

S.S.I.S. a.a. 2003-2004

RELAZIONE di

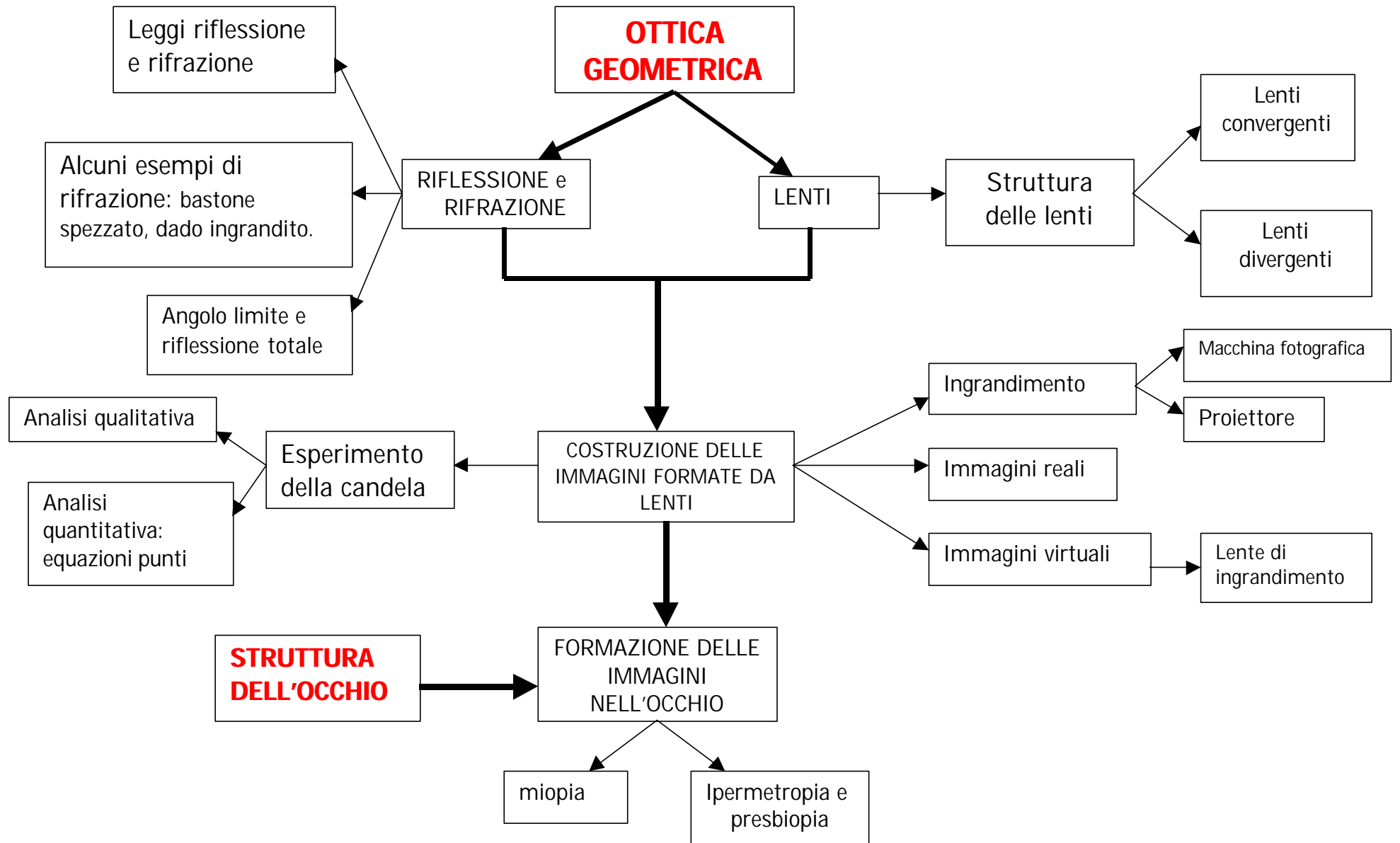
SARA MARSANO

I anno, Classi 47-48-49-59

e-mail: marmar1951@libero.it

telefono: 010-384898

Prof.ssa Tuccio



INTRODUZIONE

Per poter comprendere a fondo i meccanismi che stanno dietro alla visione bisogna necessariamente conoscere i fondamenti della propagazione della luce ed in particolare i fenomeni di rifrazione, per ricostruire l'immagine formata da una lente, e diffrazione, per capire il potere risolutivo dell'occhio. Il primo si verifica quando i raggi luminosi passano da una sostanza ad una diversa e da essa risultano deviati rispetto alla loro direzione iniziale; in particolare a noi interesserà il fenomeno di rifrazione causato da lenti sottili che ci permetterà di comprendere ciò che avviene quando la luce entra nell'occhio attraverso la pupilla ed incontra il cristallino.

La diffrazione della luce è un fenomeno che interviene quando la luce, nel suo percorso, incontra ostacoli come nel caso dell'occhio in cui la luce incontra un foro circolare (pupilla).

Questi due fenomeni devono essere affrontati separatamente e appartengono a due rami diversi dell'ottica: il primo rientra nella ottica geometrica (in cui la propagazione della luce è descritta sperimentalmente mediante il concetto di raggio), il secondo nell'ottica fisica (in cui si deve utilizzare il modello ondulatorio della luce).

In questa relazione mi occuperò soltanto della prima parte quella che rientra cioè nell'ottica geometrica.

In particolare la mia volontà è quella di realizzare un possibile percorso per introdurre ai ragazzi di una scuola media i meccanismi della visione relativi alla formazione delle immagini nel nostro occhio partendo dallo studio del fenomeno della rifrazione e passando poi allo studio delle lenti e alla relativa costruzione di immagini per arrivare infine a mettere tutto ciò in relazione alla formazioni delle immagini nell'occhio.

METODOLOGIA DIDATTICA

Per poter ottenere un apprendimento significativo nei vari ambiti della fisica sono a mio parere necessarie molte attività sperimentali, come l'osservazione di situazioni della vita quotidiana e la realizzazioni di esperienze sia di tipo qualitativo sia, in alcuni casi, anche di tipo quantitativo.

Ovviamente gli strumenti di descrizione utilizzati varieranno a seconda delle fasce di allievi e alle loro conoscenze e credo sia possibile arrivare gradualmente ad esperimenti quantitativi e alla schematizzazione e modellizzazione dei fenomeni esaminati. In particolare alla fine, se possibile, si arriverà alla formulazione di leggi generali attraverso relazioni aritmetiche e algebriche.

In questo contesto credo che si possa affrontare nella scuola media un percorso sullo studio dell'ottica.

Parte fondante del percorso riguarda la costruzione di una metodologia scientifica per osservare i fenomeni: partendo dall'analisi di situazioni quotidiane si cerca di costruire delle esperienze di laboratorio al fine di costruire schematizzazioni interpretative dei fenomeni osservati ed infine tornare al caso reale per cercare di darne un'interpretazione consapevole.

A mio parere infatti il processo di insegnamento-apprendimento è un processo volto a creare un collegamento tra il modo di pensare degli allievi e la cultura scientifica ed è reso possibile grazie alla mediazione dell'insegnante. E' importantissimo saper costruire dei percorsi didattici che portino ad una acquisizione consapevole di ciò che viene spiegato, tale costruzione di conoscenza si intreccia con i processi cognitivi dei singoli e necessita da parte di ciascun allievo di riflessioni sui propri pensieri ed azioni. Credo perciò che l'approccio ad uno studio scientifico debba essere di tipo pratico e sperimentale, per consentire ai ragazzi di mettere in gioco le loro idee, il loro linguaggio, le loro conoscenze. Porli di fronte ad una situazione nota e proporre alcune questioni conoscitive delle quali non è importante trovare la risposta giusta quanto piuttosto indagare e esplorare l'oggetto in questione, li stimola a riflessioni profonde e autonome.

Inoltre il fatto di affrontare problemi in modo collettivo stimola il gruppo classe e mette ogni allievo nella situazione di rendere note a tutti le proprie idee e suggerimenti. I progressi fatti in tal modo

appartengono a tutti e agli sforzi individuali corrispondono risultati positivi anche per gli allievi con più difficoltà.

La prima fase del percorso è di semplice esplorazione e l'insegnante ha solo il compito di guidare gli alunni nell'esplicitare e condividere le osservazioni personali.

Nella seconda fase del percorso vengono proposti problemi più specifici articolati attorno ad ipotesi che devono essere verificate attraverso la costruzione e la discussione di esperienze più schematiche. In questa fase si passa ad un linguaggio più scientifico e a forme sempre maggiori di matematizzazione. Qui l'insegnante ha un ruolo di guida: deve infatti aiutare gli allievi a superare eventuali problemi che non sanno risolvere e saper riconoscere i momenti in cui poter introdurre nuove informazioni e concetti che non potrebbero costruire da soli.

NODI CONCETTUALI

Uno dei nodi concettuali principali per lo studio dei meccanismi della visione è quello di comprendere che per vedere è necessario che entri nei nostri occhi la luce proveniente dall'oggetto della visione. La luce che giunge al nostro occhio infatti può provenire da sorgenti luminose oppure da corpi illuminati che rimandano verso l'occhio una parte della luce che ricevono.

Questa concezione è fondata su alcune schematizzazioni tutt'altro che intuitive ed è inoltre basilare individuare le regole che mettono in relazioni le caratteristiche fisiche e geometriche della luce con le caratteristiche del sistema percettivo. In particolare alla fisica spetta il compito di indagare le caratteristiche della luce e descriverne il processo di propagazione all'interno dell'occhio, il resto è campo di indagine della biologia e delle neuroscienze.

E' importante far notare ai ragazzi che per affrontare alcuni argomenti come la riflessione o rifrazione della luce facciamo riferimento all'ottica geometrica.

Si tratta di uno studio in prima approssimazione nel quale la luce viene rappresentata mediante il modello di raggio che rappresenta il percorso rettilineo della radiazione ma che non fa riferimento alla reale natura ondulatoria della luce.

D'altra parte è importante non pensare che sia fatta davvero di raggi: è solo una schematizzazione che rende possibile la visualizzazione di certi concetti.

Lo scopo del percorso è quello di arrivare ad apprendere i meccanismi che stanno dietro alla visione e quindi alla formazione delle immagini nell'occhio.

A tal fine è necessario che siano chiari alcuni concetti fondamentali quali: i raggi di luce, i dispositivi ottici, i raggi di luce convergenti e divergenti, i punti oggetto e i punti immagine e l'occhio dell'osservatore come dispositivo ottico.

Questi saranno il punto di partenza di tutto lo studio sulle lenti deve portare i ragazzi ad apprendere altri concetti più complessi che stanno alla base del meccanismo della visione:

- ✓ Un oggetto è un corpo esteso unione di punti oggetto e l'immagine è l'insieme dei relativi punti immagine;
- ✓ Un flusso di luce interagente con un dispositivo ottico determina la formazione dell'immagine;
- ✓ La luce proveniente da un punto, interagendo con un dispositivo ottico, viene deviata in raggi di luce che possono convergere in un unico punto detto punto dell'immagine reale e per poter essere visto è necessario che tali raggi arrivino all'occhio dell'osservatore, oppure possono divergere ed in tal caso se arrivano all'occhio si formerà e potrà essere visto il punto di immagine detto virtuale.
- ✓ Il processo che porta alla formazione dell'immagine può essere schematizzato mediante dei raggi di luce che, come ho già detto in precedenza, sono utili strumenti teorici per rappresentare la direzione di propagazione della luce.

OTTICA GEOMETRICA

Come detto in precedenza l'ottica geometrica studia il comportamento di alcuni semplici fenomeni interpretati mediante leggi di carattere geometrico.

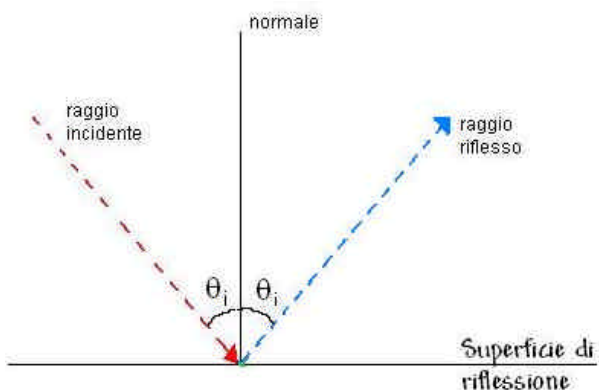
Uno degli aspetti principali è la propagazione rettilinea della luce che rende possibile la schematizzazione per mezzo di raggi per la rappresentazione dei fenomeni e la facilitazione dei ragionamenti; in particolare si suppone anche che tali raggi siano indipendenti ossia che quando due o più raggi si incontrano non si verifica alcuna deviazione di traiettoria.

Le parti dell'ottica geometrica che serviranno sono lo studio dei fenomeni di riflessione e rifrazione e le lenti sottili e la costruzione geometrica delle immagini prodotte dalle lenti.

RIFLESSIONE DELLA LUCE

Quando un raggio luminoso incontra una superficie di separazione tra due mezzi trasparenti in parte viene riflesso nel primo mezzo ed in parte invece rifratto, ossia penetra nel secondo mezzo attraverso la superficie di separazione subendo una deviazione nella sua traiettoria.

Chiamando incidente il raggio di partenza e angolo di incidenza quello che forma con la retta perpendicolare alla superficie tracciata nel punto di incidenza (normale) e definendo analogamente il raggio riflesso con il suo angolo di riflessione valgono le due seguenti leggi :



1. il raggio incidente, la normale alla superficie riflettente nel punto di incidenza e il raggio riflesso giacciono nello stesso piano;
2. l'angolo di incidenza è uguale a quello di riflessione.

RIFRAZIONE DELLA LUCE

Mettiamo i ragazzi di fronte ad una situazione quotidiana come la seguente: un contenitore trasparente contenente dell'acqua e un bastoncino dritto (figura a sinistra).

Facciamo immergere nell'acqua, parzialmente ed obliquamente, il bastoncino (figura a destra) e chiediamo ai ragazzi di descrivere ciò che vedono.



Credo che la prima cosa che verrà notata è che il bastoncino sembra essere spezzato.

Continuando ad investigare sul fenomeno si può arrivare ad individuare il punto in cui il bastoncino sembra piegarsi: è il punto che sta sulla superficie dell'acqua, infatti la parte del bastoncino che sta fuori e quella sommersa sono dritte, il punto di piegatura è proprio nella separazione tra aria e acqua.

Inoltre è chiaro che il bastoncino non si è piegato realmente, è sempre dritto e quindi non può che essere un fenomeno ottico.

A questo punto, dopo aver raccolto un po' di elementi si può iniziare a metterli insieme e formulare delle ipotesi:

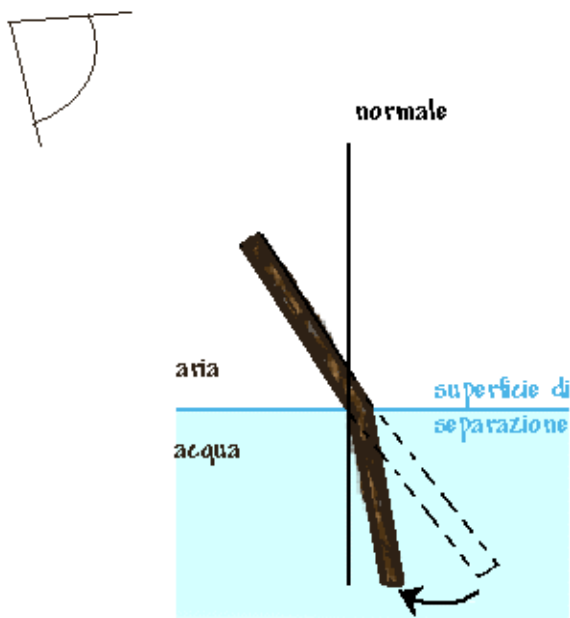
1. poiché, se il bastoncino sta tutto fuori dall'acqua o tutto sott'acqua questo fenomeno non accade, deve necessariamente entrare in gioco il fatto che il bastoncino è per metà immerso e per metà no e quindi è necessaria la presenza di due sostanze trasparenti (in questo caso aria e acqua);
2. la superficie di separazione aria-acqua deve avere una qualche importanza nel fenomeno essendo proprio lì il punto in corrispondenza del quale il bastoncino sembra piegato;
3. questo fenomeno ha come risultato quello di "piegare", in questo caso, il bastoncino.

Credo che i ragazzi arriverebbero da soli a queste conclusioni o comunque dietro qualche dritta da parte dell'insegnante.

Ciò che invece non riuscirebbero a realizzare è il fatto che sono i raggi che escono dall'oggetto a venire deviati.

A questo punto dovrebbe perciò intervenire il docente a dare nuove informazioni circa la rifrazione dei raggi luminosi.

Per far ciò credo che sia utile far riferimento allo schema successivo:



I raggi passando dall'aria all'acqua subiscono una deviazione e tendono ad avvicinarsi alla normale alla superficie di separazione.

Per questo motivo guardando il bastone da una posizione opportuna il bastone sembra proprio essere spezzato.

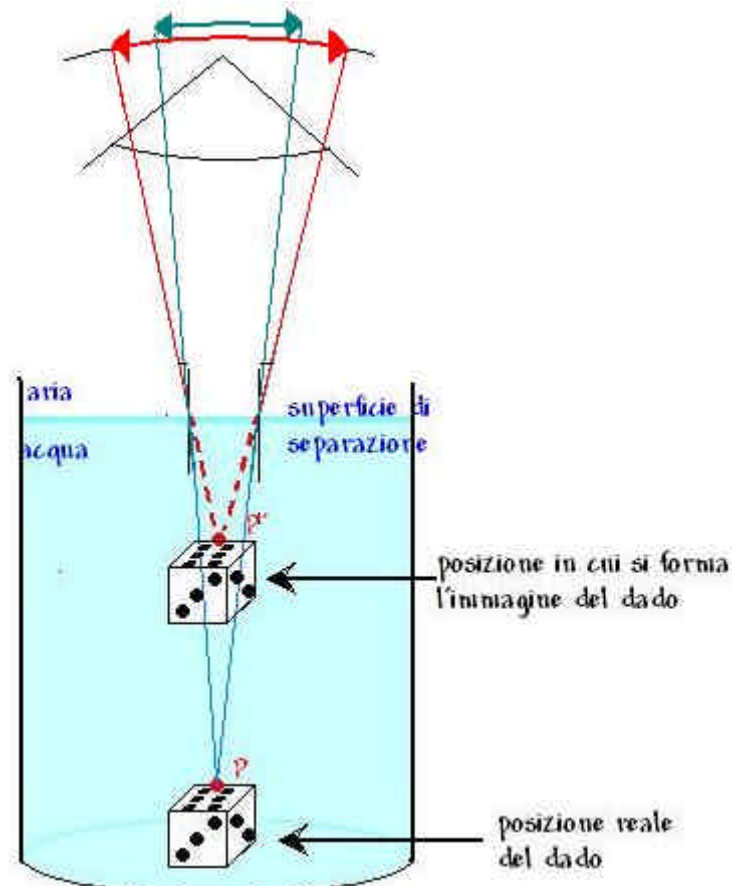
Un'esperienza analoga è la seguente che può essere proposta ai ragazzi per vedere se hanno capito il caso precedente e per vedere come riescono a mettere in pratica quanto detto fino ad ora: si prendono due dadi uguali ed un bicchiere pieno d'acqua.

Si immerge un dado sul fondo del bicchiere e lo si guarda dall'alto.
 Che cosa si può dire confrontando il dado immerso con quello fuori dall'acqua?



E' abbastanza immediato osservare che, nonostante i due dadi si trovino alla stessa altezza sul tavolo, il dado nell'acqua sembra essere più grande e vicino a noi rispetto all'altro. Non è forse ciò che accade quando si guarda un pesce dall'alto della sua vasca? Sembra sempre più grosso del reale!

Facendo un ragionamento analogo a quello fatto per spiegare il motivo per cui il bastone sembra spezzato, si arriva a spiegare che la causa è sempre la stessa: la deviazione dei raggi che attraversano due mezzi diversi (aria e acqua). In questo caso l'immagine viene a formarsi più vicina ai nostri occhi e per questo sembra essere più grande, come mostrato nello schema a fianco.



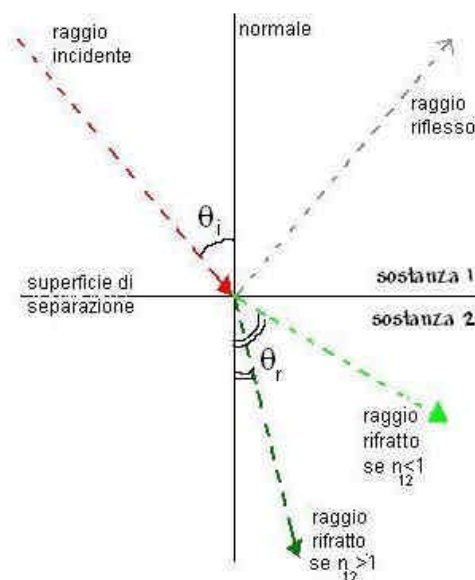
A questo punto i ragazzi dovrebbero aver appreso in che cosa consiste questo fenomeno, quali sono le cause (presenza di due mezzi diversi) e le conseguenze (deviazione dei raggi in corrispondenza della superficie di separazione).

E' giunta quindi l'ora di dare un nome a tale fenomeno e descriverne in modo più rigoroso le caratteristiche usando un linguaggio più scientifico e appropriato; inoltre accanto alle conoscenze acquisite fino ad ora con uno studio di tipo qualitativo è giusto integrare con gli aspetti di tipo quantitativo.

Questo fenomeno è chiamato *rifrazione* e si determina quando la luce attraversa la superficie di separazione di due mezzi diversi.

Bisogna per prima cosa individuare gli elementi determinanti del fenomeno per costruirne una valida modellizzazione:

- * il raggio uscente dall'oggetto viene detto *incidente*;
- * il raggio incidente, dopo aver incontrato la superficie di separazione, prosegue deviato nell'altro mezzo e prende il nome di raggio *rifratto*.
- * l'angolo formato dal raggio incidente con la perpendicolare (normale) alla superficie nel punto di incidenza viene detto *angolo di incidenza* (θ_i);
- * l'angolo formato dal raggio rifratto con la perpendicolare (normale) alla superficie nel punto di incidenza viene detto *angolo di rifrazione* (θ_r);



Ciò che si nota dagli esperimenti di tipo qualitativo proposti precedentemente è l'effettiva deviazione subita dal raggio incidente anche se non si riesce a determinare se ci sia o meno una relazione tra raggio incidente e raggio rifratto.

Da esperimenti che non proporremo si è riusciti a determinare le due leggi della rifrazione che danno il legame esistente tra i due raggi.

Tale legame, che esprime la relazione tra le direzioni dei due raggi, è espresso in termini di angoli in quanto conoscere la traiettoria del raggio, essendo rettilineo, equivale a conoscere la sua inclinazione rispetto alla superficie prima e dopo il suo attraversamento.

Sempre in modo qualitativo avevamo osservato come entrassero in gioco le due sostanze aria e acqua, e dalle leggi di rifrazione si vede come le sostanze in questione influenzino la deviazione, infatti esiste una precisa relazione tra gli angoli di incidenza e rifrazione e il cosiddetto indice di rifrazione relativa n_{12} che esprime il rapporto tra due valori che dipendono unicamente dalla natura di ciascuna sostanza. In particolare è importante che i ragazzi capiscano che i raggi, passando da una sostanza ad un'altra, si avvicinano o allontanano dalla perpendicolare alla superficie di separazione a seconda della natura delle due sostanze: se per esempio i raggi passano dall'aria all'acqua, essi si avvicinano, mentre passando dall'acqua all'aria si allontanano.

Come già detto, ciò dipende dal rapporto tra due valori detti indici di rifrattioni e dipendenti dalla natura delle due sostanze. Non credo che in una scuola media si possa introdurre l'indice di rifrazione di una sostanza in quanto, essendo definito come rapporto tra la velocità c della luce nel vuoto e la velocità v_s della luce nella sostanza, è necessario far riferimento alla natura ondulatoria della luce.

Analogamente non si può proporre la legge di rifrazione $\frac{\text{sen}\mathbf{J}_i}{\text{sen}\mathbf{J}_r} = n_{12}$ ma si può comunque spiegare

ai ragazzi che conoscendo l'indice di rifrazione dei due mezzi e l'angolo di incidenza, si riesce a determinare l'angolo di rifrazione e quindi la direzione del raggio rifratto.

L'OCCHIO

Arrivati a questo punto i ragazzi dovrebbero aver appreso cosa sia il fenomeno della rifrazione e quindi si può proseguire nel percorso mettendolo in relazione con i meccanismi della visione. Per capire in che modo, è necessario che conoscano come è fatto l'occhio per poter seguire la strada dei raggi luminosi prima di formare l'immagine.

L'occhio umano è un organo approssimativamente sferico di diametro uguale a circa 23 mm.

Iniziando dalla parte anteriore esterna dell'occhio si possono distinguere le seguenti strutture:

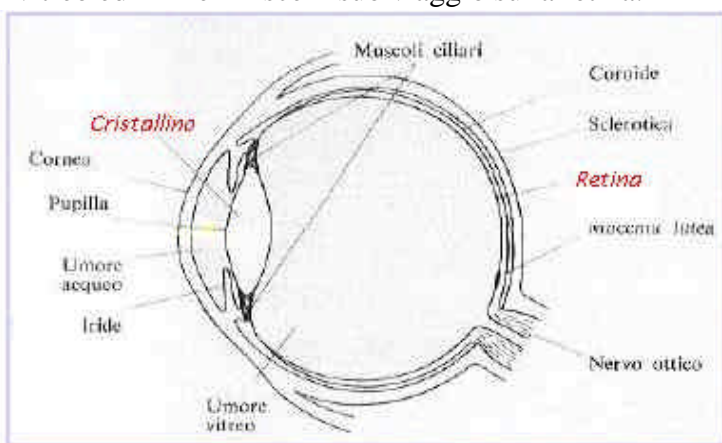
- * **cornea** : membrana trasparente alquanto sporgente dal globo oculare avente un indice di rifrazione uguale a 1,34;
- * **umor acqueo** : liquido, costituito da acqua, sali e sostanze proteiche, che riempie la camera anteriore dell'occhio. Il suo indice di rifrazione è uguale a quello della cornea;
- * **iride** : tramezzo con un foro a sezione variabile: l'apertura, detta **pupilla**, può allargarsi o restringersi in relazione all'intensità della luce che penetra nell'occhio; in pieno giorno è di circa 2mm di diametro;
- * **crystallino** : è un mezzo trasparente destinato, unitamente alla cornea, a far convergere sulla retina i raggi luminosi che arrivano nell'occhio. La sua forma può variare, entro certi limiti, per azione di muscoli anulari, detto **muscoli ciliari**;
- * **l'umor vitreo**: è una sostanza gelatinosa e trasparente, avente all'incirca lo stesso indice di rifrazione dell'umor acqueo, che riempie il volume del globo oculare davanti alla retina;
- * **retina** : è una membrana, caratterizzata da una complessa struttura a strati, che ricopre la maggior parte della parete interna dell'occhio. La porzione sensibile è ricoperta da cellule (**coni e bastoncelli**), funzionanti da fotorecettori e da altre cellule nervose (orizzontali, bipolari, gangliari) le cui terminazioni vanno, tramite il **nervo ottico**, alle aree visive del cervello.

La luce proveniente dall'oggetto della visione entra nell'occhio attraverso la pupilla. Incontra poi il cristallino al di là del quale si trova l'umor vitreo ed infine finisce il suo viaggio sulla retina.

Per ora le parti che ci interessano sono queste e da questa breve descrizione credo che i ragazzi siano in grado di individuare dove e perché si ha il fenomeno della rifrazione: la luce viaggia prima nell'aria e poi incontra la cornea, l'umor acqueo ed il cristallino (avente indice di rifrazione $n=1,437$).

In base a quanto detto fino ad ora i ragazzi dovrebbero riconoscere quindi la causa del fenomeno di rifrazione.

I raggi luminosi finiscono il loro percorso sulla retina.



Prima di proseguire è necessario staccarci dal caso reale dell'occhio per costruire una situazione analoga in laboratorio in cui esplorare ciò che accade per poi tornare al meccanismo della visione nell'occhio ed in particolare per vedere come si formano le immagini sulla retina.

In questa parte del percorso verrà affrontata la parte di ottica geometrica che si occupa delle lenti sottili e la formazione delle immagini mediante esse. Infatti nel nostro modello sperimentale che deve riproporre il meccanismo della formazione di immagini nell'occhio, il cristallino sarà rappresentato da una lente sottile mentre la retina sarà uno schermo bianco su cui si forma

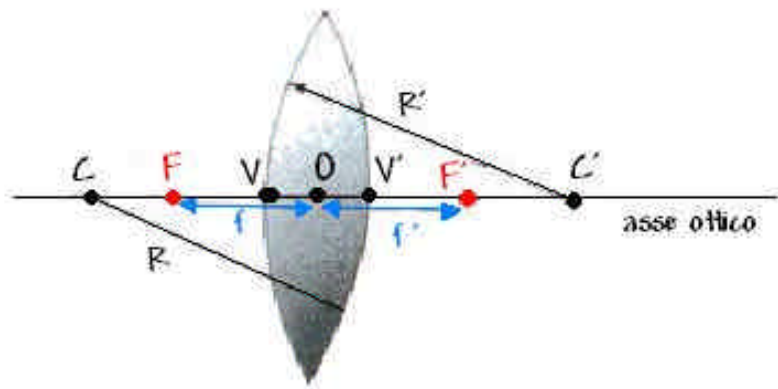
l'immagine. In realtà in questo caso non si tiene conto della presenza di un mezzo diverso dall'aria al di là della lente ma i risultati ottenuti sono comunque accettabili.

E' importante che i ragazzi conoscano gli strumenti che usano nelle esperienze per poterne capire e sfruttare tutte le potenzialità e proprietà. Vediamo quindi più da vicino lo strumento lente, tanto importante in questa parte del lavoro.

LE LENTI

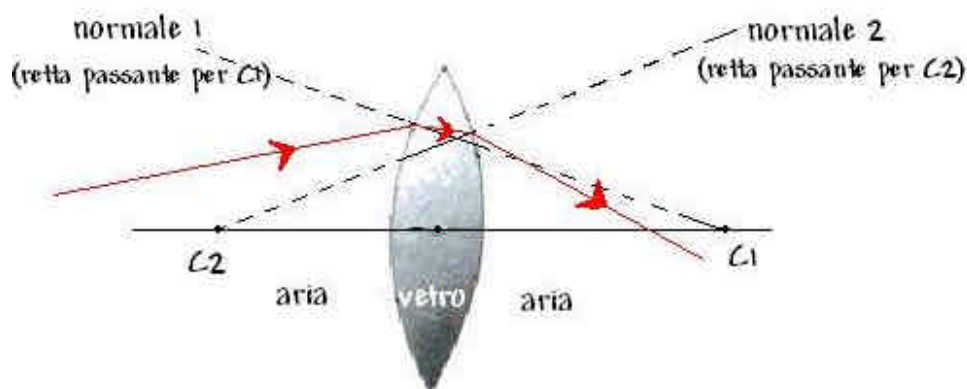
La lente è un sistema ottico costituito da un mezzo trasparente limitato da due superfici, delle quali almeno una di forma sferica. Quando la distanza tra le due calotte è molto piccola si parla di lenti sottili. Gli elementi che caratterizzano una lente sono:

- ✓ i centri di curvatura delle sfere che formano le sue superfici (C, C')
- ✓ i raggi di curvatura di tali sfere (R, R')
- ✓ l'asse ottico, ovvero la linea ideale congiungente i centri di curvatura
- ✓ i vertici, in cui l'asse ottico incontra le superfici della lente (V, V')
- ✓ il centro ottico, attraverso cui i raggi non subiscono deviazioni (O)
- ✓ i fuochi (F, F')
- ✓ le distanze focali (f, f').



Quando i raggi luminosi incontrano una lente subiscono una doppia rifrazione in quanto incontrano due superfici di separazione di due mezzi diversi: aria-vetro e vetro-aria.

Nella prima diffrazione i raggi luminosi, passando da un mezzo meno rifrangente ad uno più rifrangente tendono ad avvicinarsi alla normale, mentre nella diffrazione successiva tendono ad allontanarsene.

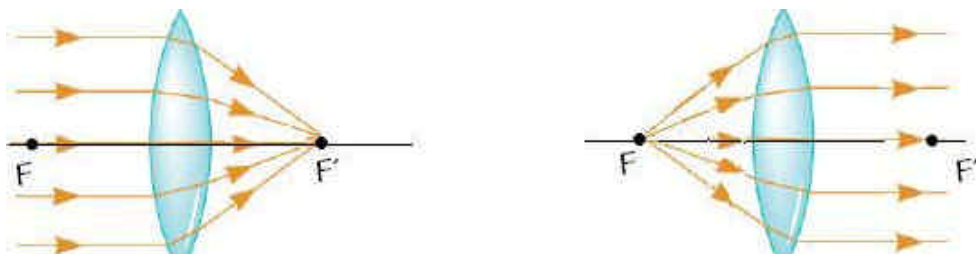


Le lenti sferiche possono essere divise in due gruppi:

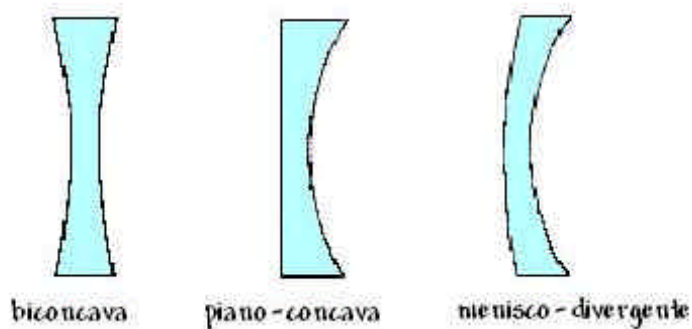
✂ *lenti convergenti*



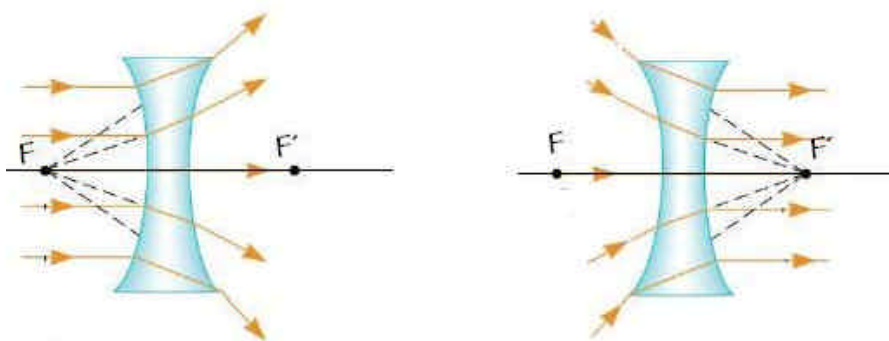
La particolarità di queste lenti consiste nel fatto che tutti i raggi che incidono sulla lente parallelamente al suo asse ottico vengono rifratti in modo da convergere nel fuoco al di là della lente e viceversa tutti i punti provenienti dal fuoco vengono rifratti parallelamente all'asse ottico. Questi due tipi di raggi (quelli paralleli all'asse e quelli uscenti dal fuoco) sono importanti nella costruzione dell'immagine prodotta dalla lente e verranno usati spesso in seguito.



✂ *lenti divergenti*



Queste lenti hanno invece la caratteristica di far divergere i raggi incidenti parallelamente all'asse in direzione tale che i prolungamenti geometrici sembrano provenire dal fuoco F e di rifrangere parallelamente all'asse ottico quei raggi incidenti in direzione tale che i prolungamenti convergono sul fuoco F' .



COSTRUZIONE DELLE IMMAGINI NELLE LENTI SOTTILI

Dopo aver dato ai ragazzi queste informazioni sulla lente essi possono iniziare ad indagare dal punto di vista qualitativo i meccanismi che regolano la formazione delle immagini mediante una lente convergente.

Prendendo come oggetto della visione ad esempio una candela si può esaminare in che modo la fiamma viene proiettata su uno schermo bianco dalla lente.

E' ora compito dei ragazzi investigare su tale fenomeno variando le posizioni reciproche tra candela, lente e schermo per osservare come l'immagine proiettata sullo schermo cambi.

Lasciando fissa la lente e posizionando la candela ad una certa distanza da essa si muove lo schermo fino a che non si vede nitida la fiamma proiettata; da un semplice esperimento come questo si osserva che non si riesce sempre ad ottenere l'immagine sullo schermo e quando ci si riesce essa risulta capovolta, inoltre in alcuni casi è più grande del reale e in altri più piccola.

Dopo essersi accorti di questi fatti si può cercare di approfondirli maggiormente e cercare quali possano essere le condizioni che determinano ognuno dei tre casi.

Ovviamente lo studio è di tipo qualitativo e perciò per ora la descrizione sarà poco rigorosa e scientifica.

Dopo qualche prova i ragazzi noteranno senza dubbio che tutto dipende dalla distanza tra lente e candela.

Se la candela è "troppo" vicina alla lente non si riesce a trovare una posizione per lo schermo che permetta di vedere la fiamma, perciò in questo caso "non si forma alcuna immagine".

Allontanando la lente si riesce ad un certo punto ad avere un'immagine rovesciata della fiamma proiettata sullo schermo. Continuando ad esplorare mantenendo la candela sufficientemente lontana dalla lente si osserva che l'immagine ottenuta è rimpicciolita quando la candela è "piuttosto" lontana dalla lente, mentre per distanze "intermedie" l'immagine risulta ingrandita rispetto al reale.

Adesso dovrebbe entrare in gioco l'insegnante per dare quelle informazioni che i ragazzi non troverebbero da soli: ciò che determina il "troppo vicino" o il "piuttosto lontano" è una caratteristica della lente usata, ossia il fuoco.

Un modo per poter guidare i ragazzi verso la scoperta del fuoco della lente potrebbe essere quello di farli lavorare con lenti differenti per notare come le posizioni candela-lente-schermo che per una lente permettono di vedere la fiamma proiettata nitida, non sono le stesse per le altre lenti.

Un esperimento di questo tipo potrebbe consistere nel raccogliere i dati relativi alla distanza p candela-lente e alla corrispondente distanza q lente-schermo che permettono di avere un'immagine nitida sullo schermo, in corrispondenza di una particolare lente.

Cambiando lente e posizionando candela, lente e schermo alle distanze rilevate precedentemente, i ragazzi noteranno che l'immagine sullo schermo non è più nitida, e quindi dedurranno che ciò dipende dal fatto che la lente è diversa e che quindi i valori di p e q che corrispondono ad una immagine nitida, dipendono anche dalla lente usata.

L'insegnante a questo punto può introdurre il fuoco della lente e la distanza focale f e mostrare ai

ragazzi la relazione che lega p , q e f detta *legge dei punti coniugati*:
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}.$$

Alla luce di questo risultato può essere proposto ai ragazzi uno studio quantitativo del fenomeno che permetta, alla luce di quanto detto fino ad ora, di mettere in pratica ciò che hanno imparato per calcolare, ad esempio, la distanza focale f di una lente data (si veda l'esperienza della lente e candela esaminata in una relazione a parte).

Dopo uno studio diretto del fenomeno si può quindi passare ad un loro studio teorico attraverso le proprietà delle lenti viste precedentemente ed attraverso la costruzione geometrica dell'immagine proiettata.

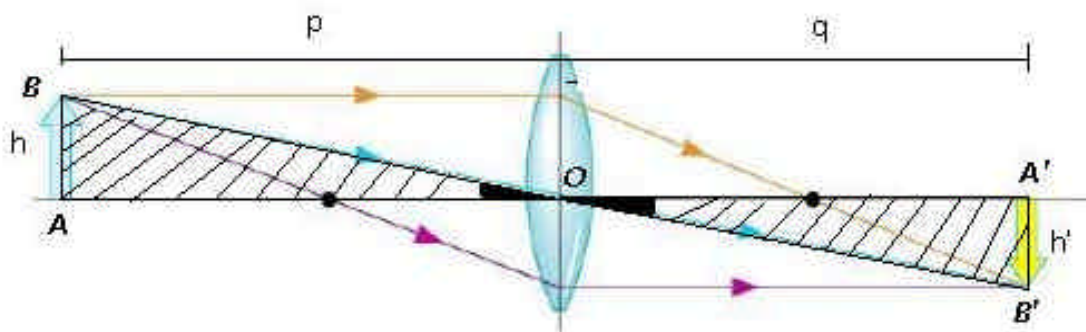
In base alle osservazioni precedenti si è concluso che quando la candela si trova oltre il fuoco si ha sempre un'immagine proiettata sullo schermo. E' possibile stabilire, per via geometrica dove l'immagine si forma.

Consideriamo la candela posta oltre al fuoco (in modo tale che l'immagine possa essere raccolta sullo schermo).

La costruzione dell'immagine si basa sul fatto che l'oggetto candela è un oggetto esteso e da ogni suo punto partono dei raggi luminosi e questi raggi si incontrano nel punto corrispondente dell'immagine.

In particolare per costruire l'immagine della candela ci serve trovare l'immagine del punto sulla base e quella del punto superiore. Poiché la base del nostro oggetto sta sull'asse ottico, per le considerazioni precedenti anche la sua immagine sta su di esso, perciò basta determinare il punto di incontro dei raggi uscenti dalla punta superiore dell'oggetto (rappresentato negli schemi seguenti da una freccetta azzurra)

Tracciamo i tre raggi principali uscenti dal punto B in modo da individuare l'immagine ottenuta B'.



INGRANDIMENTO

Consideriamo i due triangoli ABO e A'B'O: sono entrambi rettangoli ed hanno i rispettivi angoli in O congruenti perché opposti al vertice e quindi sono simili.

Il cateto AB rappresenta l'altezza h dell'oggetto e il cateto A'B' rappresenta l'altezza h' della sua immagine.

Definiamo ingrandimento della lente $G = \frac{h'}{h}$; se $G > 1$ l'immagine ottenuta (freccia gialla) risulta ingrandita mentre se $G < 1$ l'immagine risulta rimpicciolita.

Dalla similitudine dei due triangoli segue che, detta p la distanza AO della candela dalla lente e detta q la distanza OA' dell'immagine dalla lente, si ha che $G = \frac{h'}{h} = \frac{q}{p}$.

Utilizzando la legge dei punti focali, con semplici calcoli algebrici, si ricava l'espressione di

$$q = \frac{pf}{p-f}$$

L'ingrandimento G può quindi essere riscritto nella forma $G = \frac{q}{p} = \frac{f}{p-f} = \frac{A}{B}$.

Da questa si vede che:

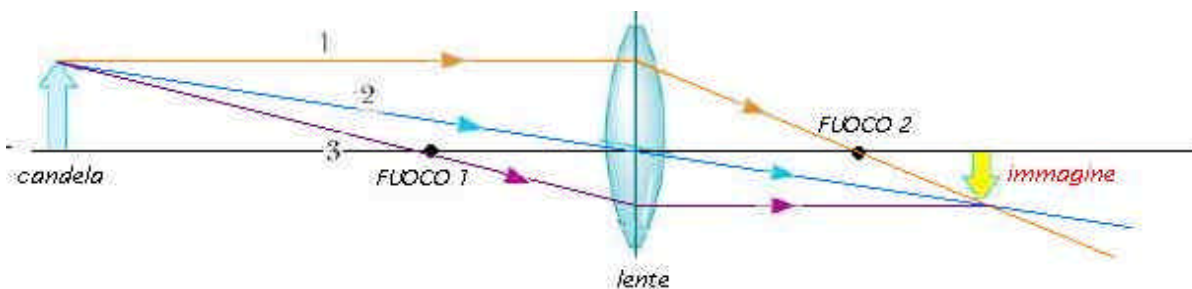
- se $p \approx f$ allora risulta B molto piccolo e quindi $G \gg 1$;
- se $p \gg f$ allora risulta B molto grande e quindi $G \ll 1$.

Questi due risultati stanno alla base di due strumenti molto comuni nella vita quotidiana: il proiettore e la macchina fotografica:

- ✓ nel proiettore infatti le diapositive (che rappresentano l'oggetto della visione) vengono poste molto vicine alle lenti, o meglio vicine al suo fuoco, in modo che $p \approx f$: per quanto detto precedentemente $G \gg 1$ cioè l'immagine che si ottiene sullo schermo risulta molto ingrandita;
- ✓ quando invece scattiamo una fotografia l'oggetto è posto sufficientemente lontano dalla lente e perciò risulta $p \gg f$ e quindi $G \ll 1$. In tal caso infatti l'immagine che si forma sul rullino è rimpicciolita di molto rispetto al reale, basta pensare a quando si fotografano le montagne!!

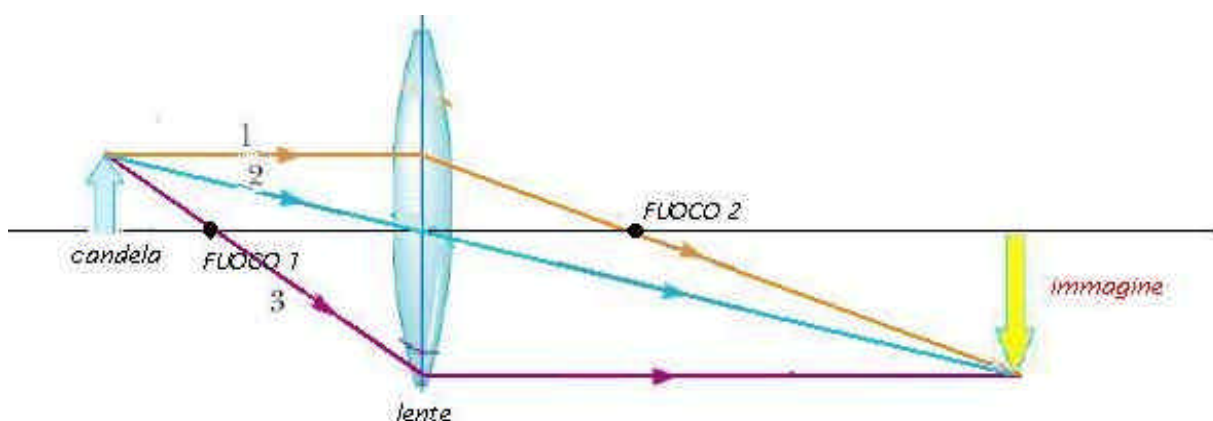
Non resta che mettere in pratica attraverso semplici schemi descrittivi quanto detto per trovare l'analogia con i casi precedentemente osservati per via sperimentale:

- “candela piuttosto lontana dalla lente” corrisponde a candela posta a distanze dalla lente molto maggiori della distanza focale. Ripetendo la costruzione dello schema precedente si ottiene:



L'immagine in questo caso è come ce l'aspettavamo: reale, capovolta e rimpicciolita.

- “candela a distanze intermedie” corrisponde a candela posta ad una distanza dalla lente che sia circa la distanza focale della lente (ma ovviamente maggiore de essa altrimenti ci sarebbe un'immagine virtuale, v. dopo):

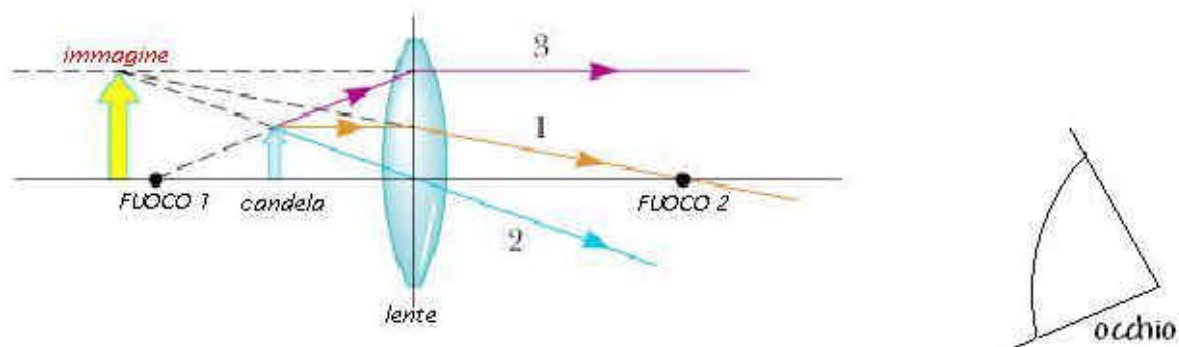


In questo caso l'immagine della candela risulta essere capovolta, reale ed ingrandita.

E' necessario dedicare un'analisi a parte del caso “candela troppo vicina alla lente” che abbiamo visto corrispondere alla condizione “candela posta tra la lente ed il suo fuoco”

Facciamo uno schema della situazione; partendo dalla candela (freccetta azzurra) tracciamo i tre raggi uscenti dalla sommità descritti prima: quello passante per il centro della lente, quello parallelo

all'asse della lente e quello passante per il primo fuoco e dei quali conosciamo il comportamento dopo la rifrazione causata dalla lente.



E' immediato osservare che i tre raggi non si incontrano in alcun punto oltre la lente, da ciò deriva il fatto che non vediamo l'immagine proiettata sullo schermo.

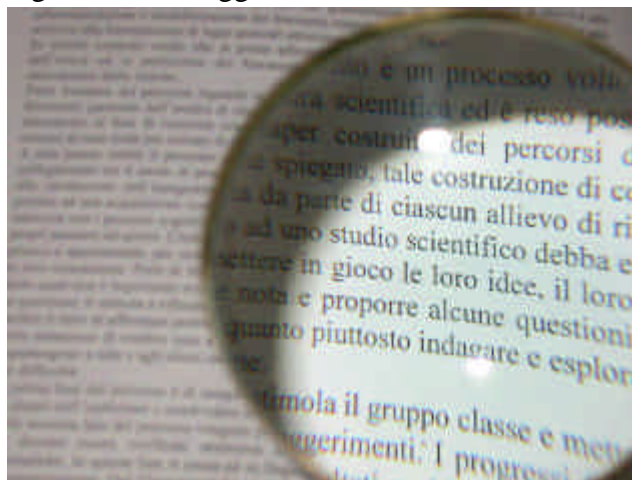
Fino a qui non c'è nulla di diverso da quanto ci aspettavamo.

La particolarità di questo caso sta nel fatto che se prolunghiamo tali raggi rifratti essi si incontrano in un punto dallo stesso lato della lente in cui si trova l'oggetto-candela. Ricostruendo l'immagine (freccia gialla) si vede che essa è ingrandita (per le considerazioni fatte su G, infatti risulta $p < f$) e dritta. Tale immagine dice *virtuale* perché non ci passano i raggi rifratti (ma solo i loro prolungamenti).

Questa immagine può essere vista ma per farlo è necessario l'occhio: bisogna infatti mettersi dal lato della lente contenente i raggi rifratti ad una distanza sufficiente affinché questi raggi entrino nell'occhio. In tal caso si vede l'immagine dritta e ingrandita dell'oggetto.

Anche questo ci riporta a pensare a situazioni quotidiane: non è forse su questo principio che si basa l'utilizzo delle lenti come lenti di ingrandimento?

Quello che noi facciamo quando vogliamo ingrandire per esempio una scritta su di un libro mediante una lente è quello di mettere la lente molto vicina al testo (tra il fuoco della lente e la lente stessa), di porre l'occhio dalla parte opposta del testo e ad una distanza che ci permetta di vederne l'immagine dritta ed ingrandita. Ciò che vediamo è proprio l'immagine virtuale di cui abbiamo parlato!



FORMAZIONE DELLE IMMAGINI NELL'OCCHIO

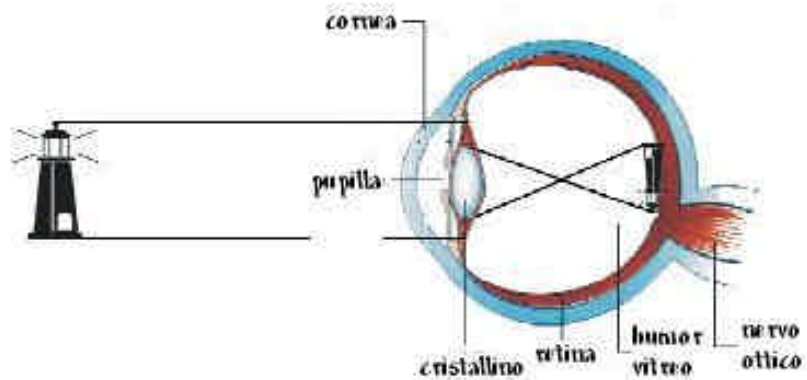
Ora i ragazzi dovrebbero aver appreso cosa succede quando la luce passando attraverso una lente viene deviata e le conseguenti immagini che possono crearsi ad una certa distanza della lente.

Ritorniamo quindi al caso reale ricordando quanto appreso nell'esperimento appena fatto. Basandoci sul modello cristallino-lente e retina-schermo i ragazzi dovrebbero riuscire ad avanzare qualche ipotesi su cosa succede nell'occhio.

Il primo fatto su cui farli ragionare è su una sostanziale differenza tra ciò che si faceva nell'esperimento e ciò che avviene nell'occhio: durante l'esperimento, fissata la posizione della candela spostavamo lo schermo fino ad ottenere la posizione su cui si aveva l'immagine proiettata migliore, ma nel caso dell'occhio la retina e il cristallino sono fissi. Come mai però riusciamo a vedere nitidamente sia oggetti vicini sia lontani?

Ragionando sull'esperimento fatto i ragazzi dovrebbero ricordarsi dell'importante ruolo che ha il fuoco della lente e capire che per poter mettere a fuoco gli oggetti vicini e lontani è necessaria una lente a fuoco variabile.

Il cristallino è una lente biconvessa flessibile, ossia per mezzo dei muscoli ciliari viene schiacciata o rilasciata cambiando di conseguenza la posizione del fuoco. Tale capacità prende il nome di *accomodamento*.



Alcuni difetti ottici molto comuni dipendono dal fatto che l'immagine non si forma esattamente sulla retina.

Nel caso della miopia, ad esempio, l'immagine si forma davanti alla retina e ciò dipende da un cristallino troppo convergente rispetto alla lunghezza dell'occhio; viceversa nel caso dell'ipermetropia, l'immagine si forma oltre la retina poichè il cristallino è troppo poco convergente sempre in relazione alla lunghezza dell'occhio.

Nel caso della presbiopia, come l'ipermetropia ma provocata da una perdita di elasticità del cristallino dovuta alla vecchiaia, questi problemi sono causati essenzialmente dall'irrigidimento del cristallino e dalla limitazione delle capacità di accomodamento

Essi possono essere corretti con l'ausilio di lenti divergenti nel caso A e convergenti nel caso B, in modo da riportare l'immagine sulla retina.

