

Ottica Geometrica

Cos'è la luce?

La luce è un fenomeno fisico

Per studiare la luce, non c'è bisogno di sapere cos'è (come per il calore, l'elettricità, ecc.)

Quello che dobbiamo fare è osservare la realtà per “immaginarci” la luce a modo nostro, ovvero per farci un modello della luce.

Tutte le volte che deduciamo una conclusione da questo modello, dobbiamo verificarla con un esperimento nuovo. Se tutte le verifiche hanno successo, possiamo dire che la luce è “molto simile” al modello. Se troviamo anche una sola contraddizione, la luce è diversa da quel che ci siamo immaginati.

Ottica

L'ottica studia la propagazione della luce.

Non si occupa quindi della natura della luce né di come essa è prodotta.

In prima approssimazione si osserva sperimentalmente che la luce si propaga, in mezzi omogenei, per raggi che non sono altro che linee rette.

Lo studio della propagazione della luce tramite raggi è l'oggetto dell'ottica geometrica.

Ottica

ottica geometrica → studia i fenomeni ottici assumendo che la luce si propaghi mediante raggi rettilinei.

ottica fisica → studia i fenomeni di interferenza, diffrazione, polarizzazione della luce ed i fenomeni per i quali non sono valide le ipotesi esemplificative dell'ottica geometrica, ma per i quali è necessario a ricorrere alla descrizione del carattere ondulatorio della luce come radiazione elettromagnetica.

ottica quantistica → studia l'interazione della luce con la materia dal punto di vista della meccanica quantistica.

Storia

Nel VI sec. a.C., **Pitagora** sosteneva che l'occhio inviasse raggi visuali, pensati come rette, a esplorare l'ambiente esterno.

Intorno al IV sec. A.C. **Euclide** sostenendo le teorie di Pitagora, riorganizzò le teorie dell'ottica in un trattato, nel quale spiegò anche le leggi della riflessione: diede di fatto vita all'ottica geometrica

Ibn al Haitham

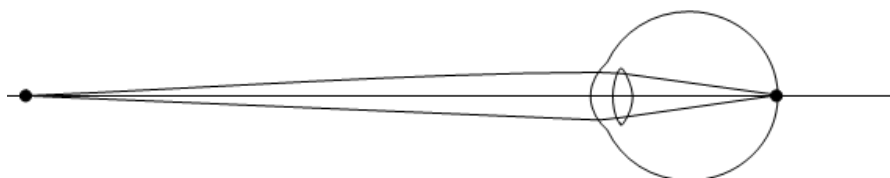
1. *Una persona che guardi il sole e poi chiuda gli occhi, conserva per qualche tempo l'immagine del disco solare.*

2. *Una persona che guardi direttamente il sole prova un senso di fastidio o addirittura dolore.*

Salta con queste osservazioni l'ipotesi dei raggi visivi. Invece, è richiesto un agente esterno che colpisca l'occhio. Un oggetto qualsiasi deve essere risolto in piccolissime unità, ciascuna delle quali emette le sue immagini in ogni direzione. La ricostruzione dell'intero oggetto avviene per rifrazione delle diverse unità da parte della cornea, che ricostruisce l'immagine sul "sensorium" (la nostra retina).

Storia

L'abate **Francesco Maurolico** di Messina riuscì a dare una spiegazione al funzionamento dell'occhio, di come le immagini vengono focalizzate sulla retina attraverso il cristallino.



Johannes Kepler:

“I corpi esterni consistono di aggregazioni di punti. Ciascuno di questi emette in tutte le direzioni raggi rettilinei infinitamente estesi, se non incontrano ostacoli. Un punto è come una stella che irraggia. Se c'è un occhio davanti al punto - stella, tutti i raggi formano un cono che ha vertice nel punto e base sulla pupilla. I raggi, rifratti dalla cornea, formano un nuovo cono con vertice un punto sulla retina”.

Storia

1665 **Francesco Maria Grimaldi** osservò la diffrazione



dibattito sulla natura corpuscolare o ondulatoria della luce



1801 **Thomas Young** osservò l'interferenza



1873 **Maxwell** dimostrò per via teorica la natura elettromagnetica della luce (confermato da **Hertz** nel 1887) e nel 1900 **Max Plank** dimostrò che le radiazioni elettromagnetiche dovevano essere emesse sotto forma di quantità finite di energia, i quanti. Di lì a cinque anni **Einstein** dimostrò che la luce si comporta come minuscoli corpuscoli, chiamati fotoni.

Cos'è l'ottica?

L' **ottica** è la parte della fisica che descrive il comportamento e le proprietà della luce e l'interazione della luce con la materia.

1. La sorgente di luce (ci sono oggetti che emettono luce)
2. L'oggetto (ci sono oggetti che rimandano la luce)
3. L'occhio (parte della luce entra nella pupilla e arriva sulla retina)
4. Il cervello (che interpreta i segnali ricevuti dalla retina).

L'Ottica si compone quindi non solo di fisica (che si occupa di 1 e 2), ma anche di fisiologia (3,4) e di psicologia (4).

Esempi

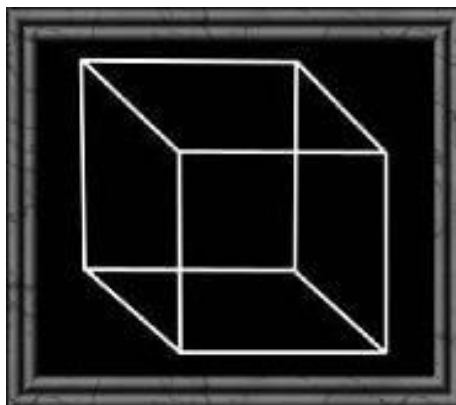
Interpretiamo sempre facilmente ciò che abbiamo davanti agli occhi?



Cosa rappresenta la figura?

Esempi

Interpretiamo sempre facilmente ciò che abbiamo davanti agli occhi?



Quale faccia è quella anteriore?

Esempi

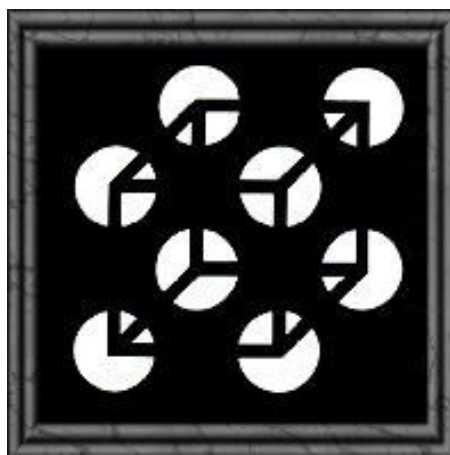
Interpretiamo sempre facilmente ciò che abbiamo davanti agli occhi?



La rivista è aperta verso di noi o contro di noi?

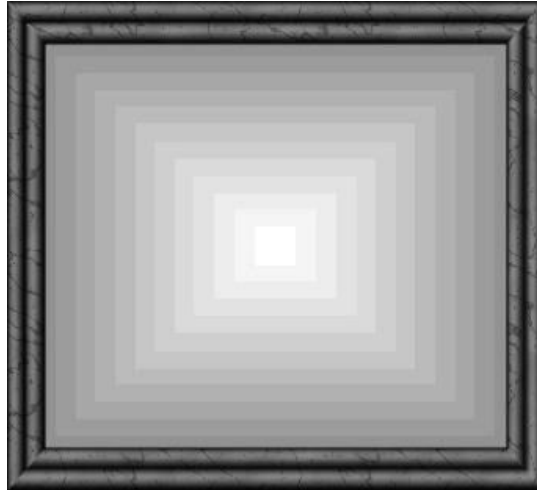
Esempi

Vediamo SOLO ciò che abbiamo davanti agli occhi?



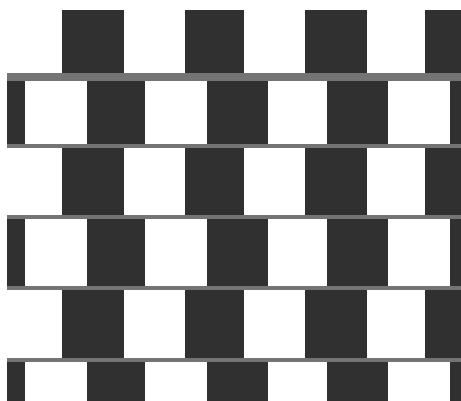
Esempi

Vediamo SOLO ciò che abbiamo davanti agli occhi?



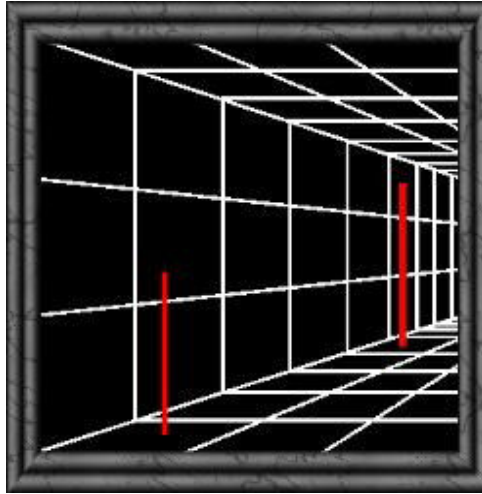
Esempi

Vediamo SOLO ciò che abbiamo davanti agli occhi?



Esempi

Misuriamo correttamente le distanze?



Qual è il paletto più lungo?

Luce e sorgenti

1. La sorgente di luce (ci sono oggetti che emettono luce)
2. L'oggetto (ci sono oggetti che rimandano la luce),

LA LUCE TRASPORTA ENERGIA

La quantità di energia che cade su un metro quadro di terreno mediamente soleggiato sarebbe sufficiente per il fabbisogno totale di una famiglia

Sorgenti naturali di luce



Conversione di energia cinetica di particelle cariche in energia di eccitazione e ionizzazione e in energia radiante.

Sorgenti naturali di luce



Conversione di energia chimica (combustione) in energia radiante.

Dove si propaga la luce?

Mezzi trasparenti: lasciano vedere una sorgente attraverso di essi

Mezzi traslucidi: lasciano intravedere una sorgente senza che se ne distingua la forma.

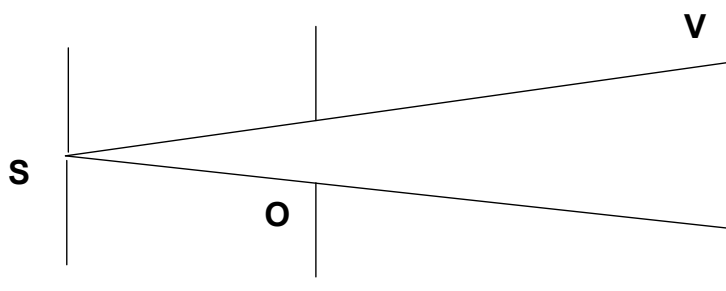
Mezzi opachi: arrestano la luce

La luce si vede?

Un raggio luminoso si vede solo se colpisce il nostro occhio.....a meno che la stanza non sia piena di polvere (o di fumo), e allora sfruttiamo la diffusione della luce (vedi in seguito) da parte delle particelle di sporco per osservare il raggio anche da posizioni laterali.

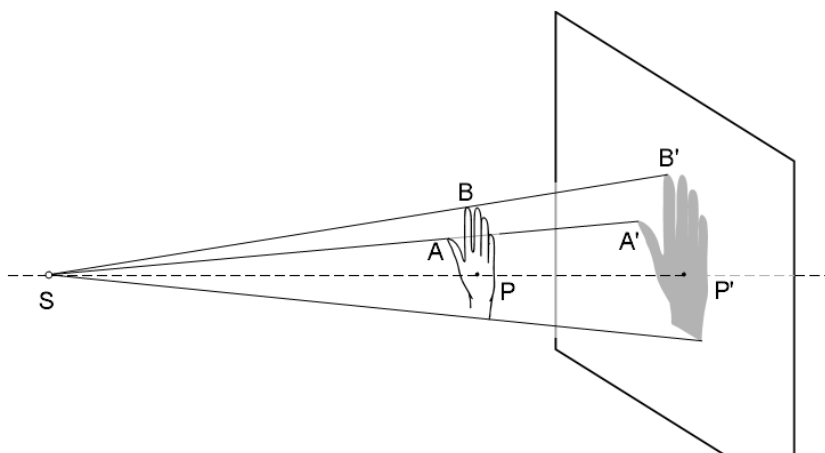
Propagazione rettilinea della luce

Una fonte luminosa di piccole dimensioni (sorgente puntiforme S) genera, attraverso un schermo forato circolare O, una macchia luminosa nettamente delineata su uno schermo V. La macchia corrisponde alla sezione del cono avente S per vertice e che “si appoggia” sul contorno di O.



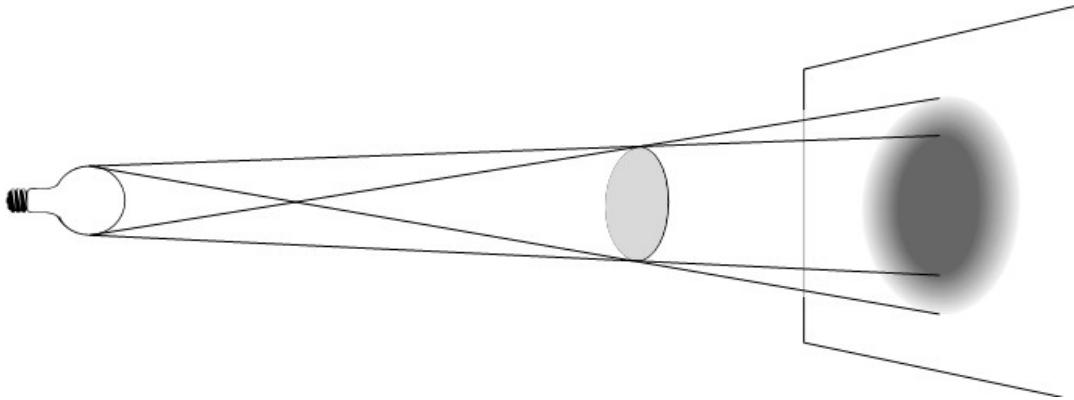
Propagazione rettilinea della luce

Se sostituiamo lo schermo forato un ostacolo opaco, otteniamo un'ombra netta, in caso di sorgente puntiforme,



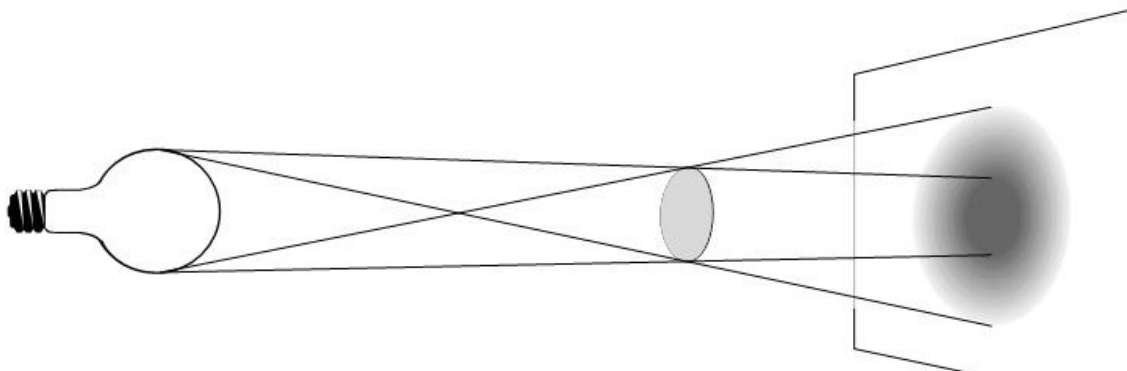
Propagazione rettilinea della luce

per sorgenti estese - effetti di penombra,

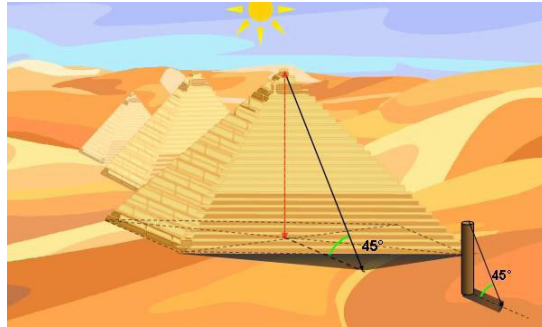


Propagazione rettilinea della luce

che possono cancellare del tutto l'ombra netta quando la sorgente è più grande dell'oggetto e V si trova abbastanza lontano, perché tutti i punti dello schermo possono essere raggiunti direttamente dalla luce.



Propagazione rettilinea della luce



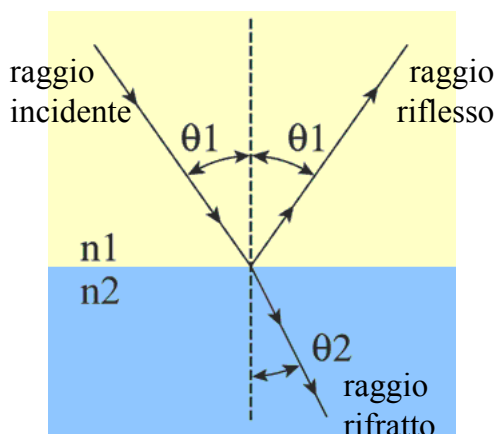
Questo è il metodo attribuito a **Talete** per la misura dell'altezza della piramide di Cheope. Il problema è come misurare la lunghezza dell'ombra, visto che il piede della verticale dal vertice della piramide non è accessibile. La soluzione, semplice quanto ingegnosa, consiste nell'aspettare il momento in cui il Sole sta perpendicolare a una coppia degli spigoli di base della piramide: allora alla parte misurabile dell'ombra va semplicemente aggiunta metà del lato.

Propagazione rettilinea della luce

Tutte queste osservazioni, insieme con molte altre, suggeriscono che la luce si propaga, almeno in un ambiente trasparente e omogeneo seguendo rette uscenti dalla sorgente, dette raggi luminosi. L'insieme dei raggi che passano per le aperture (pupille o diaframmi) forma un fascio. Se i raggi provengono tutti da un unico punto si parla di pennello.

Le leggi di riflessione

Alla superficie di separazione tra due mezzi (sia entrambi trasparenti che uno trasparente e l'altro opaco), una parte della luce che forma il fascio incidente viene rinvia (riflessa) nel primo mezzo. Si chiama piano di incidenza il piano che contiene il raggio incidente e la retta normale alla superficie nel punto di incontro con il raggio.



Le leggi della riflessione dicono che

- Il raggio riflesso giace sul piano di incidenza
- l'angolo di riflessione è uguale all'angolo di incidenza.

Legge di Snell

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

Cammino ottico

L'indice di rifrazione di un mezzo ottico è il rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e la velocità della luce nel mezzo:

$$n = c/v$$

Il cammino d di un raggio in un mezzo è dato da

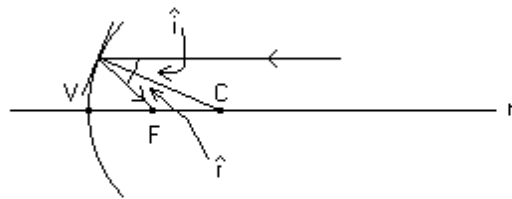
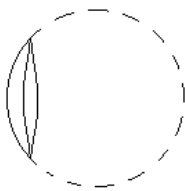
$$d = vt = t c/n \quad \text{da qui } nd = ct = \Delta$$

Cammino ottico

Specchio sferico

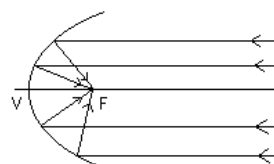
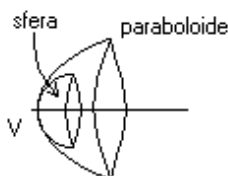
Tipi specchi sferici - specchi concavi sferici, concavi parabolici, convessi sferici

Specchio concavo sferico - Si tratta di una calotta sferica con la parte interna riflettente. Un tale specchio si dice **concavo**.



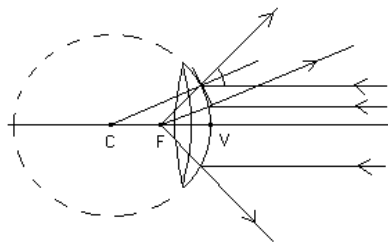
Specchio sferico

Specchio concavo parabolico - Se invece di sezionare una sfera, sezioniamo un **paraboloide**, otteniamo uno specchio concavo a sezione parabolica che ha la proprietà per cui la convergenza nel fuoco si ha indipendentemente dalla distanza dall'asse ottico del raggio incidente (ad esso parallelo). Si hanno così gli **specchi concavi parabolici** che sono quindi più "precisi" di quelli sferici ed in essi non si ha l'aberrazione descritta precedentemente .



Specchio sferico

Specchi convessi - Consideriamo uno specchio ottenuto con una **calotta sferica** specchiata all'**esterno**. In questi tipi di specchi, i cosiddetti **specchi convessi**, la riflessione avviene nel seguente modo.



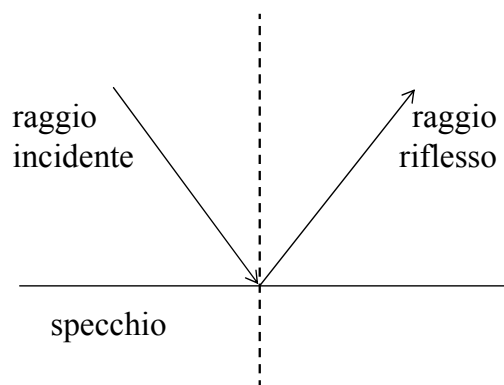
Ottica geometrica

I fenomeni tipici dell'ottica geometrica sono :

- la **riflessione**
- la **diffusione**
- la **rifrazione**
- la **dispersione**

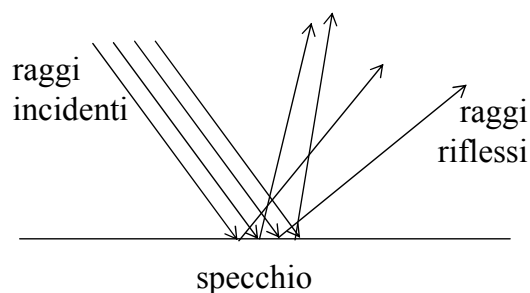
Ottica geometrica

La **riflessione** è il fenomeno con cui un raggio di luce viene riflesso da una superficie speculare (uno specchio)



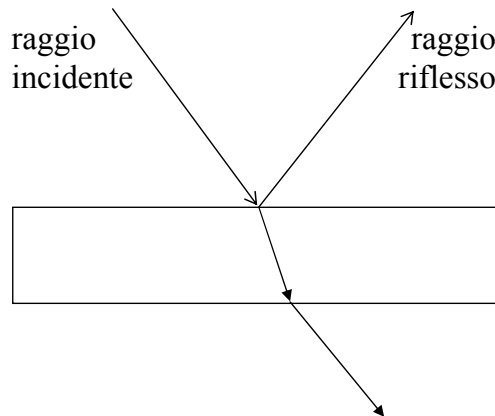
Ottica geometrica

La **diffusione** è il fenomeno per cui i raggi di luce vengono riflessi in ogni direzione da una superficie non speculare. I raggi inizialmente paralleli vengono riflessi in ogni direzione dalla non uniformità microscopica (vi sono varie superficie riflettenti secondo angoli diversi) della superficie riflettente.



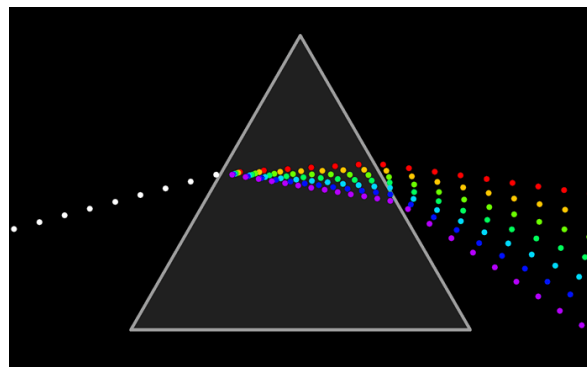
Ottica geometrica

La *rifrazione* è il fenomeno per cui un raggio di luce, passando da un mezzo trasparente in un altro, di diversa densità, devia il proprio percorso



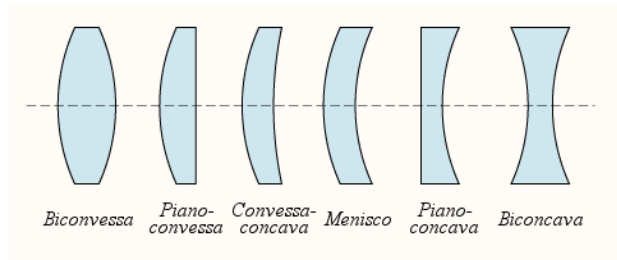
Ottica geometrica

La *dispersione* è il fenomeno per cui la luce bianca, passando attraverso un prisma, si scompone nei vari colori che la compongono che vanno dal rosso al violetto, i sette colori dell'arcobaleno. La variazione dell'indice di rifrazione con la lunghezza d'onda produce la separazione dei colori in un fascio di luce bianca. Il rosso è il meno deviato, il violetto il più deviato.



Lenti

Una lente è un elemento ottico che ha la proprietà di concentrare o divergere i raggi di luce.



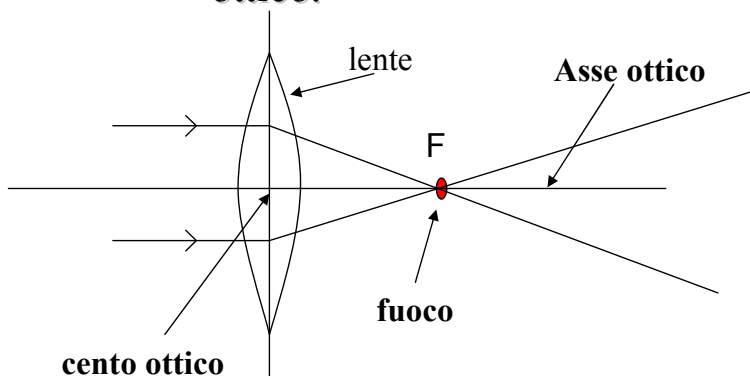
Le **lenti sferiche** sono caratterizzate dall'averle due superfici opposte costituite idealmente da porzioni di una sfera di dato raggio R_1 e R_2 . Ciascuno di questi parametri è il *raggio di curvatura* della corrispondente superficie. Il segno di R_1 determina la forma della superficie: se R_1 è positivo la superficie è *convessa*, se negativa la superficie è *concava*, se R_1 è infinito la superficie ha curvatura zero, ovvero è piana. Lo stesso vale per la superficie opposta lungo il cammino ottico, ma con i segni invertiti.

Lenti

asse ottico – è la retta che congiunge i centri di curvatura delle due facce della lente;

centro ottico – è il punto dell'asse ottico che divide a metà lo spessore della lente;

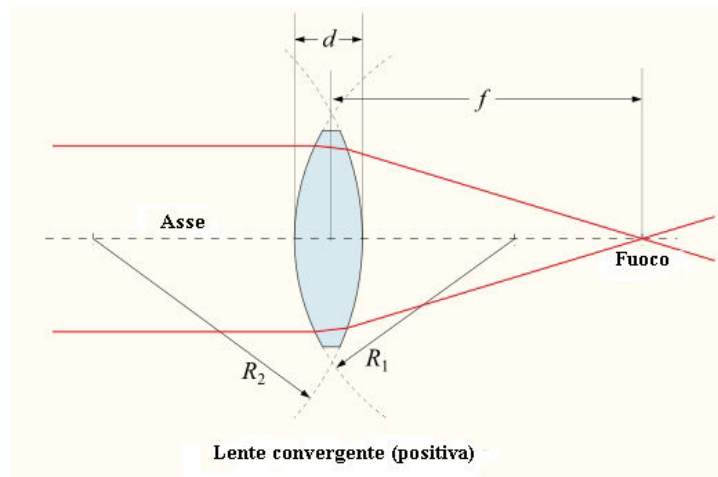
fuoco - punto in cui convergono tutti i raggi paralleli all'asse ottico.



Curvatura delle facce:
Sferiche, Cilindriche, Paraboliche
Posizione del fuoco:
Convergenti, Divergenti

Lente convergente

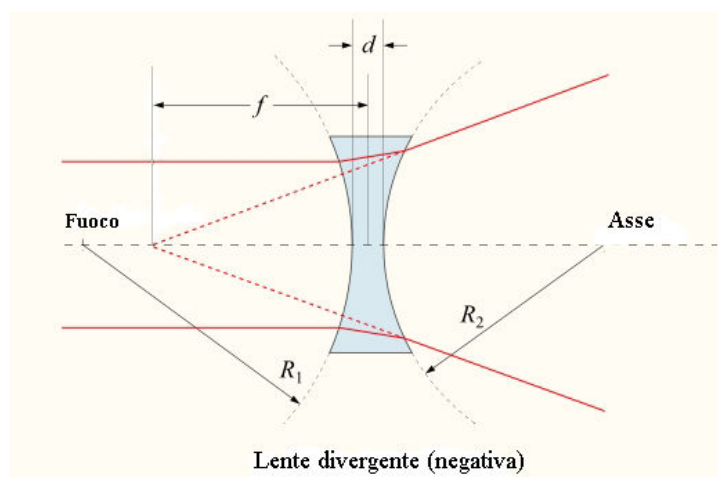
Se la lente è biconvessa o piano-convessa un fascio di luce collimato o parallelo all'asse che attraversa la lente viene fatto convergere (o focalizzare) su un punto dell'asse, ad una certa distanza oltre la lente nota come distanza focale. Questo tipo di lente è detta **positiva o convergente**



Lente divergente

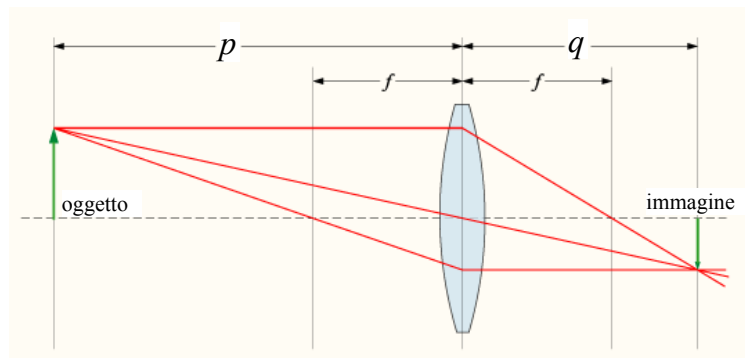
Se la lente è biconcava o piano-concava, un fascio collimato è fatto divergere e la lente è perciò detta *negativa o divergente*.

Il raggio uscente dalla lente sembra provenire da un punto dell'asse antecedente la lente.



Costruzione dell'immagine

Per costruire l'immagine di un oggetto prodotto da una lente, si segue il cammino di due raggi particolari: quello che parte dal vertice dell'oggetto, incide sulla lente parallelamente all'asse ottico e viene quindi deviato nel fuoco, e quello che parte dal vertice dell'oggetto, passa esattamente per il centro della lente e continua il suo cammino al di là della lente senza essere deviato; l'intersezione tra i due raggi fornisce il punto immagine cercato.



Costruzione dell'immagine

Date le distanze p tra lente ed oggetto e q tra lente e immagine, per una lente di spessore trascurabile vale la formula:

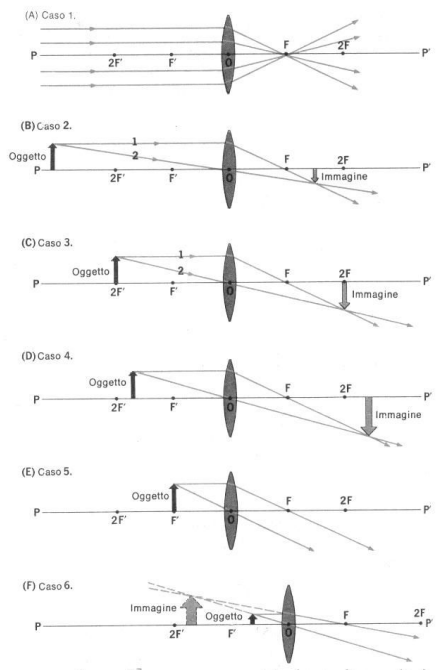
$$1/f = 1/p + 1/q$$

da cui deriva che se un oggetto è posto a distanza p sull'asse della lente positiva di focale f , su uno schermo posto a distanza q si formerà l'immagine dell'oggetto.

$$D = 1/f$$

Potere di convergenza o potere diottrico

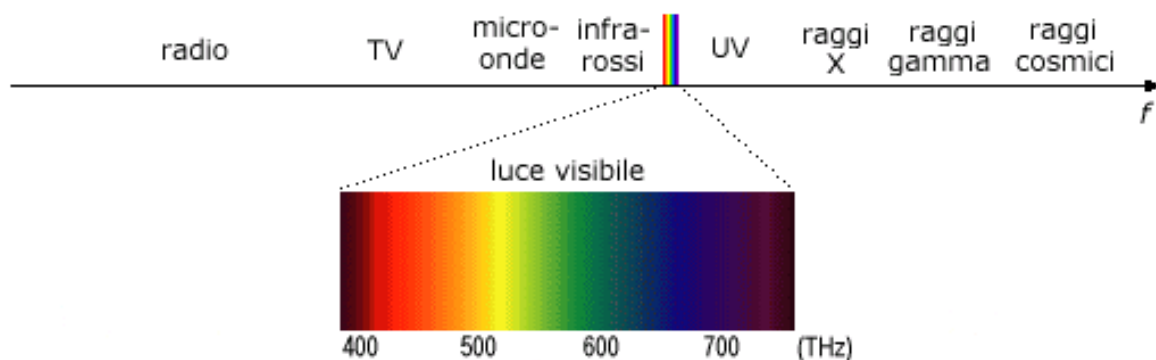
Costruzione dell'immagine



Lenti negative: *immagine virtuale, diritta, rimpicciolita*
Lenti positive: $o < f$ immagine virtuale, diritta, ingrandita
 $f < o < 2f$ immagine reale, capovolta, rimpicciolita
 $o > 2f$ immagine reale, capovolta, ingrandita

Colori

Il **colore** è la percezione visiva generata dai segnali nervosi che i fotorecettori della retina mandano al cervello quando assorbono radiazioni elettromagnetiche di determinate lunghezze d'onda e intensità. La luce visibile dall'occhio umano è un'onda elettromagnetica con una frequenza che va da circa 400 THz (rosso) a 780 THz (violetto), ovvero una lunghezza d'onda che va da 780 nm a 380 nm.



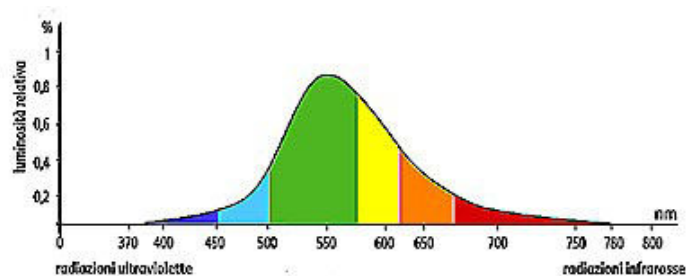
Colori

colore	intervallo di lunghezza d'onda	intervallo di frequenza
<u>rosso</u>	~ 750–630 nm	~ 430–480 THz
<u>arancione</u>	~ 630–590 nm	~ 480–510 THz
<u>giallo</u>	~ 590–560 nm	~ 510–540 THz
<u>verde</u>	~ 560–490 nm	~ 540–610 THz
<u>blu</u>	~ 490–450 nm	~ 610–670 THz
<u>viola</u>	~ 450–380 nm	~ 670–750 THz

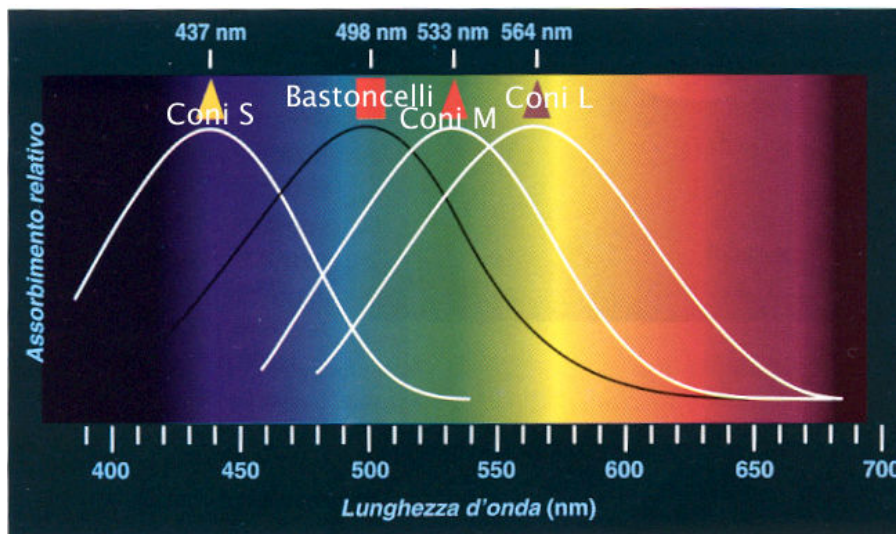
Colori e l'occhio

Nell'occhio umano la retina è l'organo sensibile alla luce. E' costituito da sensori detti **coni** e **bastoncelli**. I bastoncelli sono posti alla periferia della retina, permettono di percepire la luminosità e il movimento (visione scotopica), mentre i coni sono posti in una zona detta *fovea*, che permettono di diversificare i colori (visione fotopica). In realtà esistono tre tipi di coni, ciascuno sensibile ad una differente lunghezza d'onda:

- Cono S (blu – 437 nm)
- Cono M (verde – 533 nm)
- Cono L (rosso – 564 nm)



Colori e l'occhio



Quando un tipo di cono ha un difetto, la percezione del colore è imperfetta, e si parla allora di **daltonismo**.

Daltonismo

Quick Start Reference & Over View

Gray section					
Blue section				<p>The subject must correctly identify 12 of plates 1-14 (protan/deutan) to pass. If testing for cyan defects, both plates 16 & 17 must be correctly identified to pass. Plate 15 establishes the type (protan/deutan) and degree of the defect. Strong protans only see a 5. Strong deuterans only see a 3. Mild protan/deuterans see both numbers. Protans see the 5 easier and deuterans see the 3 easier.</p>	
Red Section (Pediatric)					
				<p>A child must correctly identify all 6 plates or that 6 chose in plates 18-23 to pass. Everyone should see one object in plates 18-21. This checks for misperceiving.</p>	

1 - 2
 2 - 42
 3 - 26
 4 - 8
 5 - 74
 6 - 15
 7 - 5
 8 - 29
 9 - 57
 10 - 5
 11 - 45
 12 - 10
 13 - 6
 14 - 7
 15 - 35
 16 - 2
 17 - 9