



Ottica

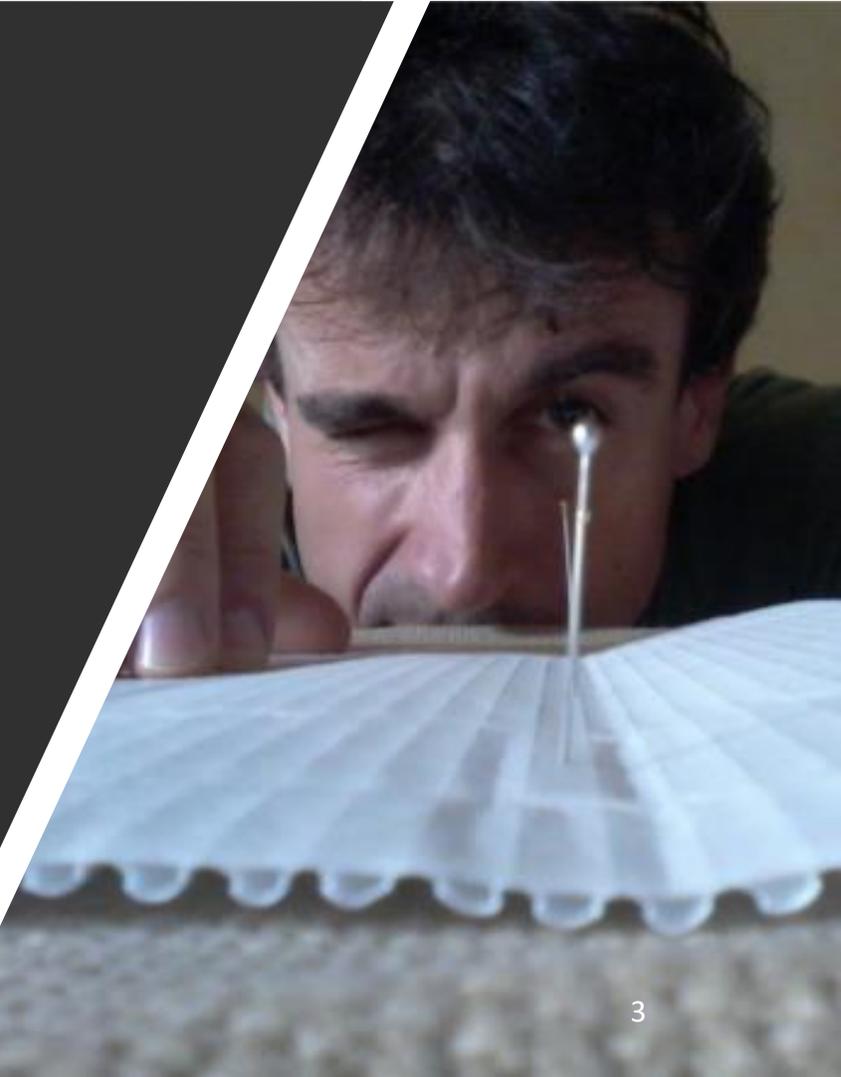
A cura di
Matteo De Gerone
Federico Ferraro

Programma

- Inizieremo con alcune esperienze che ci faranno capire come si propagano i raggi luminosi
 - quando si propagano nel vuoto
 - quando sono riflessi da una superficie (specchio)
 - quando passano da un mezzo di propagazione ad un altro (e come questo possa essere utilizzato per costruire strumenti come lenti, fibre ottiche...)
- Effettueremo poi alcune esperienze che ci faranno capire che la luce si comporta come un'onda (come quelle del mare, quelle sulla corda di una chitarra...), riuscendo a interferire, a superare piccoli ostacoli...
- Capiremo anche che i colori corrispondono a diverse lunghezze d'onda (ovvero la distanza tra due creste dell'onda) della luce e che la luce bianca del sole li contiene tutti
Vedremo che esiste anche "luce" invisibile ai nostri occhi, ma capace di produrre importanti effetti

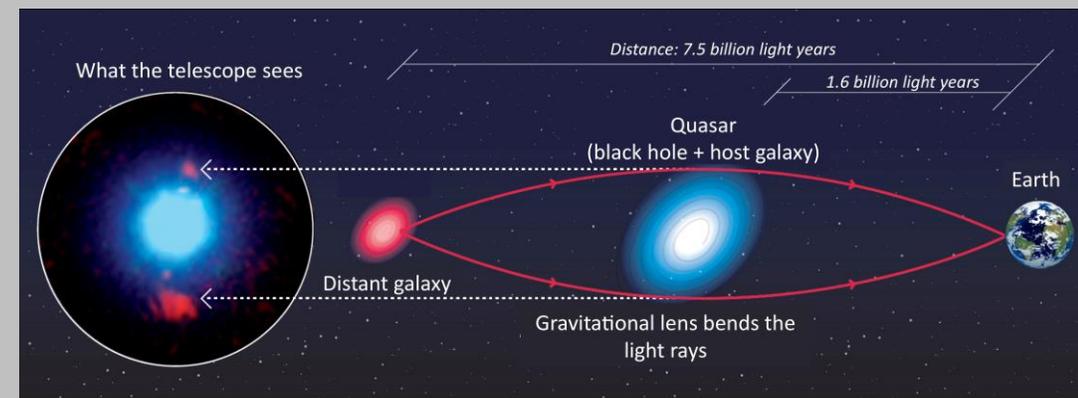
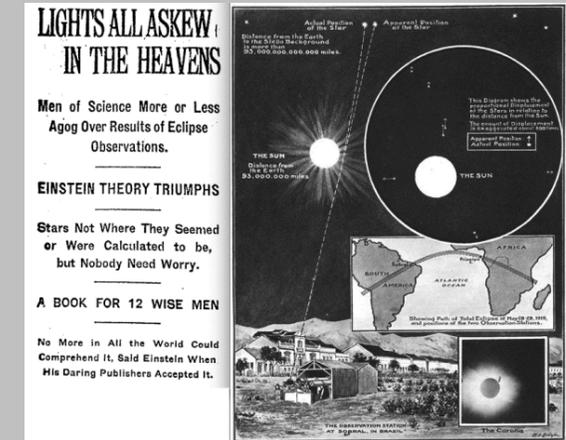
Propagazione della luce nel “vuoto”

- Infila uno spillo su un cartoncino
- infilane altri lungo il cammino che la luce segue per arrivare al tuo occhio, in modo da vedere solo lo spillo più vicino a te
- Solleva lo sguardo e prova a tracciare la linea che unisce le posizioni dei vari spilli
- La luce, nel vuoto o in un mezzo omogeneo (cioè che ha ovunque le stesse proprietà), si propaga in linea retta, ovvero lungo il cammino più veloce che unisce due punti



Propagazione della luce nel vuoto

- Quanto appena osservato (i raggi luminosi nel vuoto si propagano in linea retta) ci può sembrare una banalità
- Tuttavia, osserviamo cosa succede quando la luce passa in vicinanza di un oggetto molto massiva (una stella, una galassia, un ammasso di galassie)
- Nel 1919 l'astronomo inglese Eddington fotografò la posizione delle stelle durante un'eclisse di sole intorno al disco solare e la confrontò con quella normale nel cielo notturno
- Eddington misurò delle deviazioni dovute alla forza di gravità del sole, come previsto dalla teoria della relatività generale di Einstein
- La luce viaggia in linea retta in uno spazio(tempo) curvo
- Fu un trionfo che finì anche sulla prima pagina del New York Times



Riflessione

- Posa un foglio A4 su un cartoncino e posiziona uno specchio (o qualcosa che funga da specchio) al bordo del cartoncino
- Infila uno spillo nel foglio, in modo che si pianti nel cartoncino e osserva la sua immagine allo specchio
- Infila altri chiodi tra l'immagine riflessa e il tuo occhio in modo che quello più vicino nasconda tutti gli altri
- Fa' ora lo stesso dal lato opposto, in modo da vedere sempre un unico chiodo
- Alza lo sguardo e osserva. I chiodi sono disposti su due semirette!
- Unisci i fori in successione con dei tratti a matita lungo il individuato dai chiodi
- Piega il foglio in corrispondenza dell'intersezione delle linee disegnate e nota che gli angoli di incidenza e riflessione sono uguali!



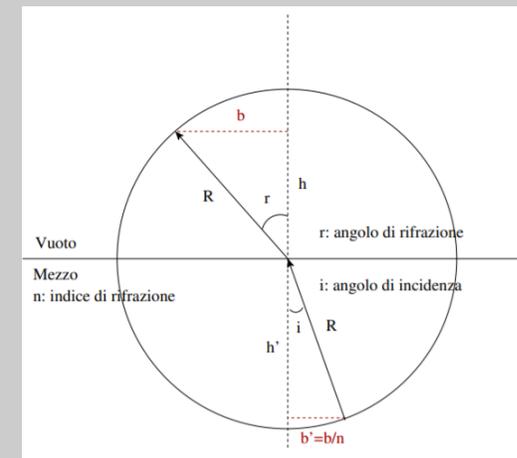
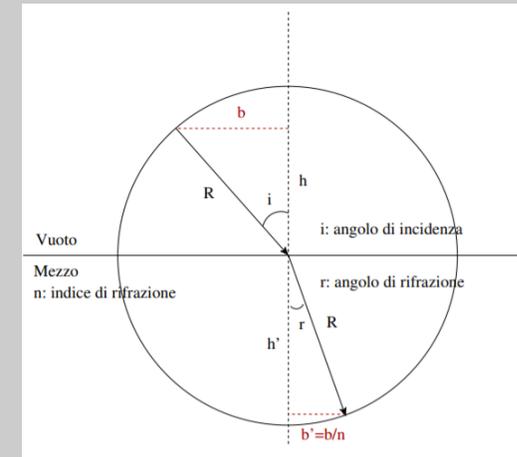
Rifrazione: la matita spezzata

- Riempi d'acqua un recipiente
- immergici una matita inclinata
- Osserverai che, in corrispondenza della superficie di separazione, la matita sembra spezzata!



Rifrazione: la matita spezzata - spiegazione

- Quando la luce passa da un mezzo ad un altro, la sua direzione cambia!
- La direzione della luce nel secondo mezzo viene deviata di un angolo che dipende
 - dall'angolo di impatto sull'interfaccia
 - dal rapporto degli indici di rifrazione dei due mezzi



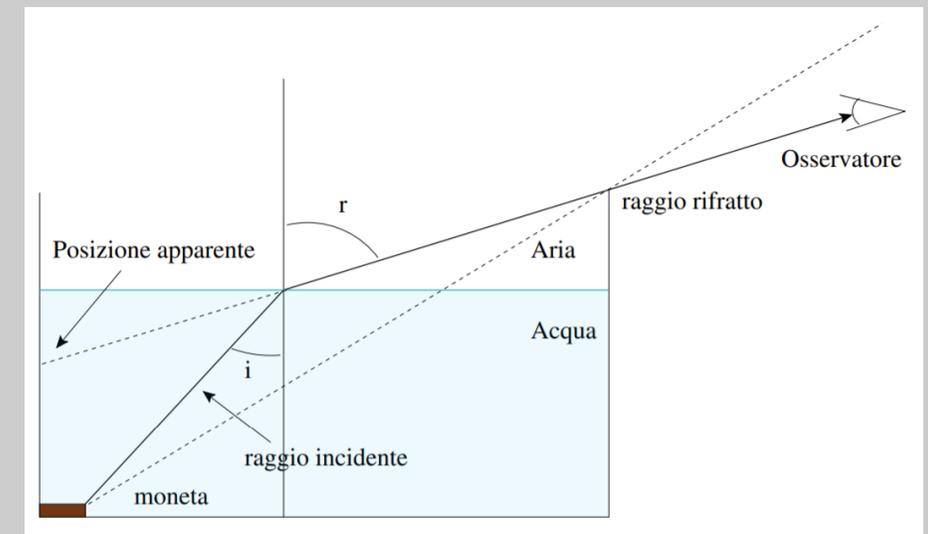
Rifrazione: la moneta riapparsa

- Metti una monetina al fondo di un barattolo di plastica e posizionalo in modo da non riuscire a vederla
- Riempi il barattolo di acqua: a un certo punto la monetina apparirà, anche se in realtà continua a trovarsi nella stessa posizione!
- Segna il livello dell'acqua per cui la monetina torna visibile
- Prova a ripetere l'esperimento con olio di semi: a che livello la monetina torna visibile?



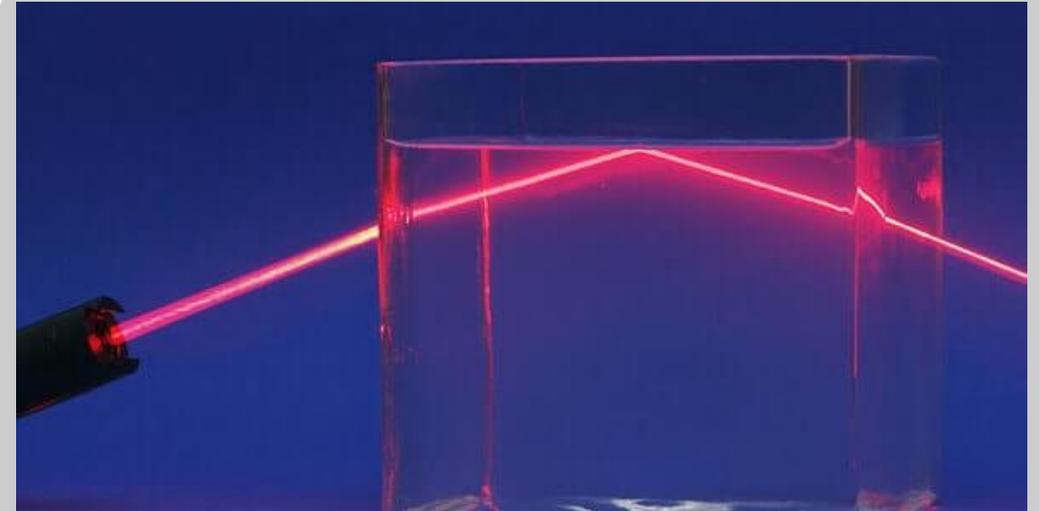
Rifrazione: la moneta riapparsa - spiegazione

- In assenza dell'acqua la moneta sul fondo non sarebbe visibile a causa del bordo del recipiente;
- Versando l'acqua nel recipiente a un certo punto la moneta diventa visibile, in quanto i raggi luminosi vengono rifratti nel passare dall'acqua all'aria;
- Il nostro cervello tende a collocare la moneta in base alla direzione dei raggi luminosi che arrivano all'occhio, quindi la moneta appare più in alto rispetto alla sua reale posizione



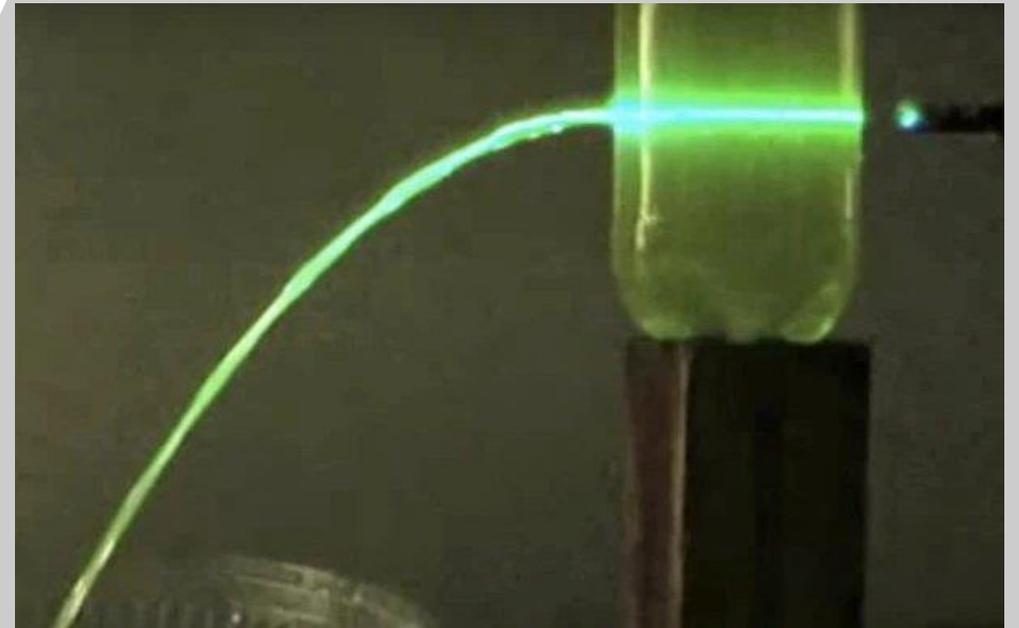
Riflessione interna totale

- Cosa succede quando la luce, passando da un mezzo “più denso” a un mezzo “meno denso”, incide con un angolo molto grande sulla superficie di separazione?
- Vediamolo con un laser che incide sulla superficie acqua-aria (mescolate qualche goccia di latte o polvere di gesso per visualizzare meglio)
- La luce del laser, incidendo con un angolo maggiore di un angolo critico, viene totalmente riflessa
- Questo fenomeno viene sfruttato per “guidare” la luce senza perdite lungo il percorso che si desidera, ad esempio attraverso fibre ottiche



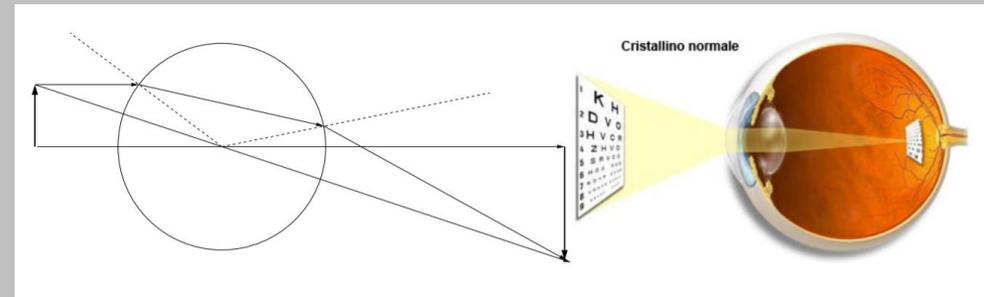
Riflessione interna totale - la guida di luce

- Prendi una bottiglia d'acqua aperta e forala con uno spillo, in modo che esca un sottile getto d'acqua
- Illumina il foro con un puntatore laser: osserverai che il fascio di luce segue il percorso del getto d'acqua.
- Questo avviene poichè la luce che cerca di uscire “rimbalza” contro la superficie acqua-aria, venendo totalmente riflessa all'interno



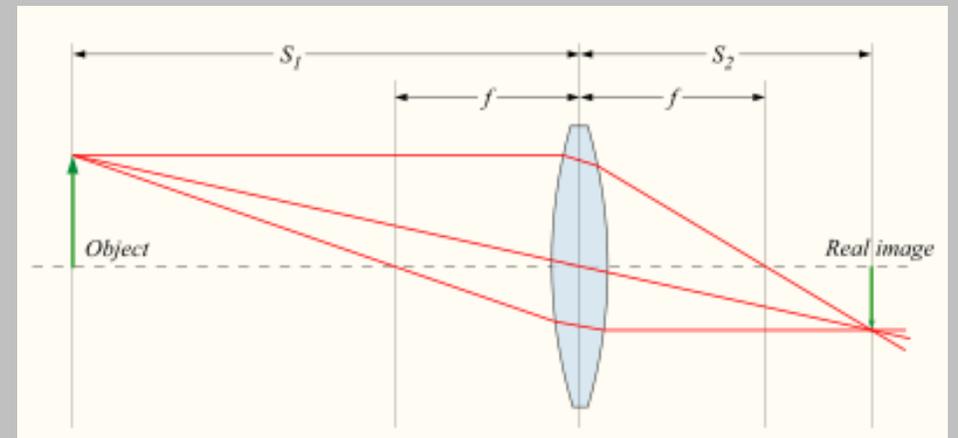
Lente cilindrica

- Riempi d'acqua un contenitore cilindrico
- Osserva cosa succede al foglio: la freccia appare ribaltata e ingrandita
- Hai costruito una lente
- sfruttando la legge della rifrazione, la lente è in grado di ribaltare, ingrandire o rimpicciolire un'immagine
- Il cristallino del nostro occhio è una lente che proietta sulla cornea un'immagine ribaltata degli oggetti
- Mettendo insieme più lenti si possono costruire cannocchiali e microscopi



Lente ad acqua

- Metti una moneta sul fondo di un bicchiere trasparente
- Copri l'imboccatura del bicchiere con della pellicola trasparente, lasciandola molto lasca
- Metti un po' d'acqua nella conchetta formata dalla pellicola e tendi la pellicola
- Guarda la moneta attraverso l'acqua
- L'acqua forma una lente convergente e la moneta appare ingrandita



Natura ondulatoria della luce

- Finora abbiamo descritto la luce in termini di raggi luminosi che si propagano in linea retta, al limite venendo riflessi o rifratti (deviati) quando incontrano la superficie di separazione tra due mezzi diversi.
- Esistono però fenomeni che possono essere spiegati solo supponendo che la luce si comporti come un'onda, proprio come le onde del mare
- i diversi colori corrispondono a diverse lunghezze d'onda della luce visibile ($\lambda \approx 400-700$ nm)
- La caratteristica principale delle onde è quella di poter interferire, dando luogo a strutture con dei massimi e dei minimi

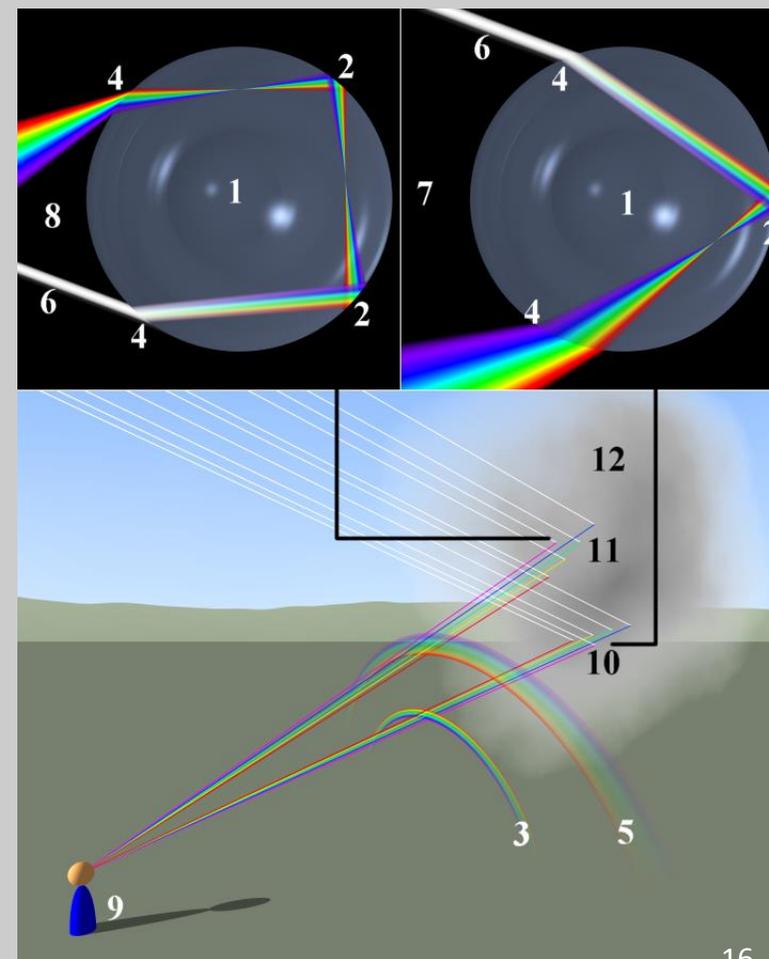


L'arcobaleno

- Il fenomeno, alla base della formazione dell'arcobaleno quando piove e c'è il sole (con le goccioline d'acqua al posto del vetro), si chiama dispersione della luce
- l'indice di rifrazione della luce in un mezzo dipende dalla sua lunghezza d'onda: decresce al crescere della lunghezza d'onda, quindi è maggiore per il blu e minore per il rosso.

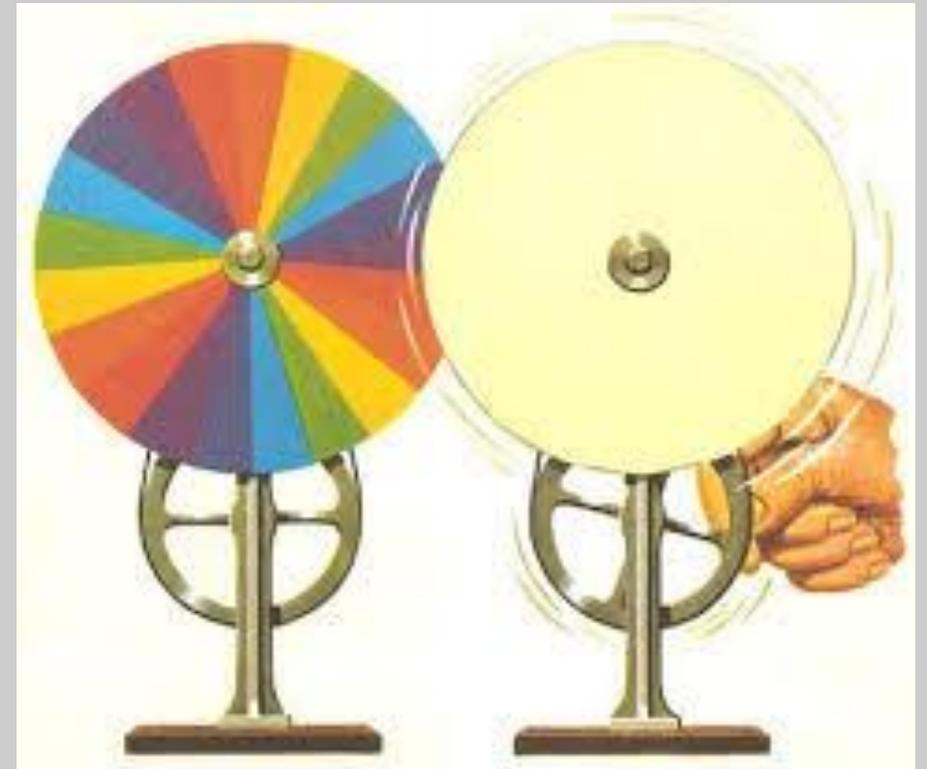
A destra (7) la formazione dell'arcobaleno primario, il raggio di luce bianca (6) subisce una rifrazione (4) sulla superficie della gocciolina sferica (1) in sospensione (12), poi una riflessione interna (2) infine esce dalla gocciolina formando l'arcobaleno primario (3).

A sinistra (8) il raggio di luce bianca (6) dopo la rifrazione (4) subisce una doppia riflessione (2) generando l'arcobaleno secondario (5).



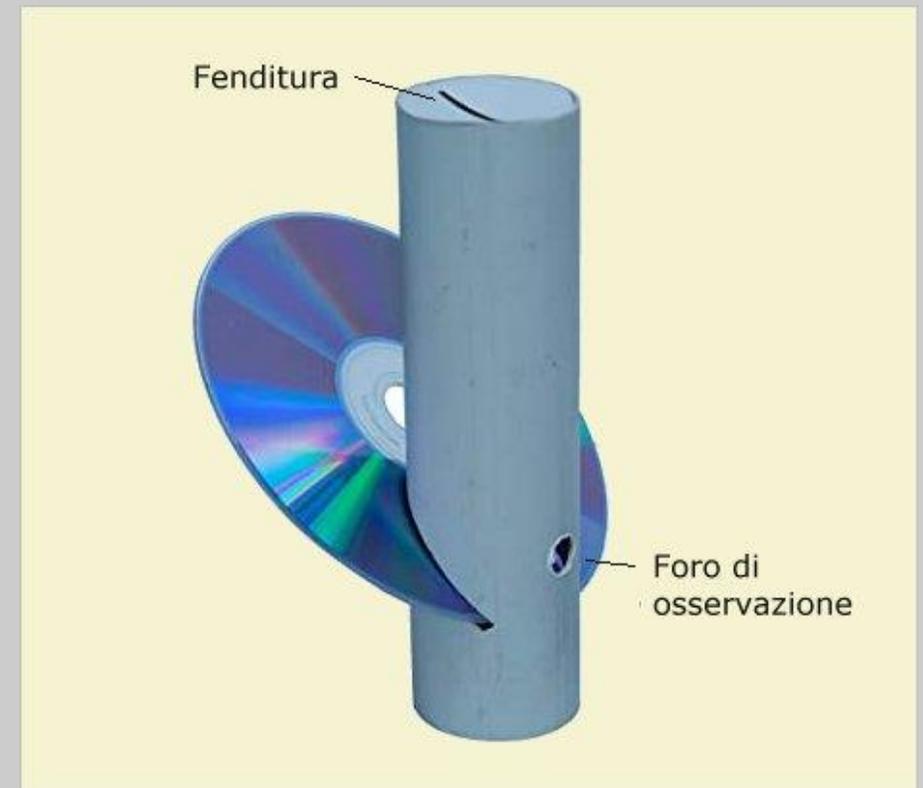
Il disco di Newton

- Come dimostrato dall'arcobaleno, la luce bianca è composta da diversi colori
- Proviamo a ricostruire la luce bianca a partire da quella colorata, mettendo in rotazione il disco di Newton
- Se il disco ruota abbastanza velocemente, il nostro occhio vede una somma di tutti i colori e fa sì che noi vediamo il bianco



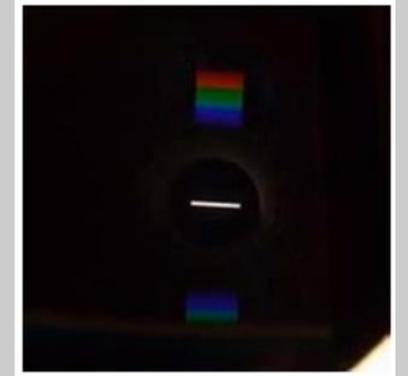
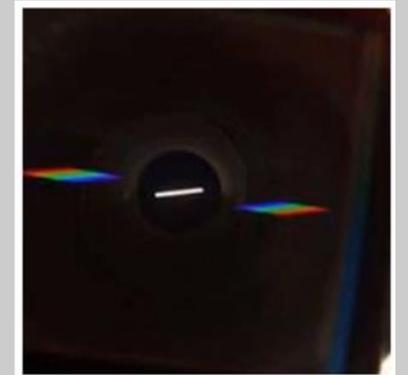
Lo spettroscopio - 1

- Incidere un tubo a circa 60° vicino ad una estremità
- Inserire un CD/DVD nell'incisione
- Ricavare un foro dalla parte opposta al CD/DVD
- Coprire la parte opposta del tubo, lasciando aperta una fessura o un foro
- Guardare attraverso il foro



Lo spettroscopio - 2

- Rimuovere la pellicola sul dorso di un CD
- posizionare e fissare sulla superficie scoperta del CD un tubo di cartone
- Coprire la parte opposta del tubo, lasciando aperta una fessura o un foro
- Guardare attraverso il CD



Lo spettroscopio - 3

- Stampare la sesta e incollarla su un cartoncino nero
- Ritagliare la sesta e ripiegarla come indicato
- Posizionare lo spettroscopio sul CD
- Guardare attraverso il foro



Lo spettroscopio - spiegazione

- La superficie dei CD ha dei solchi (pit) profondi circa 150 nm scavati in una superficie piatta (land)
- La profondità del solco è pari a un quarto della lunghezza d'onda della luce laser usata dal lettore-CD per leggere l'informazione
- Quando il laser colpisce il bordo di un pit i due raggi riflessi sono sfasati di mezza lunghezza d'onda (il percorso in più fatto dal secondo raggio): si ha interferenza distruttiva, alla quale si associa il segnale 1
- Quando il laser colpisce una zona piatta i raggi vengono riflessi in fase (massimi e minimi dei raggi riflessi coincidono): si ha interferenza costruttiva, alla quale si associa il segnale 0
- La sequenza binaria di 0 e 1 contiene l'informazione memorizzata sul CD

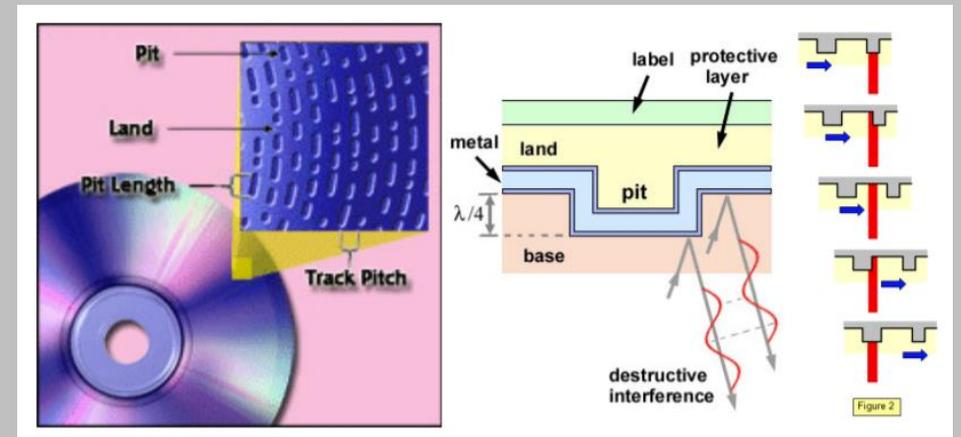
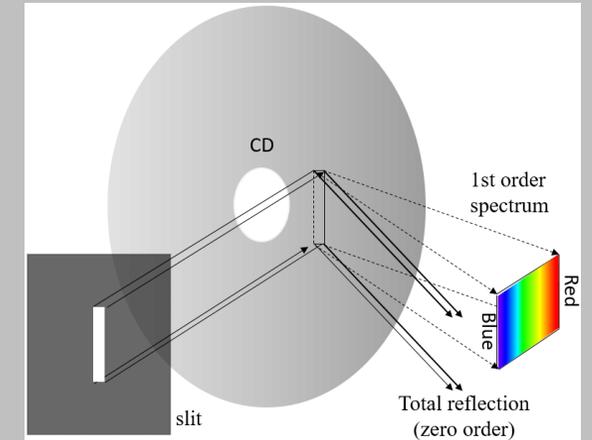


Figure di diffrazione

- Facendo attraversare un CD da un fascio laser si forma una figura di diffrazione
- Se il passo del reticolo è piccolo, la figura di diffrazione sarà larga. Viceversa, se il passo del reticolo è grande, la figura di diffrazione sarà stretta
- Questo metodo può essere utilizzato per studiare la struttura dei materiali (cristalli)
- La figura di diffrazione è la trasformata di Fourier bidimensionale del reticolo di diffrazione

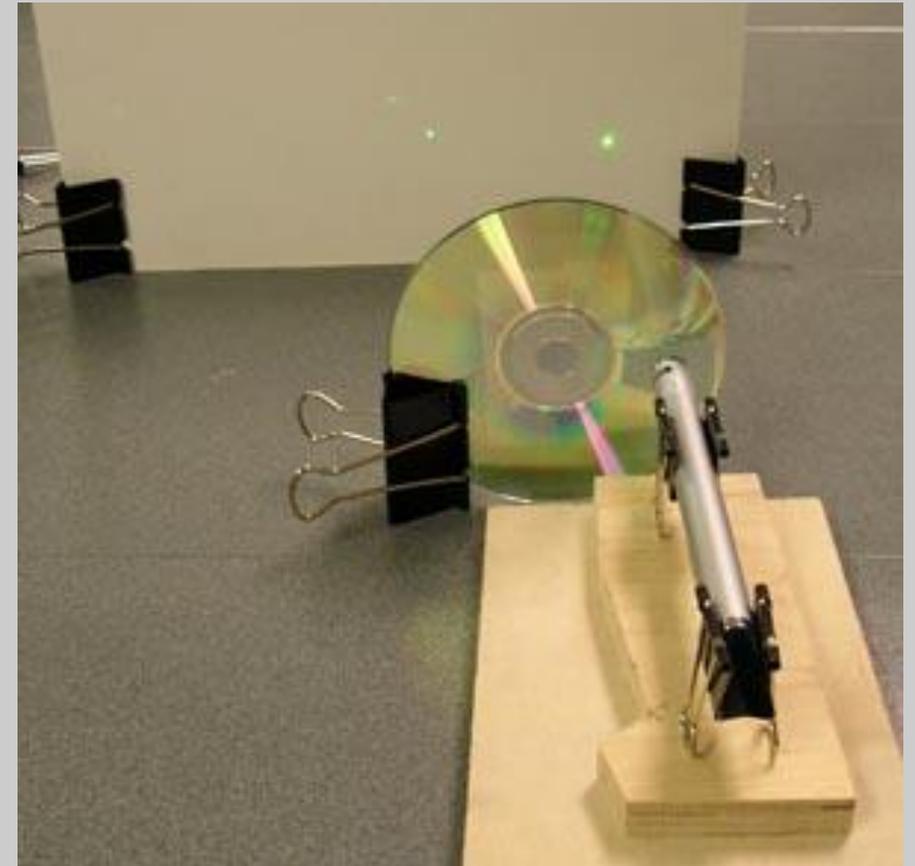
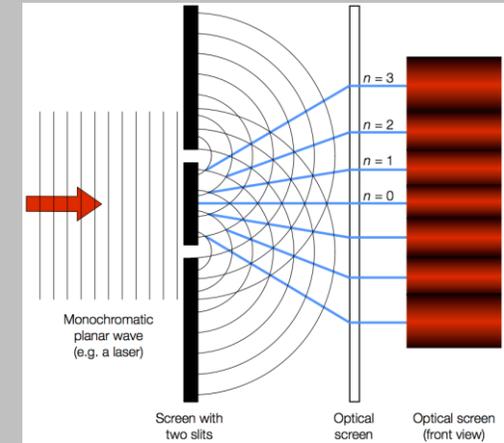


Figure di diffrazione - spiegazione

- Gli effetti di diffrazione sono rilevanti quando la lunghezza d'onda è comparabile con la dimensione dell'ostacolo
- La diffrazione è un fenomeno puramente ondulatorio, che può essere spiegato a partire dal principio di Huygens, secondo il quale ogni punto non ceco del reticolo si comporta come una sorgente puntiforme di onde, le quali interferiscono in modo costruttivo e distruttivo



Contatti

- Matteo De Gerone matteo.degerone@ge.infn.it
- Federico Ferraro federico.ferraro@ge.infn.it
- Sandra Zavatarelli sandra.zavatarelli@ge.infn.it