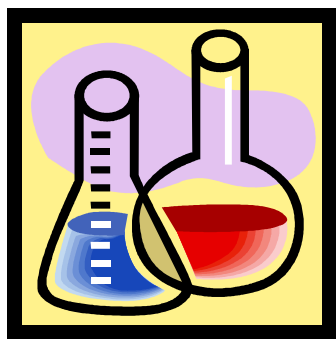




Un percorso di ottica

parte I

Isabella Soletta
Liceo Fermi – Alghero



Questo simbolo significa che l'esperimento si può realizzare con materiali o strumenti presenti nel nostro laboratorio



Questo simbolo significa che l'esperimento si può realizzare anche a casa con materiali di facile reperibilità



Questo simbolo significa che è disponibile una scheda preparata per presentare l'esperimento



Questo simbolo significa che l'argomento è collegato ad altri argomenti già svolti

I raggi di luce



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

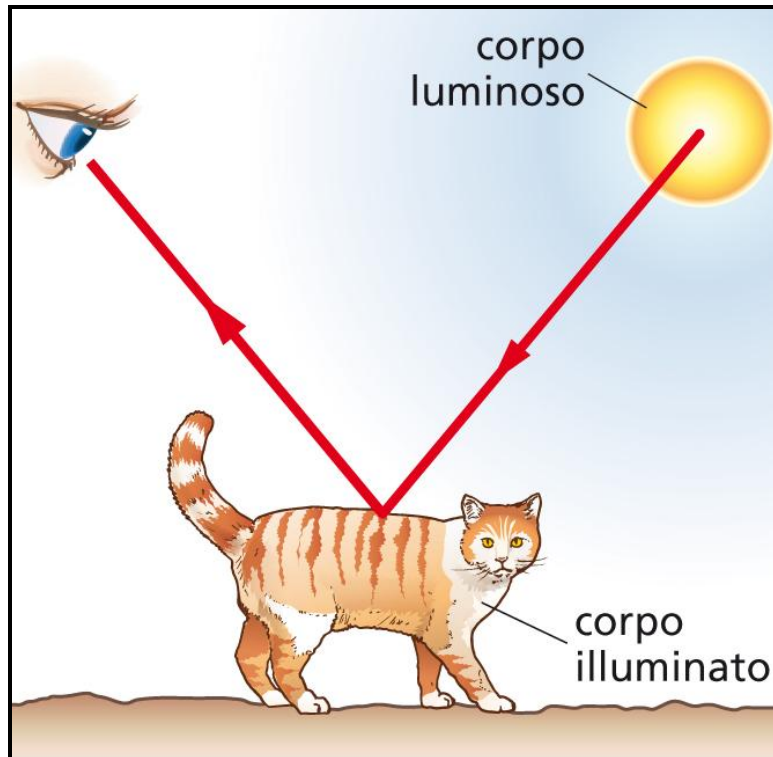
raggi luminosi e fasci di luce



- Un raggio luminoso è un modello che si utilizza per descrivere il comportamento della luce
- In realtà nella maggior parte dei casi non vediamo un singolo raggio, ma tanti raggi tutti insieme (un fascio)
- Un raggio luminoso è simile ad un fascio di luce sottile come quello emesso da un laser



Le sorgenti di luce



I corpi che emettono la luce sono chiamati **corpi luminosi** o *sorgenti di luce*.

I raggi che essi emettono colpiscono gli altri oggetti (i **corpi illuminati**), sono diffusi in tutte le direzioni ed entrano, infine, nei nostri occhi.

Sorgenti di luce

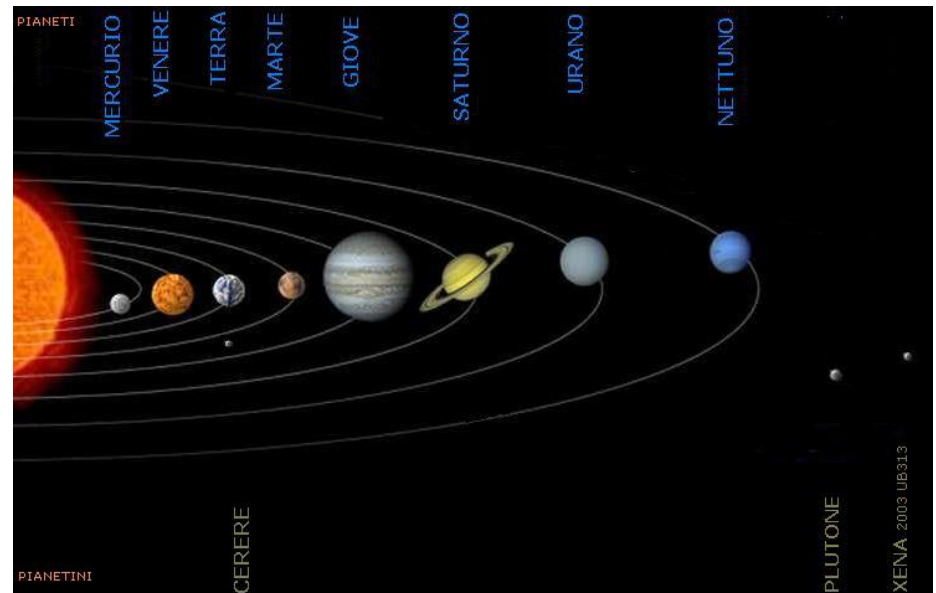
Corpi luminosi

- Il sole, le stelle
- Il laser
- La pila, la lampadina



Corpi illuminati

- I pianeti
- Qualunque oggetto che riusciamo a vedere



Velocità di propagazione

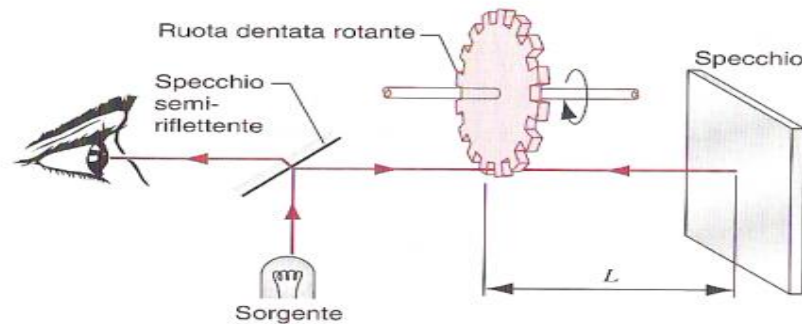
- Velocità del suono: esperimento dell'eco

$$v_0 \cong 340 \text{ m/s}$$



- Velocità della luce: esperimento di Fizeau (1849)

$$c \cong 300.000.000 \text{ m/s}$$



8 Km

$$c \gg v_0$$

Le onde trasportano energia

Intensità di un'onda sonora

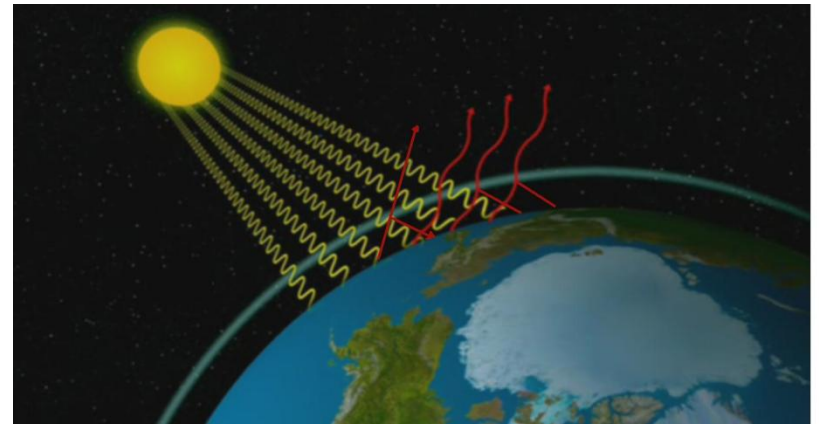
- E' l'energia sonora che arriva su una superficie unitaria in un tempo unitario

$$I = \frac{E}{A \cdot \Delta t}$$



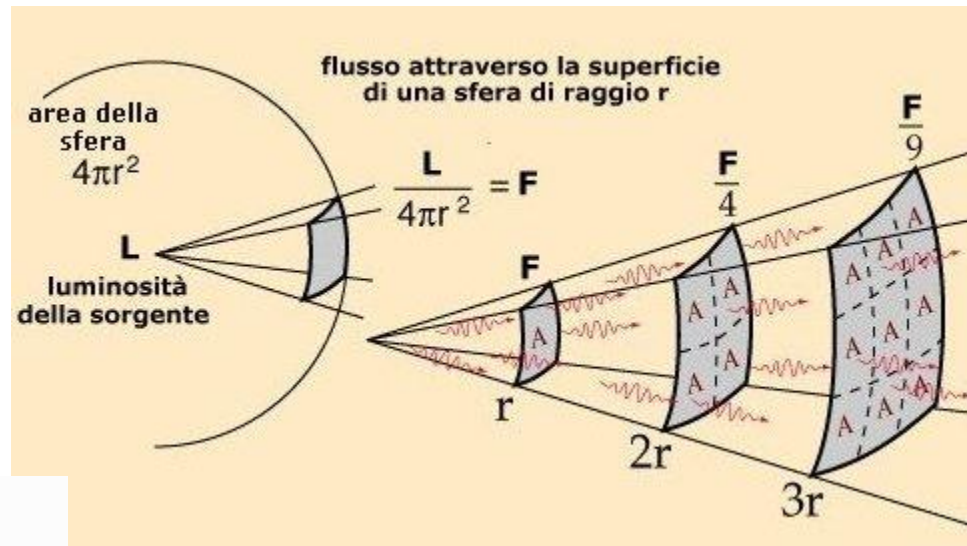
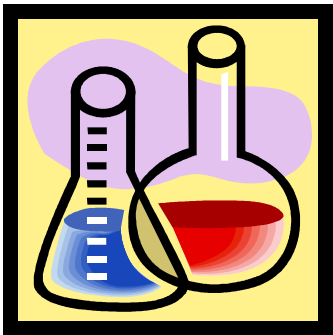
Irraggiamento

- E' l'energia luminosa che arriva su una superficie unitaria in un tempo unitario

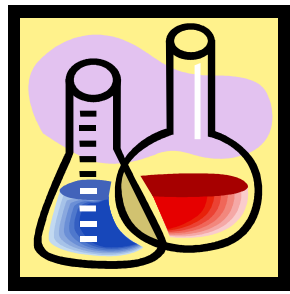


Legge dell'inverso del quadrato

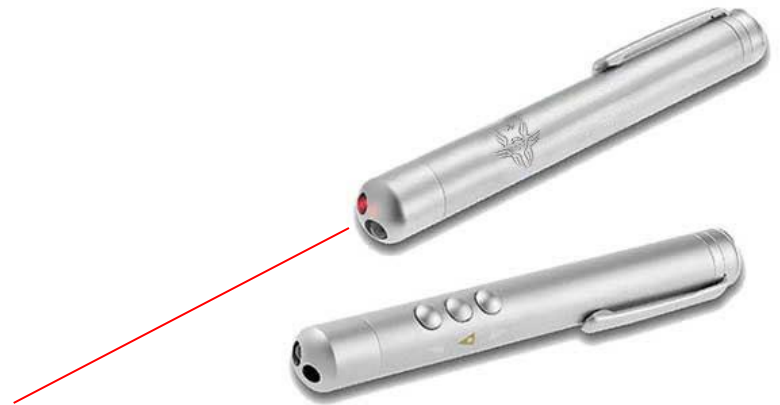
- A parità di potenza della sorgente di luce l'irradiazione diminuisce all'aumentare della distanza
- Per **sorgenti convenzionali puntiformi** è inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra la sorgente e il rilevatore



LASER



- Per molti esperimenti di ottica useremo una luce particolare:
la luce emessa da un laser
- Il laser non è una sorgente convenzionale: non segue la legge dell'inverso del quadrato
- In laboratorio abbiamo due tipi di laser che emettono luce di diversa frequenza e quindi di diverso colore





Acustica

Frequenza \longleftrightarrow suono

OTTICA

Frequenza \longleftrightarrow colore



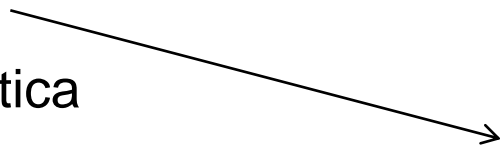
$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f}$$

II LASER

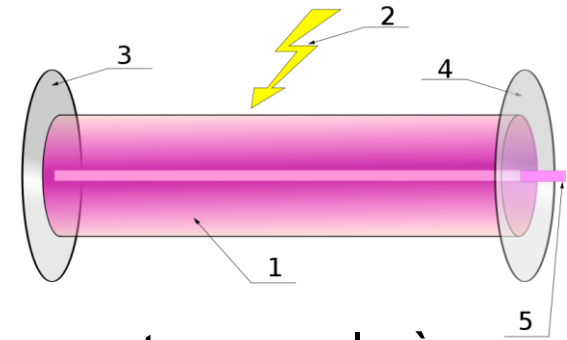
- Light
- Amplification of
- Stimulated
- Emission of
- Radiation

La luce che si ottiene è

- Coerente
- Monocromatica
- Ad alta brillantezza
- direzionale



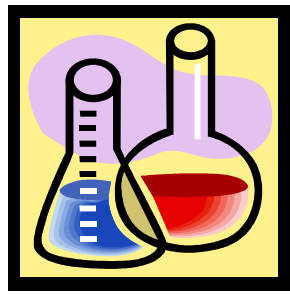
Studiare l'ottica con un laser è più facile perché possiamo visualizzare un raggio invece che un fascio



- Una sorgente normale è costituita da moltissime sorgenti che emettono luce in modo indipendente l'una dall'altra ed in tutte le direzioni.
- In un laser l'emissione della luce avviene dentro una cavità semiriflettente e l'emissione è stimolata dalla radiazione che attraversa la cavità.
- Le sorgenti elementari emettono in fase

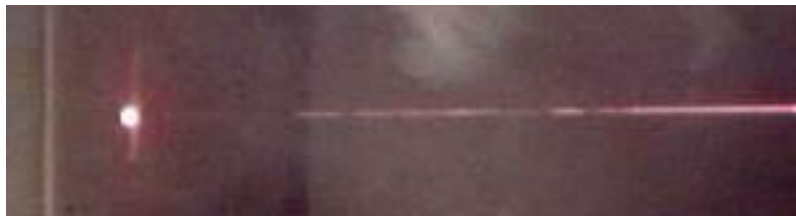


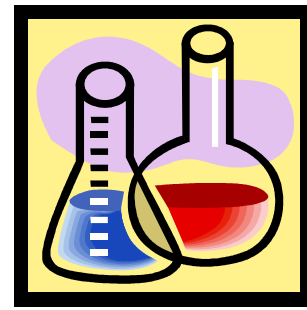
Raggi e fasci di luce



Attraverso una scatola trasparente contenente del fumo prodotto da un po' di incenso

- Visualizzazione di un fascio laser
- Visualizzazione di un fascio di luce proveniente da una torcia elettrica



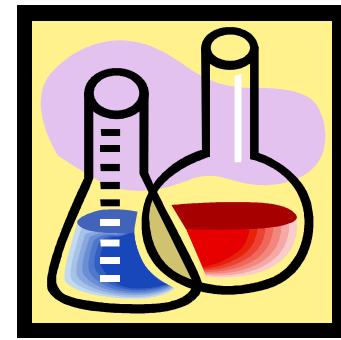


la luce (normalmente) si propaga in linea retta



Si può osservare facendo passare
un raggio di luce (laser) attraverso
degli schermi forati

La camera oscura



- Si può costruire con una scatola chiusa da un lato con un foglio traslucido. Sul lato opposto si fa un piccolo foro.
- Si può osservare che l'immagine di una candela posta davanti al foro si vede sul foglio traslucido rovesciata
- Anche questa è una dimostrazione che la luce si propaga in linea retta

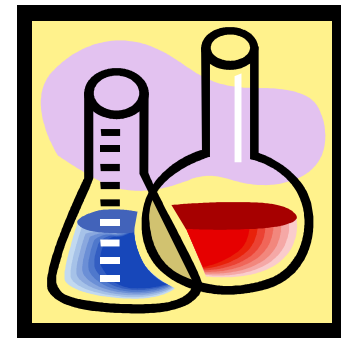
Ombra e penombra

Una dimostrazione su scala astronomica



Un' eclissi parziale: L'ombra della luna sul sole

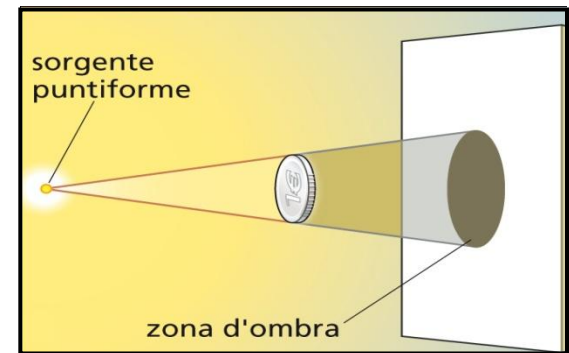
Ombra e penombra



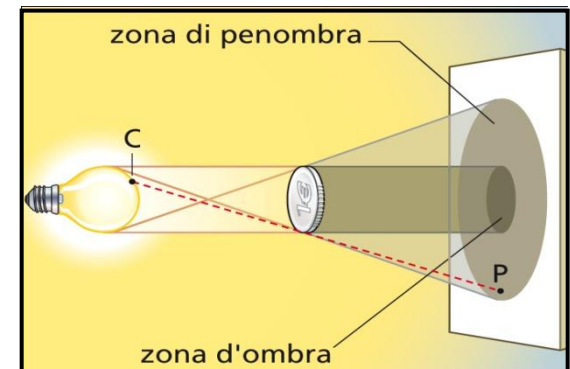
- La propagazione rettilinea della luce spiega il fenomeno dell'ombra e della penombra



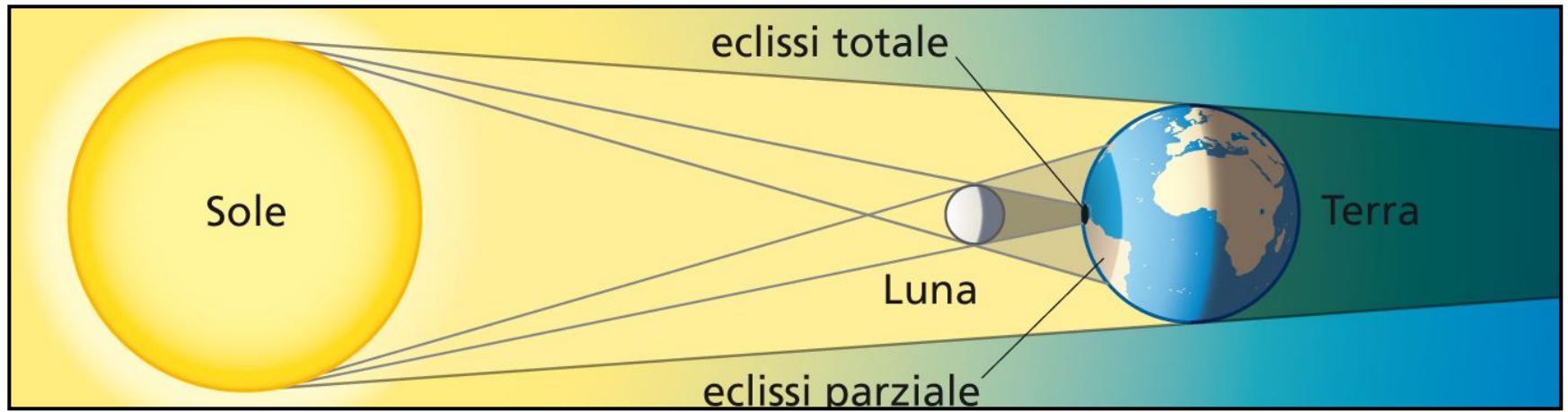
Si può realizzare con due sorgenti luminose di cui una di piccole dimensioni illuminando per esempio una moneta



Si può realizzare anche con una sola sorgente luminosa illuminando per esempio una moneta posta a diverse distanze. Se la moneta è vicina alla fonte si vede ombra e penombra, se è lontana solo l'ombra



Il Sole è una sorgente estesa



La luce normalmente si propaga in linea retta

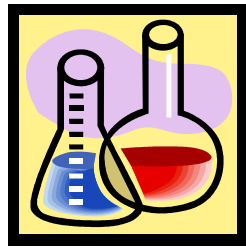
Ma ci sono dei modi
per deviarla:

- La riflessione
- La diffusione
- La rifrazione

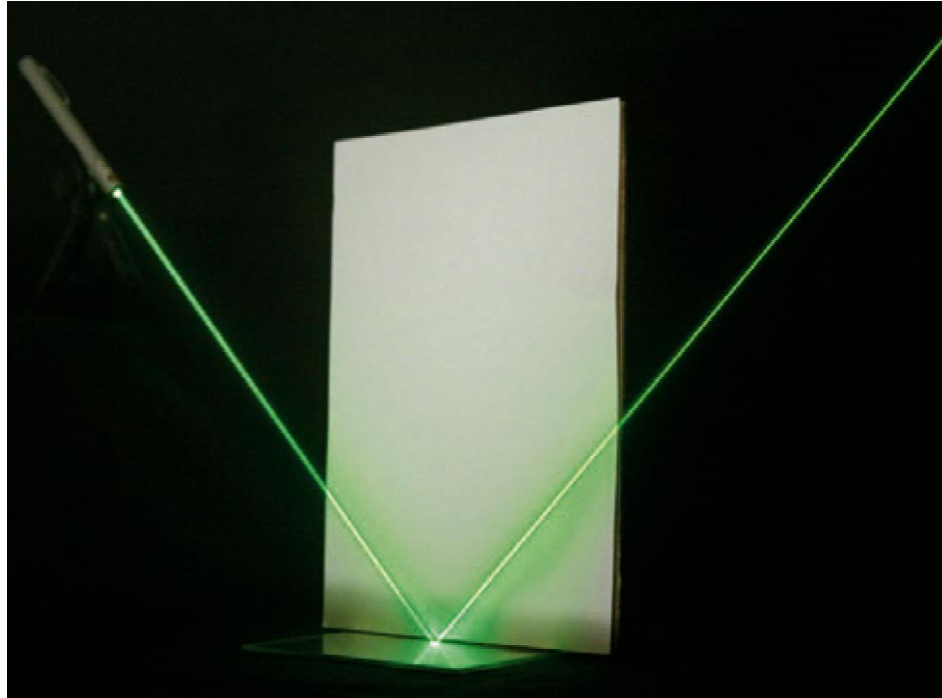


(C) 2006 Christof Wittwer for OPENPHOTO.NET. CC BY-NC-ND 3.0

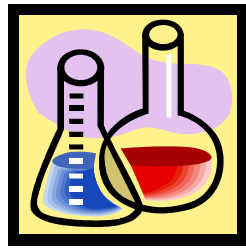
La **prima legge** della riflessione



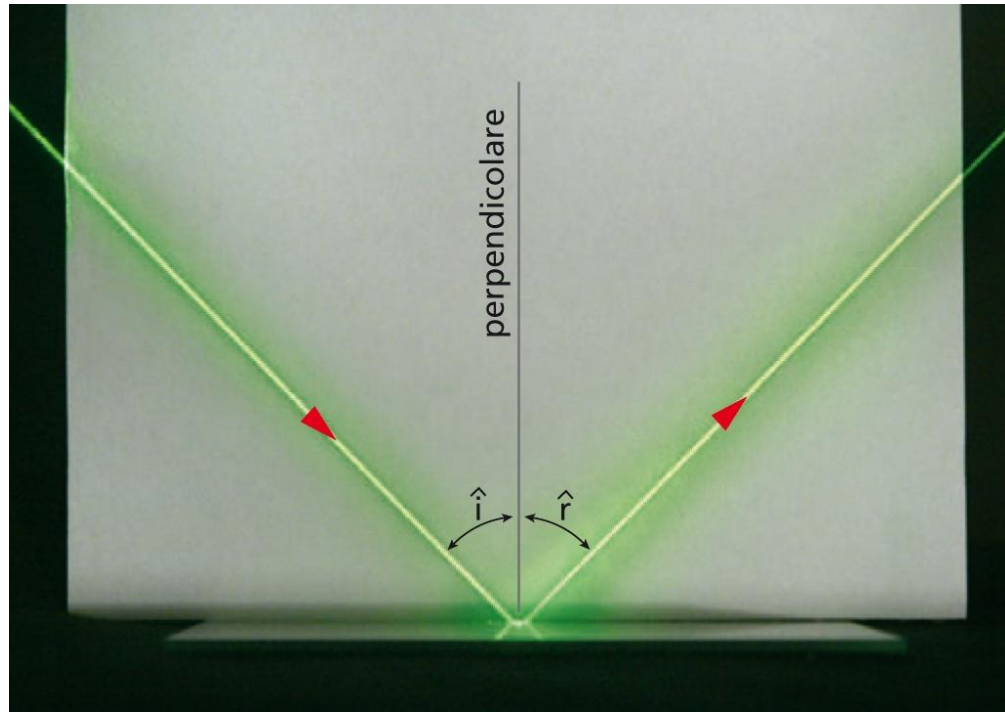
Il raggio **incidente**, il raggio **riflesso** e la **perpendicolare** alla superficie riflettente nel punto di incidenza appartengono allo **stesso piano**.



La **seconda legge** della riflessione



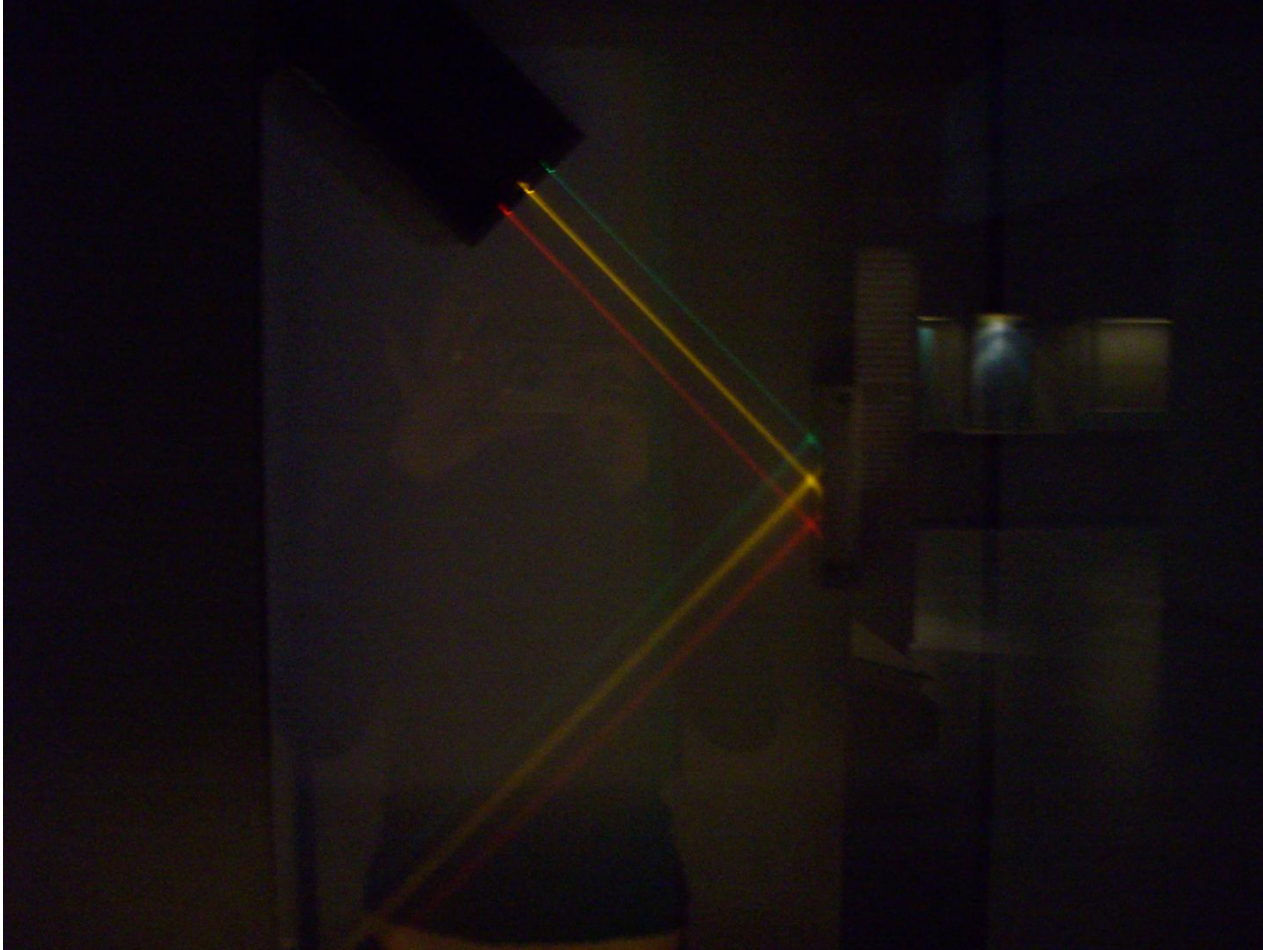
L'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione.





Riflessione da specchio piano

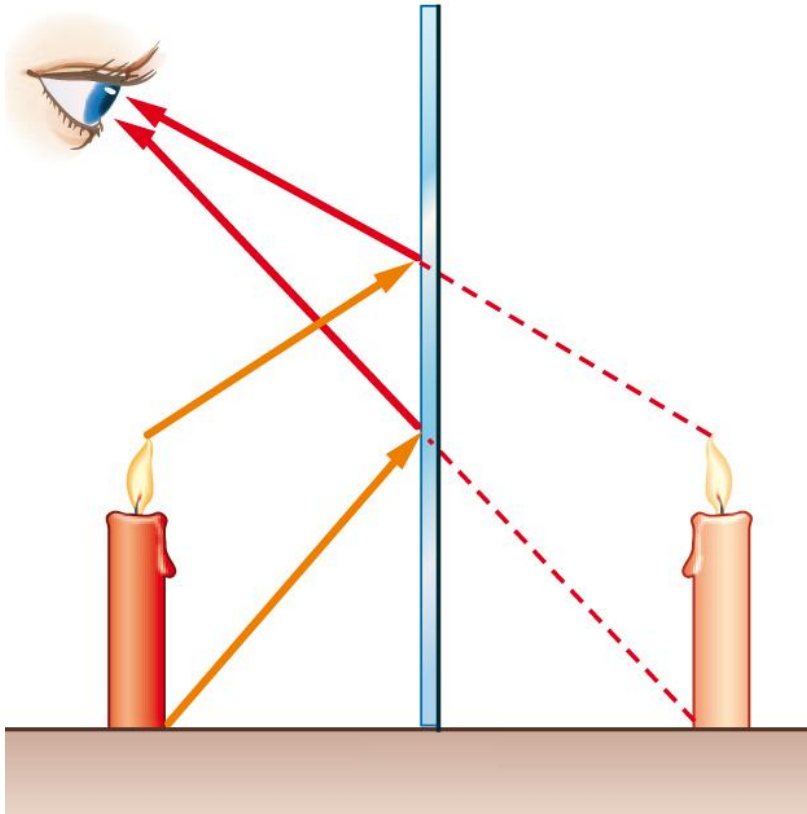
Museo della Scienza di Barcellona - viaggio di istruzione 2009



Riflessione da specchio piano

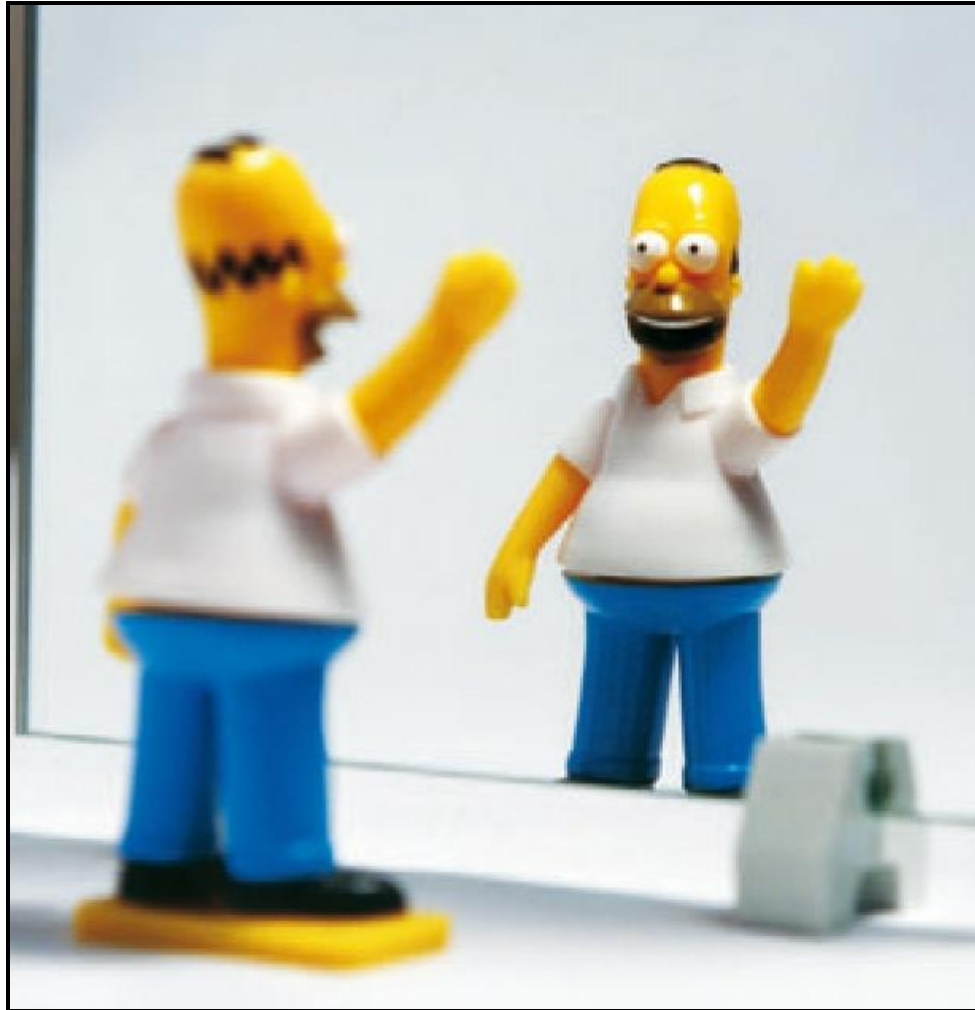
Museo della Scienza di Barcellona - viaggio di istruzione 2009

Lo specchio **piano**

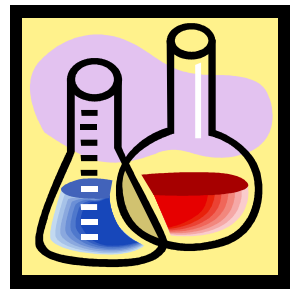


L'immagine riflessa da uno specchio piano è **virtuale** e appare in posizione simmetrica all'oggetto rispetto allo specchio.

Destra o sinistra?



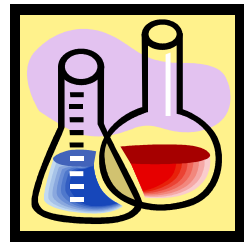
Strani effetti della riflessione



la magica scatola del
Mirage



Riflessione da specchi sferici

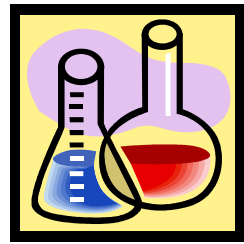


- Si può osservare con un mestolo
 - Si ottiene un'immagine capovolta rimpicciolita se l'oggetto si trova abbastanza lontano
 - Un'immagine capovolta e ingrandita e l'oggetto è vicino
 - Un'immagine diritta e ingrandita se l'immagine è molto vicina



La costruzione delle immagini per gli specchi sferici è utile per capire il gioco Mirage

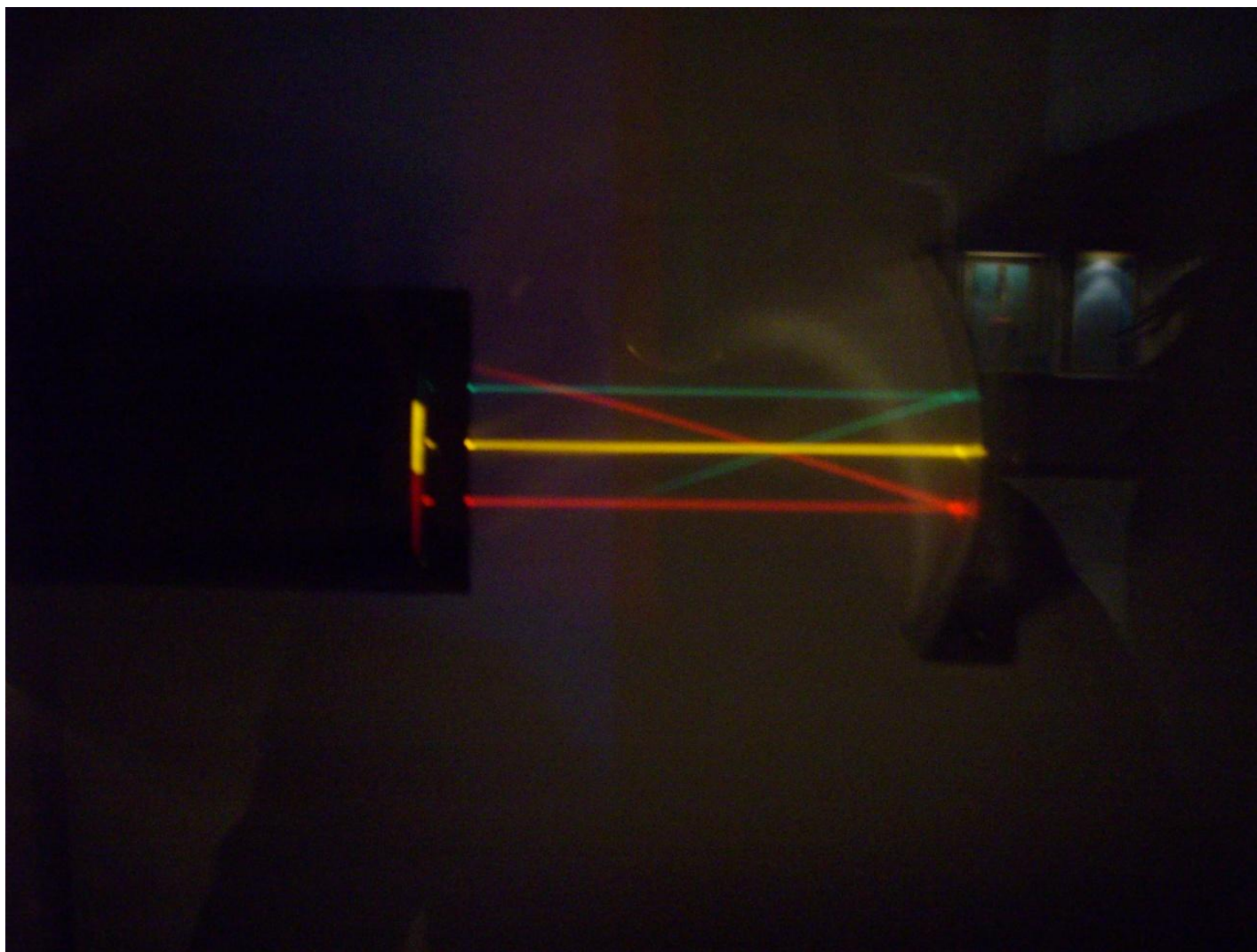
Riflessione su specchi sferici



Con una fascetta industriale si può realizzare un modello per capire cosa accade quando la luce incide su uno specchio sferico, in particolare

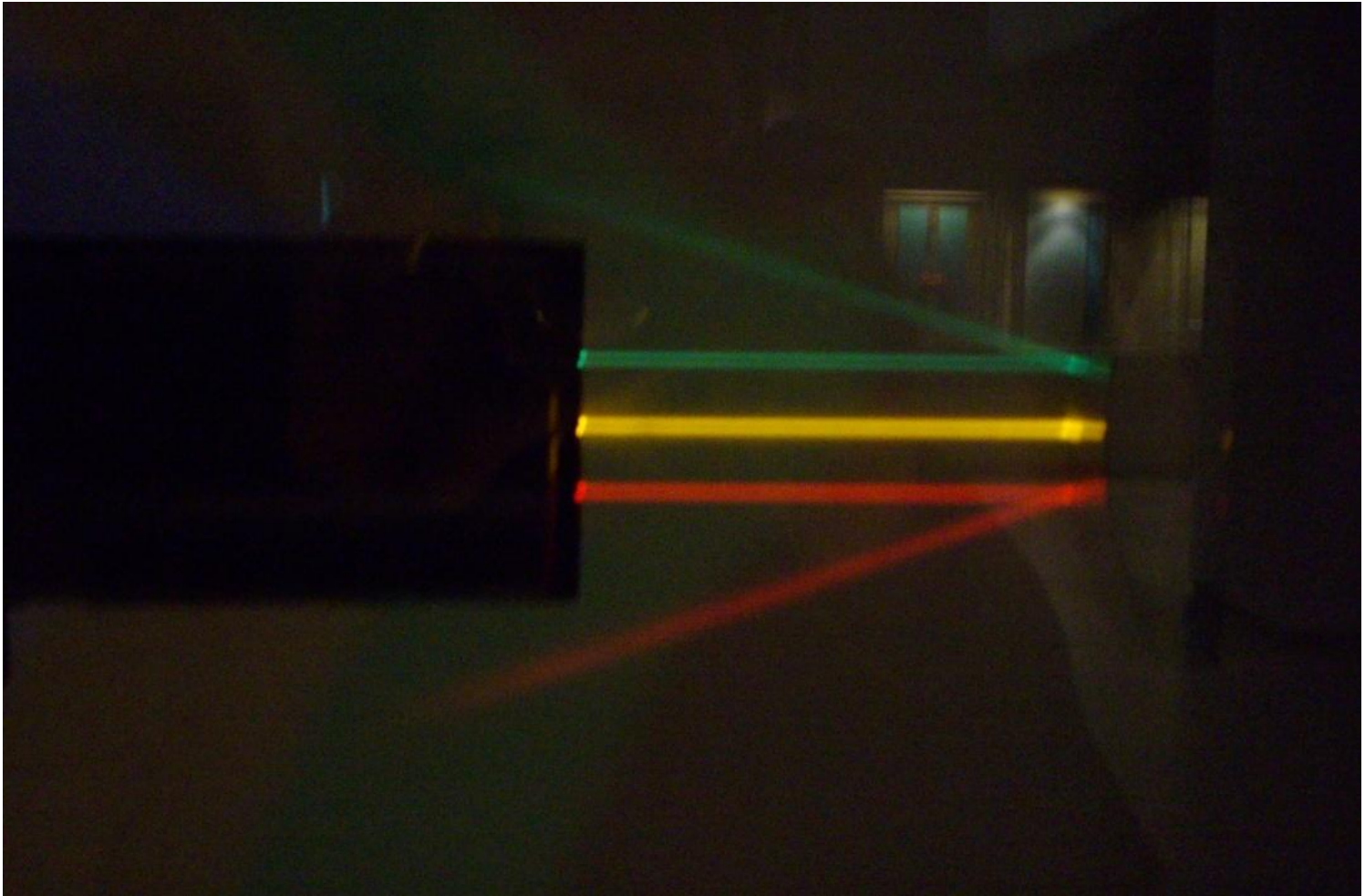
- Un raggio che passa per il centro non viene deviato
- Due raggi paralleli all'asse ottico vengono riflessi in direzione diverse e passano per uno stesso punto, il fuoco
- Il fuoco si trova a metà tra il centro e l'intersezione dello specchio con l'asse ottico

Aggiungi
foto



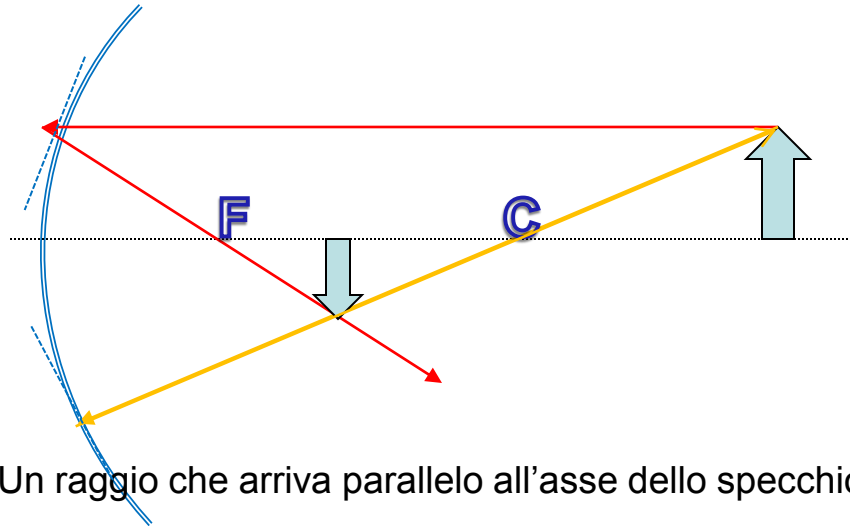
Riflessione da specchio sferico concavo

Museo della Scienza di Barcellona - viaggio di istruzione 2009



Riflessione da specchio sferico convesso
Museo della Scienza di Barcellona - viaggio di istruzione 2009

Costruzione da specchi sferici



Elementi essenziali

Fuoco

Centro

Asse ottico

Un raggio che arriva parallelo all'asse dello specchio viene riflesso e passa per il fuoco

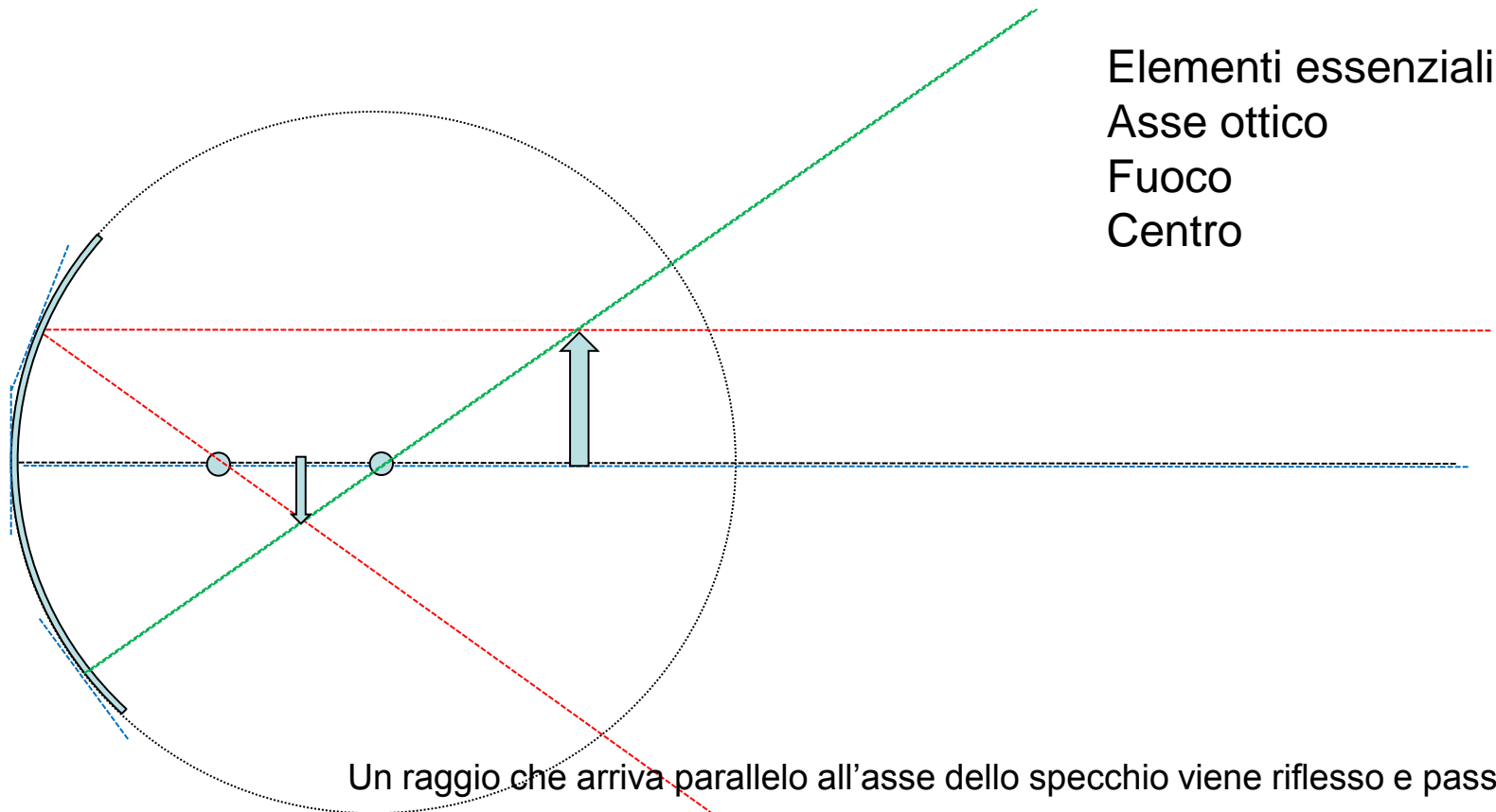
Un raggio che passa per il centro non viene deviato

L'immagine della punta della freccia si forma all'intersezione tra questi due raggi

L'immagine della coda della freccia si forma lungo l'asse ottico

L'immagine della freccia è rimpicciolita, capovolta, reale

Costruzione da specchi sferici



Elementi essenziali
Asse ottico
Fuoco
Centro

Un raggio che arriva parallelo all'asse dello specchio viene riflesso e passa per il fuoco

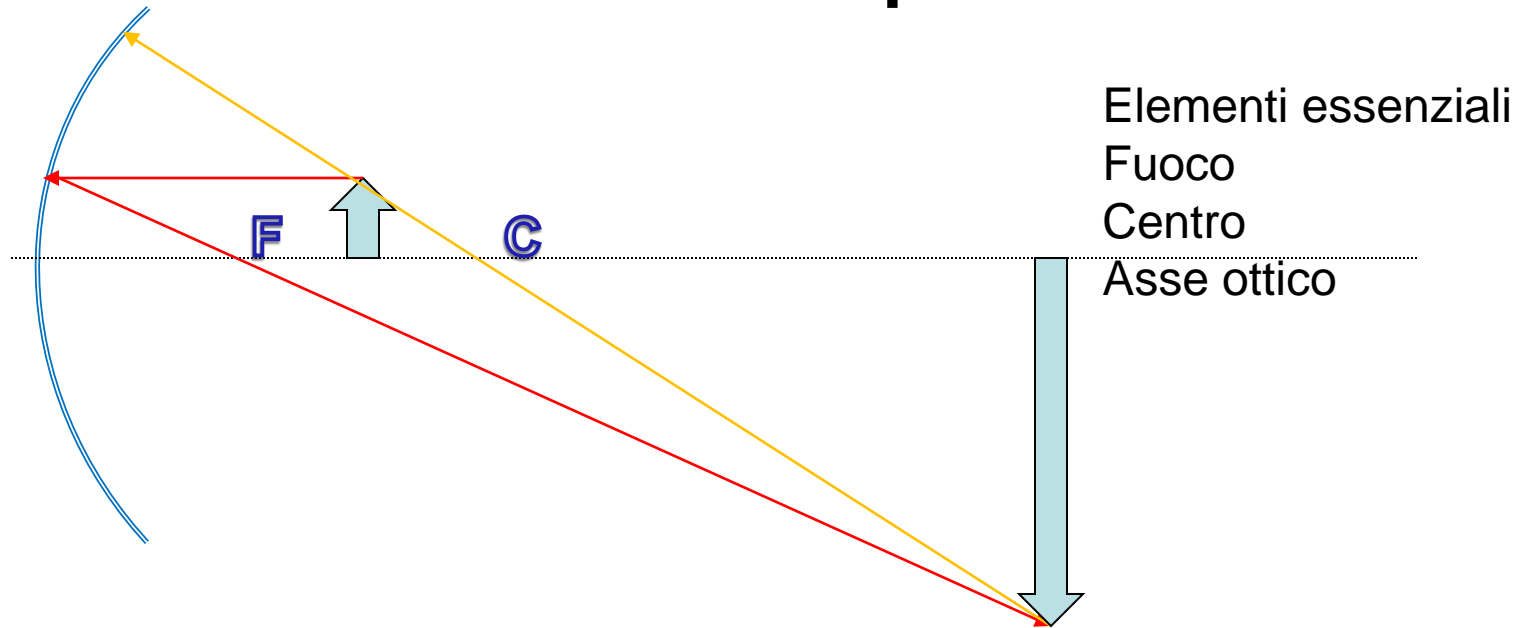
Un raggio che passa per il centro non viene deviato

L'immagine della punta della freccia si forma all'intersezione tra questi due raggi

L'immagine della coda della freccia si forma lungo l'asse ottico

L'immagine della freccia è rimpicciolita, capovolta, reale

Costruzione da specchi sferici



Un raggio che arriva parallelo all'asse dello specchio viene riflesso e passa per il fuoco

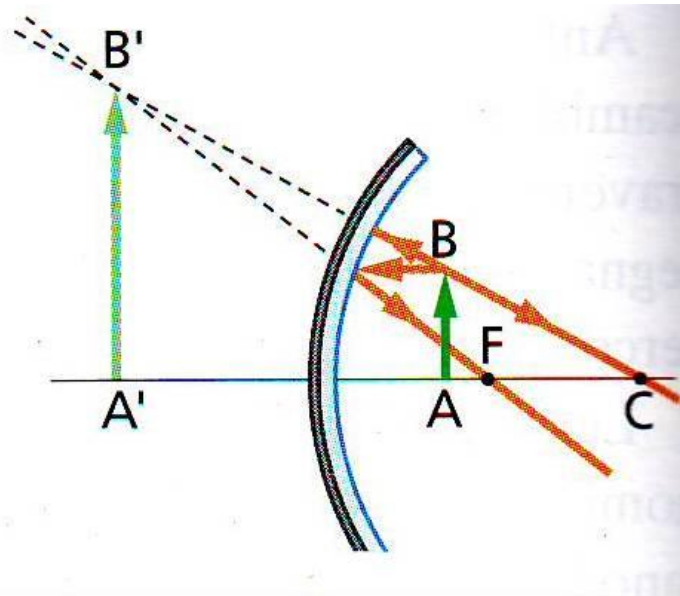
Un raggio che passa per il centro non viene deviato

L'immagine della punta della freccia si forma all'intersezione tra questi due raggi

L'immagine della coda della freccia si forma lungo l'asse ottico

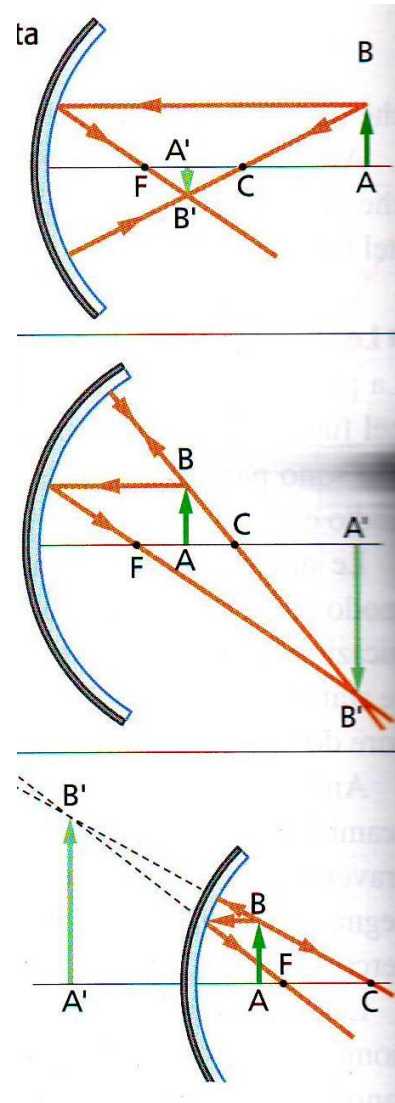
L'immagine della freccia è ingrandita, capovolta, reale

Costruzione da specchi sferici



riepilogo

- Oggetto lontano
 - Immagine capovolta, rimpicciolita, reale
- Oggetto vicino
 - Immagine capovolta, ingrandita, reale
- Oggetto molto vicino
 - Immagine diritta, ingrandita, virtuale



Legge dei punti coniugati

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

Vale solo per specchi sferici concavi o convessi

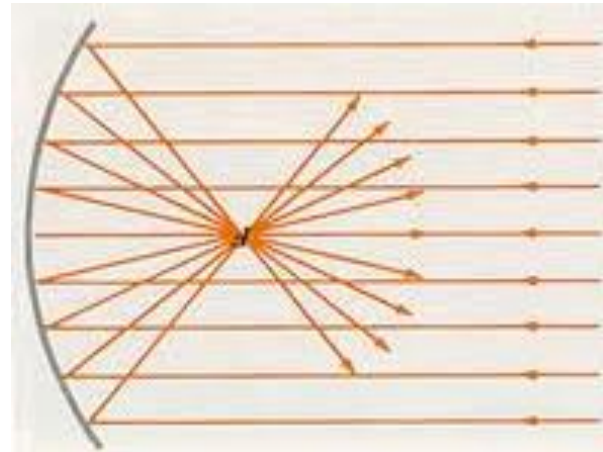
Permette di prevedere dove si forma l'immagine senza fare la costruzione geometrica

- Se l'immagine sarà reale o virtuale (dal segno di q)
- Se l'immagine sarà ingrandita o rimpicciolita (dal valore di G maggiore o minore di 1)

Specchi parabolici



Raggi paralleli all'asse ottico vengono riflessi e passano per il fuoco



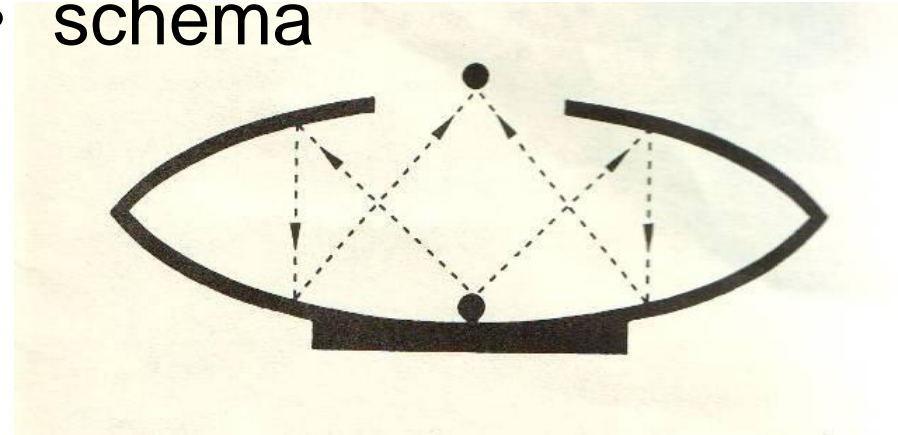
Se una sorgente puntiforme viene posta nel fuoco i raggi che emergono sono paralleli all'asse ottico



Schema di funzionamento del gioco del miraggio

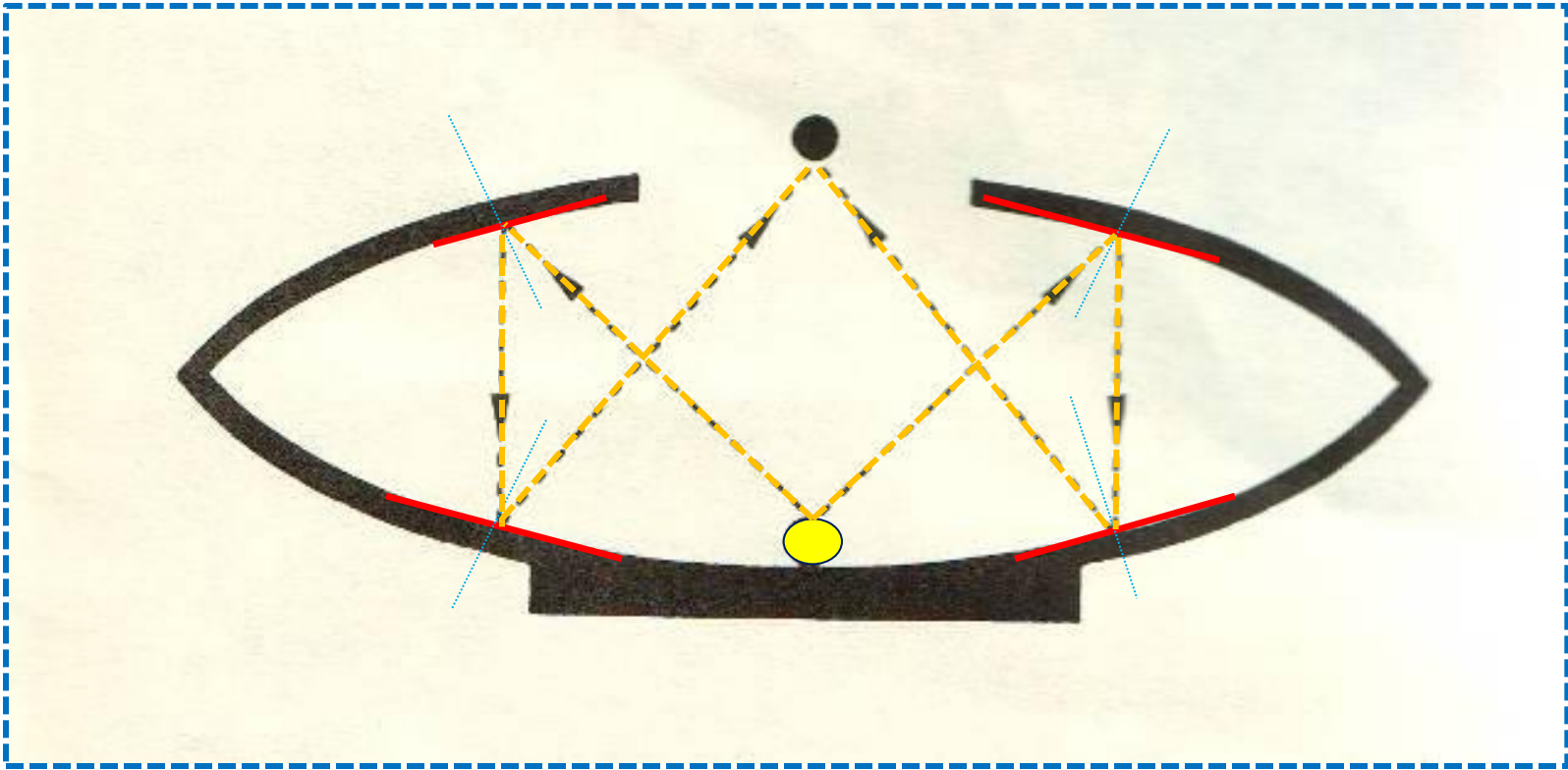


- schema



(0.3m x 0.3m, h=0.9m)

Lo strumento è fornito dalla Edmund Scientific Co. Esso è formato da due specchi parabolici, di uguale distanza focale, con la cavità dell'uno appoggiata su quella dell'altro. Al centro dello specchio superiore c'è un foro attraverso il quale sembra fuoriuscire una moneta, ma si tratta di un miraggio! L'illusione viene prodotta da un gioco di riflessioni - che avvengono tra le due superfici speculari - dei raggi provenienti da una moneta vera, collocata al centro della parabola inferiore, cioè nel fuoco di quella superiore.



Disegniamo dei segmenti tangenti agli specchi nel punto di incidenza del raggio

Tracciamo la perpendicolare a questi segmenti

Ricordiamo le leggi della riflessione: angolo di incidenza = angolo di riflessione

Seguiamo il cammino dei raggi

La luce normalmente si propaga in linea retta

Ma ci sono dei modi
per deviarla:

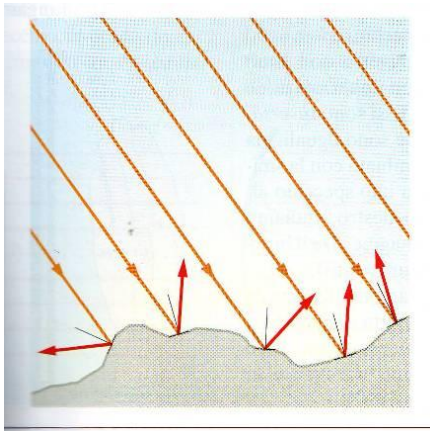
- La riflessione
- **La diffusione**
- La rifrazione



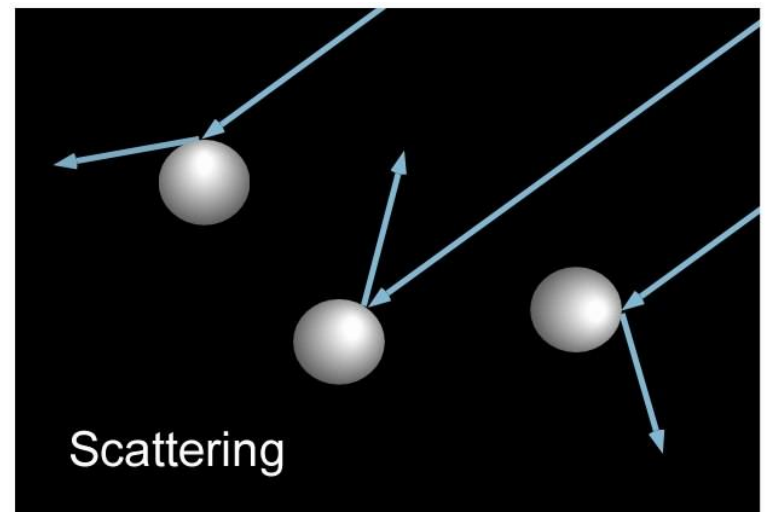
(C) 2006 Christof Wittwer for OPENPHOTO.NET. CC BY-NC-ND/3.0

La diffusione (scattering)

Le leggi della riflessione valgono anche quando la superficie è scabra; i raggi vengono riflessi diversamente da ogni parte del materiale che investono e vengono sparpagliati in tutte le direzioni; è questo il meccanismo per il quale vediamo la maggior parte degli oggetti (corpi illuminati)



Le leggi della riflessione valgono anche quando quando la luce raggiunge particelle sospese: è grazie a questo fenomeno che riusciamo a visualizzare fasci di luce facendoli propagare attraverso il fumo

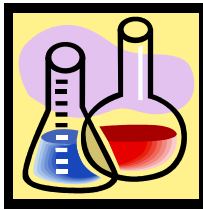


La diffusione

- Un raggio di luce può essere visto all'interno di una scatola di fumo perché le particelle di fumo deviano la luce dal suo cammino rettilineo e la deviano in tutte le direzioni
- Infatti il raggio scompare dalla scatola se eliminiamo il fumo
- Studiare il fenomeno della diffusione aiuta a capire perché il cielo è azzurro di giorno ed il cielo al tramonto appare rosso



La diffusione dipende dalla lunghezza d'onda



Gli effetti dell'interazione tra luce ed il mezzo che essa attraversa dipendono dal colore della radiazione. La luce rossa interagisce molto debolmente prosegue la sua propagazione rettilinea lungo la direzione iniziale. Al contrario, la luce blu è diffusa in tutte le direzioni

Si può osservare questo fenomeno facendo attraversare una scatola trasparente contenente dell'acqua torbida da un fascio luminoso. Il fascio osservato di lato appare azzurrognolo, di fronte rossastro

Aggiungi foto

Perché il cielo è azzurro

Una volta giunti in prossimità della Terra, i raggi solari interagiscono con l'atmosfera. Gli effetti dell'interazione tra luce ed atmosfera dipendono dal colore della radiazione (cioè dalla sua lunghezza d'onda) e dalle dimensioni degli oggetti su cui questa incide. La luce rossa interagisce molto debolmente con l'atmosfera e prosegue la sua propagazione rettilinea lungo la direzione iniziale. Al contrario, la luce blu è diffusa in tutte le direzioni. Questa diffusione differenziale dipendente dalla lunghezza d'onda è chiamata, in inglese, Rayleigh scattering. Più precisamente, la quantità di luce diffusa è inversamente proporzionale alla quarta potenza della lunghezza d'onda. Ne consegue che la luce blu è diffusa più di quella rossa di un fattore $(700/400)^4 \sim 10$. Nell'attraversare l'atmosfera, la maggior parte della radiazione di maggior lunghezza d'onda prosegue la sua traiettoria rettilinea. La luce rossa, arancione e gialla viene influenzata solo in minima parte dalla presenza dell'aria. Al contrario, la luce blu è diffusa in tutte le direzioni. In qualunque direzione si osservi, parte di questa luce giunge ai nostri occhi.

Il cielo, pertanto, appare blu. Vicino all'orizzonte il cielo è di un azzurro più chiaro perché la luce, per raggiungerci da questa direzione, deve attraversare più aria e viene diffusa maggiormente; pertanto siamo raggiunti da una minor quantità di luce blu. Le nuvole e la nebbia ci appaiono bianche perché consistono di particelle più grandi delle lunghezze d'onda della radiazione visibile, e diffondono tutti i colori allo stesso modo.

Se fossimo sulla Luna, a causa dell'assenza di atmosfera (e della diffusione ad essa connessa), il cielo apparirebbe nero e il Sole sarebbe bianco. Sulla Terra, invece, in conseguenza del Rayleigh scattering, parte della componente blu è rimossa dai raggi diretti del Sole che pertanto ci appare giallo. Questo effetto è amplificato al tramonto, quando il Sole è vicino all'orizzonte. I raggi solari diretti attraversano uno strato maggiore di atmosfera e vengono maggiormente impoveriti della componente blu. Il Sole, dunque, diventa sempre più rosso man mano che il tramonto procede.

La Terra vista dalla Luna



Dalla Luna, a causa dell'assenza di atmosfera (e della diffusione ad essa connessa), la terra appare come una sfera su uno sfondo scuro: il cielo appare nero; il Sole apparirebbe bianco

I raggi solari diretti attraversano uno strato maggiore di atmosfera e vengono maggiormente impoveriti della componente blu. Il cielo, dunque, diventa sempre più rosso man mano che il tramonto procede.



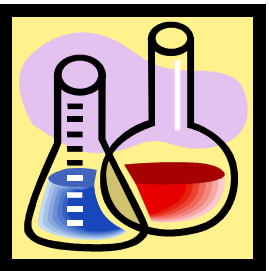
La luce normalmente si propaga in linea retta

Ma ci sono dei modi
per deviarla:

- La riflessione
- La diffusione
- La rifrazione



(C) 2006 Christof Wittwer for OPENPHOTO.NET. CC BY-NC-ND/3.0



Strani effetti della rifrazione

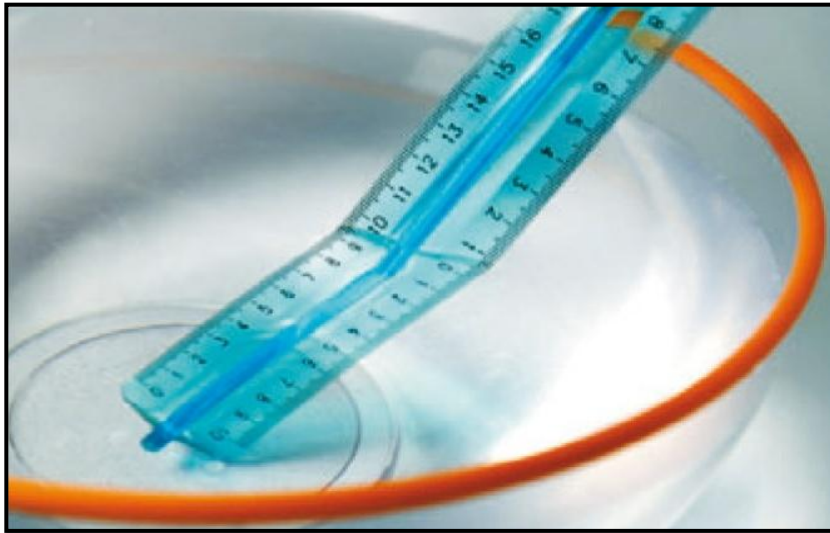
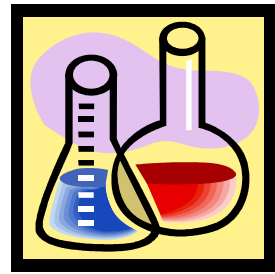


Scienza in Piazza 2010



La rifrazione

E' un altro modo per deviare la luce da suo cammino rettilineo



Si può osservare la rifrazione con un righello immerso in acqua (foto)

La rifrazione viene sfruttata per costruire tutti gli strumenti ottici

Cos'è l'indice di rifrazione

La velocità della luce è la massima possibile in natura ed è sempre la stessa in tutti i sistemi di riferimento.

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

Nei mezzi **trasparenti** la velocità della luce è **minore** che nel vuoto.

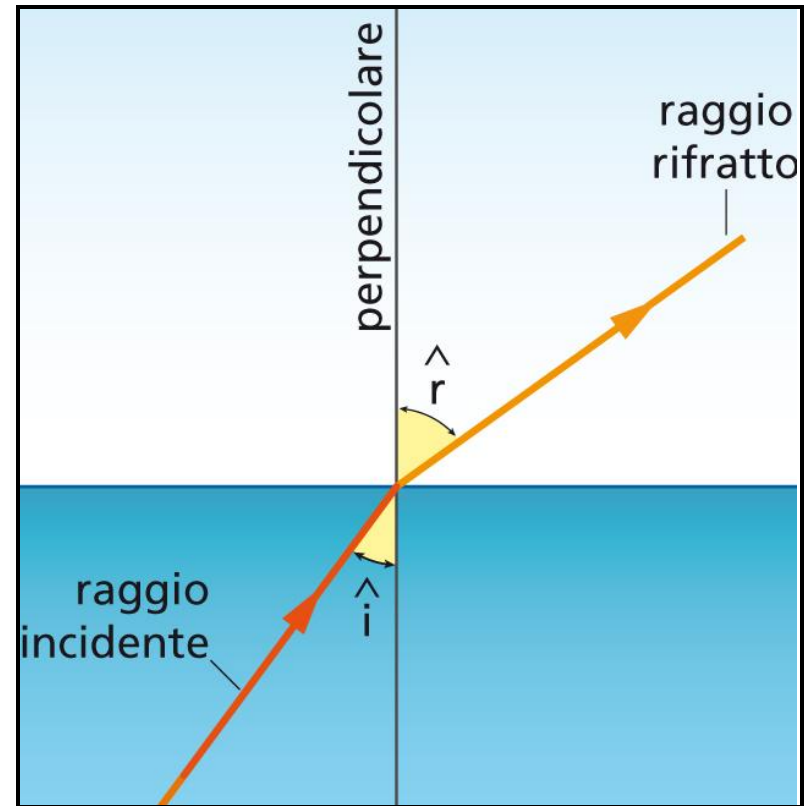
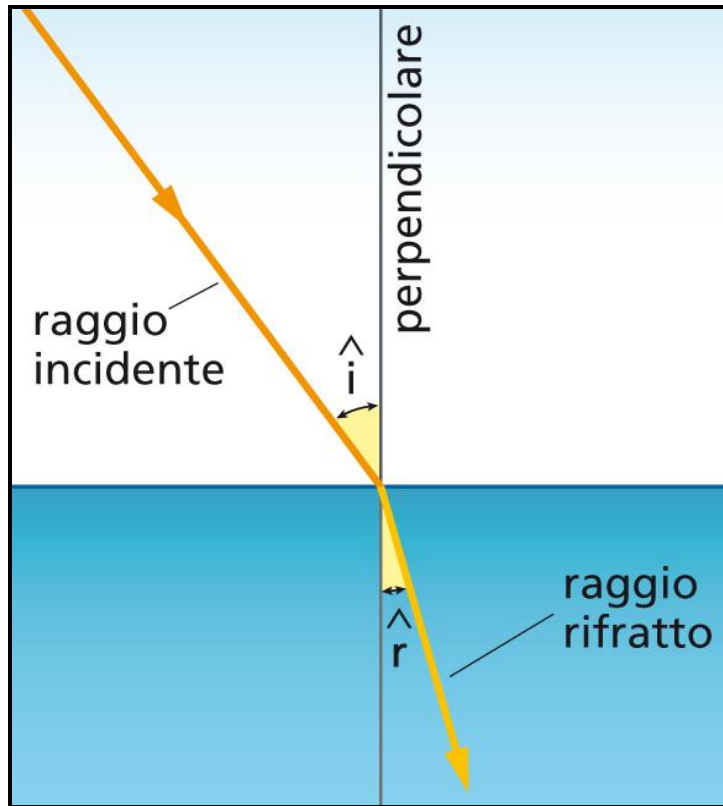


$$n = \frac{c}{v}$$

Quando la luce passa da un mezzo trasparente ad un altro il suo cammino viene deviato.

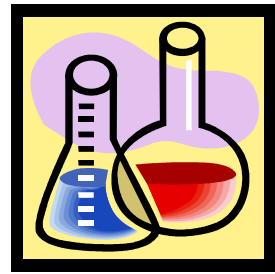
Maggiore è l'indice di rifrazione maggiore è l'effetto

La rifrazione



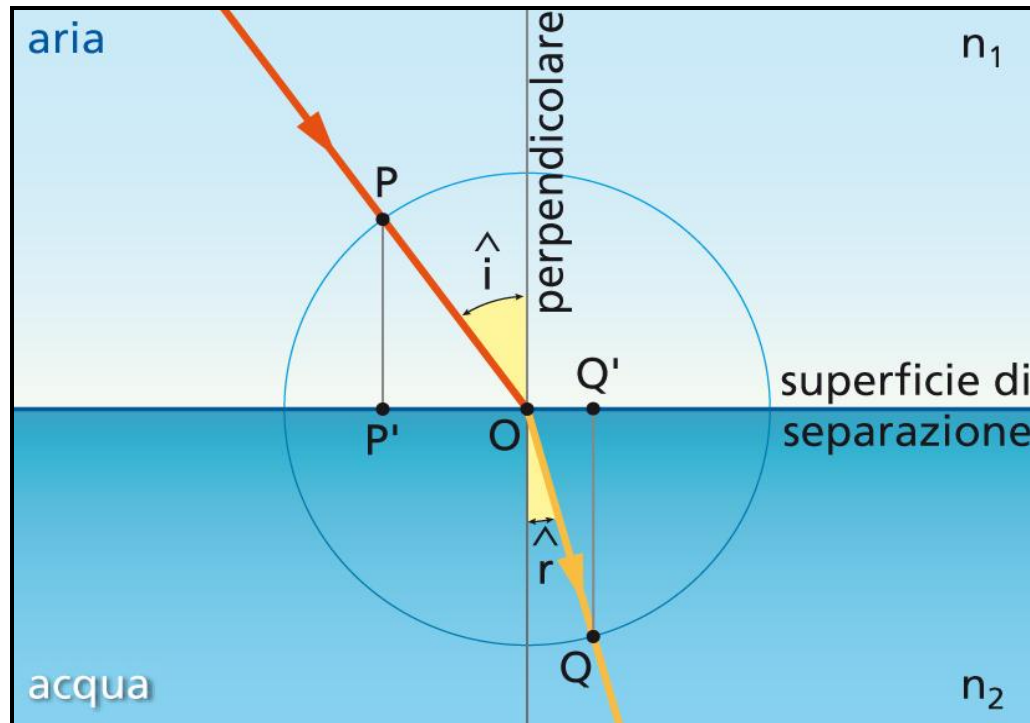
La rifrazione avviene ogni volta che un raggio attraversa la separazione tra due mezzi trasparenti nei quali la luce ha velocità diverse.

Le leggi della rifrazione



Prima legge

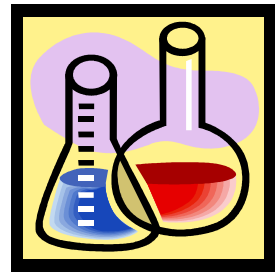
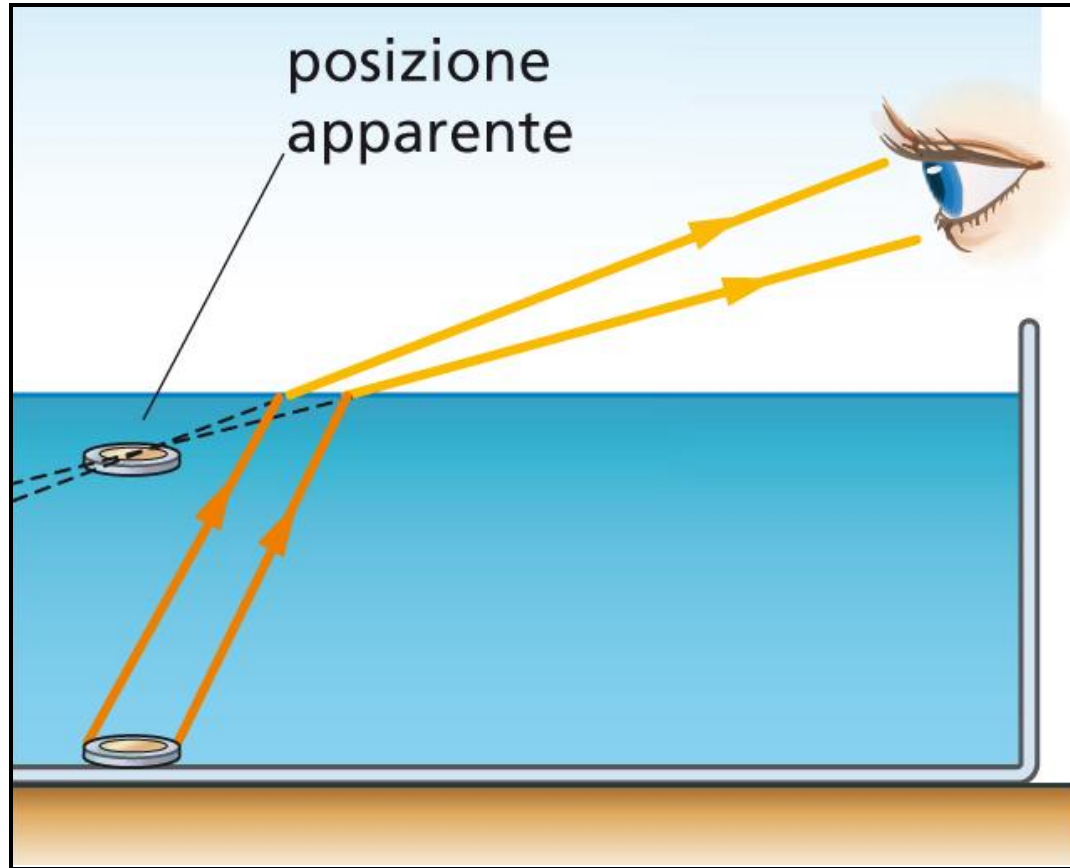
Il raggio **incidente**, il raggio **rifratto** e la retta **perpendicolare** alla superficie di separazione dei due mezzi, nel punto di incidenza, appartengono allo **stesso piano**.



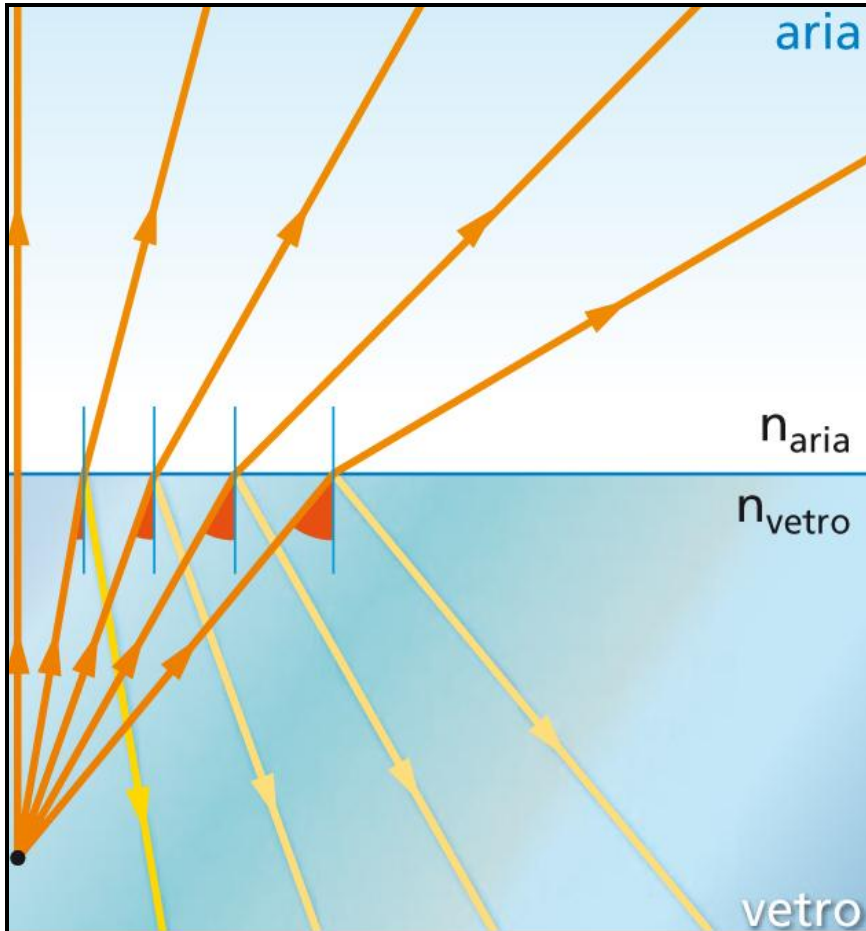
Seconda legge

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

La moneta sott'acqua

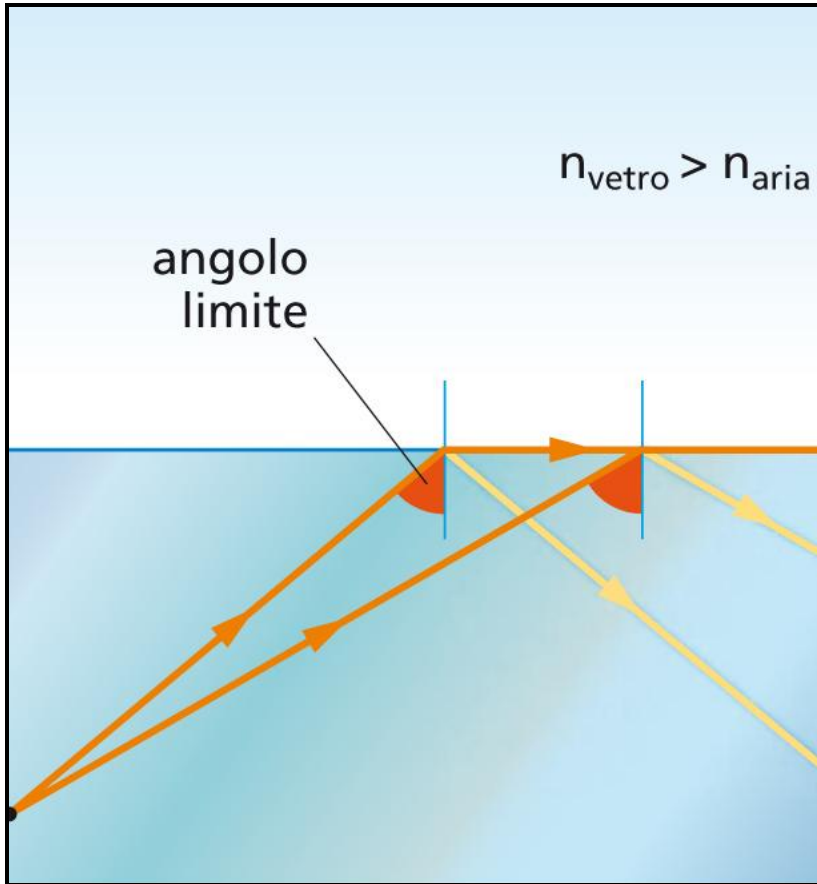
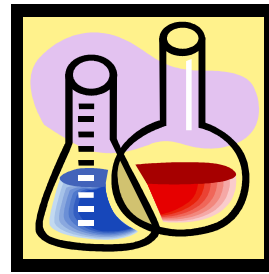


Riflessi e rifratti



Oltre al raggio rifratto
si forma anche un
raggio riflesso dentro il vetro.

La riflessione **totale**

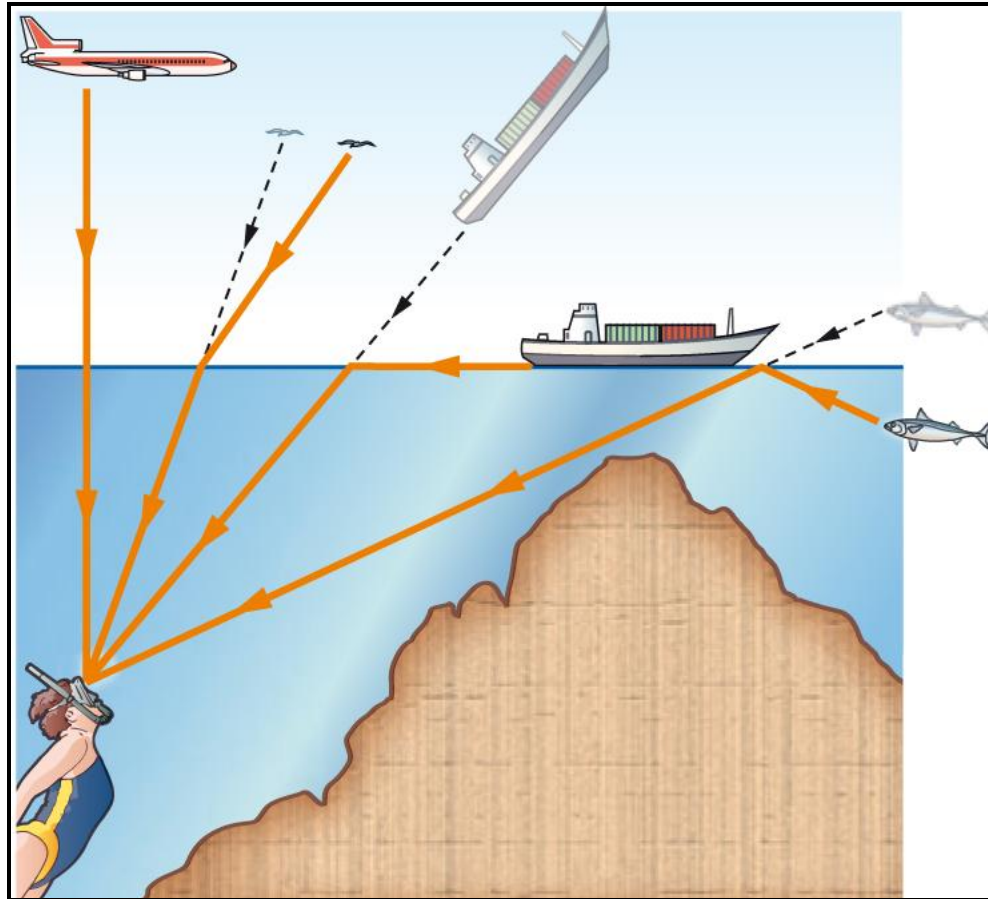


Si chiama **angolo limite** quel valore dell'angolo d'incidenza a cui corrisponde un angolo di rifrazione pari a 90° .

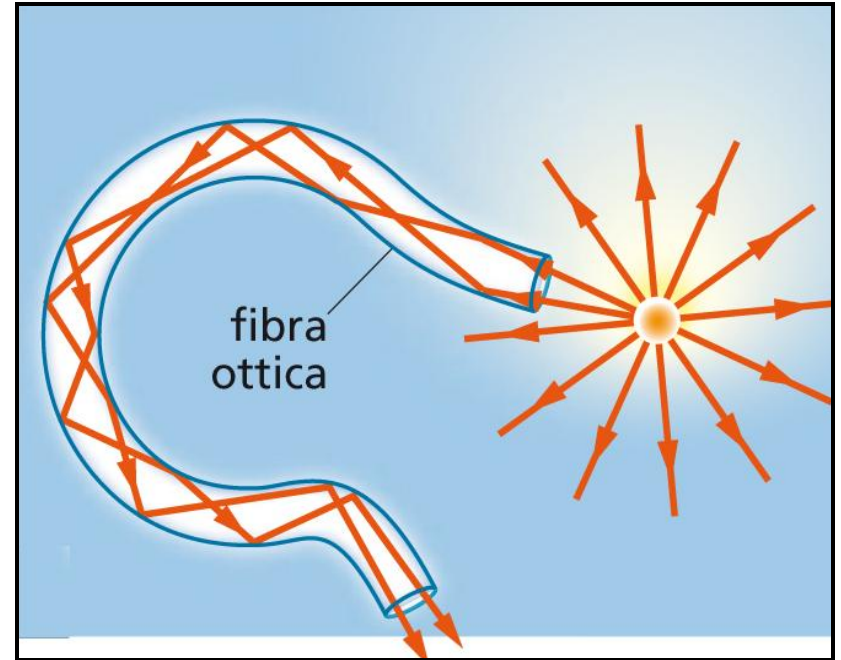
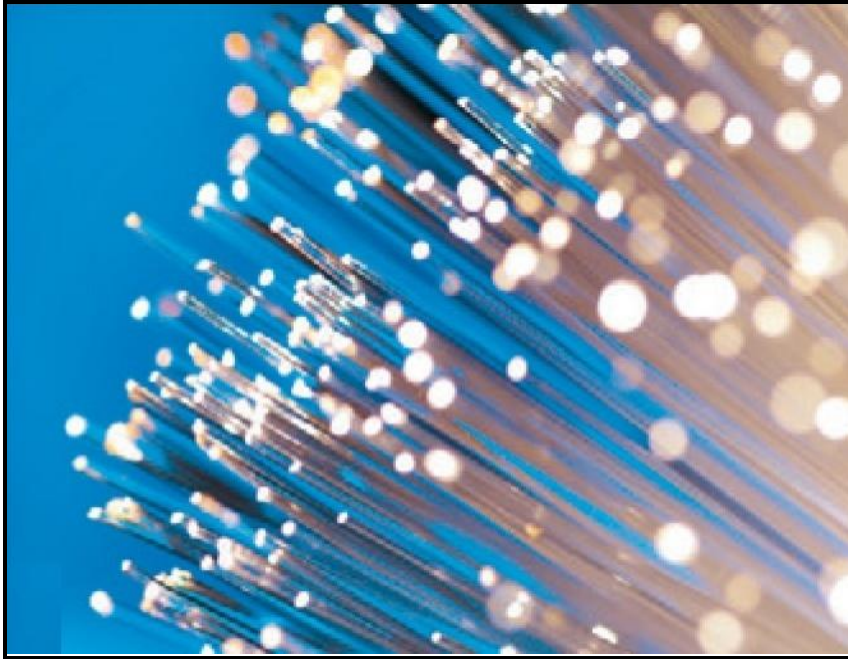
Angoli limite con l'aria

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

Il punto di vista dei sub

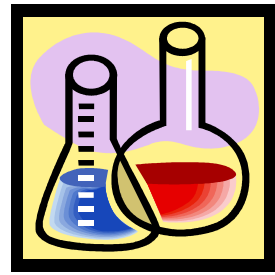


Le fibre ottiche



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

Le fibre ottiche

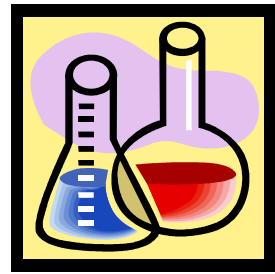


- Una fibra ottica acqua-latte

Aggiungi foto



La rifrazione dipende dal colore

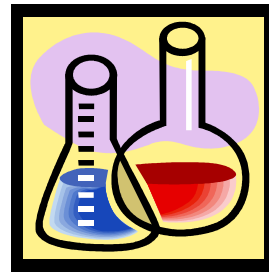


Un fascio di luce bianca che incide su un prisma viene scomposto perché l'indice di rifrazione è diverso per luce di frequenza diversa

Copertina di un disco molto famoso



La dispersione



- Il prisma

- A causa della diversa deviazione a seconda del colore si può scomporre la luce bianca

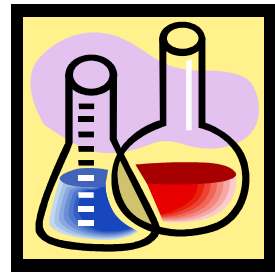


Anche l'arcobaleno è dovuto alla dispersione della luce



ci sono altri strumenti ottici che disperdono la luce: i reticoli

Ricomposizione della luce: Il disco di Newton



- Il fenomeno inverso rispetto al precedente
- Un disco di Newton posto in rapida rotazione appare bianco
- Si può montare un disco di Newton sopra o all'interno di una trottola



Scienza in piazza 2011



Elenco esperimenti

1. Il laser: laser verde e laser rosso: caratteristiche della luce laser
2. Raggi luminosi e fasci di luce: visualizzazione con la scatola col fumo
3. La luce si propaga in linea retta
4. La camera oscura
5. Ombra e penombra
6. Riflessione da specchi piani: prima e seconda legge
7. Strani effetti della riflessione: la magica scatola del mirage
8. Riflessione da specchi curvi: il mestolo è uno specchio concavo e convesso
9. Costruzione di immagini su specchi sferici
10. La diffusione: perché il cielo è azzurro la sera e rosso al tramonto
11. Strani effetti della rifrazione: la bottiglia che scompare
12. La rifrazione: il righello spezzato
13. Misure di indice di rifrazione: vetro, plexiglass, liquidi
14. La moneta sott'acqua
15. La riflessione totale
16. Riflessione totale e fibre ottiche
17. La rifrazione dipende dal colore
18. La dispersione: il prisma
19. La ricomposizione della luce: il disco di Newton