

ONDE

LE ONDE ELASTICHE E IL SUONO

§ 1 La propagazione delle onde

Il concetto di onda si trova in tutti i campi della fisica: ci sono onde sonore, onde luminose, onde elettromagnetiche, onde sismiche, onde del mare, ecc.

L'onda creata da una perturbazione si muove solo in verticale, cioè oscilla in su e in giù, rispetto alla direzione orizzontale lungo la quale si propaga la perturbazione.

Si può definire un'onda, una perturbazione che si propaga nello spazio trasportando energia, ma non materia.

Certe onde si propagano in un mezzo materiale (ad es. l'acqua), certe altre nel vuoto (ad es. le onde elettromagnetiche).

Sorgente di un'onda è sempre l'origine della perturbazione.

§ 2 Onde trasversali e longitudinali

Un'onda che si genera scuotendo l'estremità di una molla o di una corda tesa, si chiama onda elastica per le proprietà elastiche del mezzo materiale in cui ha origine.

Le onde elastiche si manifestano in tutti i corpi solidi ma anche nei liquidi e nei gas.

Oltre a quelle sopra descritte, che sono le onde trasversali, ci sono altre onde in cui l'oscillazione, avanti e indietro, avviene nella direzione della propagazione delle onde, e si chiamano onde longitudinali.

Nel mare, presso la spiaggia, le particelle d'acqua sono soggette ad un moto trasversale e ad uno longitudinale. Questi due moti, componendosi, fanno sì che le particelle d'acqua compiano delle traiettorie circolari, più accentuate in superficie che sul fondo, Questo moto dà luogo ai frangenti di spiaggia.

§ 3 Le onde periodiche

Se si fa oscillare l'estremità di una molla sempre allo stesso modo, si crea un'onda periodica. Il tempo per compiere una oscillazione completa è il periodo T Il numero di oscillazioni compiute nell'unità di tempo è la frequenza $f = 1/T$ che si misura in hertz (Hz)

Se si osserva il profilo di un'onda si nota un alternarsi di creste e di valli: la distanza tra una cresta e la successiva è la lunghezza d'onda λ .

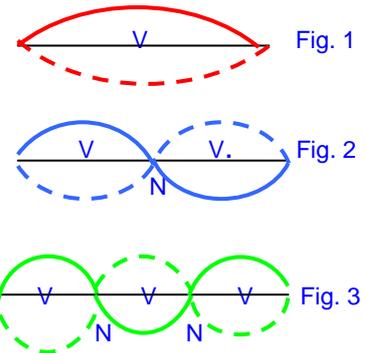
L'altezza di una cresta o la profondità di una valle, rispetto alla posizione di equilibrio, si chiamano ampiezza dell'onda.

La velocità con cui un'onda si propaga è $v = \lambda / T$.

Se ad oscillare è una intera superficie, la linea immaginaria che congiunge i punti che oscillano allo stesso modo, si chiama fronte d'onda.

§ 4 Le onde stazionarie

Se si pizzica la corda di una chitarra, essa si mette a vibrare, assumendo la forma di un fuso (v. fig.1) Si tratta di un'onda stazionaria, in quanto non si propaga nello spazio. Le onde che invece si propagano si chiamano onde progressive. Pizzicando in un altro modo la corda della chitarra essa si mette a vibrare, assumendo delle forme come in fig. 2 o 3, sempre con un numero intero di mezze lunghezze d'onda. I punti V si chiamano ventri, i punti N, nodi. Più aumenta il numero dei nodi, più il suono è acuto.



§ 5 Il suono

Tutti i suoni sono prodotti da corpi che vibrano: le corde della chitarra, la membrana di un tamburo, l'ancia di un clarinetto, le corde vocali della bocca.

La sorgente sonora, vibrando, comprime e rarefa l'aria vicina ad essa e nascono così le onde sonore, che si propagano nello spazio e che sono onde elastiche periodiche longitudinali.

Man mano che cresce la distanza dalla sorgente del suono le onde diventano meno ampie. Ciò perché l'energia meccanica della vibrazione si distribuisce su superfici sferiche sempre più grandi.

Nel caso delle onde sonore la grandezza che oscilla è la pressione dell'aria; nel caso di una molla oscilla la posizione delle spire della molla stessa; nel caso di un'onda luminosa la grandezza che oscilla è il campo elettromagnetico.

§ 6 La velocità del suono

La velocità di propagazione di un suono è molto inferiore a quella della luce. Quando si verifica un fulmine, il nostro occhio percepisce istantaneamente la luce del lampo (data l'elevatissima velocità della luce), mentre il nostro orecchio percepisce il tuono solo dopo un certo tempo, che è quello impiegato dal suono a percorrere la distanza tra il punto in cui è avvenuto il lampo ed il nostro orecchio.

Sperimentalmente si è determinata la velocità del suono, nell'aria secca, alla normale pressione atmosferica ed a 0°C: essa è circa 330 m/s.

Le onde acustiche si propagano anche nei solidi, nei liquidi e nei gas ma non nel vuoto.

§ 7 I limiti di udibilità

Mentre è vero che i suoni sono prodotti da vibrazioni od oscillazioni, non è vero che qualsiasi tipo di oscillazione produca un suono.

Perché una oscillazione sia percepibile come suono la sua frequenza deve essere compresa tra 16 e 12 000 Hz. Queste due frequenze si chiamano limiti di udibilità.

Le onde elastiche con frequenza superiore a 12 000 Hz si chiamano ultrasuoni e non sono percepiti dall'orecchio umano ma da quello di alcuni animali, come i cani, che percepiscono frequenze fino a 50 000 Hz.

Ricordando che la velocità del suono è $v = \lambda / T$ e che, essendo $T = 1 / f$, è $\lambda = v / f$, si possono trasformare le frequenze limiti in lunghezze d'onda limiti, che sono circa 20 m e 0,03 m. I suoni udibili sono quindi vibrazioni elastiche longitudinali con lunghezze d'onda comprese tra 3 cm e 20 m.

§ 8 I caratteri distintivi del suono

A differenza del suono, che è un'onda sonora generata da una vibrazione periodica, il rumore è un insieme di onde sonore, senza carattere di periodicità.

I suoni, a seconda della frequenza possono essere gravi (frequenza bassa) o acuti (frequenza alta) o, a seconda dell'ampiezza, più o meno intensi, o, infine, possono avere un diverso timbro, a seconda della forma dell'onda.

§ 9 La riflessione del suono – L'eco

Un'onda emessa da una sorgente O, quando incontra un ostacolo può rimbalzare e tornare indietro, come se fosse emessa da una sorgente O', simmetrica di O rispetto all'ostacolo. Questo fenomeno si chiama riflessione del suono, che in circostanze particolari diventa l'eco.

Se d è la distanza di O da una parete, l'onda sonora, partita da O, e, riflessa dalla parete, ritorna in O, impiegando, nel percorrere il tratto 2 d , il tempo $\Delta t = 2 d / v$.

Se la distanza d è tale che il suono impieghi più di 0,1 s per percorrerla due volte, si sente l'eco del suono emesso da O.

Poiché in 0,1 s il suono percorre circa 33 m, per udire l'eco è necessario che d sia maggiore di 20 m.

Un'applicazione del fenomeno dell'eco è l'ecografia, che permette di vedere organi interni del corpo, visualizzando la loro immagine su uno schermo. Per esempio gli ultrasuoni, riflessi dal feto, permettono di vedere come è il bambino mentre è ancora nel grembo materno.

§ 10 L'effetto Doppler

Un suono cambia tonalità a seconda che la sorgente si stia avvicinando o allontanando rispetto all'ascoltatore. Questo fenomeno si chiama effetto Doppler, ed è diverso secondo che la sorgente sia ferma e l'ascoltatore in movimento, o viceversa:

Esaminiamo i due casi separatamente.

- Sorgente ferma e ascoltatore in movimento

Supponiamo innanzitutto che l'ascoltatore si stia avvicinando, con velocità v_0 alla sorgente, che emette un suono di frequenza f_s , che si propaga con velocità v.

Per l'ascoltatore, la velocità relativa del suono che giunge al suo orecchio è $v + v_0$ e quindi la frequenza da lui percepita è $f_0 = (v + v_0) / \lambda$ (1).

Poiché è $\lambda = v / f_s$, sostituendo nella (1) questo valore, si ottiene $f_0 = f_s [1 + (v_0 / v)]$. Quindi la frequenza percepita dall'ascoltatore è più alta di quella emessa dalla sorgente, il suono, cioè, è più acuto.

Se invece l'ascoltatore si sta allontanando dalla sorgente, si fa un ragionamento analogo, però, poiché la sua velocità ora è $-v_0$ si ha $f_0 = f_s [1 - (v_0 / v)]$.

Quindi la frequenza percepita è più bassa di quella emessa, il suono, cioè, è più grave.

- Sorgente in movimento e ascoltatore fermo

Supponiamo che la sorgente, che emette un suono di frequenza f_s e con velocità v , si stia avvicinando, con velocità v_s , all'ascoltatore, fermo. Il suono si propaga nell'aria con velocità, rispetto alla sorgente, $v - v_s$ e quindi la lunghezza d'onda del suono emesso dalla sorgente è $\lambda = (v - v_s) / f_s$ (2).

Per l'ascoltatore fermo la lunghezza d'onda è ancora λ ma la velocità di propagazione del suono è v . Quindi la frequenza che egli ode è $f_0 = v / \lambda$ e sostituendo a λ il valore dato dalla (2) si ottiene $f_0 = f_s [v / (v - v_s)]$.

Quindi il suono percepito dall'ascoltatore ha una frequenza più alta di quella che udirebbe se la sorgente fosse ferma, il suono, cioè, è più acuto.

Analogo il ragionamento da fare nel caso che la sorgente si allontani dall'ascoltatore. In questo caso si ottiene $f_0 = f_s v / (v + v_s)$ il che significa che l'ascoltatore percepisce un suono più grave di quello che udirebbe se la sorgente fosse ferma.

LA LUCE

§ 11 Le sorgenti della luce.

Noi vediamo gli oggetti perché essi emettono radiazioni luminose che colpiscono il nostro occhio.

Ci sono però corpi luminosi, cioè sorgenti di luce, che emettono direttamente luce, e corpi illuminati, che diffondono la luce ricevuta dai corpi luminosi.

Il Sole è un corpo luminoso, la Terra e la Luna sono corpi illuminati.

Ogni corpo emette luce se portato ad una temperatura sufficientemente elevata. Ad es. un metallo riscaldato emana luce rossa se la sua temperatura è di circa 1000 °C, luce bianca a 1500° C. La determinazione della temperatura delle stelle si fa, appunto, analizzando, mediante uno spettroscopio, la luce da esse emessa.

I corpi che si lasciano attraversare dalla luce si dicono trasparenti, quelli che la fermano si dicono opachi. Ci sono anche i corpi traslucidi, che lasciano passare la luce ma non lasciano distinguere le forme degli oggetti da cui essa proviene. (vetro smerigliato, carta sottile, ecc.).

§ 12 La propagazione della luce

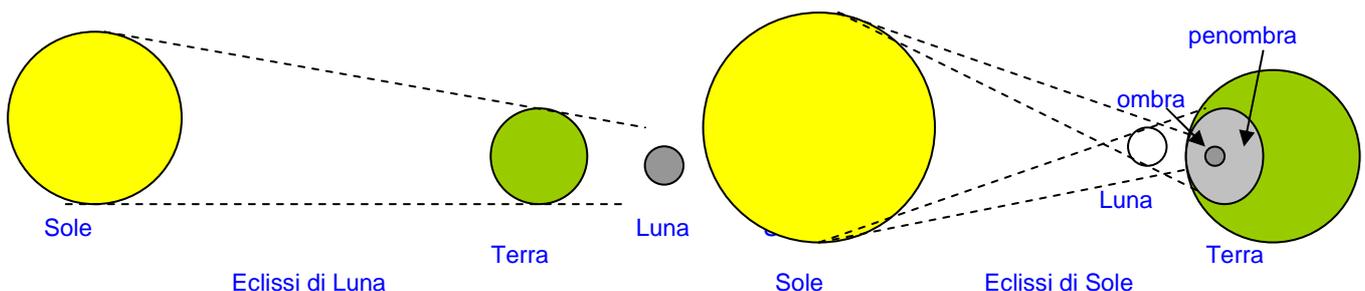
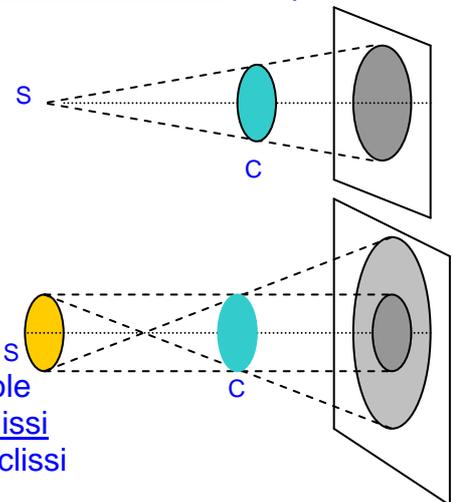
A differenza del suono, la luce si propaga anche nel vuoto, in linea retta. Un piccolo fascio di luce viene chiamato raggio di luce.

A causa della propagazione rettilinea della luce, i corpi C hanno dietro di sé un'ombra.

Se la sorgente della luce S è puntiforme (ossia molto piccola), l'ombra ha contorni netti; se invece la sorgente è estesa, esiste una zona d'ombra ed una di penombra.

Quando la Luna si trova dietro la Terra, rispetto al Sole si ha l'eclissi di Luna.

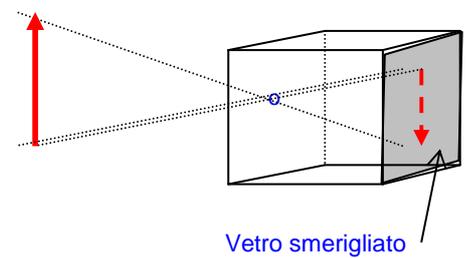
Quando la Luna si trova davanti alla Terra, rispetto al Sole si forma sulla Terra una zona d'ombra dove si ha una eclissi totale di Sole ed una zona di penombra dove si ha una eclissi parziale di Sole.



§ 13 La camera oscura

E' una scatola in cui una parete è costituita da un vetro smerigliato, mentre la parete di fronte ad essa ha, in centro, un piccolo foro.

Se si pone di fronte al forellino un oggetto luminoso o ben illuminato, sul vetro smerigliato si forma un'immagine capovolta, come si può constatare osservando in figura il percorso dei raggi luminosi che vanno dall'oggetto verso il vetro smerigliato.



§ 14 La velocità della luce

Fizeau determinò sperimentalmente, con una discreta approssimazione, la velocità della luce, con uno strumento da lui ideato, consistente in una sorgente luminosa S, puntiforme, un raggio R della quale viene deviato di 90° da una lastra semiargentina L, passa per una fenditura tra due denti di una ruota dentata F (supposta ferma), viene riflesso da uno specchio P, perpendicolare al raggio, torna indietro, passando nuovamente per la stessa fenditura tra i denti della ruota, e giunge all'occhio O.

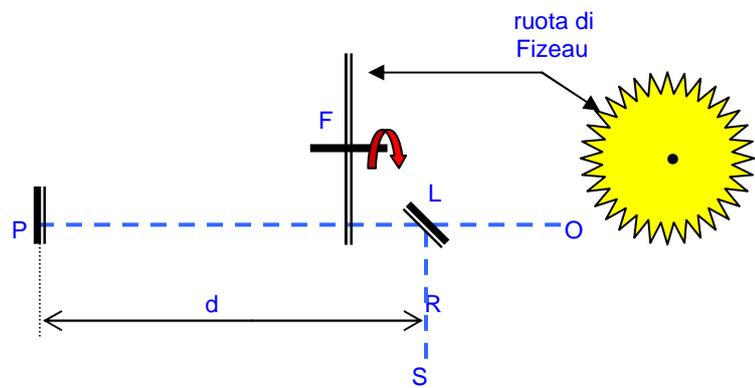
Se si fa ruotare la ruota, il raggio luminoso, fin che la velocità è bassa, passa, al ritorno, di nuovo per la stessa fenditura per la quale era passato all'andata. Se la velocità della ruota viene aumentata, ad un certo punto il raggio di ritorno viene intercettato da un dente della ruota ed in O non giunge alcuna luce.

Conoscendo il periodo T di rotazione della ruota, il numero n dei denti e la lunghezza $2d$ del tragitto compiuto dal raggio, il tempo impiegato dalla luce a percorrere, con velocità c, la distanza $2d$, che è $2d/c$ è uguale al tempo che un dente della ruota impiega a prendere il posto della vicina fenditura, che è $T/2n$ (il coefficiente 2 è dovuto al fatto che ci sono n denti ed n fenditure).

Uguagliando i due tempi e risolvendo l'equazione rispetto a c, si ottiene $c = 4nd/T$.

Il valore di c trovato da Fizeau (313 000 km/s) è stato poi calcolato con metodi più precisi ed è risultato circa 300 000 km/s.

Per le distanze astronomiche l'unità di misura è basata sulla velocità della luce. Essa è l'anno-luce, cioè la distanza percorsa dalla luce in un anno, pari a 9.460 miliardi di km.



§ 15 Il flusso raggianti e l'irradiazione

I corpi, illuminati da una sorgente luminosa, si riscaldano. Ciò perché la sorgente luminosa irradia dell'energia.

La potenza totale emessa da una sorgente luminosa per irraggiamento si chiama flusso raggianti e si misura in watt (W) nel sistema di misura S.I.

Si chiama irradiamento di una superficie illuminata, il rapporto tra la potenza luminosa che cade perpendicolarmente sulla superficie e l'area della superficie stessa e si misura in watt al metro quadro (W/m^2) nel sistema di misura S.I.

Se il flusso raggiante è costante, più la superficie irradiata è lontana dalla sorgente luminosa, più l'irradiamento diminuisce, perché l'area della superficie (sferica) aumenta con il quadrato della distanza dal centro (raggio), dove c'è la sorgente, e quindi l'irradiamento è inversamente proporzionale al quadrato della distanza.

- Le grandezze fotometriche

La grandezza fotometrica che corrisponde al flusso raggiante di una sorgente luminosa è il flusso luminoso, che si misura in lumen, che è il flusso luminoso emesso da una sorgente di luce giallo-verde, alla frequenza di $540 \cdot 10^{12}$ Hz, con un flusso raggiante di 0,12 milliwatt.

La grandezza fotometrica che corrisponde all'irradiamento di una superficie illuminata è l'illuminamento, che si misura in lux, che è l'illuminamento di una superficie di $1 m^2$, che intercetta un flusso luminoso di 1 lumen.

§ 16 La riflessione e la rifrazione

Un raggio di luce, che si propaga nell'aria, se incontra sul suo cammino una superficie lucida, rimbalza e continua a propagarsi nell'aria, si ha cioè una riflessione. Il raggio di luce prima della riflessione si chiama raggio incidente; quello dopo la riflessione raggio riflesso. Se invece il raggio incidente incontra la superficie liscia dell'acqua, si divide in due raggi: uno, detto riflesso, rimbalza, come si è detto prima; l'altro, detto rifratto, prosegue nell'acqua, cambiando leggermente la direzione, si ha cioè una rifrazione.

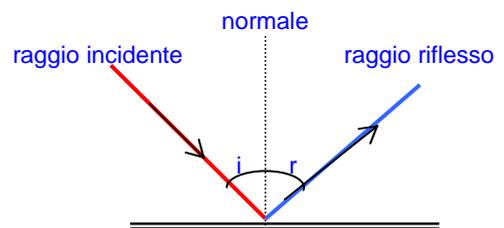
Questo fenomeno si verifica quando il raggio incidente incontra la superficie di separazione di due mezzi trasparenti (aria/acqua, aria/vetro, aria/plexiglas, ecc...).

§ 17 La riflessione

- Le leggi della riflessione

1^ - Il raggio incidente, il raggio riflesso e la normale alla superficie riflettente nel punto di incidenza, giacciono sullo stesso piano.

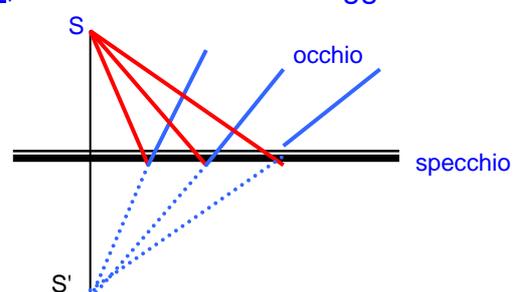
2^ - L'angolo di incidenza i è uguale all'angolo di riflessione r .



Se un fascio di raggi cade su una superficie irregolare, le riflessioni dei vari raggi del fascio sono diverse ed il risultato è una luce diffusa.

- Gli specchi piani

Se una sorgente luminosa S è posta davanti ad uno specchio piano, i raggi riflessi percorrono cammini tali che sembrano provenire da una

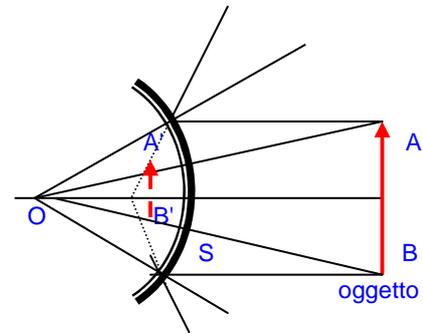


sorgente S' posta dietro lo specchio. S' è una immagine virtuale di S , cioè non la si può raccogliere su uno schermo perché non esiste, cioè non è reale.

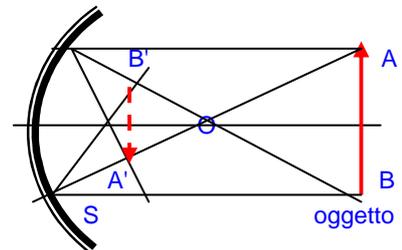
Lo stesso fenomeno si verifica anche se, invece di una sorgente luminosa, davanti allo specchio si mette un oggetto illuminato. Nello specchio si vedrà l'immagine virtuale dell'oggetto, che non è però sovrapponibile all'oggetto reale: infatti una mano destra, reale appare nello specchio come una mano sinistra, virtuale.

- Gli specchi curvi

Gli specchi curvi possono essere convessi o concavi. Esaminiamo ad es. uno specchio sferico convesso, che di un oggetto illuminato AB dà una immagine virtuale, diritta e rimpicciolita (v. figura).



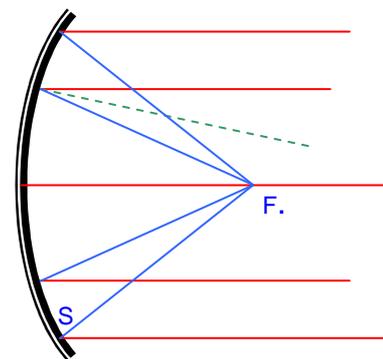
Di un oggetto AB uno specchio sferico concavo dà un'immagine reale, capovolta e rimpicciolita, che si può eventualmente, raccogliere su uno schermo, perché nasce da una concentrazione di energia luminosa (v. figura).



- Gli specchi parabolici

Essendo la loro superficie riflettente generata dalla rotazione di una parabola attorno al proprio asse, che è l'asse ottico dello specchio, per la proprietà della parabola tutti i raggi che giungono allo specchio paralleli all'asse ottico, si riflettono in un punto che è il fuoco F della parabola.

Questi specchi, di grandi dimensioni, vengono utilizzati nei potenti telescopi astronomici, perché raccolgono in una piccola zona, l'energia luminosa, ad es. di una stella lontana, captata dalla loro superficie.



Mettendo nel fuoco una sorgente luminosa., lo specchio si comporta in modo opposto a quello sopra descritto. Emette cioè un fascio di luce riflessa parallelo all'asse ottico. Specchi di questo tipo vengono usati ad es. come proiettori nei fanali delle automobili.

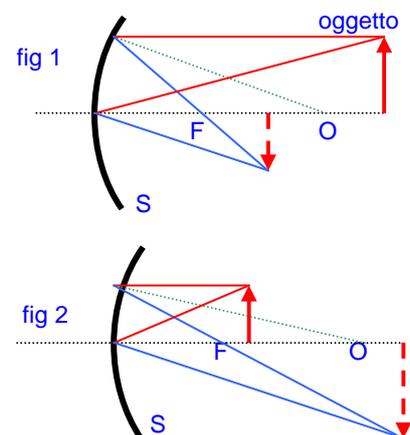
- Gli specchi sferici

Se di uno specchio sferico si utilizza solo una piccola porzione attorno all'asse ottico, essa si comporta praticamente come uno specchio parabolico.

Si possono quindi considerare un centro O ed un fuoco F , posto circa alla metà del raggio della sfera.

Se lo specchio è concavo si hanno tre comportamenti diversi a seconda che:

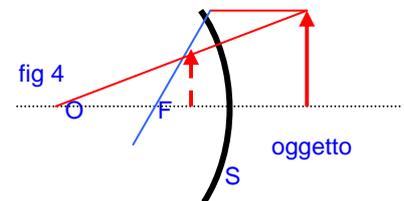
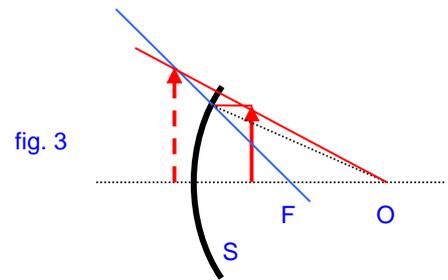
l'oggetto sia posto dalla parte opposta del centro, rispetto allo specchio (fig. 1) (l'immagine risulta reale, capovolta e rimpicciolita, ed è situata tra il centro O ed il fuoco F);



oppure tra il centro O ed fuoco F (fig 2) (l'immagine risulta reale, capovolta e ingrandita, ed è situata oltre il centro);

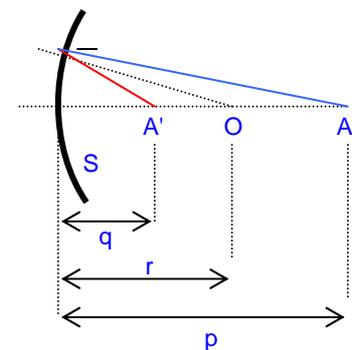
oppure tra il fuoco F e lo specchio (fig. 3) (l'immagine risulta virtuale, diritta ed ingrandita, ed è situata dietro lo specchio).

Se lo specchio è convesso, il fuoco e l'immagine sono sempre virtuali, qualunque sia la posizione dell'oggetto (fig. 4).



- La legge dei punti coniugati, per uno specchio sferico

Dato uno specchio sferico, concavo, se O ne è il centro ed r il raggio, A una sorgente luminosa puntiforme, distante p dallo specchio, ed A' la sua immagine, distante q dallo specchio, si dimostra che vale la relazione $1/p + 1/q = 2/r$ (1) detta legge dei punti coniugati.



Dato uno specchio sferico, convesso vale una relazione simile alla (1) con la differenza che, essendo in questo caso il raggio $-r$, cambia il segno del secondo membro della (1), che diventa $1/p + 1/q = -2/r$ (2)

Se si ricava $1/q$ dalla (2), poiché r e p sono sempre positivi, $1/q$ risulta negativo, il che conferma che nel caso dello specchio convesso l'immagine è sempre virtuale, come era stato già detto in precedenza.

- Ingrandimento lineare

Il rapporto G tra l'altezza $A'B'$ dell'immagine e quella AB dell'oggetto, si chiama ingrandimento lineare.

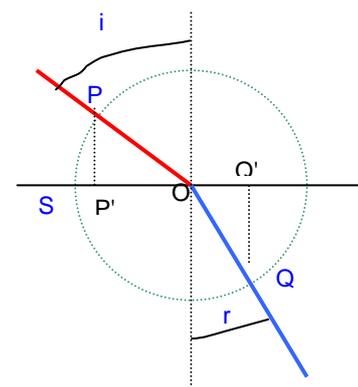
Geometricamente si dimostra che $G = q/p$: espressione valida tanto per gli specchi concavi, quanto per quelli convessi.

Poiché, come si è visto, q può essere positivo o negativo, risulta che l'ingrandimento G è positivo per immagini reali, negativo per immagini virtuali.

§ 18 La rifrazione

- Le leggi della rifrazione

Se S è la superficie di separazione fra due mezzi trasparenti diversi, tracciata una circonferenza di raggio qualsiasi con centro in un punto O della superficie S , indicando con PO un raggio incidente su S , con OQ il raggio rifratto, con n la normale ad S in O , con OP' ed $Q'O$ le proiezioni di OP e QO su S , e, infine, con i e con r gli angoli



formati dal raggio incidente e dal raggio rifratto con la normale, si possono enunciare le seguenti leggi:

1^ Il raggio incidente, il raggio rifratto e la normale alla superficie di separazione dei due mezzi giacciono nello stesso piano.

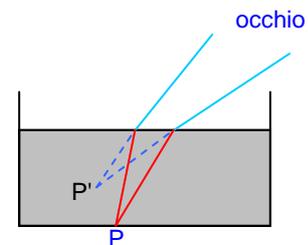
2^ Il rapporto $OP' / Q'O$ è costante, qualunque sia l'angolo di incidenza, ed è uguale a n_{AB} , chiamato indice di rifrazione del mezzo B rispetto al mezzo A.

Se l'indice di rifrazione n_{AB} è > 1 si dice che il mezzo B è otticamente più denso del mezzo A.

L'indice $n_{aria/acqua} = 1,33$

Ovviamente un raggio perpendicolare alla superficie non si rifrange.

Per effetto della rifrazione, un punto P posto sul fondo di un recipiente pieno di acqua, appare, all'occhio di un osservatore, più in alto, in P' (v. figura), come se i raggi, emanati dal punto, provenissero da P' anziché da P.

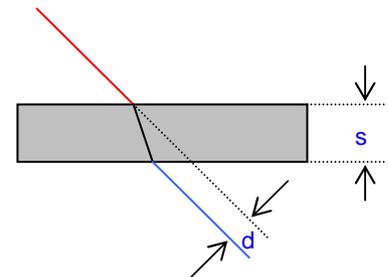


- L'espressione goniometrica della legge di Snell

Il rapporto $OP' / Q'O$ è uguale a $OP \sin i / QO \sin r$ ma siccome $OP = QO$ perché raggi della stessa circonferenza, risulta $OP' / Q'O = \sin i / \sin r = n_{AB}$ che è la legge di Snell.

- Gli indici di rifrazione relativo ed assoluto.

Un raggio di luce che attraversa una lastra di vetro immersa nell'aria, per effetto della doppia rifrazione: aria / vetro, e vetro / aria, si sposta, parallelamente, di una certa quantità d, in funzione dello spessore s della lastra.



Quando un raggio di luce passa dal mezzo A al mezzo B, si ha $OP' / Q'O = n_{AB}$.

Se invece passa da B ad A, si ha $Q'O / OP = n_{BA}$.

Si può quindi scrivere $n_{AB} = 1 / n_{BA}$.

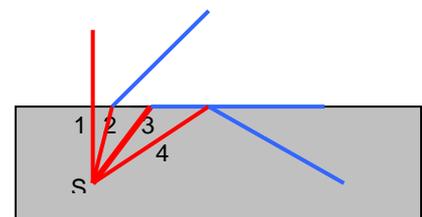
Se la luce penetra in un mezzo provenendo dal vuoto, si ha l'indice di rifrazione assoluto, ad es. n_A per il mezzo A.

Si può dimostrare che $n_{AB} = n_A / n_B$.

- La riflessione totale

Se si inserisce una sorgente di luce puntiforme in una lastra di vetro, i raggi che ne escono, ad es. dalla superficie superiore, seguono le leggi della rifrazione relativamente al passaggio da un mezzo otticamente più denso ad uno meno denso e quindi si allontanano dalla normale nei punti di incidenza.

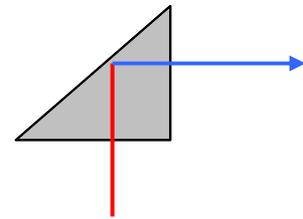
Il raggio 1 essendo normale prosegue senza rifrangersi; il raggio 2 si rifrange normalmente; il raggio 3, se l'angolo di incidenza è uguale all'angolo limite, ha il raggio rifratto radente alla superficie della lastra; il raggio 4, che ha l'angolo di incidenza maggiore dell'angolo limite, non ha un raggio rifratto, ma solo un raggio riflesso.



Il fenomeno si chiama riflessione totale e si verifica tutte le volte che dei raggi di luce passano da un mezzo più denso ad uno meno denso.

- Il prisma

I prismi sono dei mezzi trasparenti limitati da superfici piane, non parallele, che deviano un raggio luminoso di 90° , per effetto della riflessione totale, essendo l'angolo di 45° , formato dal raggio incidente sulla superficie inclinata, superiore all'angolo limite che è di 42° .



- Le fibre ottiche

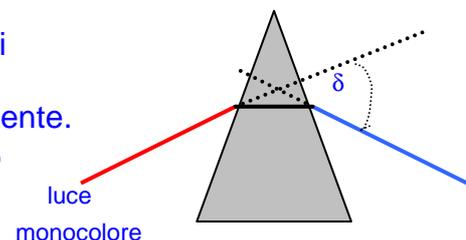
Un'altra applicazione della riflessione totale sono le fibre ottiche, che sono dei fili sottilissimi di vetro o di plastica con le pareti estremamente lisce e regolari. La luce, che entra ad una estremità di una fibra, la percorre, riflettendosi molte volte sulla superficie laterale della fibra stessa ed esce dall'altra estremità.

Le fibre ottiche sono sostanzialmente delle guide di luce.

Le fibre ottiche hanno un grande impiego in medicina, per l'osservazione degli organi interni di un corpo, e nelle telecomunicazioni, in quanto al loro interno viaggiano onde elettromagnetiche che trasportano segnali televisivi, comunicazioni telefoniche e una grande quantità di dati informatici.

- La dispersione della luce

Un raggio di luce monocolora che attraversa un prisma di sezione triangolare, subisce due rifrazioni ed esce dal prisma in una direzione diversa da quella del raggio incidente. L'angolo δ tra raggio di entrata e raggio di uscita è detto angolo di deviazione. Esso è tanto più grande quanto maggiore è l'angolo al vertice del prisma.



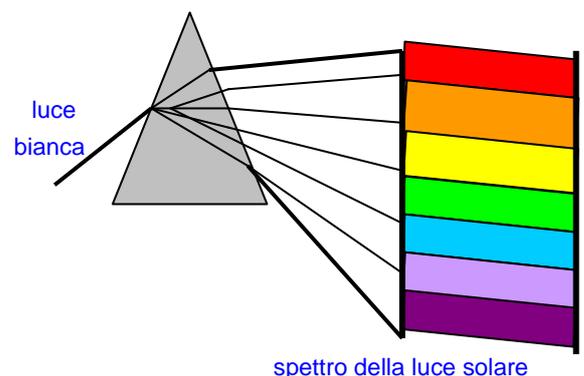
Se, anziché un raggio di luce monocolora, sul prisma incide un fascio sottile di luce bianca (come ad es. la luce solare) dall'altra faccia del prisma esce un fascio colorato, che, raccolto su uno schermo appare come una striscia luminosa sulla quale si susseguono con continuità diversi colori, che sono i colori dell'iride: rosso, aranciato, giallo, verde, azzurro, indaco, violetto.

Ciò è dovuto al fatto che ogni componente della luce solare ha una diversa frequenza, corrispondente al diverso colore.

Questo fenomeno si chiama dispersione della luce e la striscia colorata si chiama spettro.

Se si usano due prismi la luce solare dispersa dal primo prisma, viene ricomposta dal secondo e come risultato si ha la luce bianca.

In natura gli effetti combinati della rifrazione, della dispersione e della riflessione interna dei raggi solari, ad opera delle goccioline di pioggia, dà luogo al fenomeno chiamato arcobaleno.



LE LENTI, L'OCCHIO E GLI STRUMENTI OTTICI

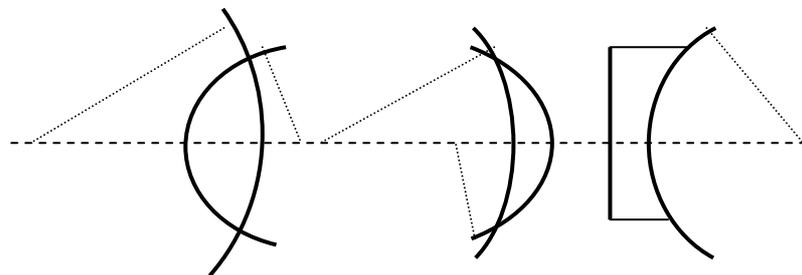
§ 19 Le lenti sferiche

Le lenti sono dei dispositivi indispensabili per la costruzione di strumenti ottici quali: occhiali, microscopi, cannocchiali, macchine fotografiche ecc.

Il loro funzionamento si basa sulle leggi della riflessione e della rifrazione, che consentono di determinare il cammino dei raggi luminosi nei mezzi trasparenti, costituenti le lenti.

Le lenti più comuni sono le lenti sferiche, che sono dei corpi rifrangenti delimitati da superfici sferiche, che possono avere raggi uguali o differenti o addirittura infiniti (superfici piane) e che hanno la proprietà di produrre immagini ingrandite o rimpicciolite degli oggetti.

Si chiama asse ottico della lente, la retta che passa per i centri delle due superfici che delimitano la lente.



lente biconvessa

lente concavo-convessa

lente piano-convessa

Le lenti sferiche possono essere classificate in due gruppi:

- 1) Lenti sferiche convergenti
- 2) Lenti sferiche divergenti

Nel seguito si considereranno solo lenti sottili, che hanno uno spessore piccolo rispetto ai raggi delle superfici sferiche.

§ 20 Le lenti sferiche convergenti

Sono lenti più spesse al centro che ai bordi.

Se un fascio di raggi, paralleli all'asse ottico, colpisce una lente convergente, tutti i raggi del fascio, uscendo dalla parte opposta della lente, convergono in un punto, detto fuoco F, che si trova sull'asse ottico, e la cui distanza dal centro O della lente è detta distanza focale f. Ogni lente ha due fuochi, equidistanti dal centro della lente stessa.

Per costruire l'immagine S' di una sorgente luminosa S prodotta da una lente convergente sottile, si può schematizzare la lente con due piani paralleli e segnare la posizione dei due fuochi.

Supponiamo innanzitutto che la sorgente S , rappresentata da un oggetto AB , sia posta al di qua del primo fuoco F .

Si fa partire dal punto A un raggio parallelo all'asse ottico, che converge nel secondo fuoco F' ed un raggio,

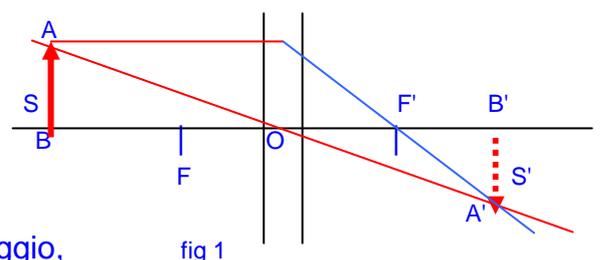
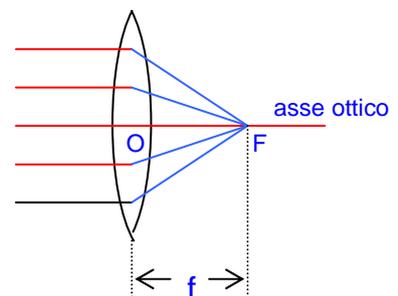
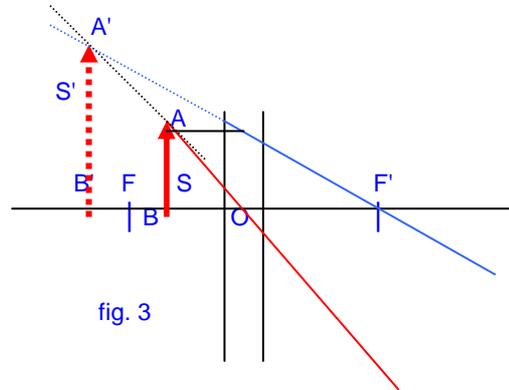
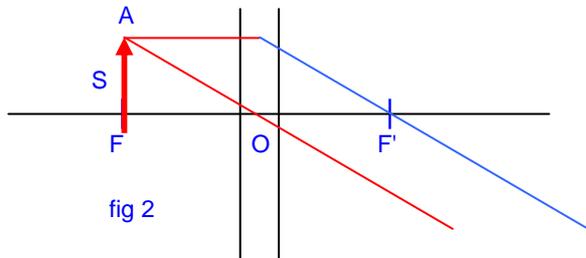


fig 1

che passa per il centro O della lente e prosegue senza deviazioni. (fig. 1).

L'incontro dei due raggi uscenti dalla lente dà il punto A' . Il punto B' è sull'asse ottico come B . L'immagine S' è reale, perché la si può raccogliere su uno schermo, è al di là di F' ed è capovolta. Se la distanza BO è maggiore di $2f$, S' è più piccolo di S ; se BO è uguale a $2f$, S' è alto quanto S ; se BO è minore di $2f$ (ma maggiore di f) S' è più grande di S , ma sempre capovolta.



Supponiamo ora che S sia posta nel fuoco F . Procedendo come nel caso precedente si trova che i due raggi uscenti dalla lente sono paralleli, per cui l'immagine S' è all'infinito, cioè non esiste (fig. 2).

Supponiamo infine che S si trovi tra F ed O . La solita costruzione mostra che i raggi uscenti, o meglio i loro prolungamenti, si incontrano dalla stessa parte di S e pertanto è lì che si forma l'immagine S' , che è virtuale, diritta e ingrandita (fig. 3).

Per calcolare a che distanza da una lente si forma l'immagine di una sorgente luminosa esiste una formula.

Indicando con F ed F' i due fuochi, con O il centro, con f le distanze focali OF e $F'O$, che sono uguali, con p la distanza AO tra sorgente e lente, con q la distanza OA' tra lente ed immagine, e indicando con m l'altezza della sorgente e con n l'altezza dell'immagine, dalla similitudine dei triangoli SAO e $OA'S'$, si ricava la relazione:

$$n/m = O'A'/AO = q/p = G \quad (1)$$

in cui G , come negli specchi sferici, è l'ingrandimento della lente.

Poiché anche i triangoli OLF' e $F'A'S'$ sono simili, si può scrivere:

$$n/m = A'F'/F'O = (q-f)/f \quad (2)$$

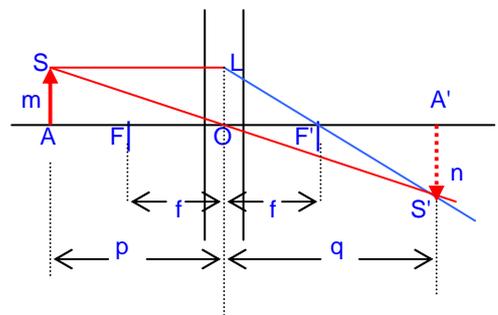
Uguagliando la (1) e la (2) si ottiene $q/p = (q-f)/f$

da cui si ricava $1/p + 1/q = 1/f$ (3)

La (3) è la formula delle lenti sottili, che permette di calcolare q , conoscendo p ed f , e quindi, con la (1), l'ingrandimento G .

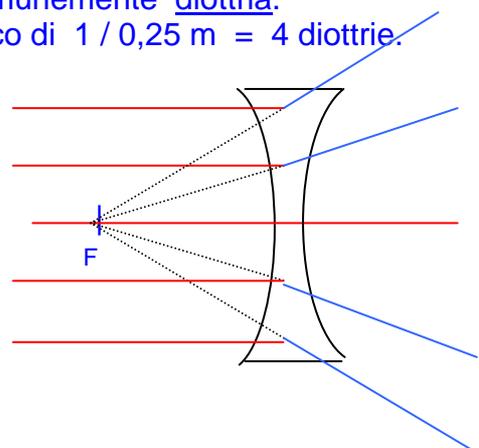
La quantità $1/f$ si chiama potere diottrico della lente, che nel sistema di misura S.I. si misura in m^{-1} . Questa unità di misura si chiama comunemente diottria.

Ad es. una lente con $f = 0,25 \text{ m}$ ha un potere diottrico di $1/0,25 \text{ m} = 4$ diottrie.



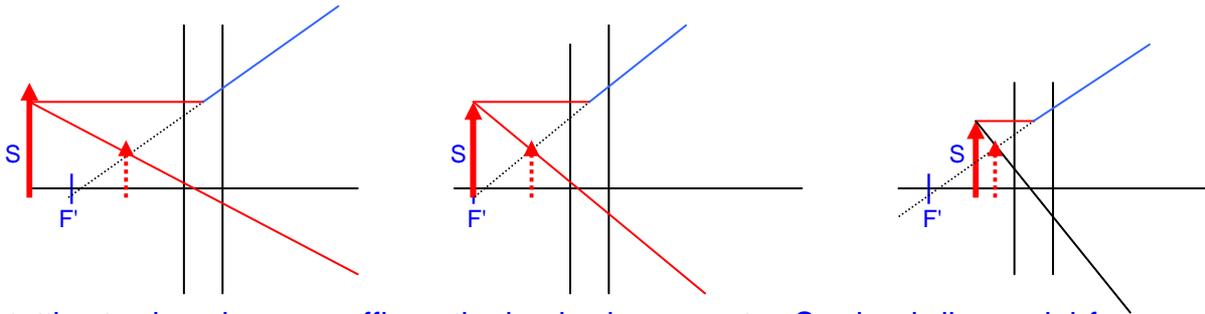
§ 21 Le lenti sferiche divergenti

Sono lenti più spesse ai bordi che al centro. Se un fascio di raggi paralleli all'asse ottico



colpisce una lente divergente, i raggi proseguono oltre la lente come se provenissero da un punto detto fuoco, che, a differenza delle lenti convergenti, si trova dalla stessa parte della sorgente luminosa. Le immagini sono sempre diritte, virtuali e rimpicciolite.

Anche in questo caso si può fare la costruzione dell'immagine, schematizzando la lente con due piani paralleli e indicando i fuochi dalle parti opposte rispetto alle lenti convergenti.



In tutti e tre i casi sopra raffigurati, sia che la sorgente S sia al di qua del fuoco, o nel fuoco, o tra il fuoco e la lente, l'immagine è sempre situata tra la sorgente e la lente, è virtuale e diritta, come già detto.

Con la (3) di § 20, tenendo presente che f è negativo, si può calcolare q (che pure è negativo) nel caso delle lenti divergenti, e quindi, con la (1), sempre di § 20, l'ingrandimento G , che è, in ogni caso, minore di 1.

§ 22 La macchina fotografica tradizionale ed il cinematografo

- La macchina fotografica

La macchina fotografica è sostanzialmente una camera oscura (v. § 13), in cui al posto del forellino c'è un obiettivo, costituito da un sistema di lenti convergenti, ed al posto del vetro smerigliato c'è una pellicola sensibile alla luce. Davanti all'obiettivo c'è un otturatore che si apre per un tempo brevissimo, quando si scatta la foto, per lasciare passare la luce, proveniente dal soggetto da fotografare. Il fascio di luce, opportunamente dosato da un diaframma, va ad impressionare la pellicola, che viene poi sviluppata e stampata. Per ottenere una buona immagine, non sfuocata, c'è un dispositivo, per lo più automatico, di messa a fuoco dell'immagine sul piano della pellicola. L'immagine è reale capovolta e rimpicciolita.

- Il cinematografo

Per il cinematografo sono necessari una macchina da presa ed un proiettore cinematografico.

La macchina da presa è una macchina fotografica che scatta fotografie a grande velocità (24 fotogrammi al secondo), registrandole su una pellicola che poi viene sviluppata e stampata.

Il proiettore è un apparecchio dotato di un motore che fa avanzare la pellicola, ottenuta dalla macchina da presa, in modo che, grazie ad una potente sorgente luminosa, vengono proiettati, ogni secondo, su uno schermo, diversi fotogrammi. A causa del fenomeno, detto persistenza delle immagini sulla retina, il nostro occhio percepisce un'immagine continua.

§ 23 L'occhio

L'occhio è l'organo del nostro corpo che ci fornisce le immagini del mondo esterno.

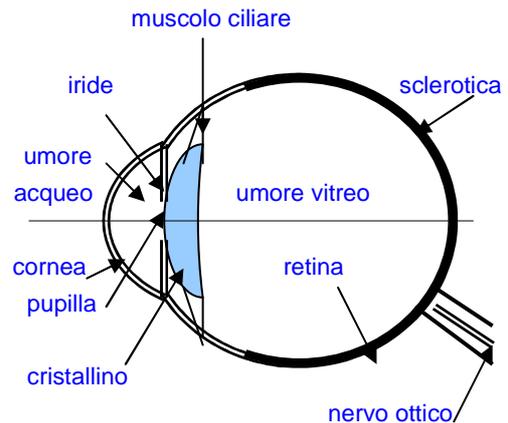
È simile ad una macchina fotografica in cui l'obiettivo è un corpo trasparente, a forma di lente, chiamato cristallino; la pellicola è una superficie, coperta di elementi sensibili alla luce, detta, retina; l'otturatore è la palpebra; il diaframma è l'iride, che ha al centro la pupilla, attraverso la quale la luce penetra nell'occhio e che è inconsciamente comandata da un muscolo che ne regola il diametro, compreso tra 2 e 9 mm, secondo l'intensità della luce incidente.

Il tutto è racchiuso in una spessa membrana, la sclerotica, che sul davanti presenta una superficie trasparente, la cornea.

Lo spazio tra la cornea e l'iride è pieno di un liquido trasparente, detto umore acqueo, e lo spazio tra cristallino e retina è pure pieno di un liquido trasparente chiamato umore vitreo.

Il cristallino, comandato dal muscolo ciliare, può modificare la sua distanza focale in modo da mettere a fuoco le immagini sulla retina, che sono reali e capovolte. Questo meccanismo è l'accomodamento. Il nervo ottico che porta le immagini al cervello provvede a raddrizzare le immagini.

Il punto più vicino, di cui il cristallino può fornire immagini nitide sulla retina, si chiama punto prossimo, mentre è detta distanza della visione distinta, la distanza di circa 25 cm cui l'occhio può restare accomodato a lungo senza fatica sensibile.



- Presbiopia, miopia e ipermetropia

Con l'età il cristallino tende a irrigidirsi ed a perdere in parte il potere di accomodamento.

Questo difetto si chiama presbiopia.

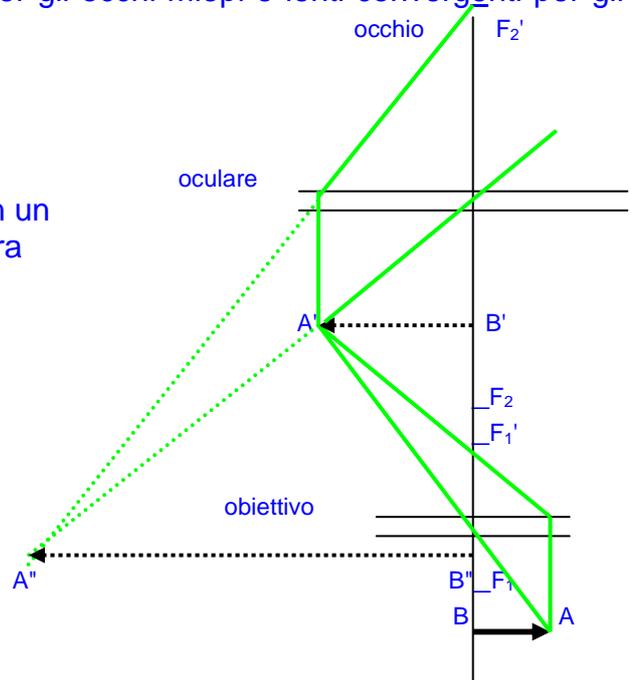
Invece la miopia e la ipermetropia sono dei difetti per cui il cristallino forma l'immagine davanti alla retina e, rispettivamente, dietro la retina. Per correggere questi difetti occorrono degli occhiali con lenti divergenti per gli occhi miopi e lenti convergenti per gli occhi ipermetropi.

§ 24 Il microscopio ed il cannocchiale

Schematicamente il microscopio è un tubo con un obiettivo ad una estremità ed un oculare all'altra.

L'obiettivo è una lente convergente che, di un oggetto AB , posto oltre il suo primo fuoco F_1 , forma un'immagine $A'B'$, reale, capovolta e ingrandita, posta tra il fuoco F_2 dell'oculare e l'oculare stesso. (v. fig. 1 di § 20).

L'oculare è pure una lente convergente che dell'immagine $A'B'$ forma una seconda immagine virtuale $A''B''$, che appare all'occhio dell'osservatore capovolta e molto ingrandita (v. fig. 3 di § 20).



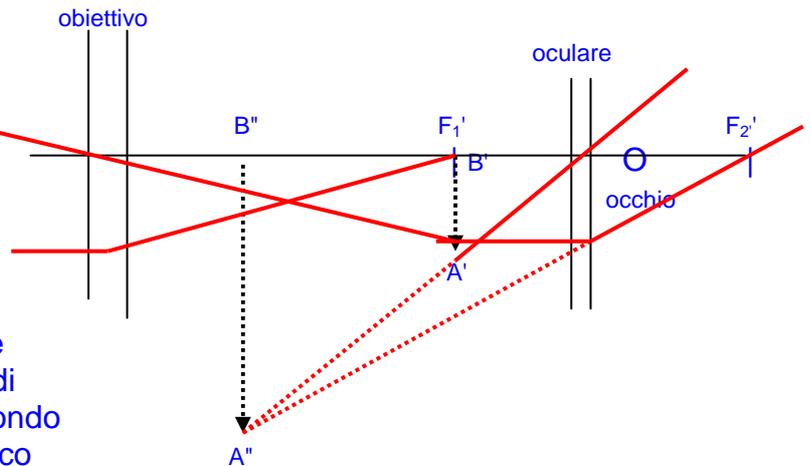
Con i microscopi si possono avere degli ingrandimenti $A''B'' / AB$ di un migliaio di volte, per cui si possono esaminare oggetti aventi dimensioni dell'ordine di 1 micron (10^{-6} m), per es. i batteri.

- Il cannocchiale

Il cannocchiale astronomico è pure esso un tubo con un obiettivo ed un oculare alle due estremità; entrambi sono lenti convergenti; l'obiettivo ha un grande diametro ed una grande distanza focale.

L'obiettivo forma una prima immagine $A'B'$, reale, capovolta e rimpicciolita, di un oggetto lontanissimo, nel suo secondo fuoco F_1' , che si trova tra il primo fuoco dell'oculare e l'oculare stesso.

In tal modo l'occhio O dell'osservatore, appoggiato all'oculare, vede una seconda immagine, $A''B''$ virtuale e capovolta (v. fig. 3 di § 20).



I cannocchiali terrestri sono simili a quelli astronomici, ma all'interno, lungo il percorso dei raggi, c'è un sistema di prismi che rovesciano l'immagine, in modo che essa appare diritta all'osservatore.

I binocoli sono costituiti da due cannocchiali terrestri posti uno vicino all'altro, in modo che gli oculari siano in corrispondenza degli occhi.

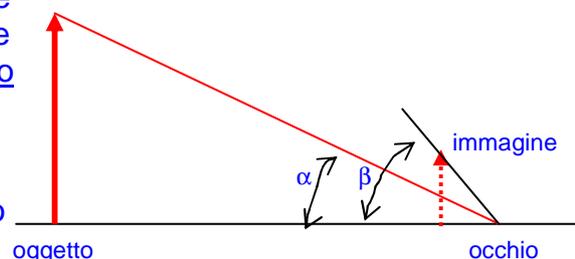
§ 25 L'ingrandimento angolare

I cannocchiali non ingrandiscono, bensì danno un'immagine che è molto più piccola dell'oggetto osservato, però l'immagine retinica dentro l'occhio dell'osservatore è più grande di quella che si formerebbe guardando l'oggetto ad occhio nudo.

Questo perché con il cannocchiale vediamo l'immagine $A''B''$ dell'oggetto sotto un angolo più grande di quello sotto cui vedremmo l'oggetto stesso ad occhio nudo.

Il rapporto fra l'angolo sotto cui si vede l'immagine con il cannocchiale e l'angolo sotto cui si vede l'oggetto ad occhio nudo, si chiama ingrandimento angolare. Nella figura è il rapporto α / β .

Ciò è particolarmente utile per l'osservazione dei corpi celesti che sono molto grandi, ma si trovano a grandissima distanza.



L'OTTICA ONDULATORIA

§ 26 Il modello corpuscolare ed il modello ondulatorio della luce

Per spiegare il comportamento della luce; propagazione in linea retta anche nel vuoto, riflessione, rifrazione, dispersione, per alcuni secoli i fisici seguivano o il modello corpuscolare o il modello ondulatorio.

Secondo il modello corpuscolare la luce sarebbe costituita da piccolissime particelle,; corpuscoli, che vengono emessi dalle sorgenti luminose, rimbalzano come delle palline sulle superfici riflettenti e, entrate nell'occhio, stimolano il senso della vista.

Secondo il modello ondulatorio la luce è un'onda, per cui si ha un trasferimento di energia ma non di materia. Le sue proprietà sono simili alle onde elastiche, come le onde sonore (v. § 1)

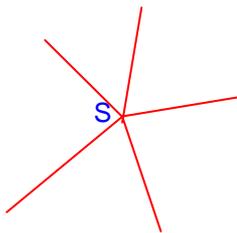
Esaminiamo in dettaglio i due modelli

Modello corpuscolare

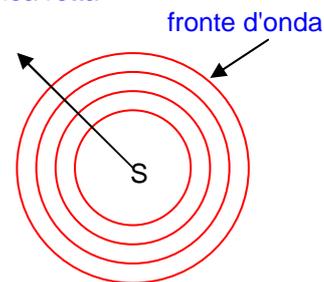
Modello ondulatorio

Propagazione rettilinea

Le particelle di luce, come le particelle materiali seguono il principio di inerzia, per cui, in assenza di forze, viaggiano in linea retta

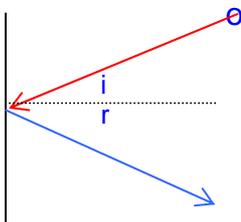


Le onde, che sono circolari, si propagano in direzione radiale; ogni porzione di onda si propaga in linea retta

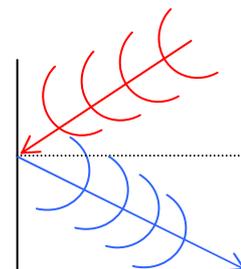


Riflessione

Un corpo materiale, come una pallina, quando urta contro una superficie, rimbalza, e gli angoli di incidenza e di riflessione sono uguali



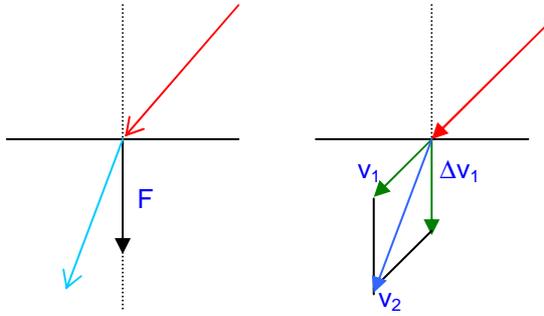
Un'onda che urta contro un ostacolo rimbalza. L'angolo tra la direzione di avvicinamento e la normale è uguale all'angolo tra la normale e la direzione di allontanamento



Rifrazione

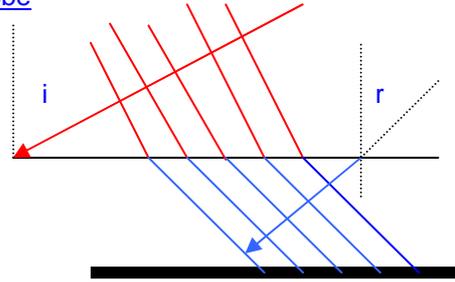
Quando le particelle di luce attraversano la superficie di separazione tra un mezzo meno rifrangente ed uno più rifrangente, subiscono l'azione di una forza F , perpendicolare alla superficie di separazione dei due mezzi.

Le onde passando da un mezzo meno rifrangente ad uno più rifrangente, subiscono l'attrito del fondo del contenitore del secondo mezzo ed il fronte d'onda si inclina, cosicché la direzione di propagazione, che è sempre perpendicolare



Tale forza provoca una variazione di velocità Δv_1 , diretta come la forza. La somma vettoriale tra la velocità della luce incidente v_1 e Δv_1 dà una velocità v_2 , che ha una direzione formante un angolo con la normale minore di quello di incidenza. Poiché v_2 è maggiore di v_1 , secondo questo modello la velocità della luce aumenterebbe.

al fronte d'onda, cambia avvicinandosi alla normale.
La velocità della luce, secondo questo modello, diminuirebbe.



Dispersione

La luce bianca è costituita da corpuscoli di diversa massa e di diverso colore. Più grande è la massa delle particelle, maggiore è la forza che le fa deviare attraversando un prisma. Di conseguenza i corpuscoli violetti, che vengono deviati di più, devono avere una massa maggiore di quella dei rossi.

Se la velocità di propagazione dipende dalla lunghezza d'onda, onde di differente lunghezza d'onda si piegano in modo diverso quando entrano in una zona in cui si propagano più lentamente. Ciascun colore dello spettro corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda. La luce bianca è una miscela di onde di diversa lunghezza d'onda.

Fizeau, misurando la velocità della luce (v. § 14) nel vuoto e in diversi mezzi rifrangenti, ha dimostrato che la luce si propaga tanto più lentamente quanto più il mezzo è otticamente denso. La velocità v della luce in un mezzo con indice di rifrazione assoluto n è $v = c/n$ in cui, c come al solito, è la velocità della luce nel vuoto.

Questo risultato dimostrò che la teoria ondulatoria, come fu chiamata, era più valida di quella corpuscolare.

Nel capitolo "Fisica atomica e subatomica" si vedrà però che oggi i due modelli coesistono, in quanto, insieme ai fenomeni ottici ondulatori, ce ne sono altri che fanno pensare che la luce sia costituita da corpuscoli detti fotoni.

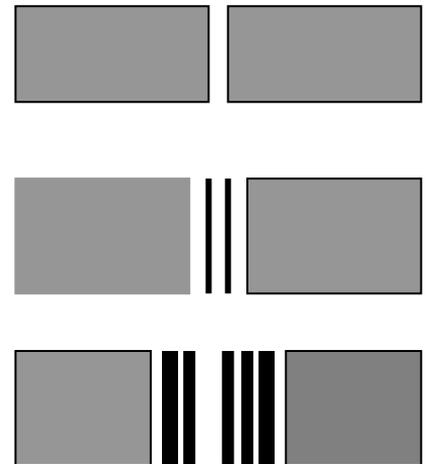
§ 27 La diffrazione

Se un fascio di luce attraversa una feritoia abbastanza larga, su uno schermo oltre la feritoia si forma una striscia luminosa dai contorni netti con ai fianchi due zone d'ombra.

Se la feritoia si restringe, la striscia luminosa, invece di restringersi si allarga, ed oltre alla striscia centrale compaiono ai suoi fianchi delle frange di luce intervallate da zone d'ombra. Questo fenomeno è detto diffrazione della luce che è tipico delle onde.

La diffrazione ha luogo quando la larghezza della fenditura è uguale o minore alla lunghezza d'onda della luce usata per l'esperimento.

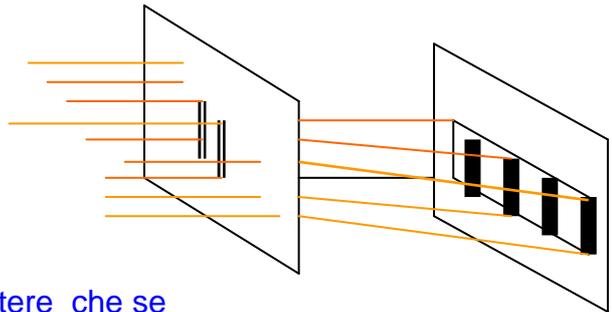
In altre parole, quando la lunghezza della luce è grande rispetto alla larghezza delle feritoia, si ha diffrazione; quando la lunghezza d'onda della luce è molto piccola rispetto alla larghezza della feritoia, non si ha diffrazione.



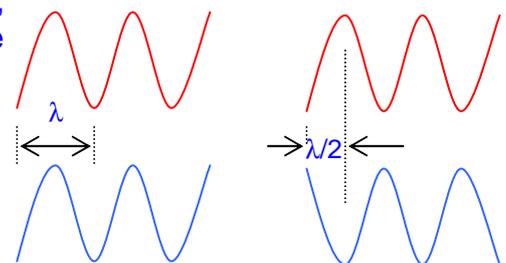
E' questa la ragione per cui, essendo la lunghezza d'onda della luce bianca $0,5 \cdot 10^{-6}$ m non si possono vedere distintamente, neppure con un microscopio, oggetti molto piccoli, come gli atomi, che hanno dimensioni di 10^{-10} m. La luce che li illumina non è in grado di dare un'immagine chiara dell'oggetto, ma solo una figura di interferenza (v. § 28).

§ 28 L'interferenza

Se un fascio di luce monocolora colpisce un diaframma su cui si trovano due fenditure, il fascio, emergendo oltre il diaframma, forma su uno schermo posto sul suo cammino, una serie di strisce luminose e scure, alternate, che sono dette frange di interferenza.



Per spiegare il fenomeno è opportuno premettere che se due onde sono della stessa frequenza e sono "in fase", (fig. 1) cioè se le creste dell'una corrispondono alle creste dell'altra e le valli corrispondono alle valli, sommandosi si rinforzano e danno luce. Se invece le due onde sono "in opposizione di fase" (fig 2), cioè se le creste corrispondono alle valli e viceversa, il che avviene quando le onde differiscono di mezza lunghezza d'onda, sommandosi si annullano, dando il buio.

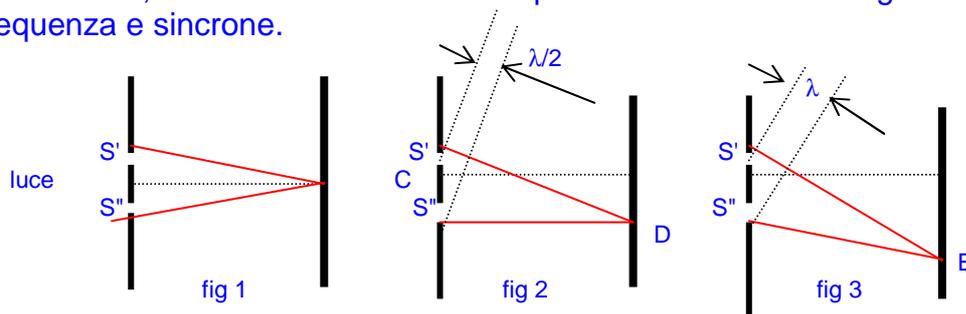


onde della stessa frequenza

(fig 1) in fase (fig 2) in opposizione

Ciò premesso, il fenomeno della interferenza si spiega in questo modo.

Dato un diaframma con due fenditure sottili S' ed S'' e davanti ad esse una fonte di luce monocolora, le due fenditure si comportano come due sorgenti di luce della stessa frequenza e sincrone.



Nel punto C di uno schermo (fig 1) pervengono due raggi di luce che avendo percorso lo stesso cammino sono "in fase" e pertanto, sommandosi, danno luogo ad una striscia chiara. (interferenza costruttiva) Nel punto D dello schermo arrivano due raggi di luce che hanno percorso cammini che differiscono di mezza lunghezza d'onda, e pertanto, essendo "in opposizione di fase", la loro somma dà una striscia scura. (interferenza distruttiva).

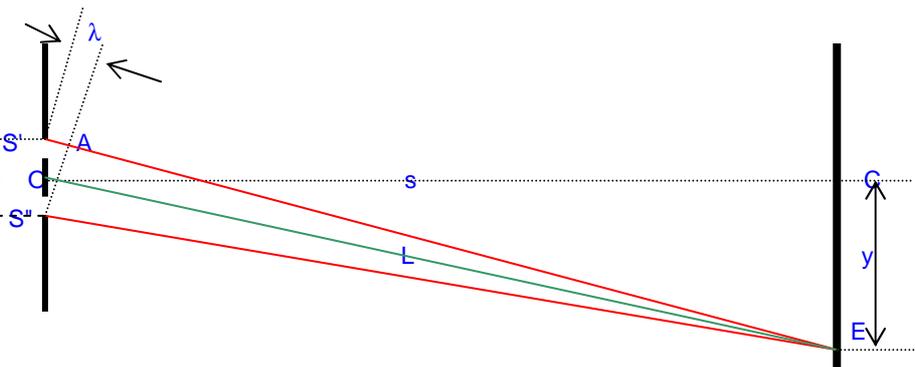
Nel punto E, invece, i cammini dei due raggi differiscono di una lunghezza d'onda e, pertanto, essendo "in fase", danno di nuovo come risultato della loro somma una striscia chiara.

Si ha così sullo schermo un'alternanza di strisce chiare e scure.

- La determinazione della lunghezza d'onda della luce

Data una sorgente di luce monocolora, di cui si vuole determinare la lunghezza d'onda, con l'attrezzatura delle fig 1, 2, 3, supponendo lo schermo molto lontano dal diaframma e le fenditure S' ed S'' molto vicine tra loro, i due raggi S'E ed S''E, corrispondenti alla prima frangia chiara, si possono considerare paralleli.

Pertanto i triangoli S'S''A ed OCE sono simili, e si può quindi scrivere $\lambda / d = y / L$
 Misurando con molta cura d, y ed L si può ricavare $\lambda = y d / L$
 ed essendo praticamente



$L = s$ si ottiene $\lambda = y d / s$ che è la voluta lunghezza d'onda della luce.

Considerando l'angolo α compreso tra i segmenti OC ed OE, poiché $y / L = \text{sen } \alpha$ la formula precedente diventa $\lambda = d \text{ sen } \alpha$ (1).

Se anziché prendere in esame la prima frangia si considera l'n-sima frangia chiara, la (1) diventa $\lambda = (d / n) \text{ sen } \alpha_n$

Che è la formula generale trigonometrica per misurare la lunghezza d'onda della luce.

§ 29 I colori e la lunghezza d'onda

I colori dello spettro della luce solare, visibile, (v. § 18 – La dispersione della luce) dipendono dalle lunghezze d'onda. Esse sono comprese tra i 700 nm per il rosso ed i 400 nm per il violetto. (nm = nanometro = 10^{-9} m).

Alle lunghezze d'onda corrispondono le frequenze, ricavate con la formula $f = c / \lambda$, che sono comprese tra $4,28 \cdot 10^{14}$ Hz per il rosso e $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz per il violetto.

Queste frequenze sono enormemente più grandi di quelle acustiche percepibili dall'orecchio umano, che sono comprese tra 16 e 12 000 Hz.

§ 30 Le onde elettromagnetiche

Mentre nel caso delle onde sonore, che non si propagano nel vuoto, ciò che oscilla è la pressione dell'aria o di un mezzo materiale, nel caso delle onde luminose, che si propagano anche nel vuoto, non può essere l'aria il mezzo per la propagazione delle onde.

Deve necessariamente essere qualcosa che esiste anche nello spazio vuoto.

Come si vedrà nel capitolo "Elettricità e magnetismo", nel vuoto sono presenti il campo elettrico ed il campo magnetico, la cui oscillazione produce le onde elettromagnetiche. La luce è appunto un'onda elettromagnetica, che si propaga meglio nel vuoto che nell'aria.

§ 31 I colori degli oggetti

Un oggetto, illuminato dalla luce solare, appare di un certo colore per il fatto che l'oggetto stesso assorbe tutti i colori di cui la luce è composta, tranne il colore che esso diffonde e che rimanda ai nostri occhi. Perciò un oggetto appare bianco se diffonde tutti i colori dello spettro, nero se li assorbe tutti.

Per questo il colore non è una proprietà fisica di un oggetto, in quanto esso dipende dalla luce che lo illumina. Ad es. un oggetto, che alla luce solare appare verde, illuminato da una luce rossa apparirebbe rosso. Ovviamente ciò non vale per il nero, che in ogni caso apparirebbe nero.

§ 32 L'emissione e l'assorbimento dei colori

Lo spettro descritto nel § 18 è lo spettro della luce solare. Ogni sorgente luminosa emette un proprio spettro, che si ottiene, selezionando un fascio di luce, irradiato dalla sorgente in esame, facendolo passare attraverso una fenditura e quindi attraverso un prisma, che lo suddivide nelle sue componenti spettrali.

I corpi solidi ed alcuni liquidi, portati all'incandescenza, emettono uno spettro continuo, come quello della luce solare.

Le sostanze gassose, fortemente riscaldate o attraversate da una corrente elettrica, emettono uno spettro di righe, costituito da una serie di righe brillanti, separate, di diverso colore, variabili, ovviamente, dal rosso al violetto. Una sostanza gassosa emette quindi soltanto alcune lunghezze d'onda.

I gas monoatomici emettono spettri di righe caratteristici dell'elemento chimico di cui il gas è costituito. Ad es. il vapore di sodio (Na), riscaldato, emette due caratteristiche righe gialle.

Un po' di sale da cucina (Na Cl), messo su una fiamma, emette tra le altre, le due caratteristiche righe gialle del sodio.

Analizzando lo spettro di una sostanza sconosciuta, si può determinarne la composizione chimica mediante questo metodo, che si chiama analisi spettrale.

Una sostanza che emette certe radiazioni è anche capace di assorbirle. Ad esempio, facendo passare la luce solare attraverso una fiamma al sodio, lo spettro che si ottiene è quello della luce solare, nel quale, però, nella zona del giallo, sono presenti due righe nere, che occupano il posto delle due righe gialle del sodio.

Osservando attentamente lo spettro solare si nota che esso in realtà non è continuo, ma è solcato da una miriade di righe scure, dovute all'assorbimento da parte delle sostanze presenti nell'atmosfera che ci circonda.

L'astrofisica, analizzando gli spettri di emissione dei corpi celesti, è in grado di dare informazioni sulla loro composizione. Sappiamo in questo modo che le stelle sono costituite dagli stessi elementi che sono presenti sulla Terra.

INDICE DI "ONDE"

LE ONDE ELASTICHE E IL SUONO

| | | | |
|------|-----------------------------------------|------|---|
| § 1 | <i>La propagazione delle onde</i> | pag. | 1 |
| § 2 | <i>Onde trasversali e longitudinali</i> | | 1 |
| § 3 | <i>Le onde periodiche</i> | | 1 |
| § 4 | <i>Le onde stazionarie</i> | | 2 |
| § 5 | <i>Il suono</i> | | 2 |
| § 6 | <i>La velocità del suono</i> | | 2 |
| § 7 | <i>I limiti di udibilità</i> | | 2 |
| § 8 | <i>I caratteri distintivi del suono</i> | | 3 |
| § 9 | <i>La riflessione del suono - L'eco</i> | | 3 |
| § 10 | <i>L'effetto Doppler</i> | | 3 |

LA LUCE

| | | | |
|------|----------------------------------------------------------------|------|----|
| § 11 | <i>Le sorgenti della luce</i> | pag. | 5 |
| § 12 | <i>La propagazione della luce</i> | | 5 |
| § 13 | <i>La camera oscura</i> | | 6 |
| § 14 | <i>La velocità della luce</i> | | 6 |
| § 15 | <i>Il flusso raggiante e l'irradiazione</i> | | 6 |
| | - <i>Le grandezze fotometriche</i> | | 7 |
| § 16 | <i>La riflessione e la rifrazione</i> | | 7 |
| § 17 | <i>La riflessione</i> | | 7 |
| | - <i>Le leggi della riflessione</i> | | 7 |
| | - <i>Gli specchi piani</i> | | 7 |
| | - <i>Gli specchi curvi</i> | | 8 |
| | - <i>Gli specchi parabolici</i> | | 8 |
| | - <i>Gli specchi sferici</i> | | 8 |
| | - <i>La legge dei punti coniugati per uno specchio sferico</i> | | 9 |
| | - <i>Ingrandimento lineare</i> | | 9 |
| § 18 | <i>La rifrazione</i> | | 9 |
| | - <i>Le leggi della rifrazione</i> | | 9 |
| | - <i>L'espressione goniometrica della legge di Snell</i> | | 10 |
| | - <i>Gli indici di rifrazione, relativo e assoluto</i> | | 10 |
| | - <i>La riflessione totale</i> | | 10 |
| | - <i>Il prisma</i> | | 11 |
| | - <i>Le fibre ottiche</i> | | 11 |
| | - <i>La dispersione della luce</i> | | 11 |

LE LENTI, L'OCCHIO E GLI STRUMENTI OTTICI

| | | | |
|------|-----------------------------------------------------------------|------|----|
| § 19 | <i>Le lenti sferiche</i> | pag. | 12 |
| § 20 | <i>Le lenti sferiche convergenti</i> | | 12 |
| § 21 | <i>Le lenti sferiche divergenti</i> | | 13 |
| § 22 | <i>La macchina fotografica tradizionale ed il cinematografo</i> | | 14 |
| § 23 | <i>L'occhio</i> | | 15 |
| | - <i>Presbiopia, miopia e ipermetropia</i> | | 15 |
| § 24 | <i>Il microscopio ed il cannocchiale</i> | | 15 |
| § 25 | <i>L'ingrandimento angolare</i> | | 16 |

L'OTTICA ONDULATORIA

| | | | |
|------|---------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|
| § 26 | <i>Il modello corpuscolare ed il modello ondulatorio della luce</i> | <i>pag.</i> | <i>17</i> |
| § 27 | <i>La diffrazione</i> | | <i>18</i> |
| § 28 | <i>L'interferenza</i> | | <i>19</i> |
| | <i>- La determinazione della lunghezza d'onda della luce</i> | | <i>20</i> |
| § 29 | <i>I colori e la lunghezza d'onda</i> | | <i>20</i> |
| § 30 | <i>Le onde elettromagnetiche</i> | | <i>20</i> |
| § 31 | <i>I colori degli oggetti</i> | | <i>21</i> |
| § 32 | <i>L'emissione e l'assorbimento dei colori</i> | | <i>21</i> |