il cavallino va posizionato dritto. Il valore dell'ingrandimento è

$$G = \frac{h'}{h} = \frac{3 \text{ m}}{0,60 \text{ m}} = 5$$

- **CALCOLIAMO LA DISTANZA DEL MODELLINO DALLO SPECCHIO** Nella formula [5] isoliamo la distanza q dell'immagine dallo specchio:

$$q = -Gp = -5p$$

Sostituendo l'espressione trovata nella legge [3] dei punti coniugati, otteniamo un'equazione per la distanza p dell'oggetto dallo specchio:

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{5p} = \frac{1}{f}$$

Isolando p , otteniamo

$$p = \frac{4}{5}f = \frac{4}{5} \times (2,2 \text{ m}) = \mathbf{1,8 \text{ m}}$$

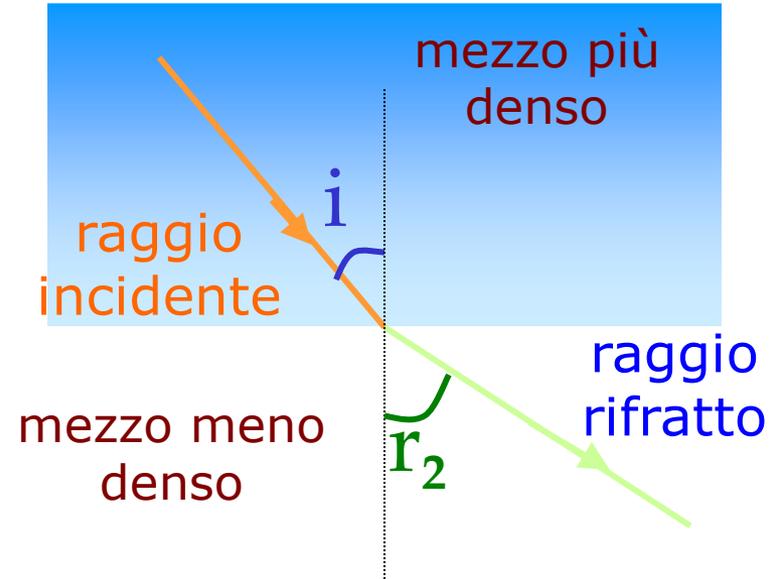
- **CALCOLIAMO LA DISTANZA DELL'IMMAGINE DAL CENTRO DELLO SPECCHIO** La distanza dell'immagine dallo specchio vale $q = -5p = -9 \text{ m}$. Quindi la distanza dell'immagine dal centro dello specchio è

$$d = |q| + r = (9 + 4,4) \text{ m} = \mathbf{13 \text{ m}}$$

PER NON SBAGLIARE

- Il segno negativo di q indica che l'immagine è virtuale, ma per calcolare la distanza dell'immagine dal centro dello specchio consideriamo il valore assoluto di q .

leggi della rifrazione



1^a legge: il raggio incidente, il raggio rifratto e la normale alla superficie riflettente giacciono nello stesso piano.

2^a legge: quando un raggio luminoso passa da un mezzo meno "denso" a uno più "denso" si avvicina alla normale; se passa da un mezzo più "denso" ad uno meno "denso" si allontana dalla normale

Come per la riflessione, così anche per la rifrazione della luce valgono le stesse leggi introdotte per le onde meccaniche.

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{v_1}{v_2} = n_{12}$$

$n_{12} = v_1/v_2 =$ indice di rifrazione relativo del secondo mezzo rispetto al primo

Possiamo caratterizzare ciascun mezzo trasparente mediante un indice di rifrazione assoluto così definito:

L'indice di rifrazione assoluto di un mezzo trasparente è il rapporto fra la velocità c della luce nel vuoto e la velocità v della luce nel mezzo:

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

Mezzo o sostanza	Indice di rifrazione	Velocità di propagazione
vuoto	1	$3 \cdot 10^8$ m/s
aria	1,00029	$2,999 \cdot 10^8$ m/s
acqua	1,33	$2,26 \cdot 10^8$ m/s
ghiaccio	1,31	$2,29 \cdot 10^8$ m/s
sale	1,54	$1,95 \cdot 10^8$ m/s
alcool	1,36	$2,2 \cdot 10^8$ m/s
vetro (Crown)	1,5	$2 \cdot 10^8$ m/s
vetro (Flint)	1,65	$1,82 \cdot 10^8$ m/s
solfo di carbonio	1,63	$1,84 \cdot 10^8$ m/s
sodio liquido	4,22	$0,7 \cdot 10^8$ m/s
arseniuro di gallio	3,6	$0,83 \cdot 10^8$ m/s
silicio	3,4	$0,88 \cdot 10^8$ m/s
diamante	2,417	$1,24 \cdot 10^8$ m/s
quarzo	1,51	$1,98 \cdot 10^8$ m/s

Facendo uso degli indici di rifrazione assoluti, la seconda legge della rifrazione della luce può essere enunciata nella forma seguente:

LEGGE DELLA RIFRAZIONE DELLA LUCE
(legge di Snell)

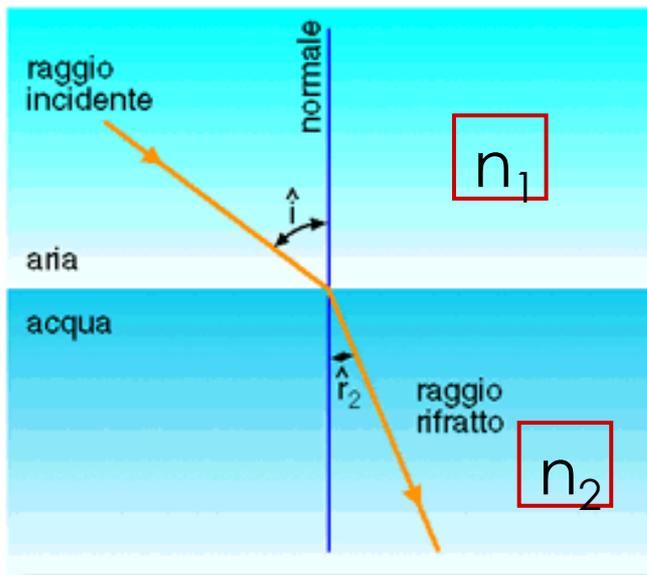
Se n_1 e n_2 sono gli indici di rifrazione assoluti dei mezzi in cui si propagano, rispettivamente, il raggio di luce incidente e quello rifratto, fra i seni degli angoli "i" di incidenza e "r" di rifrazione vale la relazione:

$$n_1 \text{sen} i = n_2 \text{sen} r$$

Un raggio incide sulla superficie di separazione tra aria ($n_1=1$) e acqua ($n_2=1,33$) con un angolo di incidenza $i=46^\circ$. Determinare l'angolo di rifrazione r quando il raggio passa: 1) dall'aria all'acqua; 2) dall'acqua all'aria.

soluzione

Primo caso (aria-acqua): Poiché il raggio passa da un mezzo meno denso (aria) a uno più denso (acqua), ci aspettiamo che $r < i$.



Applichiamo la legge della rifrazione (legge di Snell):

$$n_1 \text{sen} i = n_2 \text{sen} r \xrightarrow{\text{formula inversa}} \text{sen} r = \frac{n_1}{n_2} \cdot \text{sen} i$$

$$\text{sen} r = \frac{1}{1,33} \cdot \text{sen} 46 = 0,541 \xrightarrow{\text{calcolatrice}} r @ 33^\circ$$

Infatti: $r < i$

Secondo caso (acqua-aria): Poiché il raggio passa da un mezzo più denso (acqua) a uno meno denso (aria), ci aspettiamo che $r > i$.



Applichiamo la legge della rifrazione (legge di Snell), tenendo presente che il raggio proviene dall'acqua (n_1 e i sono l'indice di rifrazione dell'acqua e l'angolo d'incidenza del raggio in acqua; n_2 e r sono l'indice di rifrazione dell'aria e l'angolo di rifrazione in aria):

$$n_1 \text{sen} i = n_2 \text{sen} r \xrightarrow{\text{formula inversa}} \text{sen} r = \frac{n_1}{n_2} \cdot \text{sen} i$$

Infatti: $r > i$

$$\text{sen} r = \frac{1,33}{1} \cdot \text{sen} 46 = 0,956 \xrightarrow{\text{calcolatrice}} r @ 73^\circ$$

Lenti

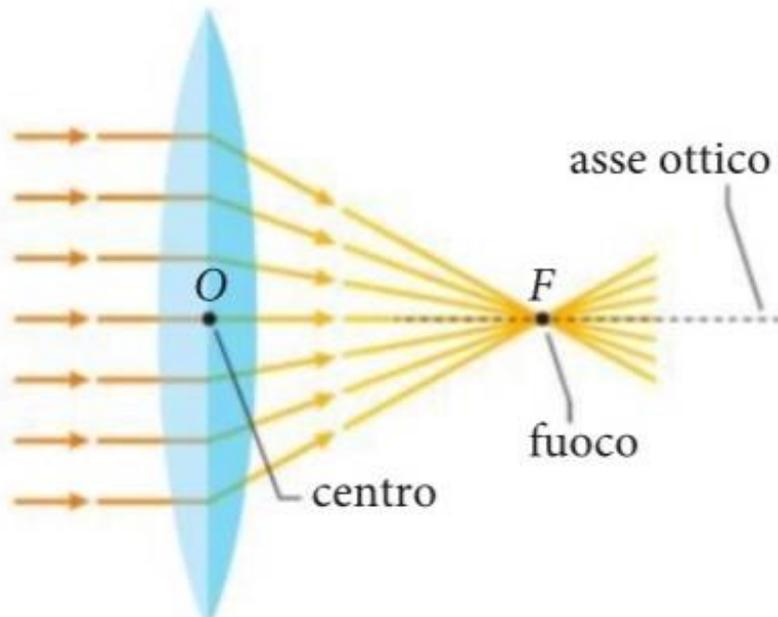
Una **lente** è un mezzo trasparente delimitato da due superfici curve (o una curva e l'altra piana), che produce immagini ingrandite o rimpicciolite degli oggetti.

Un raggio di luce che colpisce una lente subisce due rifrazioni: la prima quando entra nella lente e la seconda quando riemerge nell'aria.

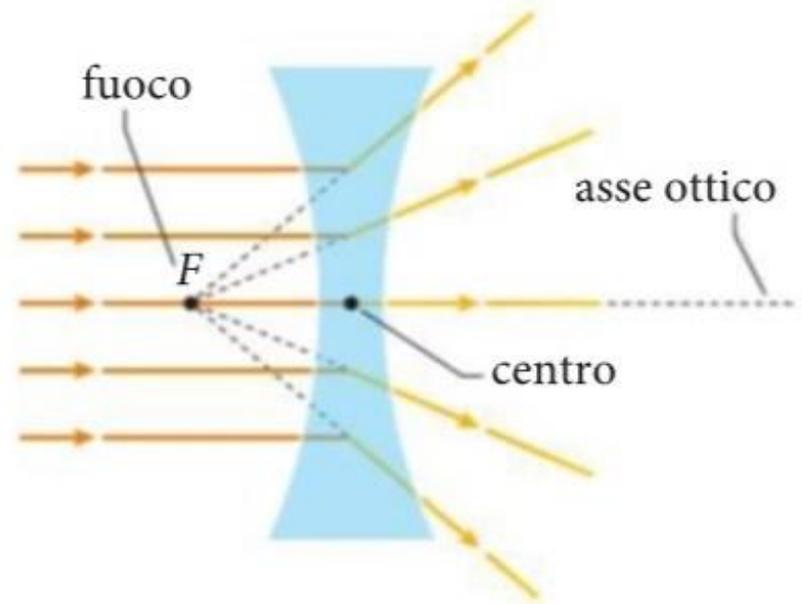
Nel seguito parleremo delle *lenti sottili*, che hanno uno spessore piccolo rispetto ai raggi di curvatura delle loro superfici. Se una lente è sottile, non è necessario studiare in dettaglio il cammino della luce al suo interno e la descrizione del comportamento dei raggi è più semplice.

Le lenti sottili possono essere *convergenti*, come la lente di ingrandimento, o *divergenti*, come le lenti degli occhiali da miope.

- Le lenti convergenti sono più spesse al centro che ai bordi. Fanno convergere in un punto, detto *fuoco*, i raggi paralleli all'asse di simmetria, o *asse ottico*.

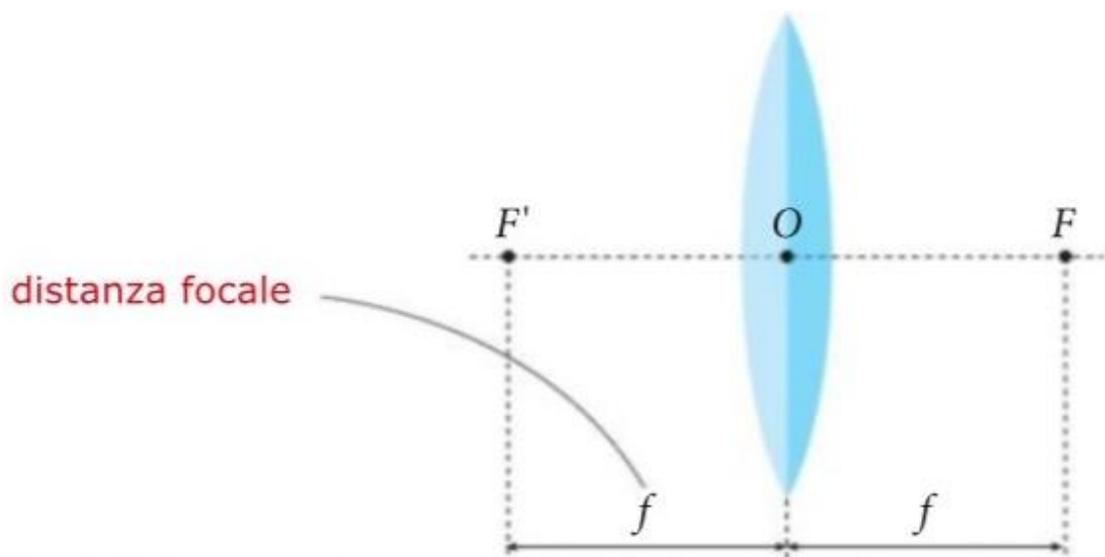


- Le lenti divergenti sono più spesse ai bordi. Fanno divergere i raggi paralleli all'asse ottico come se essi uscissero da un punto (il *fuoco*).



Le lenti hanno due facce e la luce può arrivare sull'una o sull'altra; perciò i fuochi di ogni lente sono due, uno per faccia.

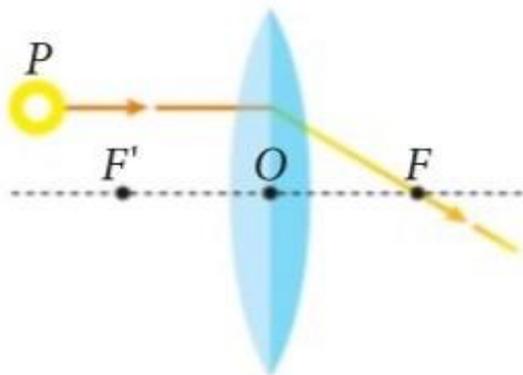
I due fuochi F e F' di una lente sottile sono equidistanti dal centro O , cioè dal punto dell'asse ottico che divide a metà lo spessore della lente. Si chiama *distanza focale* la distanza f di F e F' da O .



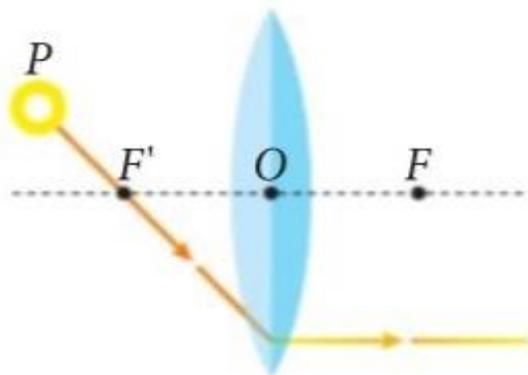
Le immagini prodotte

Per disegnare l'immagine di un punto P prodotta da una lente sottile, bisogna seguire il percorso di alcuni dei raggi uscenti da P .

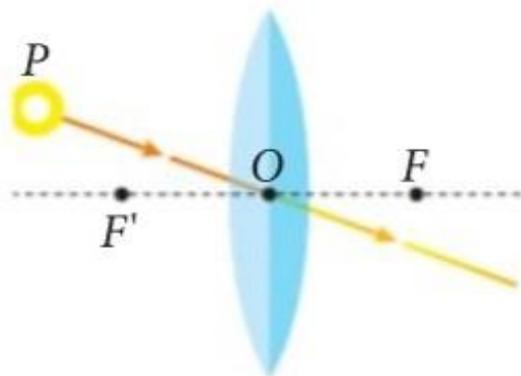
- Il raggio che arriva parallelo all'asse ottico converge in un fuoco.



- Il raggio che passa per l'altro fuoco diventa parallelo all'asse.



- Il raggio che passa per il centro prosegue nella stessa direzione.



Per qualunque punto di un oggetto è sufficiente tracciare due di questi raggi (*raggi principali*) e vedere dove si intersecano. Lì si forma l'immagine del punto considerato.

IMMAGINI PRODOTTE DALLE LENTI SOTTILI

Posizione dell'oggetto

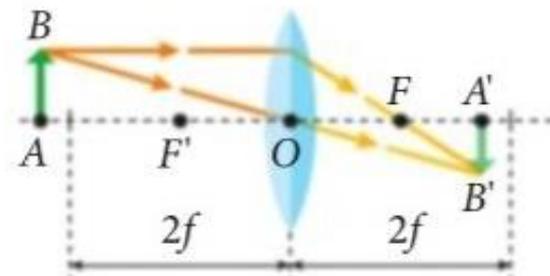
Proprietà dell'immagine

Schema

Lente convergente

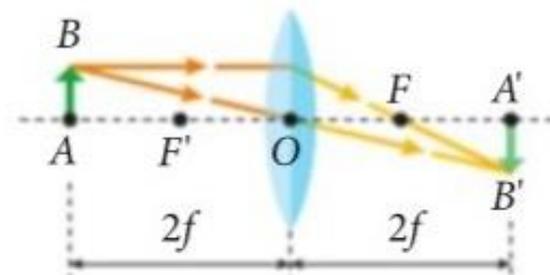
A distanza maggiore del doppio della distanza focale

Reale, capovolta, rimpicciolita



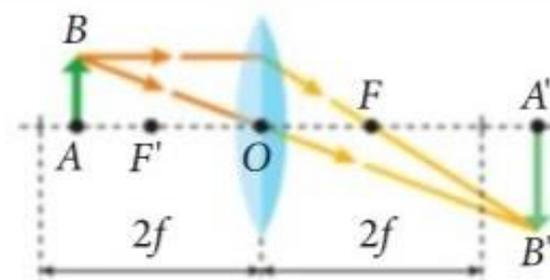
Al doppio della distanza focale

Reale, capovolta, delle stesse dimensioni



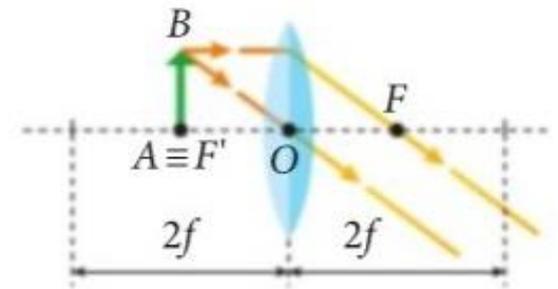
Tra il doppio della distanza focale e il fuoco

Reale, capovolta, ingrandita



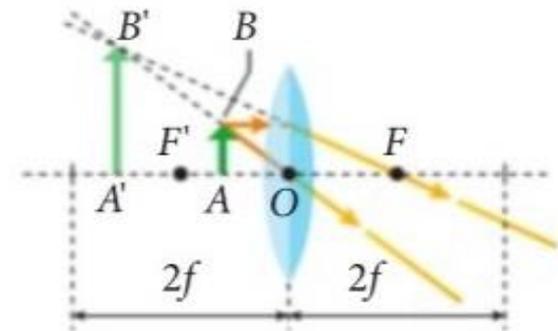
Nel fuoco

Nessuna immagine



Tra il fuoco e la lente

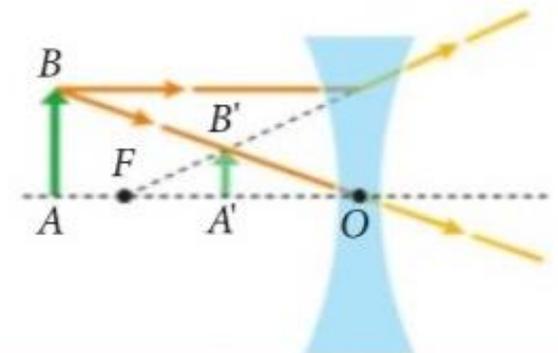
Virtuale, diritta, ingrandita



Lente divergente

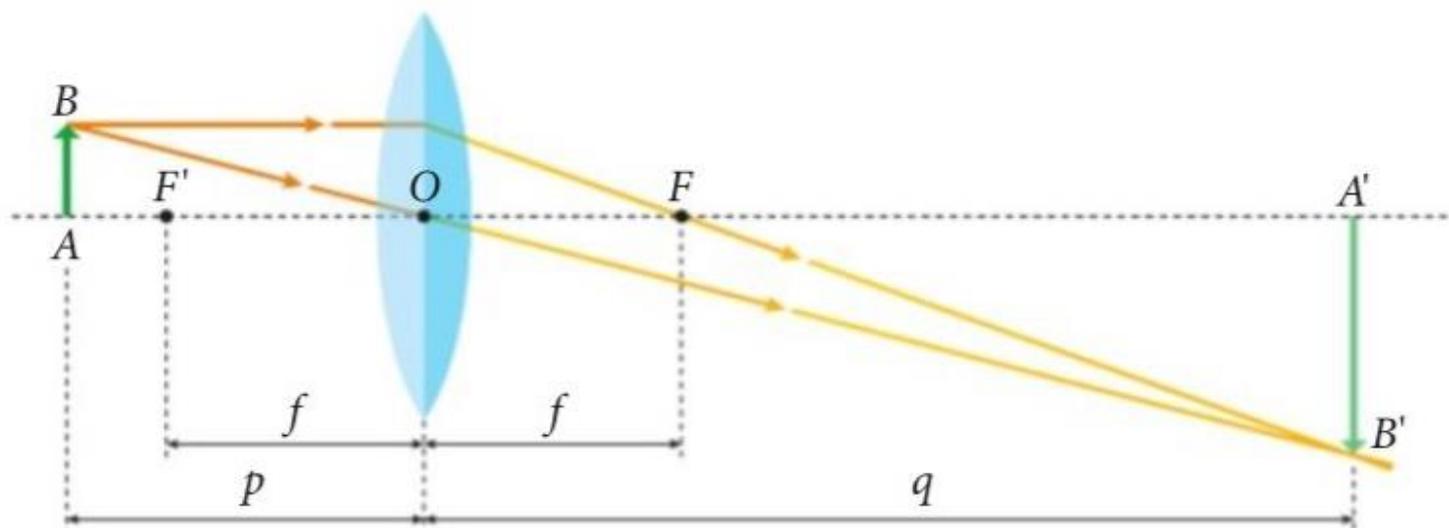
Qualsiasi

Virtuale, diritta, rimpicciolita



La legge dei punti coniugati

La figura sotto illustra il procedimento geometrico con cui possiamo determinare l'immagine $A'B'$ di una freccia AB .



Indichiamo con $p = \overline{AO}$ la distanza tra l'oggetto e il centro O della lente e con $q = \overline{A'O}$ la distanza tra O e l'immagine. L'equazione che lega assieme p , q e la distanza focale f della lente ha la stessa forma della legge dei punti coniugati che vale per gli specchi sferici:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

distanza oggetto-lente (m) distanza focale (m) distanza immagine-lente (m)

[8]

La grandezza $\frac{1}{f}$ è detta **potere diottrico** della lente ed è misurata in m^{-1} o *diottrie*. Per esempio, una lente con $f = 0,50 \text{ m}$ ha un potere diottrico di

$$\frac{1}{0,50 \text{ m}} = 2,0 \text{ diottrie}$$

Quando usiamo l'equazione [8], dobbiamo considerare che:

- f è *positiva* per le lenti convergenti e *negativa* per quelle divergenti;
- q è *positiva* se l'immagine è reale e *negativa* se l'immagine è virtuale.

L'ingrandimento

Come la legge dei punti coniugati, anche la formula per l'ingrandimento G è la stessa sia per gli specchi sferici che per le lenti sottili:

ingrandimento (numero puro)

$$G = -\frac{q}{p}$$

distanza
immagine-lente (m)

distanza
oggetto-lente (m)

[9]

Conosciamo già il significato del segno di G e quello del suo valore assoluto $|G|$:

- prendendo q con il suo segno convenzionale, G risulta positivo o negativo a seconda che l'immagine sia diritta o capovolta;
- $|G|$ è maggiore di 1 se l'immagine è ingrandita ed è minore di 1 se l'immagine è rimpicciolita

CONVENZIONI PER LA LEGGE DEI PUNTI CONIUGATI E L'INGRANDIMENTO

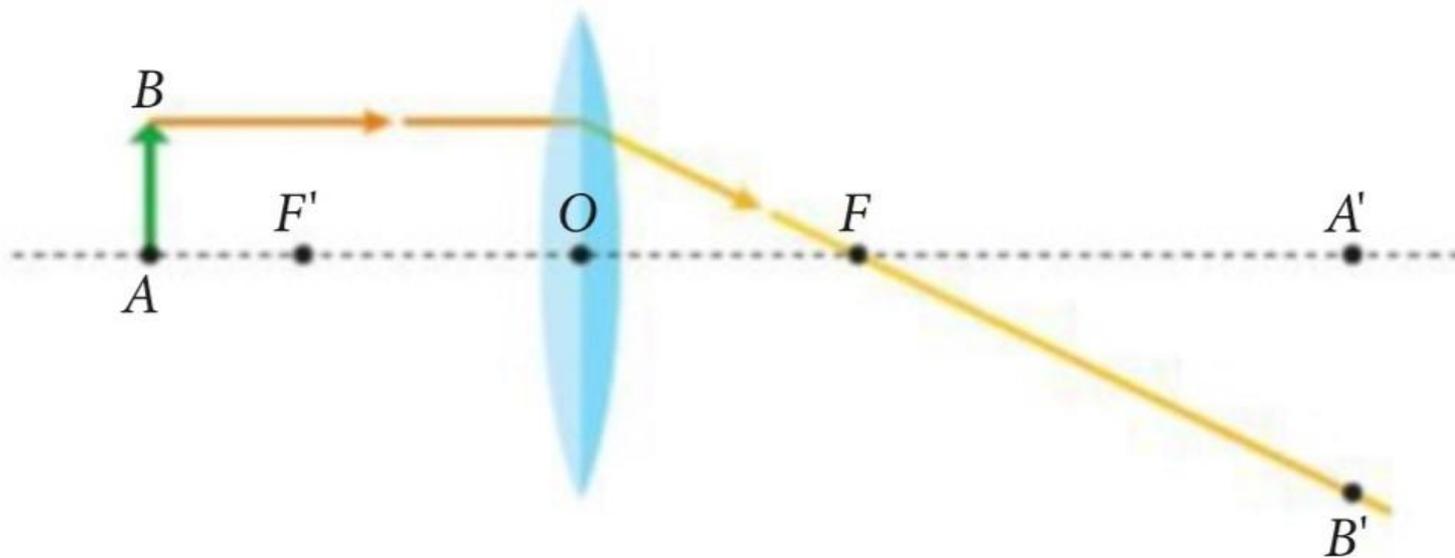
Segno	f	q	G
positivo	specchio concavo/lente convergente	immagine reale	immagine capovolta
negativo	specchio convesso/lente divergente	immagine virtuale	immagine diritta

PROBLEMA GUIDATO

Un bastoncino di legno è posto a 25 cm da una lente convergente di distanza focale pari a 16 cm.

- ▶ Costruisci graficamente l'immagine completando il disegno.
- ▶ Calcola la distanza dell'immagine dalla lente.
- ▶ Calcola l'ingrandimento e descrivi il suo significato.

[0,44 m; -1,8]



Completa il grafico

Ricorda che, in una lente sottile, il raggio che arriva parallelo all'asse ottico converge nel fuoco (come nella figura), mentre il raggio che passa per il centro O della lente prosegue

Trova le formule

- Per calcolare la distanza q immagine-lente, inverti la legge dei punti coniugati per le lenti sottili, cioè

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \implies q = \frac{fp}{\dots\dots\dots}$$

- Ricava l'ingrandimento dalla formula $G = -\frac{\dots}{p}$.

Sostituisci i numeri nelle formule

L'ingrandimento ha segno e ha valore assoluto di 1. Quindi l'immagine è e

Lenti convergenti e divergenti

Lenti convergenti

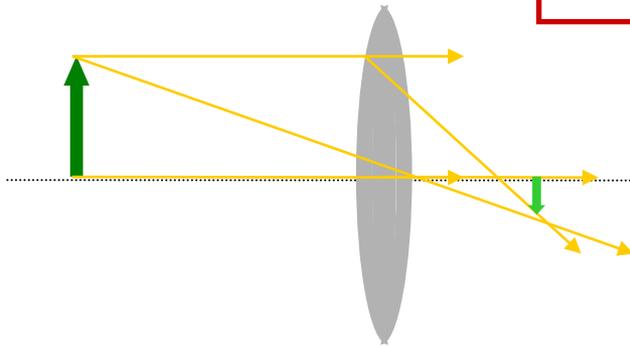


Immagine capovolta e rimpicciolita

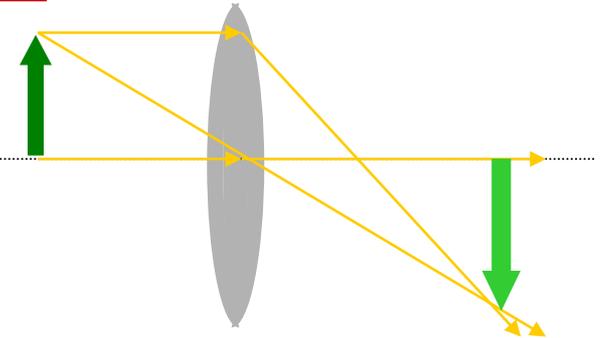
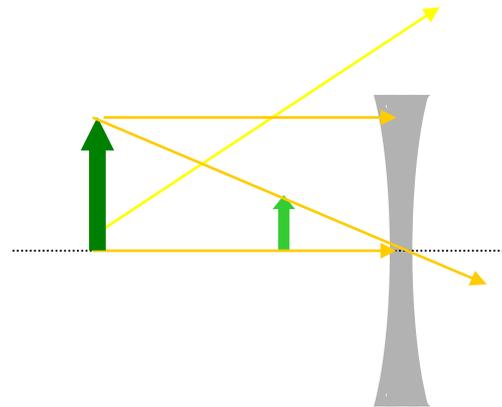


Immagine capovolta e ingrandita

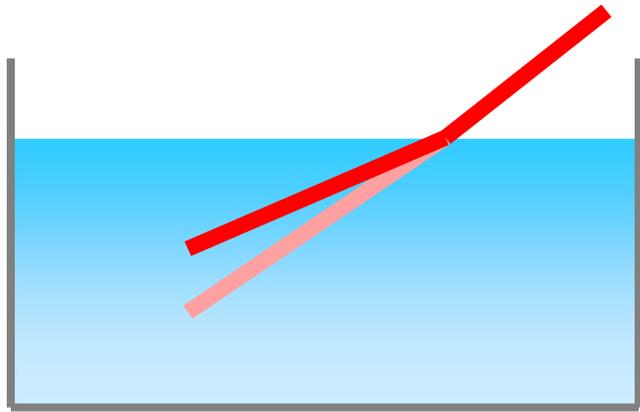


Lenti divergenti

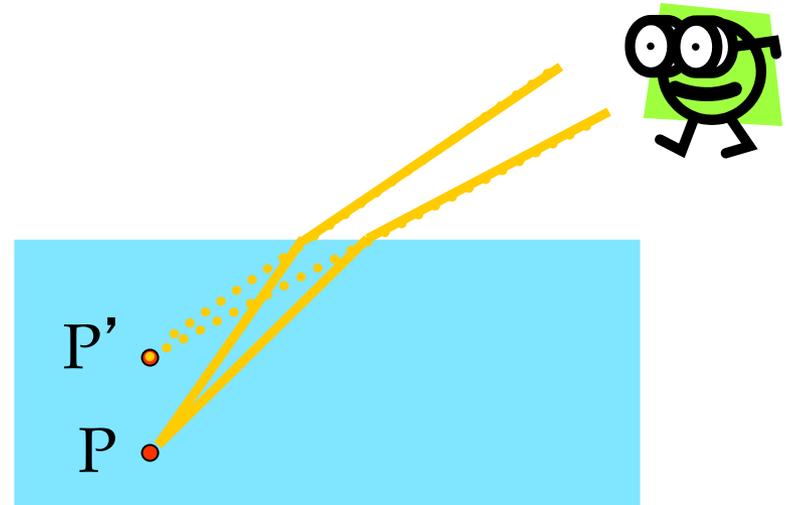
Immagine diritta e rimpicciolita

esempi di rifrazione

Il bastoncino spezzato



Un bastoncino immerso parzialmente in acqua sembra spezzato



A causa della rifrazione, gli oggetti in acqua appaiono più in alto di dove realmente si trovano

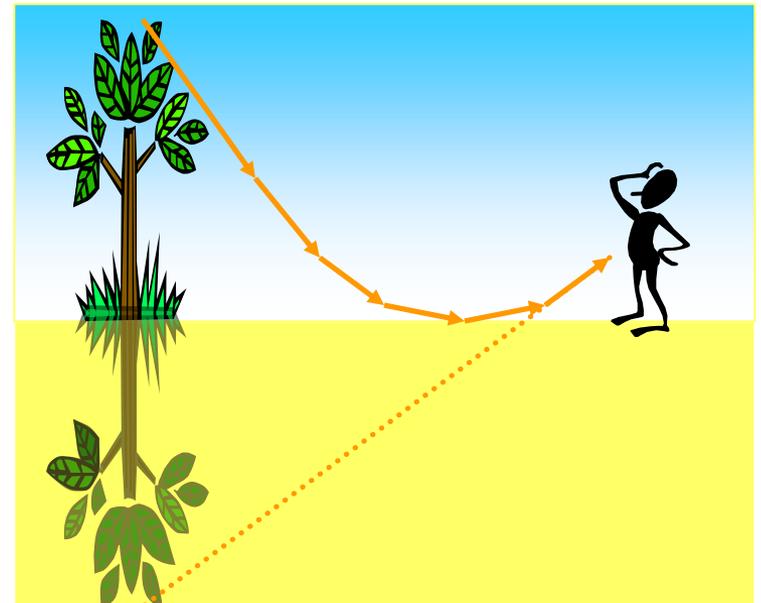


Il miraggio

aria sempre più calda e
quindi sempre meno densa



sabbia bollente



applicazione delle lenti



macchine
fotografiche



microscopi e
lenti di ingrandimento

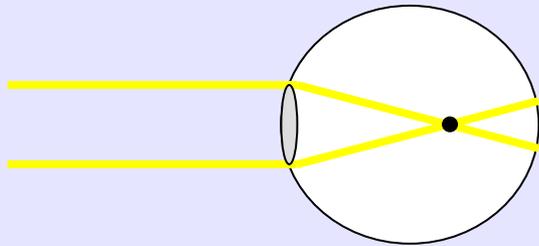


binocoli e
cannocchiali

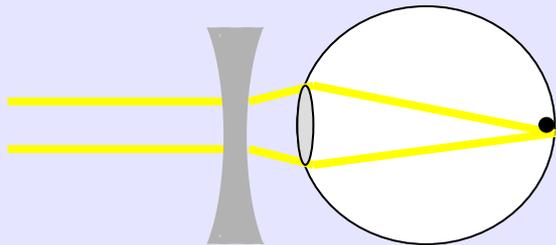


occhiali da
vista

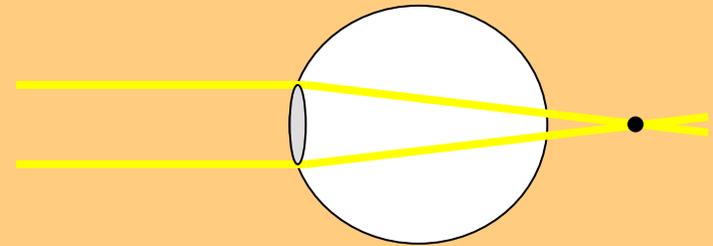
occhiali da vista



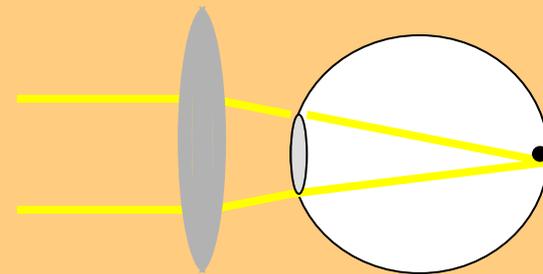
occhio miope



e la sua correzione



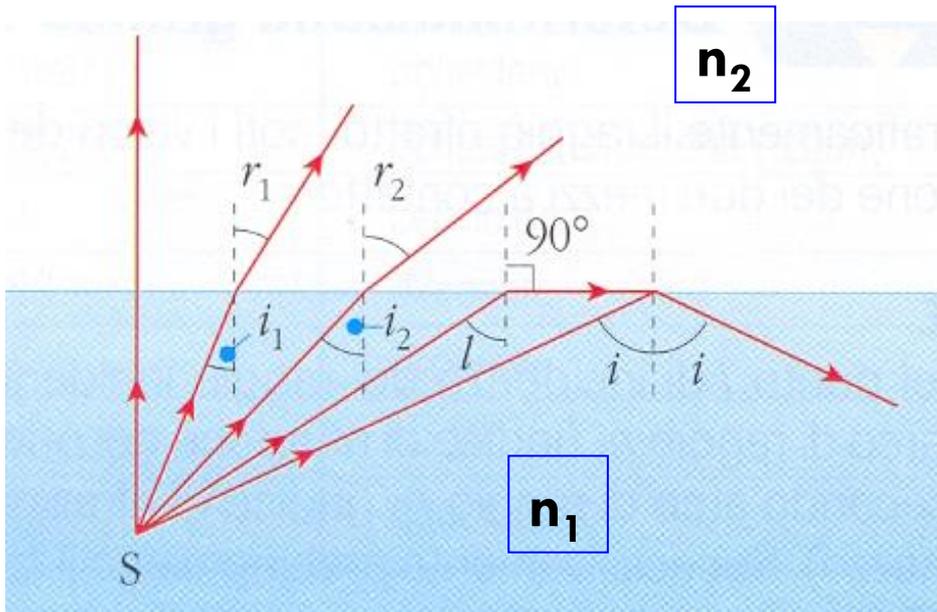
occhio ipermetrope



e la sua correzione

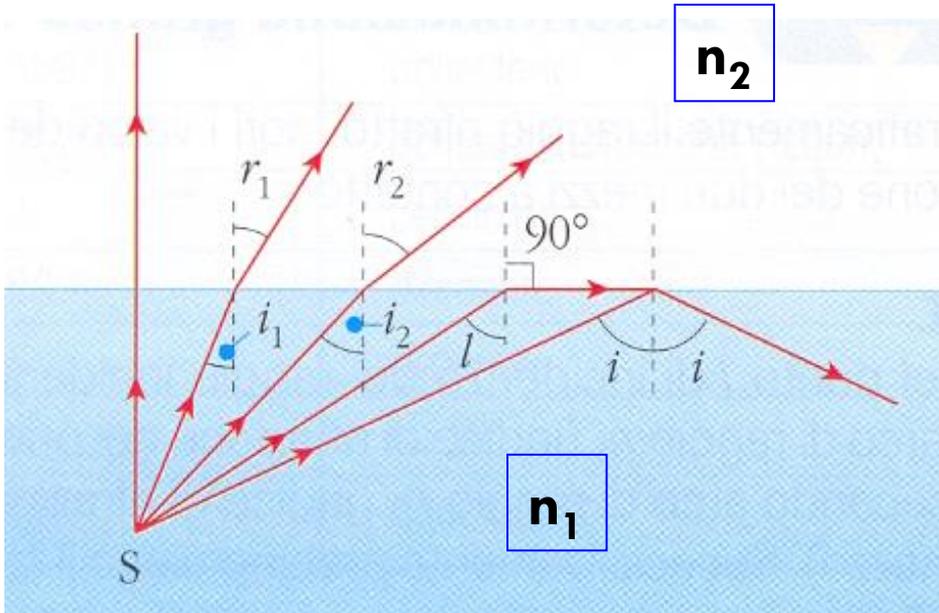
riflessione totale

Vediamo cosa accade quando un raggio luminoso passa da un mezzo più rifrangente n_1 , a un mezzo meno rifrangente n_2 .



Sia S una sorgente luminosa posta nel mezzo n_1 .

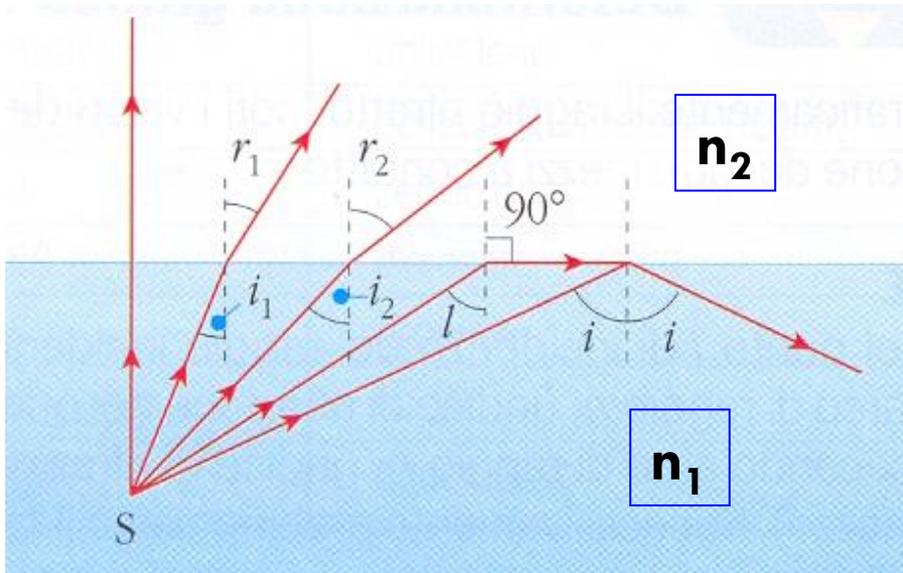
Per la legge della rifrazione, passando da n_1 (mezzo più denso) a n_2 (mezzo meno denso), i raggi si allontanano dalla normale alla superficie di separazione dei due mezzi.



Se consideriamo raggi con “ i ” sempre crescenti, troviamo a un certo punto un raggio cui corrisponde un raggio rifratto parallelo alla superficie dell'acqua. L'angolo di incidenza di questo particolare raggio, si chiama **angolo limite**.

Nella rifrazione da un mezzo più rifrangente a un mezzo meno rifrangente, *l'angolo limite è l'angolo di incidenza cui corrisponde un angolo di rifrazione di 90°* e obbedisce alla seguente relazione:

$$\text{sen } l = \frac{n_2}{n_1}$$



Se consideriamo un angolo di incidenza maggiore dell'angolo limite, si avrebbe:

$$\text{sen } i > \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \text{sen } r = \frac{n_1}{n_2} \text{sen } i > 1$$

Risultato assurdo.

Questa impossibilità matematica corrisponde a un'impossibilità fisica del fenomeno della rifrazione.

Quando l'angolo di incidenza è maggiore dell'angolo limite, non si ottiene alcun raggio rifratto. La luce in tali condizioni non passa nel secondo mezzo, ma viene totalmente riflessa dalla superficie di separazione dei mezzi (**fenomeno della riflessione totale**), che si comporta come uno specchio.