
L'utilizzazione degli antichi strumenti per la comprensione dei fenomeni ottici



Perché vediamo gli oggetti?



Le sorgenti di luce

Qualsiasi corpo in grado di emettere luce è detto **sorgente luminosa** o **corpo luminoso**;

❖ esistono sorgenti di luce **naturali**



❖ o **artificiali**.



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

Perché vediamo gli oggetti?

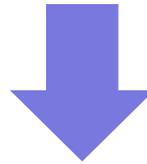
Noi vediamo gli oggetti perché da essi partono radiazioni luminose che giungono al nostro occhio



Perché vediamo gli oggetti?

- ✓ **corpi illuminati opachi:** non si lasciano attraversare dalla luce e non riusciamo a vedere attraverso di essi, per esempio i metalli.
- ✓ **corpi illuminati trasparenti:** si lasciano attraversare dalla luce e riusciamo a vedere attraverso essi, per esempio l'aria e l'acqua.

Tra queste due categorie ce ne è una intermedia:



- ✓ **corpi illuminati traslucidi:**
pur lasciando passare la luce, almeno in parte, non permettono di distinguere la forma degli oggetti da cui essa proviene per esempio il vetro smerigliato.

Che cos'è la luce?

Natura della luce: onde o corpuscoli?

Il **modello corpuscolare**, sostenuto da **Newton (1642 -1727)**, afferma che *«la luce è un flusso di particelle microscopiche (corpuscoli) emesse dalle sorgenti luminose»*.



TEORIA CORPUSCOLARE

Il **modello ondulatorio** fu proposto da **Christian Huygens (1629-1695)**, *«il quale avanzò l'ipotesi che la luce fosse costituita da onde in grado di propagarsi con trasferimento di energia, ma non di materia»*.



TEORIA ONDULATORIA

Che cos'è la luce?

**UN FLUSSO DI PARTICELLE
MICROSCOPICHE**

emesse a ritmo continuo dalle
sorgenti luminose



TEORIA CORPUSCOLARE

UN' ONDA

cioè energia
che si
propaga



TEORIA ONDULATORIA

Il primo modello ad affermarsi fu il **modello corpuscolare** che riusciva ad interpretare vari fenomeni luminosi. Nei primi decenni del 1800, in seguito a nuovi studi ed esperimenti, l'opinione degli scienziati si modificò a favore del **modello ondulatorio**: restava però da stabilire che tipo di onda fosse la luce e in quale mezzo si propagasse.

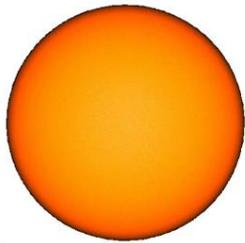
Fu **Maxwell** (1831-1879) a stabilire, intorno alla metà del 1800, che la luce è un'onda elettromagnetica che si propaga anche nel vuoto. Quando finalmente tutta la comunità scientifica sembrava propendere per un'interpretazione ondulatoria dei fenomeni luminosi, agli inizi del 1900 **Albert Einstein** (1879-1955), per poter interpretare l'effetto fotoelettrico, dovette ammettere la natura corpuscolare della luce.

I suoi studi portarono ad affermare la duplice natura della luce.

La velocità della luce

$$c = 300\,000 \text{ km / s}$$

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



Sole

150 milioni di km = 8 minuti-luce

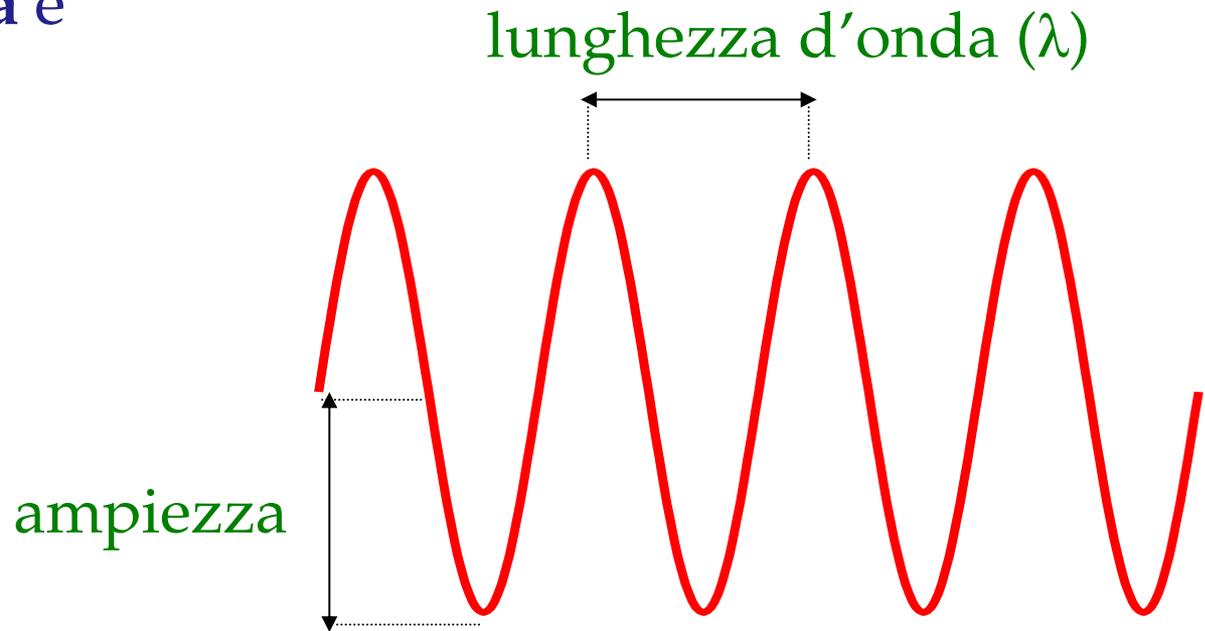


Terra

Onde

Un'onda è caratterizzata da:

- lunghezza d'onda e
- ampiezza



La radiazione elettromagnetica trasporta un' **energia** che aumenta al diminuire della sua lunghezza d'onda

Onde elettromagnetiche



ONDE RADIO $\lambda = 1\text{km} - 10\text{cm}$
trasmissioni radio-televisive



MICROONDE $\lambda = 10\text{cm} - 1\text{mm}$
radar, telefono, forni

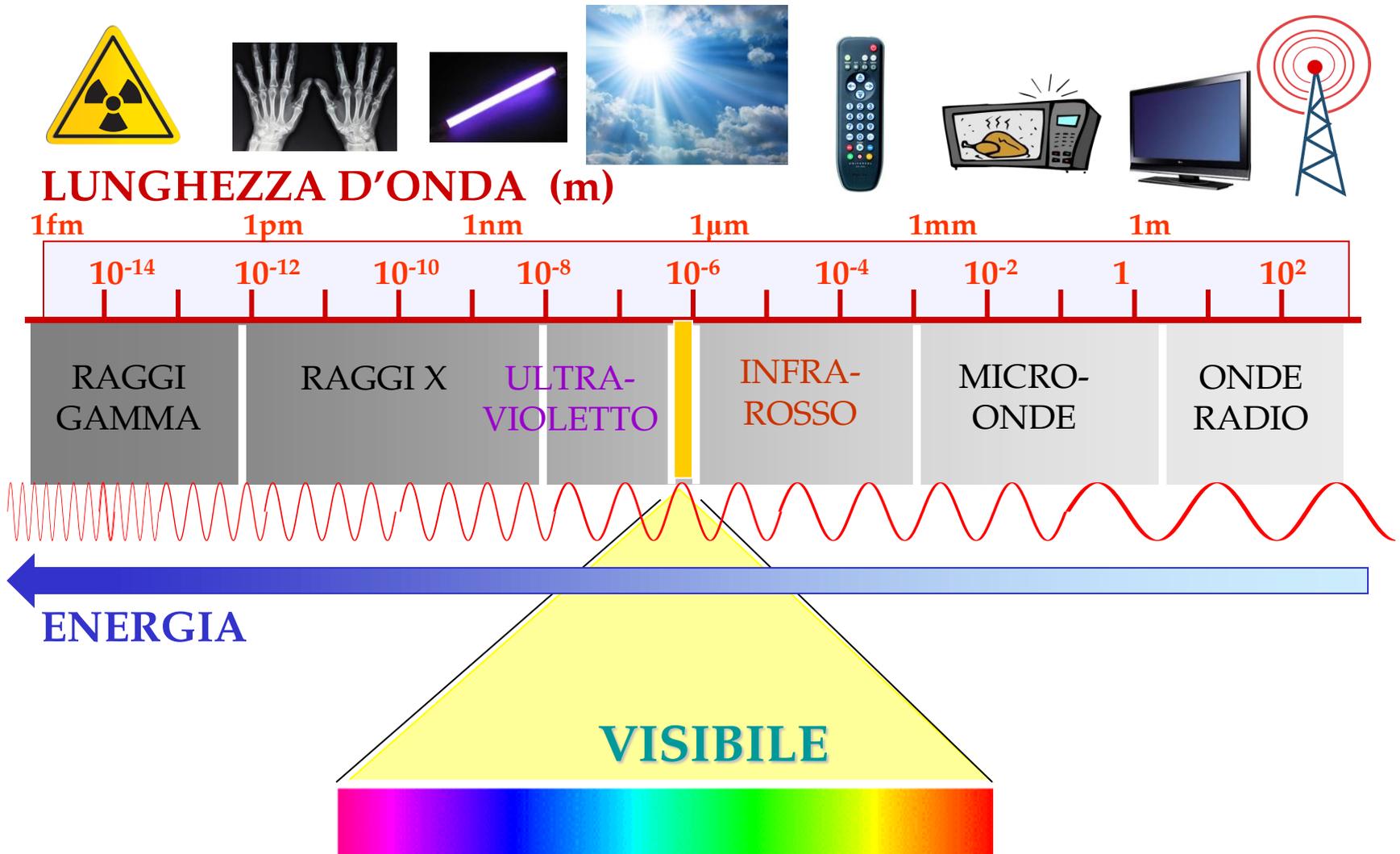


IR - VISIBILE - UV $\lambda = 1\text{mm} - 10^{-9}\text{m}$
calore, luce, reazioni chimiche



RAGGI X – RAGGI GAMMA $\lambda = 10^{-8} - 10^{-12}\text{m}$
radiografie

Lo spettro elettromagnetico

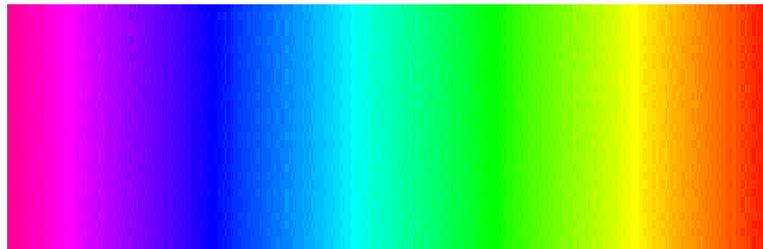


La dispersione della luce e i colori

L'insieme dei colori contenuti nella luce visibile è detto spettro luminoso (o spettro della luce visibile) e in esso si susseguono, nell'ordine, il rosso, l'arancione, il giallo, il verde, l'azzurro, l'indaco e il violetto.

Tra i diversi colori non si ha una separazione netta, ma si passa da uno all'altro con una transizione continua.

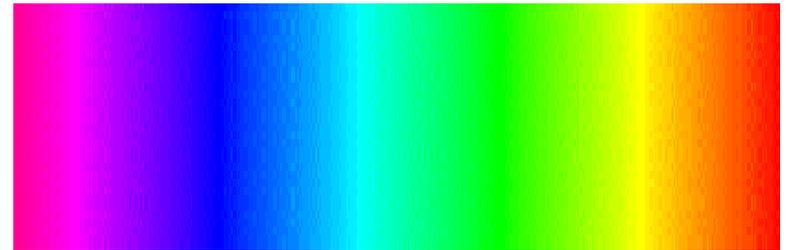
Ciascun colore corrisponde a una particolare lunghezza d'onda dello spettro.



Colori e lunghezza d'onda

L'occhio umano è sensibile solo ad una piccola parte dello spettro elettromagnetico: la luce VISIBILE

COLORE	LUNGHEZZA D'ONDA (nm)
violetto	380-430
azzurro	430-470
verde	470-520
giallo	520-590
arancione	590-610
rosso	610-750



Ciascun colore corrisponde ad una radiazione elettromagnetica di diversa lunghezza d'onda

Il colore degli oggetti

Quando la luce colpisce un oggetto essa può essere assorbita dall'oggetto stesso, può attraversarlo e risultare così trasmessa o può essere riflessa indietro.

Le quantità di luce assorbita e di luce riflessa dipendono dal materiale di cui sono fatti e dalla lunghezza d'onda. Ai fini della determinazione del colore da parte di un osservatore umano, l'elemento principale da tenere presente è la curva di **riflessione** propria della superficie interposta. Il colore visibile di una qualsiasi superficie dipende infatti dal potere di quella superficie di assorbire una parte della luce ricevuta dall'ambiente e di rimandarne verso l'osservatore la parte non assorbita sotto forma di luce riflessa.

Il colore degli oggetti

Se alcune lunghezze d'onda dello spettro visibile sono più assorbite di altre l'oggetto ci appare colorato: se assorbe tutte le onde tranne una, risulta del colore corrispondente a quella radiazione: se non assorbe il rosso, risulta rosso, ecc.; se riflette tutte le onde luminose appare bianco (bianco = somma di tutti i colori); se assorbe tutte le onde, senza restituirle ai nostri occhi, viene percepito come nero (assenza di colori).

Il colore dei corpi trasparenti dipende dal colore del raggio luminoso che essi lasciano passare. Se ad esempio vediamo un vetro di colore blu vuol dire che solamente il raggio luminoso di colore blu è riuscito a passare. Se il vetro ci appare incolore vuol dire che esso lascia passare tutti i tipi di raggi luminosi.

Alcuni artisti definiscono il bianco e il nero “non colori” perché il bianco è dato dalla somma di tutti i colori, il nero dall’assenza di colori.

Il colore degli oggetti

Se alcune lunghezze d'onda dello spettro visibile sono più assorbite di altre l'oggetto ci appare colorato: se assorbe tutte le onde tranne una, risulta del colore corrispondente a quella radiazione: se non assorbe il rosso, risulta rosso, ecc.; se riflette tutte le onde luminose appare bianco (bianco = somma di tutti i colori); se assorbe tutte le onde, senza restituirle ai nostri occhi, viene percepito come nero (assenza di colori).

Il colore dei corpi trasparenti dipende dal colore del raggio luminoso che essi lasciano passare. Se ad esempio vediamo un vetro di colore blu vuol dire che solamente il raggio luminoso di colore blu è riuscito a passare. Se il vetro ci appare incolore vuol dire che esso lascia passare tutti i tipi di raggi luminosi.

Alcuni artisti definiscono il bianco e il nero “non colori” perché il bianco è dato dalla somma di tutti i colori, il nero dall’assenza di colori.

Il colore degli oggetti

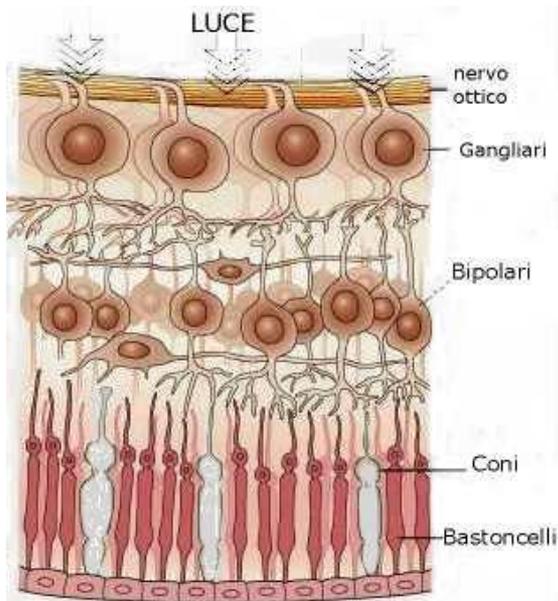
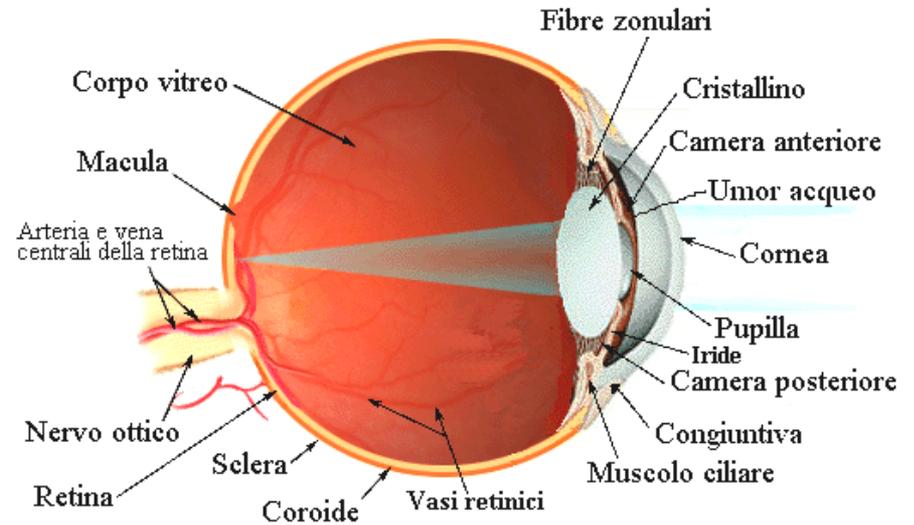
Il colore di un oggetto si modifica in relazione alle diverse situazioni luminose in cui l'oggetto si trova.

Un corpo opaco, quando viene colpito da un raggio di luce bianca può:

- assorbirlo completamente risultando così nero,
- può diffonderlo completamente risultando in tal caso bianco,
- può diffonderlo solo parzialmente ed appare ad es. rosso, perché rosso è il colore che viene diffuso.

L'occhio umano

L'occhio, tramite la lente del cristallino, forma un'immagine degli oggetti sulla retina, da cui poi partono gli impulsi elettrici che arriveranno al cervello



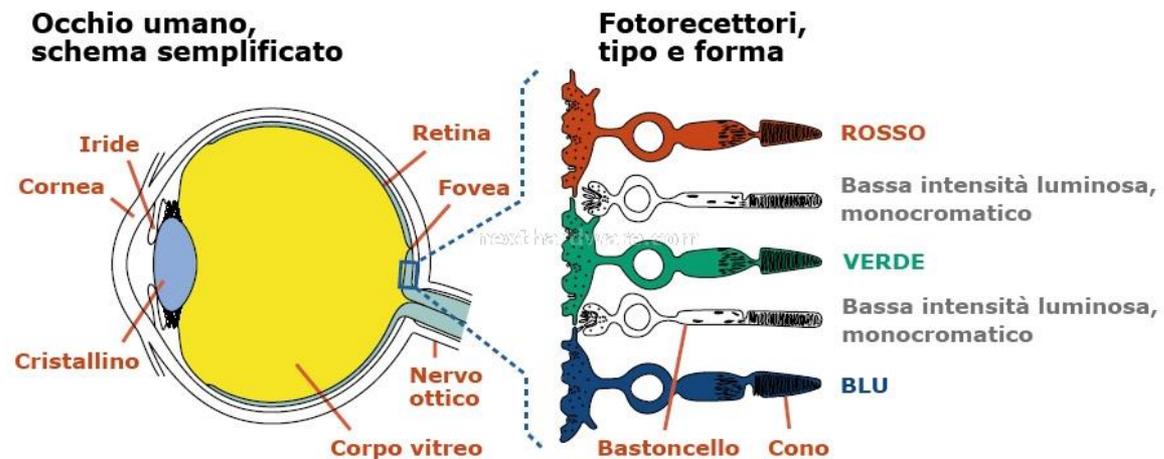
La retina è ricoperta di *coni* e *bastoncelli*.

I CONI sono i responsabili della visione a colori

La vista

Le radiazioni visibili dall'occhio umano sono comprese in una fascia molto limitata dello spettro elettromagnetico, il fatto che noi riusciamo a percepire sotto forma di luce soltanto una parte così limitata delle radiazioni elettromagnetiche è dovuto alla particolare natura del nostro occhio. Le radiazioni infrarosse si limitano a scaldare la superficie, i raggi ultravioletti irritano la congiuntiva, parte interna della palpebra che copre il lato dell'occhio esposto agli agenti esterni (gli ultravioletti sono dannosi e causano mutamenti irreversibili), mentre i raggi che sono elaborati dall'occhio sono quelli che fanno parte dello spettro visibile.

La facoltà degli occhi di distinguere i diversi colori è la capacità di stabilire un confronto fra onde di differente lunghezza nello spettro visibile. Quando l'occhio riceve una radiazione la cui lunghezza d'onda è, ad esempio, di 470 nm noi diciamo di vedere una luce blu, mentre una radiazione di 600 nm corrisponde ad una luce di colore arancione.



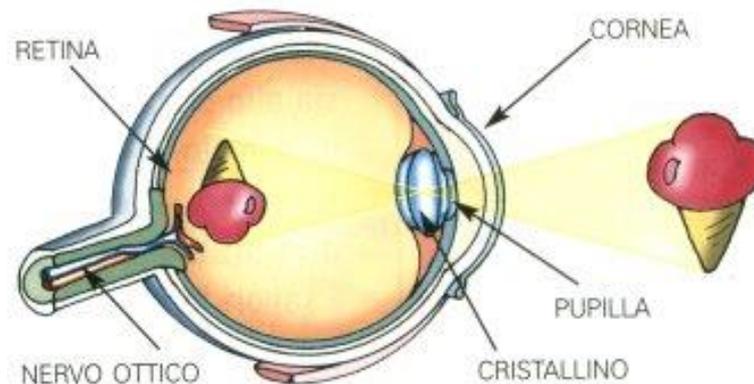
Struttura e funzionamento dell'occhio umano

La luce entra nell'occhio attraverso una apertura che si chiama pupilla. Essa regola la quantità di luce che entra ed influenza nel contempo la profondità di campo. L'iride può far variare il diametro della pupilla tra 2 ed 8 mm: essa si dilata al massimo se c'è poca luce ed si contrae al massimo se c'è molta luce.

L'occhio è una vera e propria camera oscura formata in modo che tutti i raggi parassiti vengano assorbiti e non influenzino negativamente la ricezione della retina.

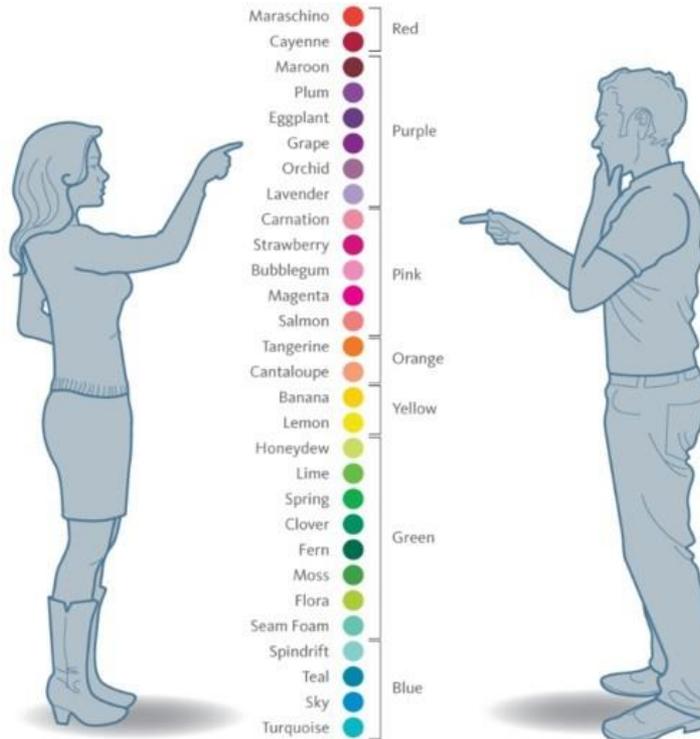
Il cristallino mette a fuoco l'immagine, adattando automaticamente la sua curvatura alla distanza dell'oggetto; questa facoltà prende il nome di "accomodazione".

L'immagine, capovolta e rimpicciolita, viene proiettata sulla retina, che è la parte fotosensibile dell'occhio. La retina si comporta come una pellicola fotografica adatta a ricevere impressioni, su di essa si trovano due tipi di recettori: i coni (sono 6 milioni) e i bastoncelli (sono 120 milioni).



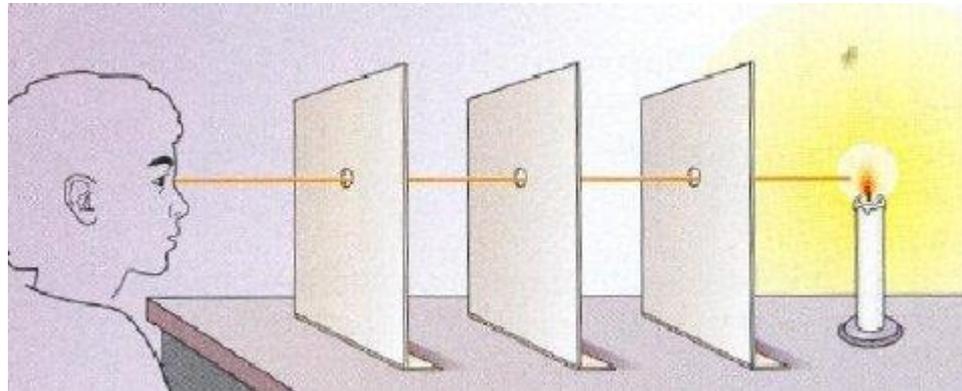
Occhio umano e colori

La struttura dell'occhio permette di distinguere molti colori (nell'uomo fino a 200), di adattarsi velocemente alle variazioni di luce, e di mettere a fuoco un'immagine automaticamente.



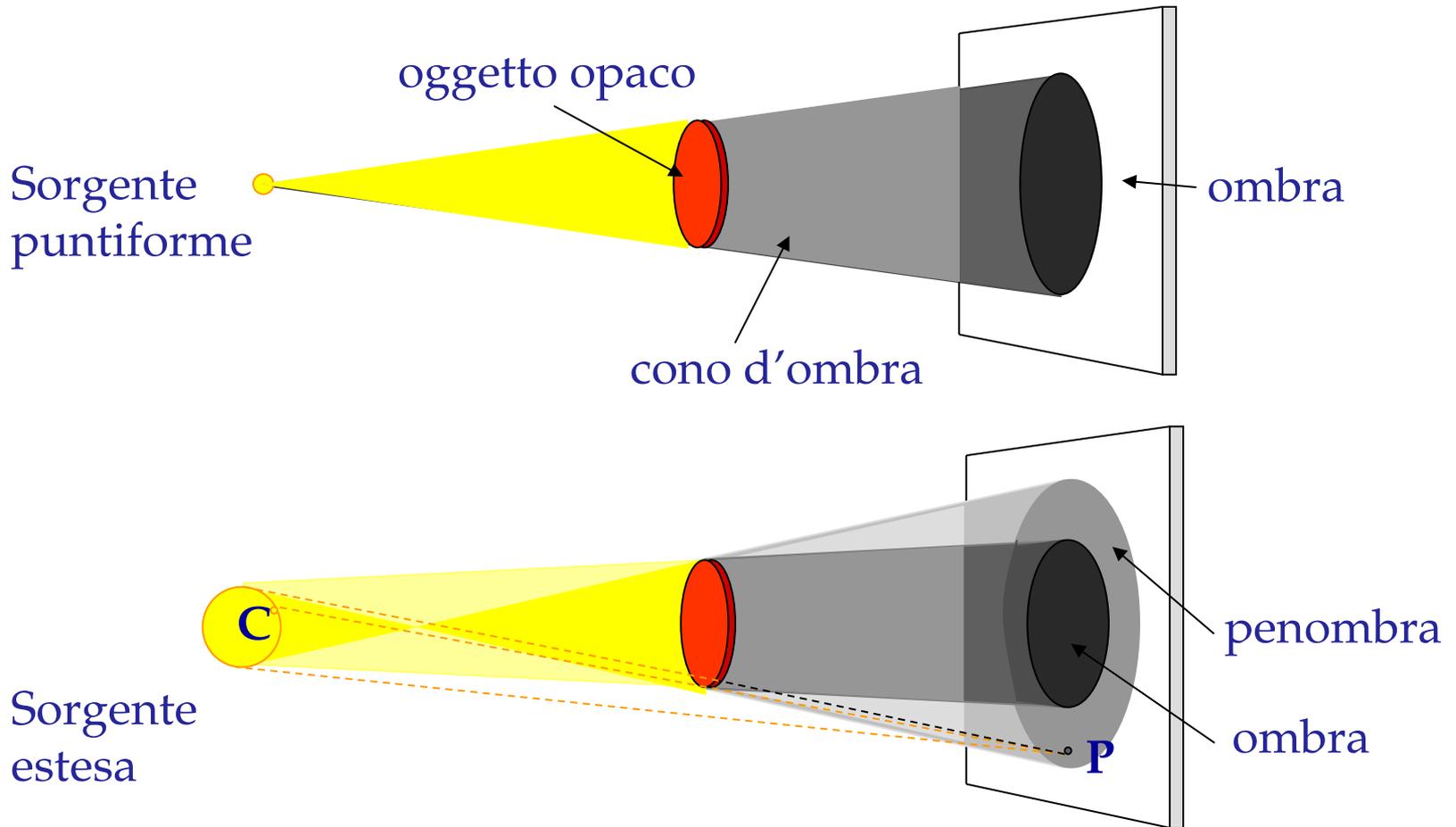
La propagazione rettilinea della luce

Una importante caratteristica della luce è la sua propagazione rettilinea.



La propagazione della luce: le ombre

La luce si propaga in linea retta



Le proprietà della luce

Cosa avviene quando la luce colpisce un oggetto?

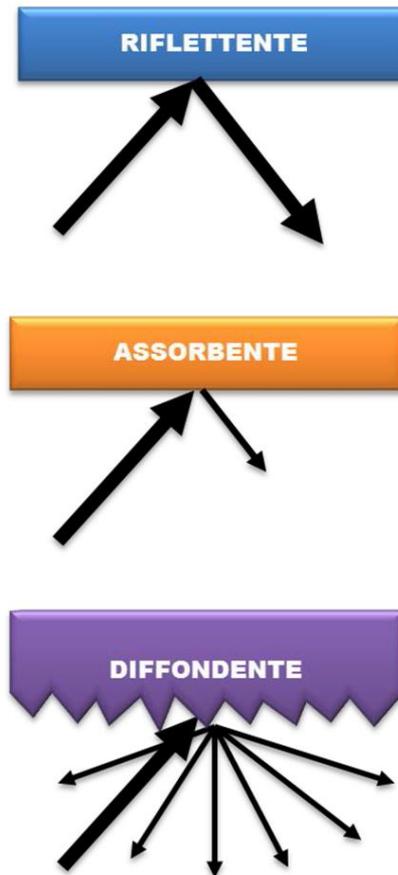
... può essere riflessa ...

... trasmessa ...

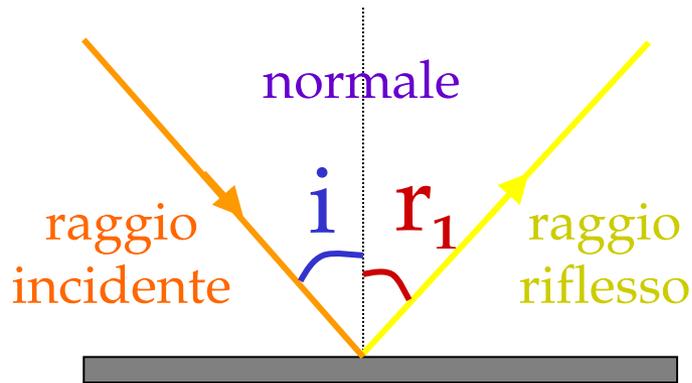
... assorbita e poi riemessa ...

La riflessione

La maggior parte degli oggetti riflette una parte della luce che li colpisce.

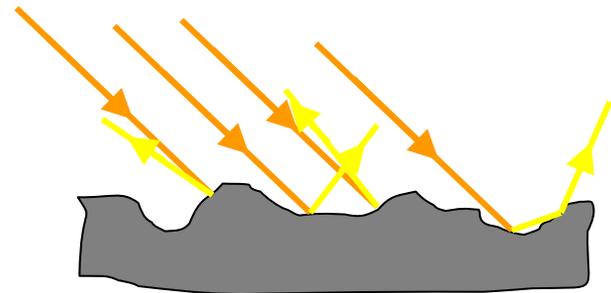


Le leggi della riflessione



$$i = r_1$$

Superficie scabra



Superficie riflettente liscia (specchio)

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

$$i = r_1$$

Gli specchi e la formazione delle immagini

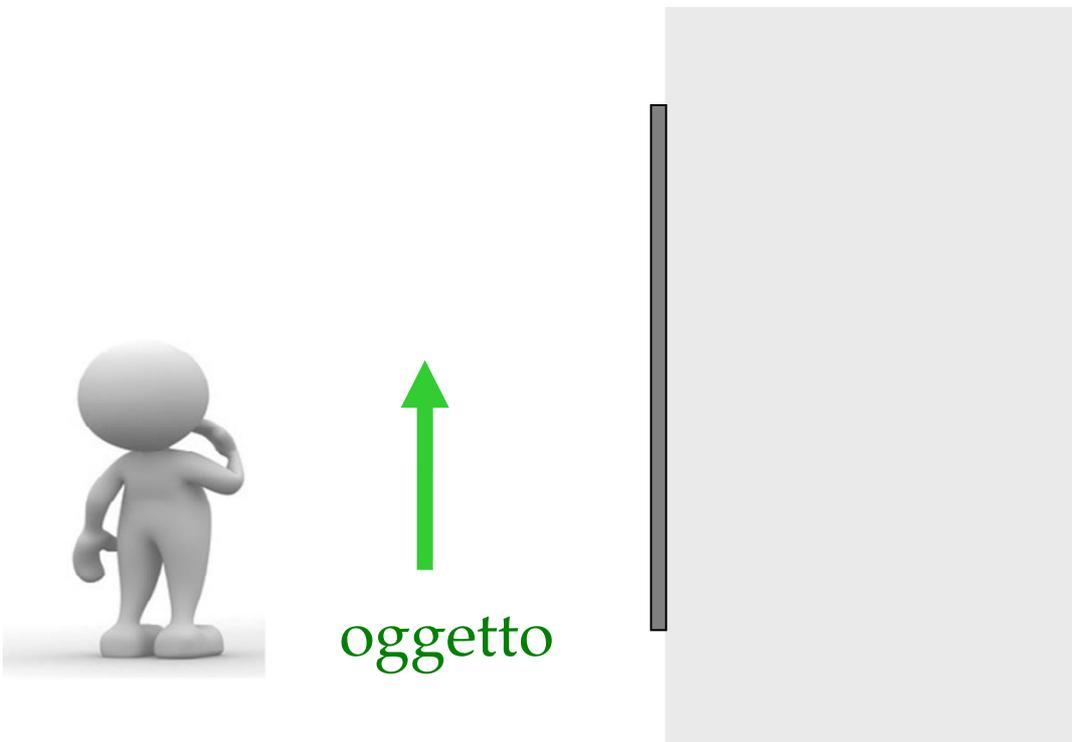
Come si può verificare, l'immagine riflessa in generale non è uguale all'oggetto. Sebbene presenti sempre le stesse dimensioni dell'oggetto, non è sovrapponibile ad esso.

Infatti, se davanti ad uno specchio piano poniamo una pagina di un libro, i caratteri appaiono rovesciati e ancora, se alziamo la mano destra, l'immagine alza la sinistra.

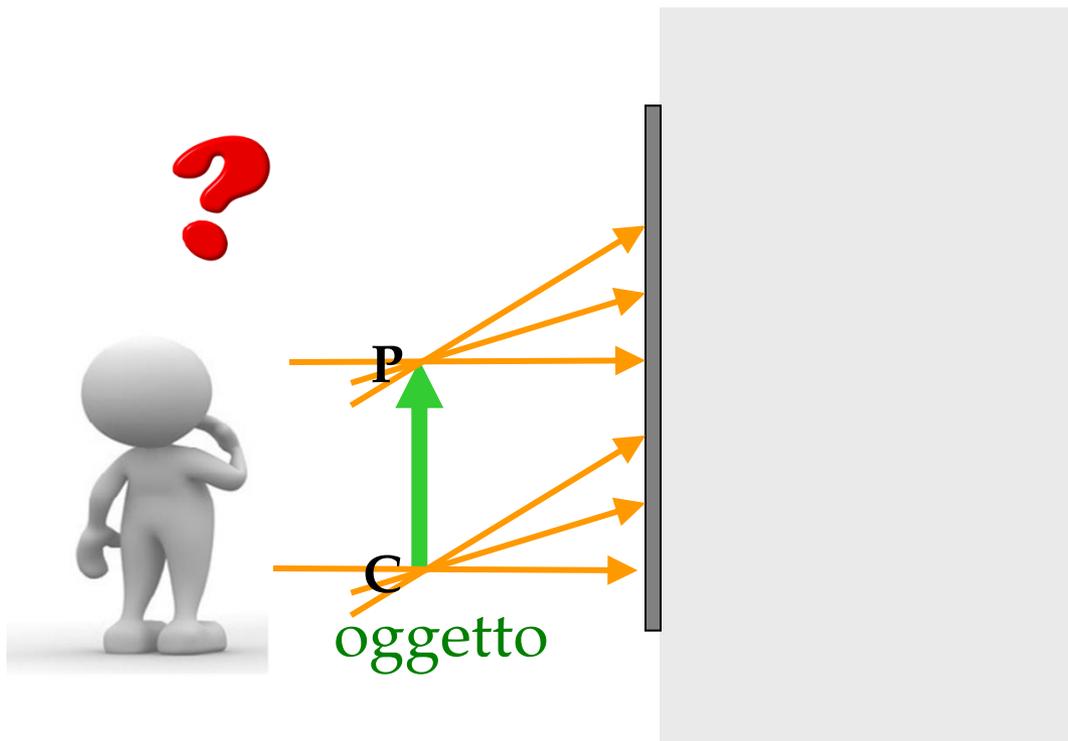
Le caratteristiche delle immagini date da uno specchio piano possono essere così schematizzate:

- ✓ l'immagine è virtuale, collocata dietro lo specchio;
- ✓ l'immagine ha le stesse dimensioni dell'oggetto;
- ✓ l'immagine è simmetrica dell'oggetto rispetto allo specchio;
- ✓ immagine ed oggetto sono inversamente uguali, cioè la destra è scambiata con la sinistra;
- ✓ l'immagine è diritta. Esistono anche specchi che producono immagini reali, per esempio gli specchi curvi.

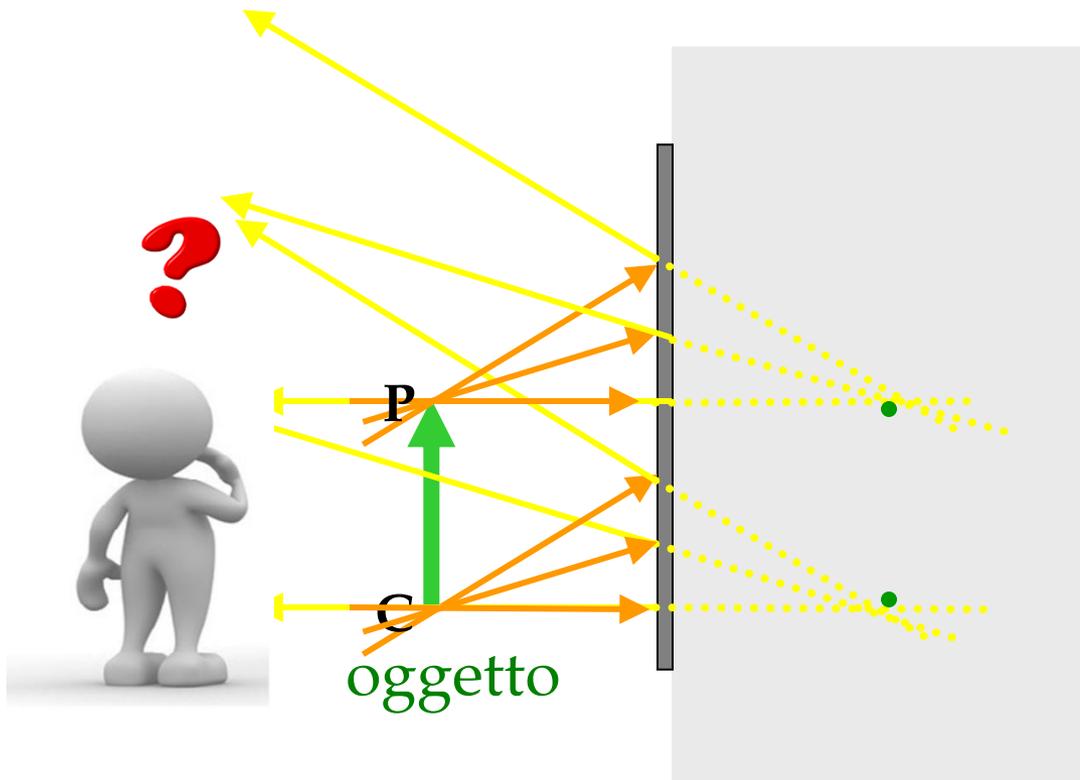
Riflessione su uno specchio piano



Riflessione su uno specchio piano

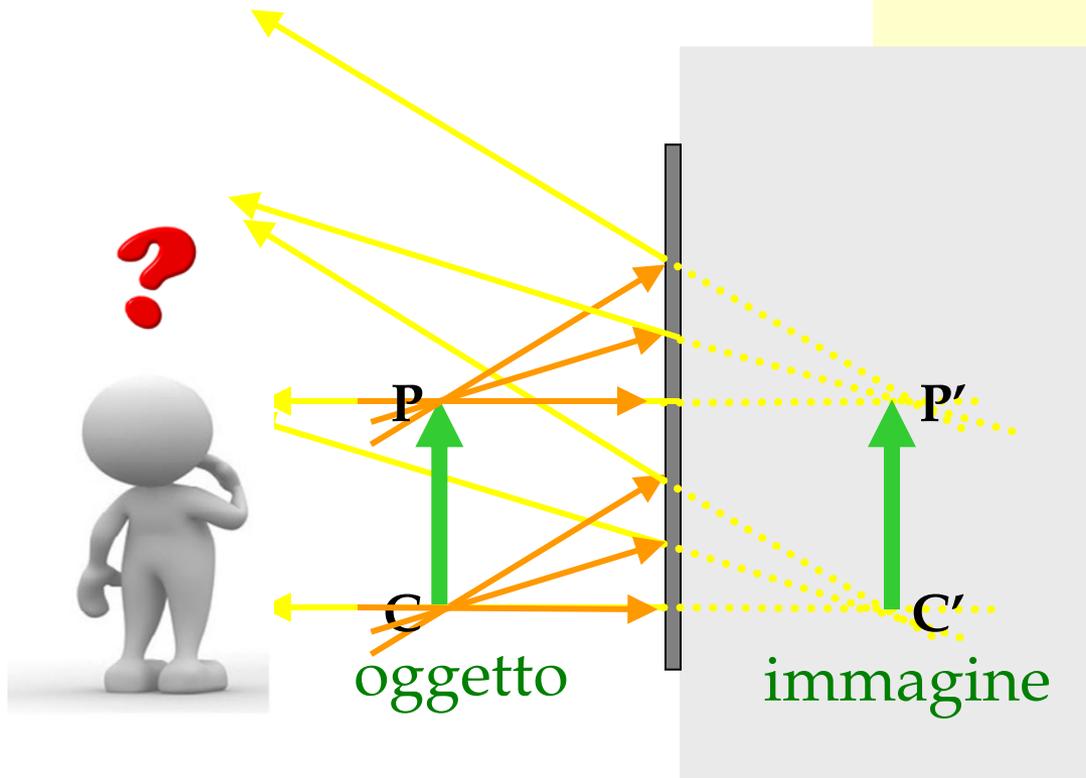


Riflessione su uno specchio piano



Riflessione su uno specchio piano

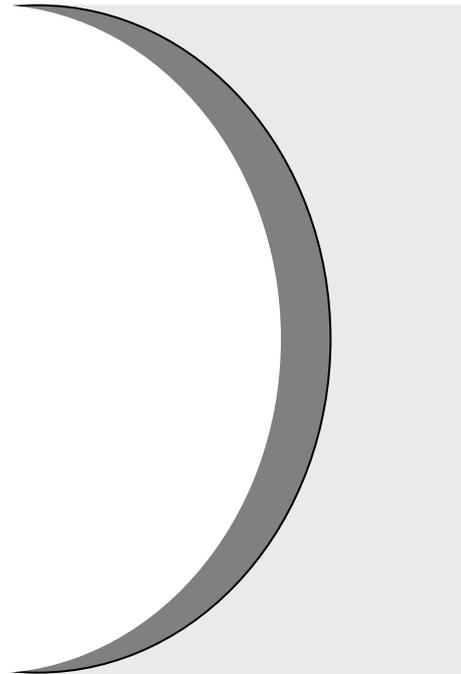
L'immagine è **VIRTUALE**,
delle stesse dimensioni
dell'originale,
DRITTA, ma
NON E'
SOVRAPPONIBILE
ALL'ORIGINALE



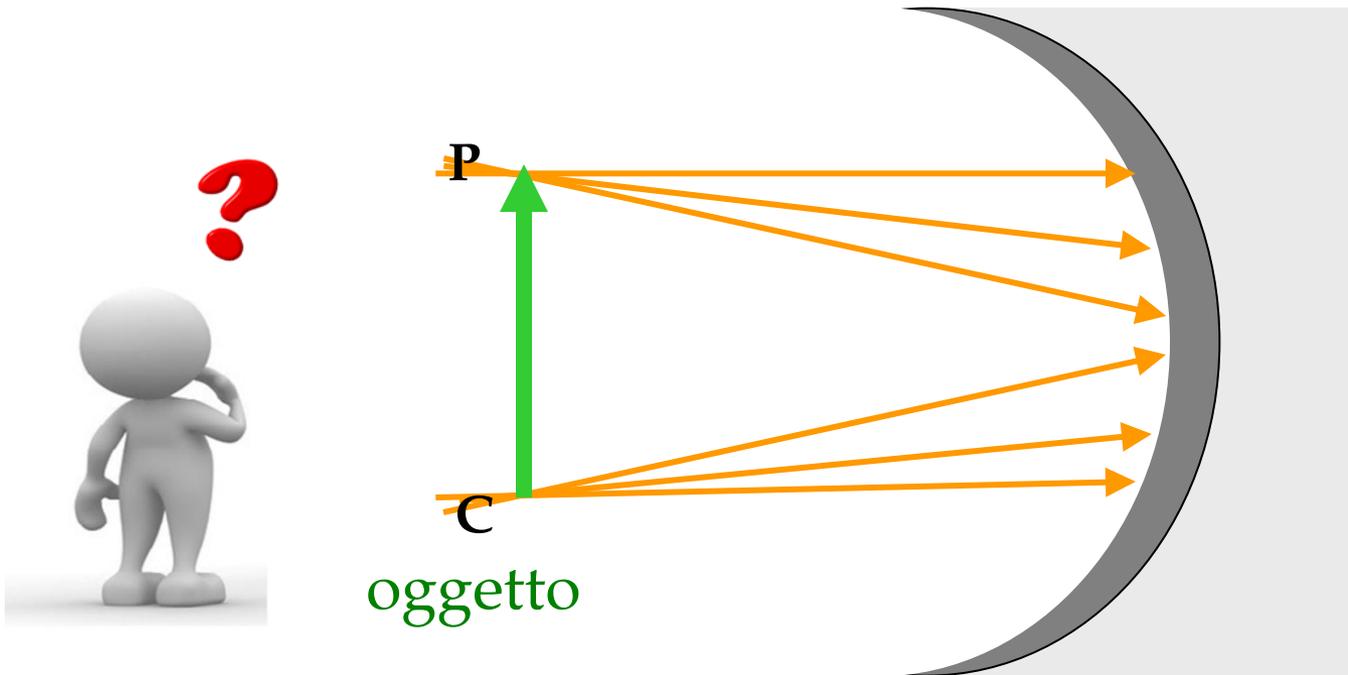
Riflessione su uno specchio concavo



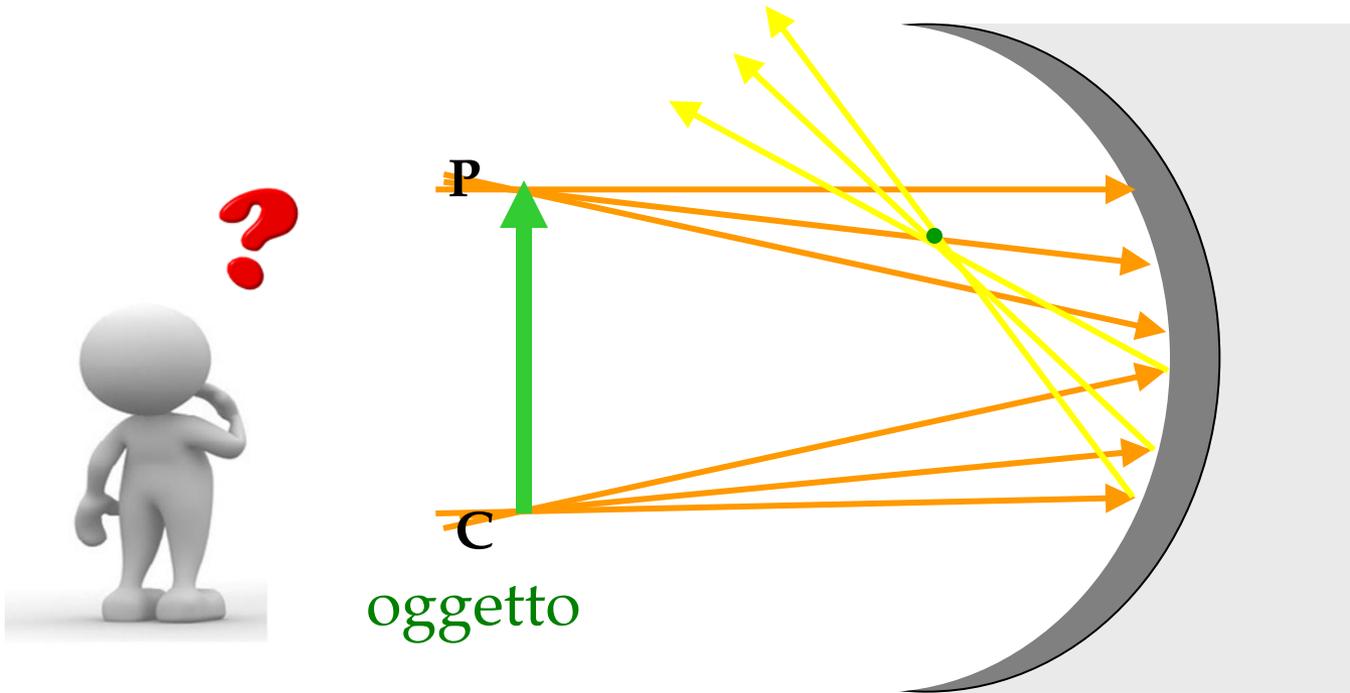
↑
oggetto



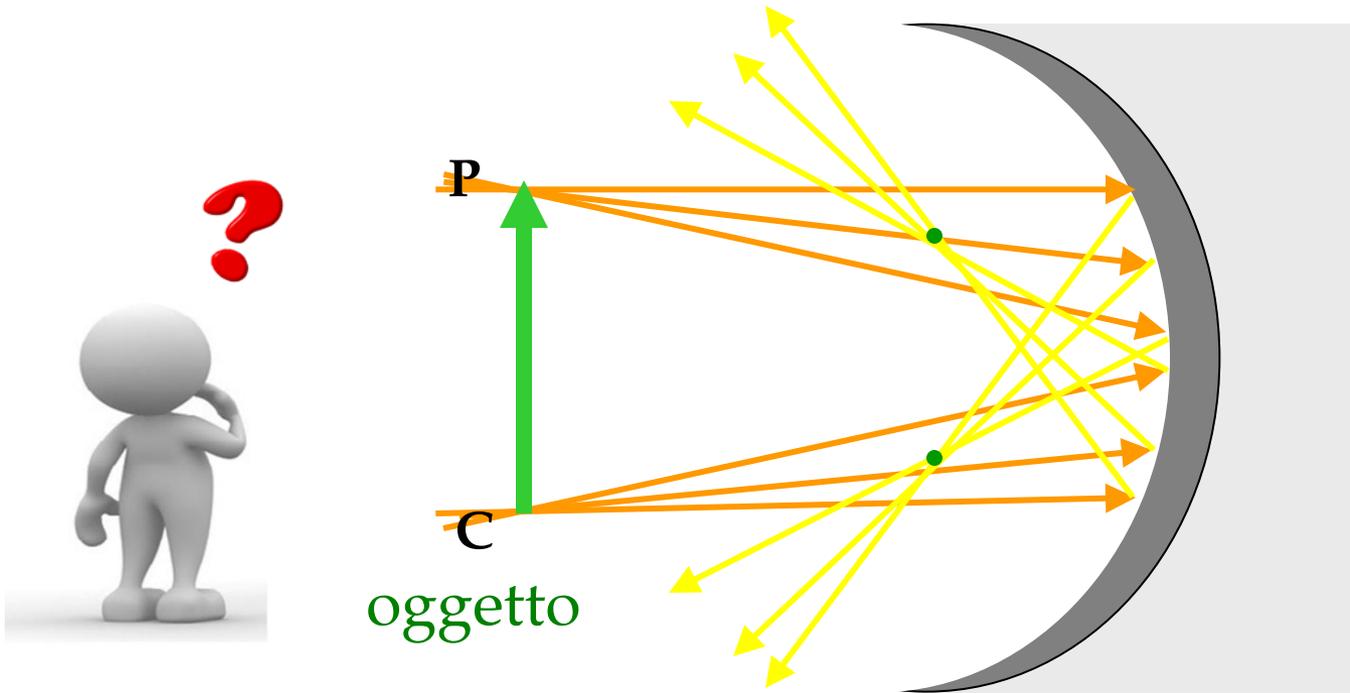
Riflessione su uno specchio concavo



Riflessione su uno specchio concavo

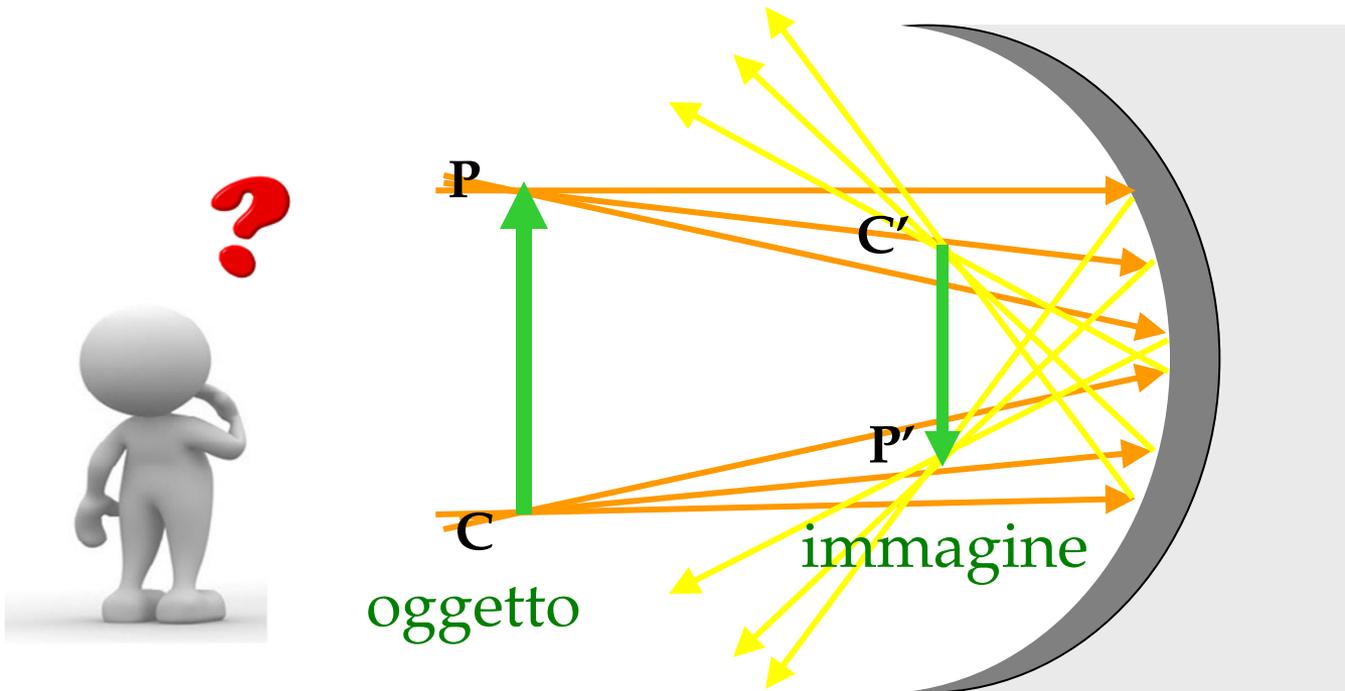


Riflessione su uno specchio concavo



Riflessione su uno specchio concavo

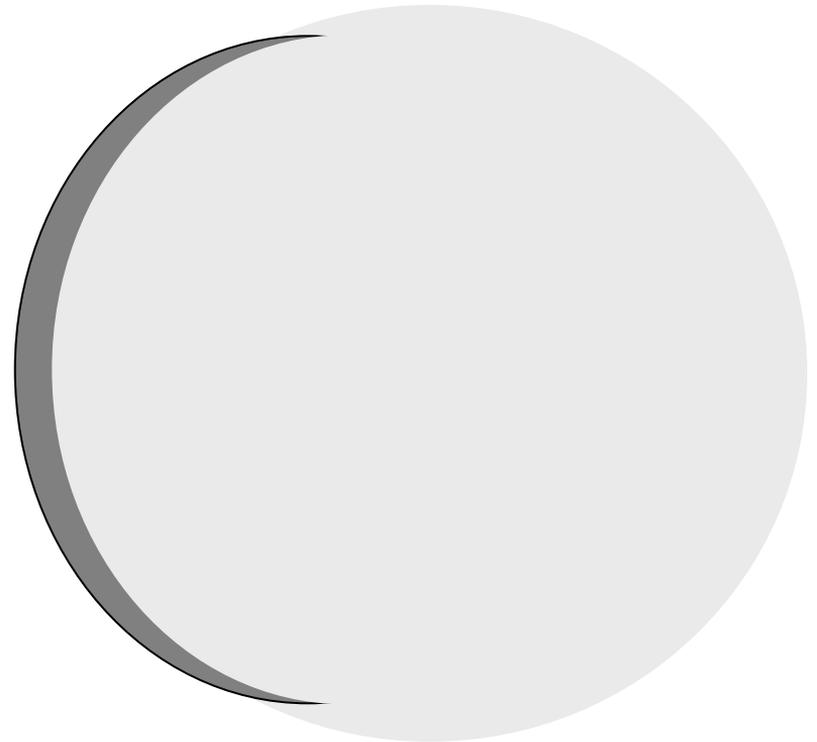
L'immagine è **REALE**, rimpicciolita e **CAPOVOLTA**



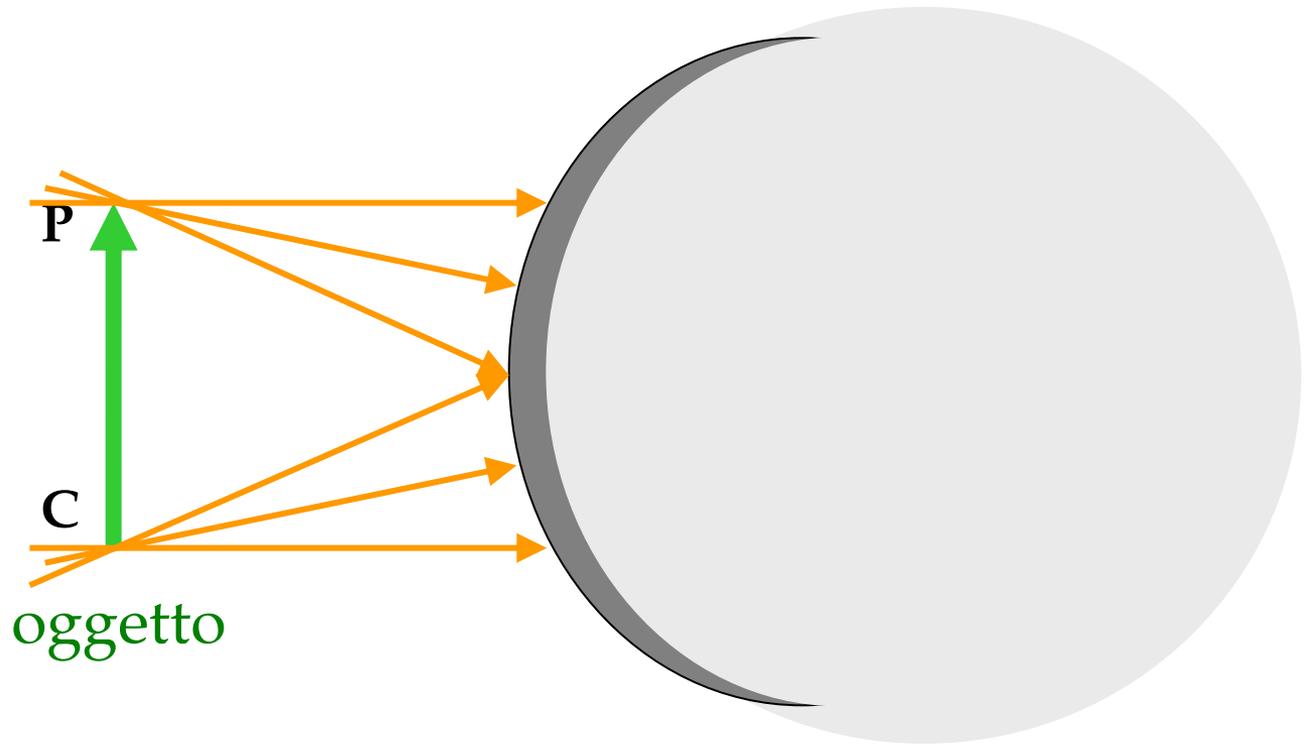
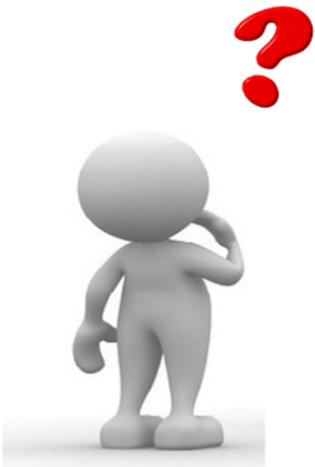
Riflessione su uno specchio convesso



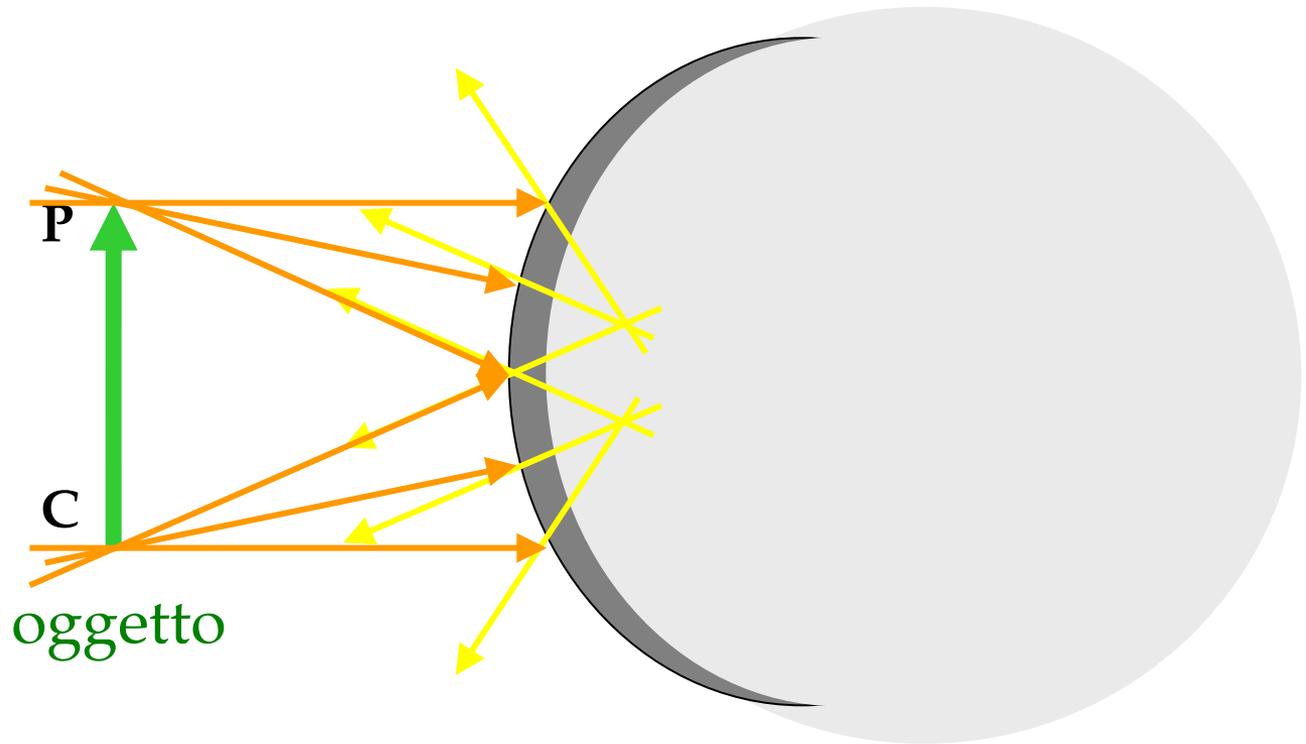
↑
oggetto



Riflessione su uno specchio convesso

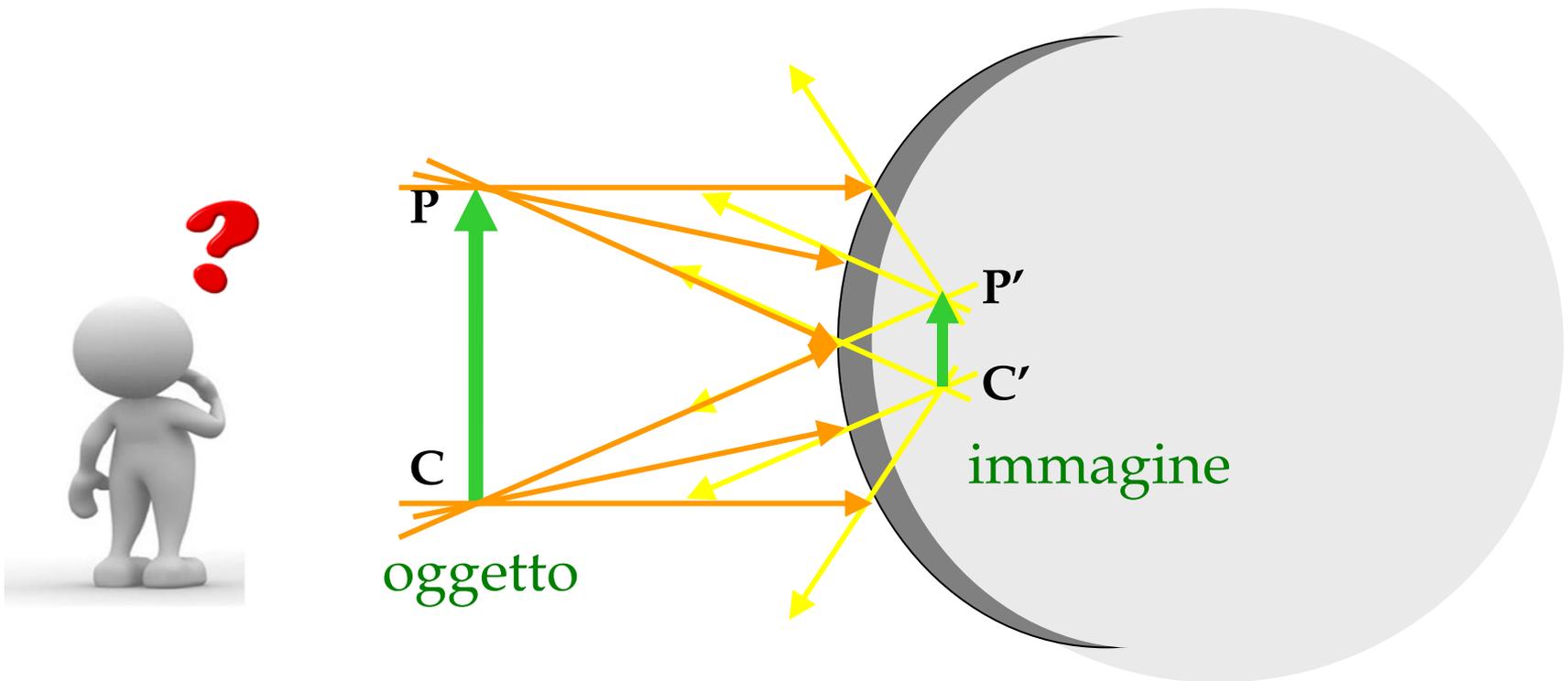


Riflessione su uno specchio convesso



Riflessione su uno specchio convesso

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



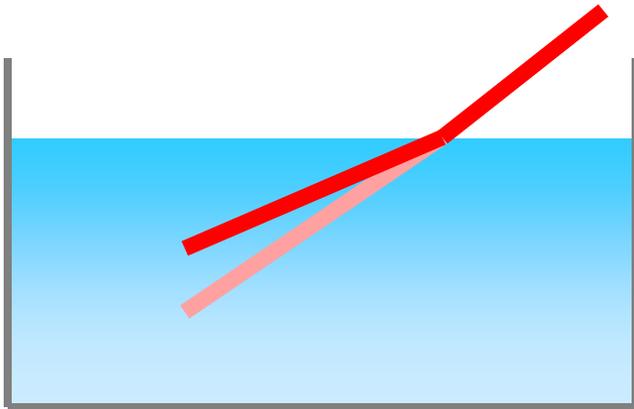
La rifrazione

Quando un raggio di luce incontra la superficie di separazione tra due mezzi trasparenti, nei quali la luce ha velocità diverse, per esempio aria e vetro, si verifica il fenomeno della rifrazione.

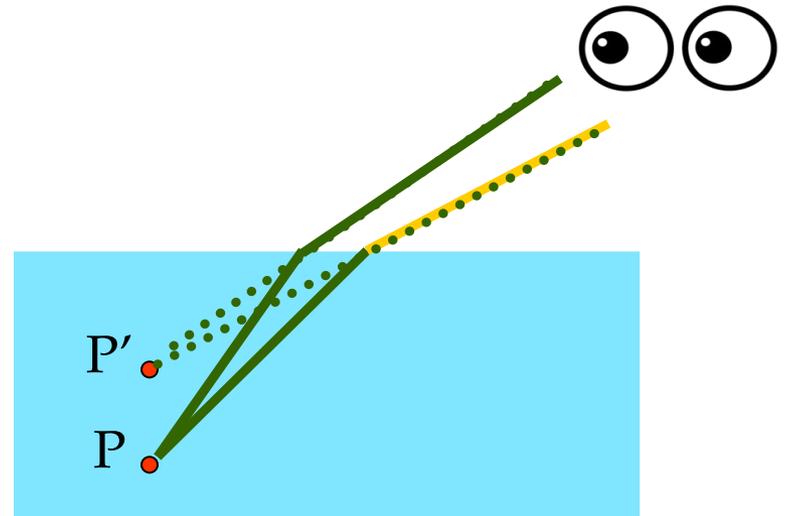


Esempi di rifrazione

Il bastoncino spezzato



Un bastoncino immerso parzialmente in acqua sembra spezzato



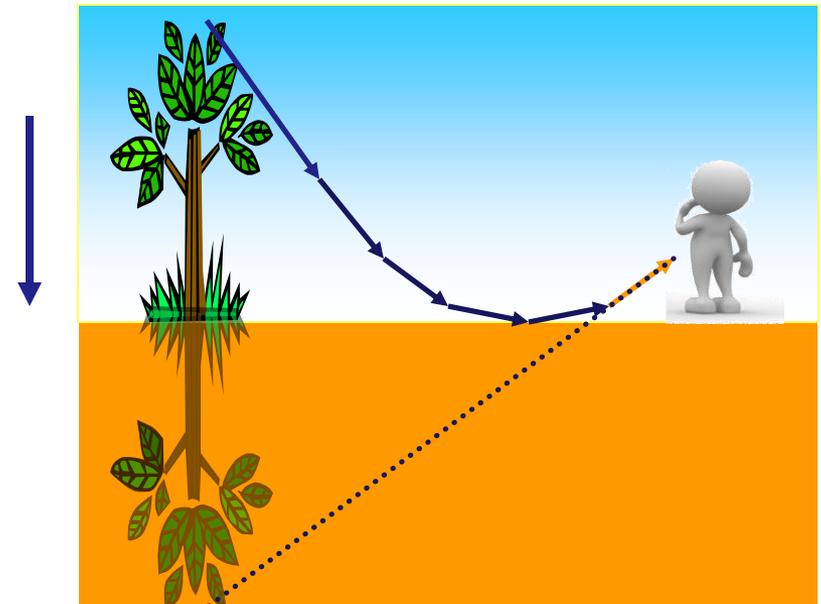
A causa della rifrazione, gli oggetti in acqua appaiono più in alto di dove realmente si trovano

Esempi di rifrazione: il miraggio

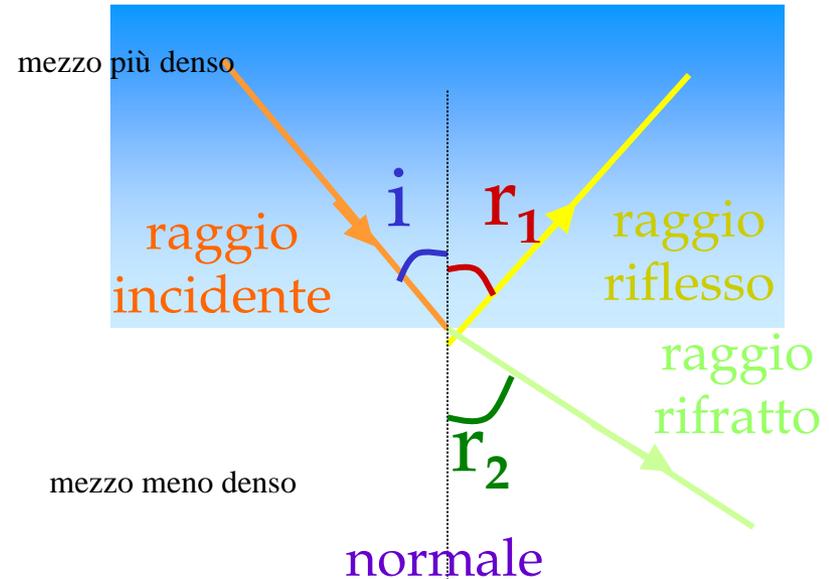
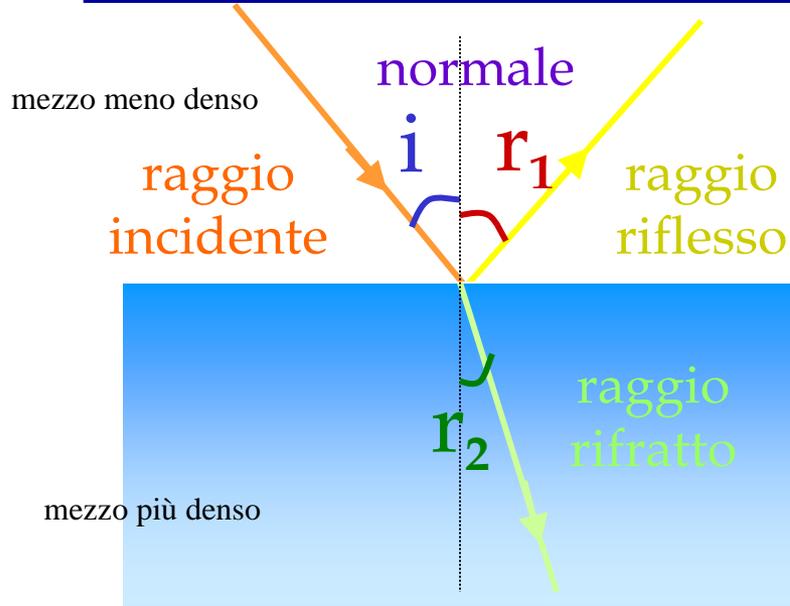


aria sempre più calda e
quindi sempre meno densa

sabbia bollente



Le leggi della rifrazione



1^a legge: il raggio incidente, il raggio riflesso 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

Lenti convergenti e divergenti

Lenti convergenti



Immagine capovolta e rimpicciolita

Immagine capovolta e ingrandita

Lenti divergenti

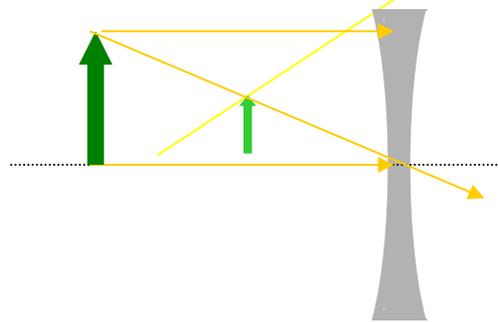


Immagine diritta e rimpicciolita

Applicazioni delle lenti



macchine fotografiche



microscopi e lenti di ingrandimento



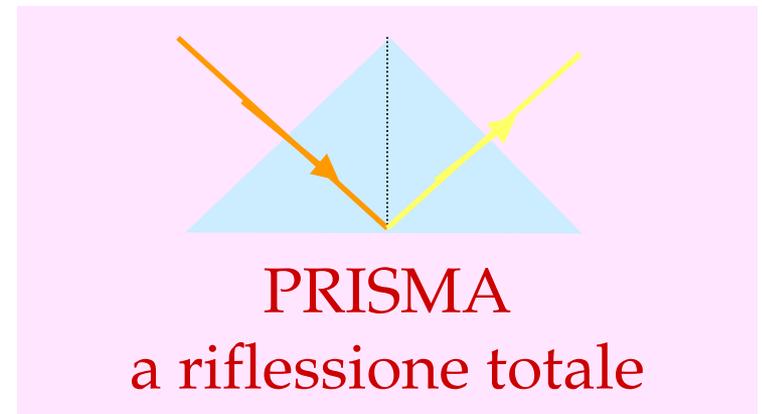
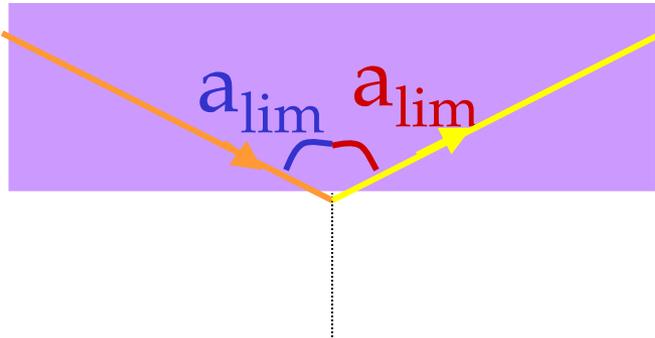
binocoli e cannocchiali



occhiali da vista

Riflessione totale

Se la luce passa da un mezzo meno denso a uno più denso incidendo con un angolo superiore di un **ANGOLO LIMITE**, essa viene **riflessa totalmente**



Esempi di riflessione totale



PERISCOPIO



FIBRA OTTICA

La diffrazione

Il modello corpuscolare della luce non è in grado di spiegare il fenomeno della diffrazione.

Si ha **diffrazione** quando la luce aggira gli ostacoli (non si propaga in linea retta) e invade quella che dovrebbe essere una zona d'ombra. Se un fascio di luce passa attraverso una fenditura larga, sullo schermo compare una sola striscia luminosa.

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



Interferenza: introduzione

L'interferenza è un fenomeno che riguarda i fenomeni ondulatori.
Le onde coinvolte possono essere

- ✓ meccaniche (esempio: onde che si producono nell'acqua)
- ✓ elettromagnetiche (luce).

Interferenza: fenomeno

L'interferenza è un effetto che si verifica in una regione dello spazio in cui sono presenti contemporaneamente due onde coerenti (generate dalla stessa sorgente).

La sovrapposizione delle onde dà origine ad una perturbazione la cui ampiezza non è la semplice addizione numerica delle singole ampiezza delle onde.

Interferenza

Per descrivere l'interferenza, si considerano due onde coerenti che hanno la stessa lunghezza d'onda, λ , e la stessa ampiezza. Inoltre si ammette che siano in fase, cioè che i loro massimi si verificano contemporaneamente.

L'ampiezza dell'onda risultante è la somma delle ampiezze delle due onde. In questo caso si ottiene una interferenza costruttiva.

Polarizzazione

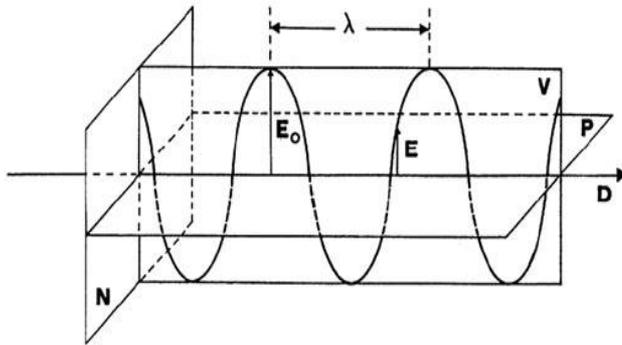
La polarizzazione indica la direzione dell'oscillazione del vettore campo elettrico durante la propagazione dell'onda nello spazio-tempo.

E' una proprietà delle onde elettromagnetiche e il fatto che la luce si può polarizzare è una "prova" della sua natura ondulatoria.

Un'onda si dice "*polarizzata*" quando la vibrazione del vettore elettrico associato alla radiazione presenta qualche preferenza circa la direzione, sempre comunque in un piano ortogonale al vettore d'onda k .

Polarizzazione

La radiazione ottica, quella che comunemente si chiama “luce”, è composta di onde; un’onda è una variazione periodica di qualcosa: nel caso nostro, di un campo elettrico ed uno magnetico. Ogni singola onda ha una durata limitata, cioè la radiazione è data da un insieme di detti “fotoni”.



La luce è un'onda trasversale !!

Per semplicità consideremo solo **E** e non **B** (che gli è sempre perpendicolare)

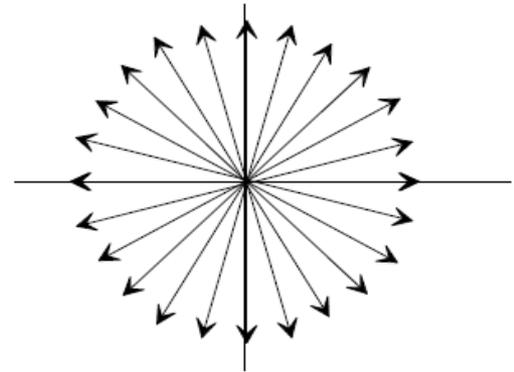
La luce solitamente non è polarizzata...

Nelle sorgenti di luce ordinaria l'onda elettromagnetica prodotta da ciascun atomo non ha alcun legame con quella emessa dagli altri atomi e quindi il processo di emissione è del tutto casuale.



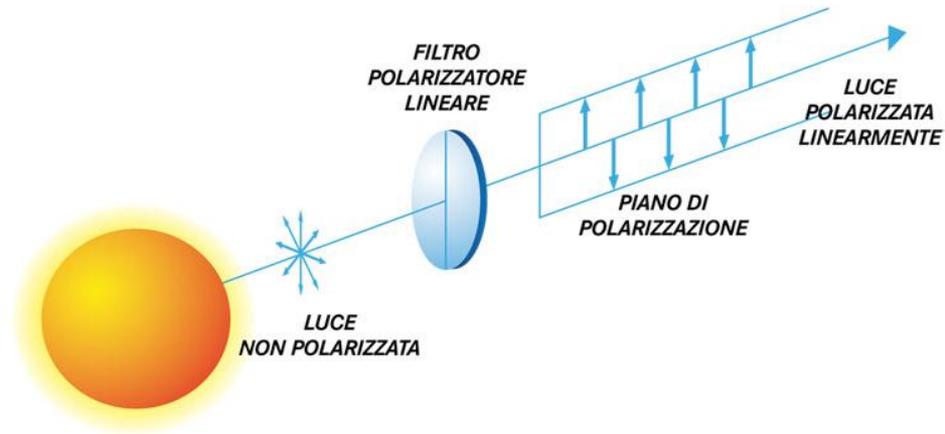
Il risultato è un'onda dove E oscilla in modo CASUALE

Nel caso di luce *non polarizzata* l'estremo del vettore E vibra in ogni direzione

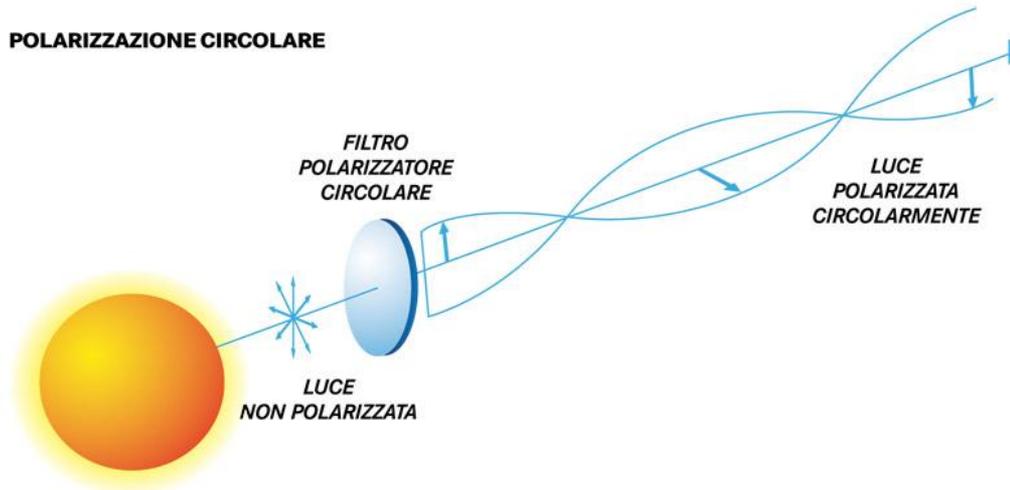


La polarizzazione può essere...

POLARIZZAZIONE LINEARE

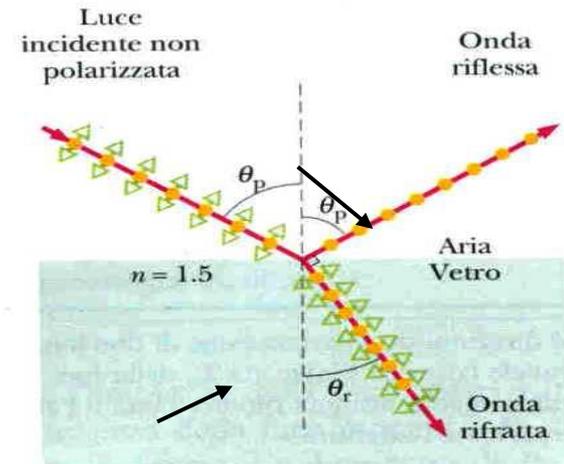


POLARIZZAZIONE CIRCOLARE



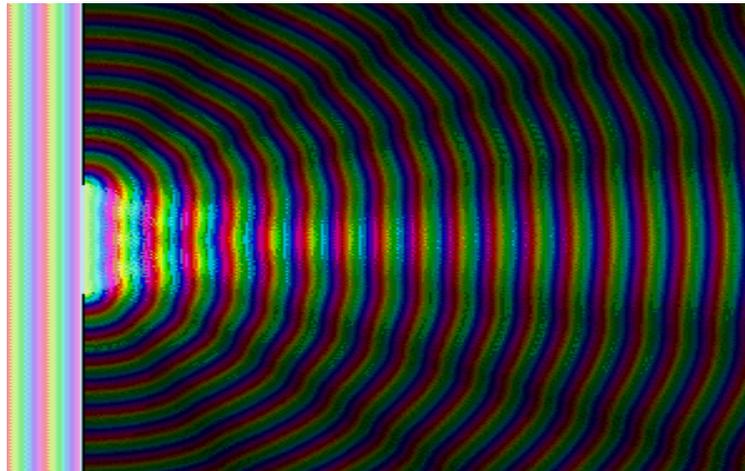
La luce si può polarizzare per...

- Riflessione su superfici
- Assorbimento con polarizzatori e analizzatori



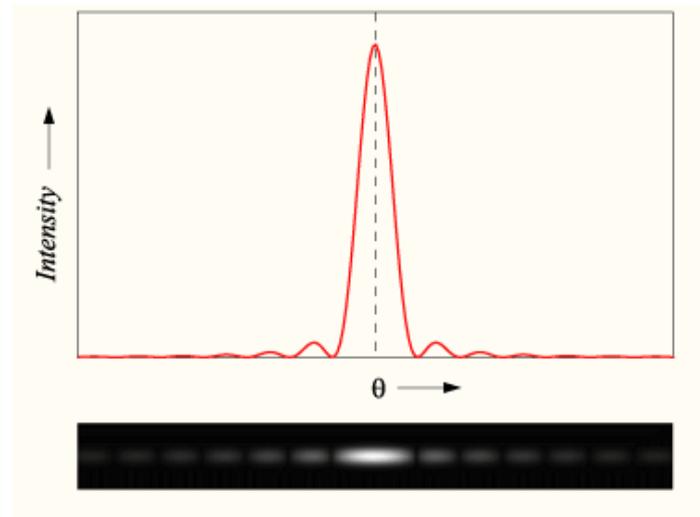
La diffrazione

Secondo il *principio di Huygens-Fresnel*, quando la luce deve oltrepassare una fessura di ampiezza simile alla sua lunghezza d'onda, ogni punto della fenditura diventa sorgente di onde secondarie.



Questo provoca, su uno schermo posto oltre la fenditura, la formazione di una caratteristica *figura di diffrazione*, sulla quale si riconoscono massimi e minimi.

Figura di diffrazione ideale



I massimi di luminosità sono causati da interferenze costruttive.
Viceversa, i minimi di luminosità sono causati da interferenze distruttive.