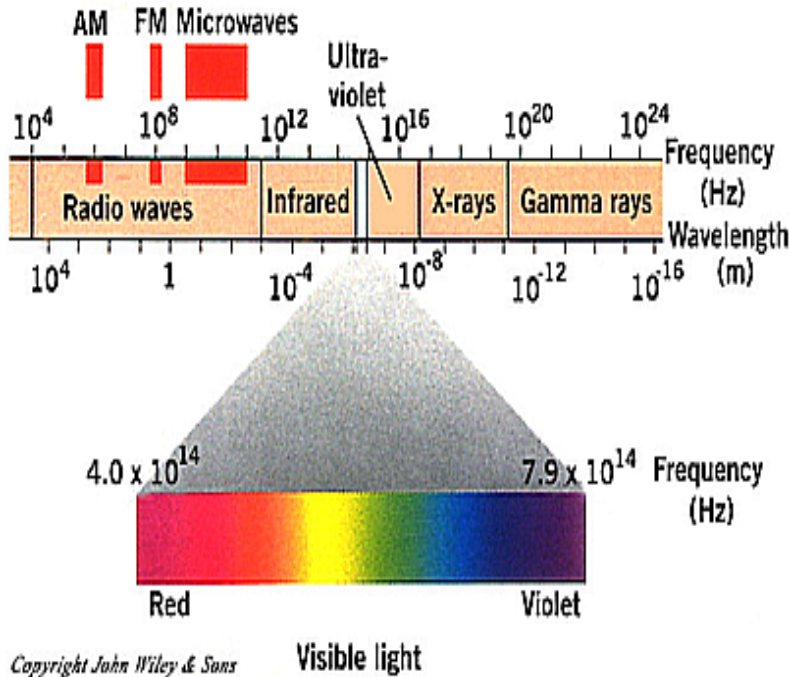


Unità didattica 9

•La radiazione visibile	2
•L'ottica.....	3
•Velocità della luce.....	4
•La riflessione.....	5
•Riflessione negli specchi piani	6
•Riflessione negli specchi curvi.....	7
•Formazione dell'immagine in uno specchio curvo.....	8
•Rifrazione della luce.....	9
•Rifrazione della luce attraverso una lastra a piani paralleli.....	10
•Immagini nel passaggio ad un altro mezzo.....	11
•La riflessione totale della luce.....	12
•Esempio di applicazione della riflessione totale.....	13
•Dispersione della luce.....	14
•Immagini attraverso lenti sottili.....	15
•Immagini attraverso lenti convergenti.....	16
•Immagini attraverso lenti divergenti.....	19
•L'occhio come esempio di sistema ottico.....	20
•Difetti visivi.....	21
•Diffrazione ed interferenza della luce.....	22
•Polarizzazione della luce.....	23

La radiazione visibile



L'occhio umano è sensibile solo ad una parte dello spettro elettromagnetico.

E' detta radiazione visibile, o più comunemente luce, quella parte dello spettro con frequenza compresa tra i 4.0×10^{14} Hz e i 7.9×10^{14} Hz.

In questo intervallo l'occhio umano associa ad ogni frequenza un determinato colore.

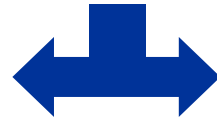
L'ottica

L'ottica è quella branca della fisica che si occupa di spiegare i fenomeni luminosi.

OTTICA GEOMETRICA

tratta tutti i fenomeni che si possono descrivere attraverso la propagazione della luce pensata come un insieme di particelle in movimento

- propagazione
- riflessione
- rifrazione



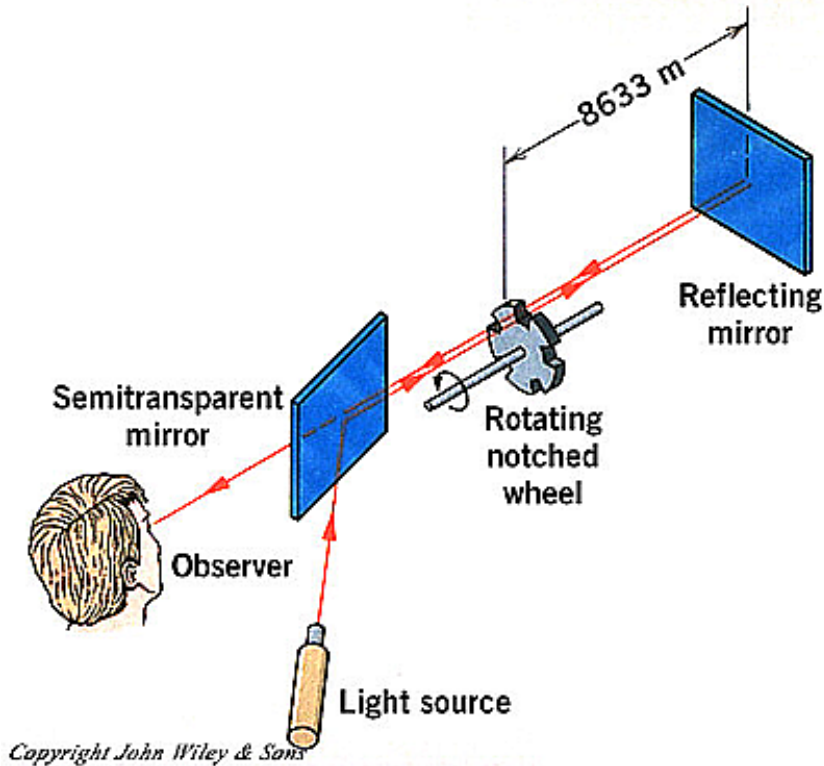
OTTICA ONDULATORIA

tratta tutte le proprietà ondulatorie della luce, che non possono essere spiegate attraverso il moto di particelle:

- diffusione
- diffrazione
- interferenza

Velocità della luce

In un mezzo omogeneo la luce si propaga in linea retta alla velocità $c = 2997924,58$ m/s.



Fizeau riuscì a misurarla esattamente con il dispositivo mostrato in figura.

La luce proveniente da una sorgente attraversa un diaframma aperto periodicamente: in questo modo si crea un breve segnale luminoso. Quando raggiunge lo specchio posto ad una certa distanza viene riflesso e deve passare di nuovo attraverso il diaframma. Si regola la frequenza di rotazione del diaframma in modo che il fascio riflesso passi attraverso l'apertura successiva del diaframma. Il tempo che intercorre tra le due aperture del diaframma è il tempo di percorrenze della luce.

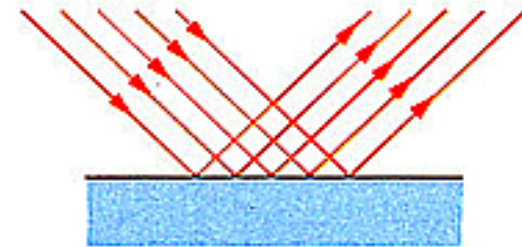
La riflessione

Quando un raggio raggiunge una superficie perfettamente piana, la riflessione avviene secondo la legge

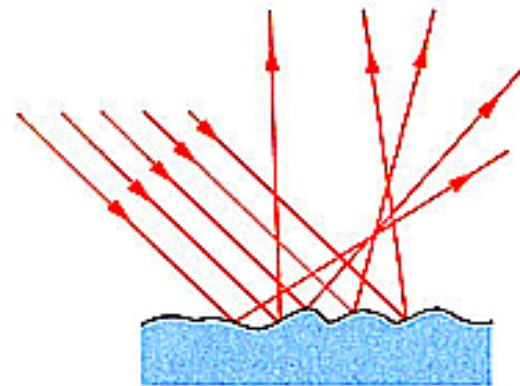
$$\mathcal{G}_i = \mathcal{G}_r$$

Questo tipo di riflessione viene detta riflessione regolare: fascio incidente, riflesso e normale giacciono su un unico piano.

Se la superficie su cui avviene la riflessione è irregolare, la riflessione può avvenire in tutte le direzioni, a seconda dell'orientamento della superficie in ogni singolo punto, ed è detta diffusa.



(a) Riflessione regolare



(b) Riflessione diffusa

Copyright John Wiley & Sons

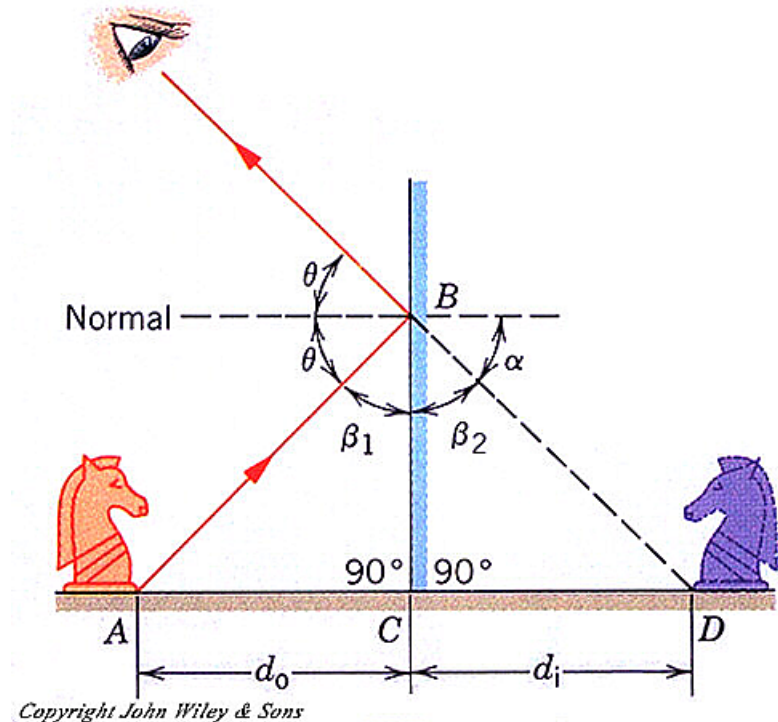
Riflessione negli specchi piani

In uno specchio piano le immagini si formano al di là dello specchio, ad una distanza uguale a quella, reale, degli oggetti stessi con la sua superficie.

Un oggetto può essere considerato come un insieme di punti dai quali si diffondono raggi in tutte le direzioni.

Considero il raggio che, partendo da A , incide sullo specchio nel punto B . Il raggio riflesso sembra provenire da D , posto al di là dello specchio, poiché $\theta = \alpha$ ed i triangoli ABC ed DBC sono uguali.

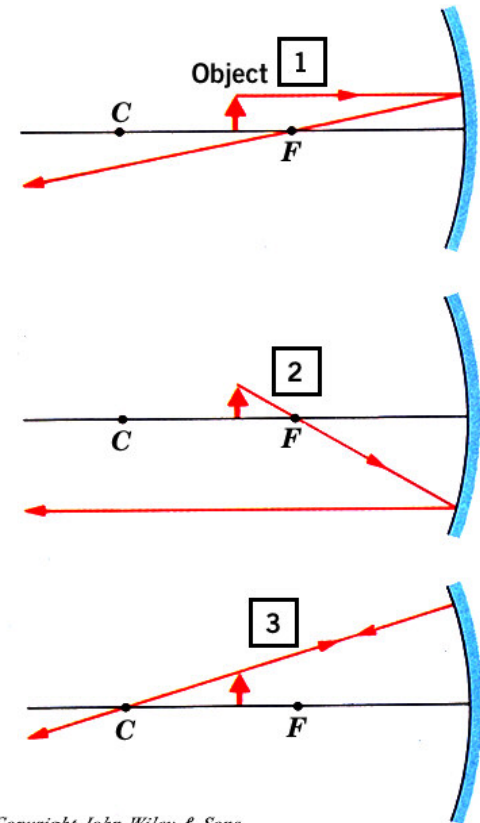
Questo ragionamento è ripetibile per ogni punto dell'oggetto, per cui si genererà in al di là dello specchio l'immagine virtuale dell'oggetto.



Riflessione negli specchi curvi

Per la riflessione nello specchio concavo si possono formulare le seguenti leggi per i tre raggi principali:

1. I raggi paralleli all'asse vengono riflessi in modo da passare per il fuoco. (il fuoco F è il punto, posizionato sull'asse, che si trova a metà strada tra lo specchio ed il centro di curvatura C).
2. I raggi focali (che passano attraverso il fuoco) vengono riflessi in modo da risultare paralleli all'asse ottico.
3. I raggi centrali (che passano per il centro di curvatura) si riflettono su sé stessi.



Copyright John Wiley & Sons

Formazione dell'immagine in uno specchio curvo

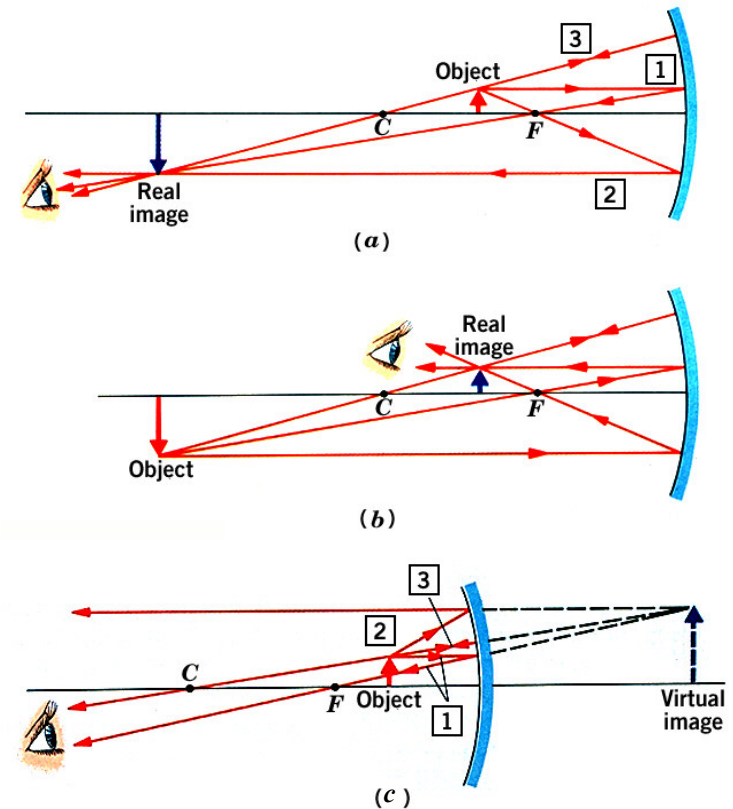
La costruzione delle immagini può avvenire con i raggi principali. Per le distanze dell'oggetto g e dell'immagine b dallo specchio vale l'equazione dello specchio concavo:

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

(f = distanza focale)

Si distinguono così tre casi:

1. Oggetti posti tra una e due distanze focali producono immagini reali rovesciate ed ingrandite oltre due volte la distanza focale.
2. Oggetti al di fuori della doppia distanza focale producono immagini reali, rovesciate e ridotte.
3. Se l'oggetto si trova entro una distanza focale i fasci riflessi sono divergenti e non si forma alcuna immagine reale. Essi sembrano invece provenire da un punto dietro lo specchio, per cui si ha la formazione di un'immagine virtuale.



Copyright John Wiley & Sons

Rifrazione della luce

Per ogni onda il passaggio dal mezzo 1 al mezzo 2 avviene secondo la legge di rifrazione:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

La velocità massima della luce si ha nel vuoto, mentre in tutti gli altri materiali è minore. Ogni materiale viene caratterizzato con il suo indice di rifrazione rispetto al vuoto, definito da:

$$n = \frac{c_1}{c_2}$$

L'aria ha un indice di rifrazione vicino ad 1.

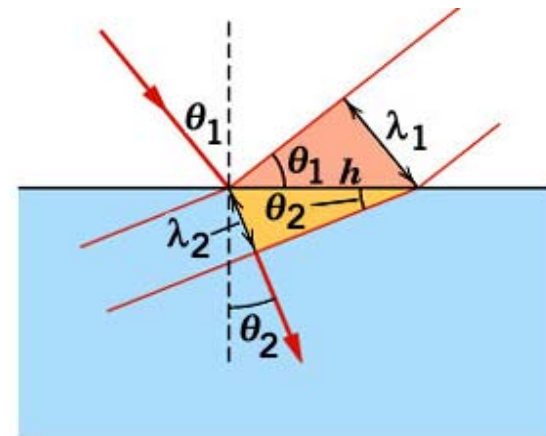
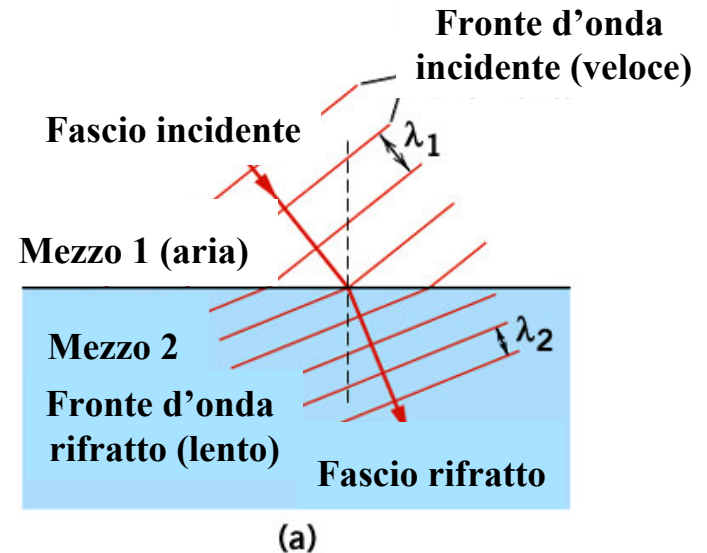
Esempio: passaggio da aria ad acqua.

L'indice di rifrazione dell'acqua è 1.33. Quindi la velocità della luce nell'acqua sarà:

$$c_{\text{acqua}} = c_{\text{vuoto}}/1.33 = 3 \times 10^8 / 1.33 = 2.25 \times 10^8 \text{ m/s}$$

per un fascio di luce verde ($\lambda = 550 \text{ nm}$) la lunghezza d'onda nell'acqua sarà

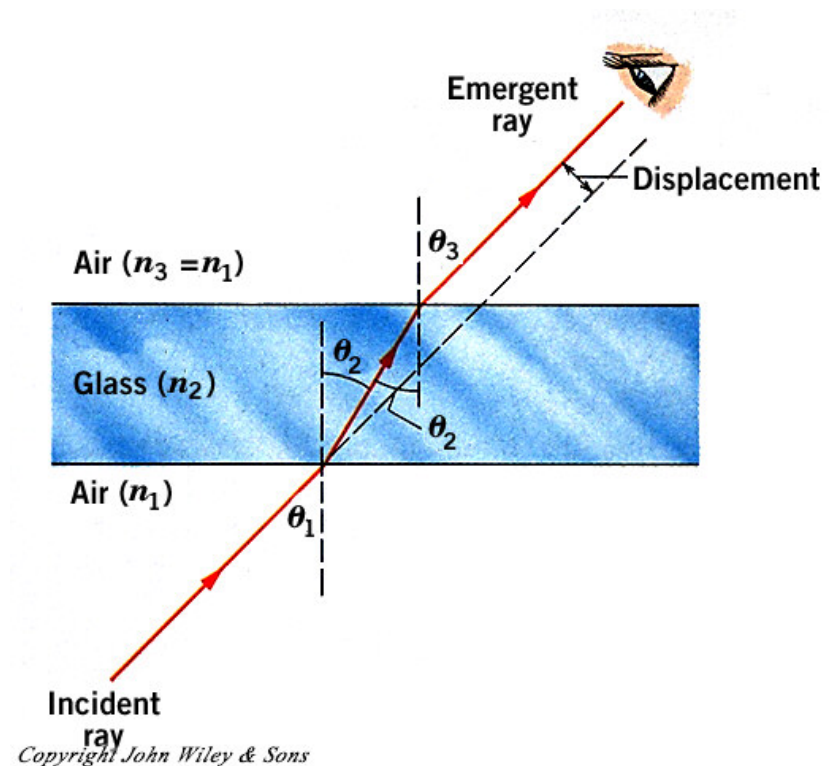
$$\lambda_{\text{acqua}} = \lambda_{\text{vuoto}}/1.33 = 412.5 \text{ nm}$$



Rifrazione della luce attraverso una lastra a piani paralleli

Applicando due volte la legge di rifrazione si dimostra facilmente che se la luce attraversa una lastra a piani paralleli si verifica solamente uno spostamento del raggio parallelamente a se stesso.

Se il raggio incide perpendicolarmente alla superficie della lastra, non avviene spostamento parallelo.

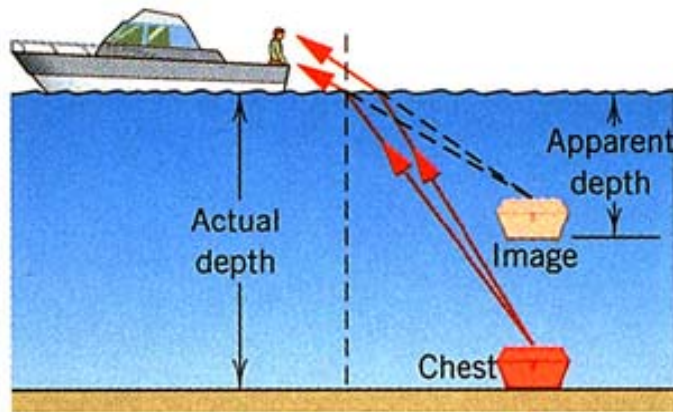


Immagini nel passaggio ad un altro mezzo

Con la rifrazione della luce nel passaggio in un altro mezzo, gli oggetti vengono visti sotto angoli diversi ed in posizione diversa. Le immagini viste sono virtuali.

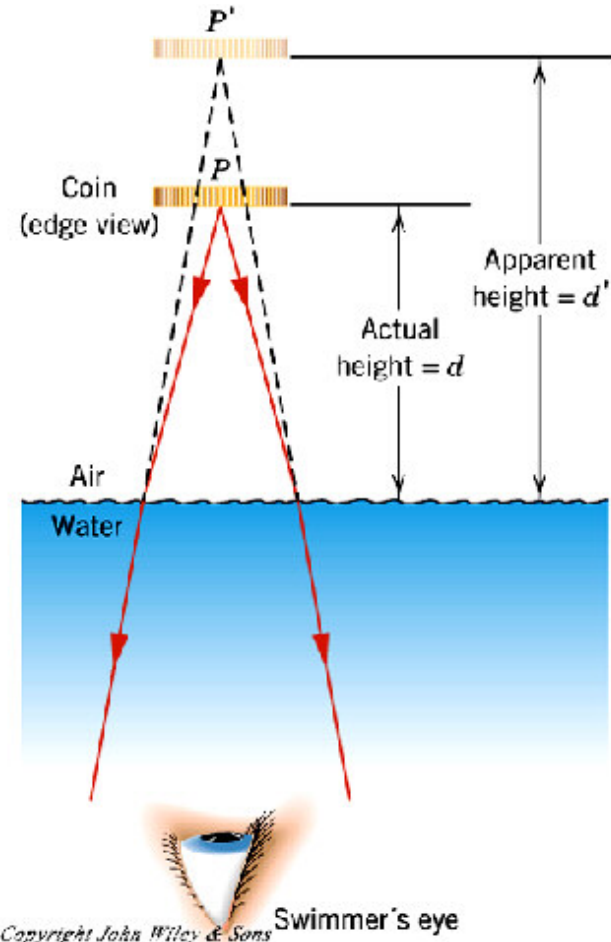
Così un oggetto posto sul fondo di un fiume sembrerà ad un osservatore posto in una barca ad una profondità minore di quella reale.

Viceversa ad un osservatore immerso nell'acqua gli oggetti al di fuori della superficie appariranno più lontani di quanto lo siano in realtà.



(a)

Copyright John Wiley & Sons



Copyright John Wiley & Sons

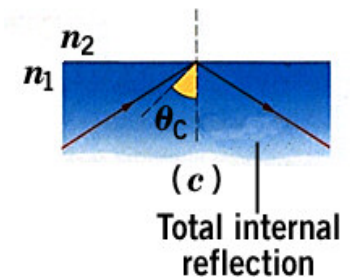
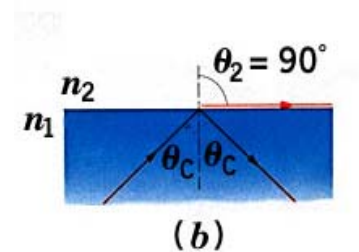
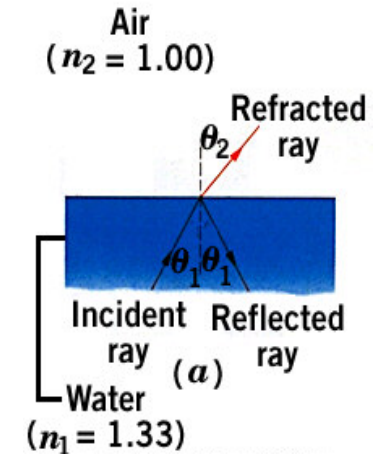
La riflessione totale della luce

Nel passaggio da un mezzo più denso ad uno meno denso l'angolo di rifrazione risulta essere più grande di quello di incidenza (figura a).

Se l'incidenza è molto inclinata, allora l'angolo di rifrazione è molto grande. Il più grande angolo di rifrazione possibile è $\theta_2 = 90^\circ$, detto angolo limite (figura b).

Nel passaggio da acqua ad aria, ad esempio, questa condizione corrisponde ad un angolo di incidenza di 48.6° .

Per angoli di incidenza maggiore la rifrazione non si verifica più e si ha solo il fenomeno della riflessione. Poiché l'energia della luce deve conservarsi, l'intensità del fascio viene completamente riflessa dalla superficie limite. Tale fenomeno è chiamato **riflessione totale** (figura c).

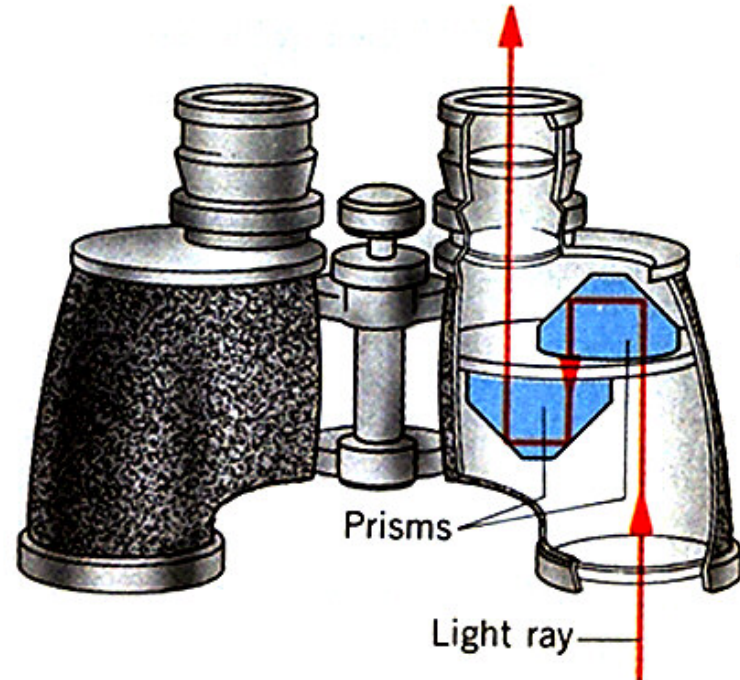


Copyright John Wiley & Sons

Esempio di applicazione della riflessione totale

Poiché il vetro, a seconda del tipo, ha un indice di rifrazione che varia tra 1.5 e 1.8, l'angolo limite assume valori compresi tra 41.8° e 33.8° .

Quindi la riflessione totale si verifica sempre con un angolo di incidenza di 45° . Ciò viene sfruttato per la realizzazione dei prismi a riflessione totale, che, inseriti all'interno dei cannocchiali, convogliano la luce nella giusta direzione.



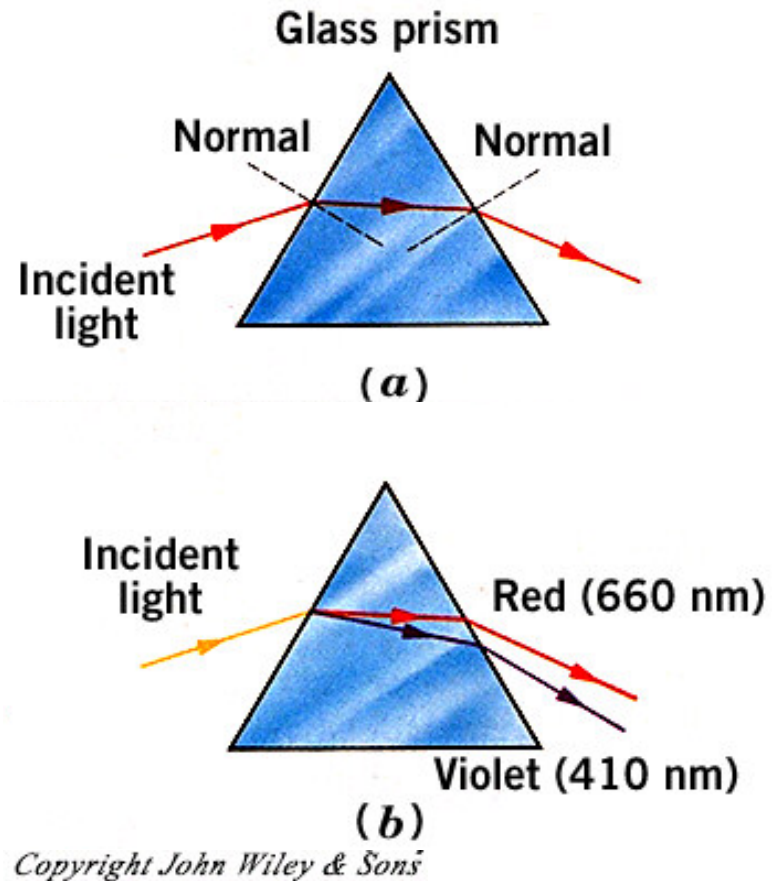
Copyright John Wiley & Sons

Dispersione della luce

Se si invia un sottile fascio parallelo di luce monocromatica attraverso un prisma, esso subisce una doppia rifrazione e viene deviato dalla sua direzione originale (fig. a).

Se il fascio è di luce bianca, in uscita, invece della luce bianca, si osserva un vasto spettro di colori che va dal rosso (deviazione minima) al violetto (deviazione massima).

Ciò segue direttamente dalla legge di rifrazione, per la quale i fasci a lunghezza d'onda maggiore hanno angoli di rifrazione maggiore.



Immagini attraverso lenti sottili

Le lenti più elementari sono lenti sferiche. Sono costituite da materiale trasparente ad indice di rifrazione maggiore di quello dell'ambiente e sono limitate da superfici a calotta sferica.

A seconda della posizione delle due superfici si suddividono in **lenti convesse** (convergenti) e **lenti concave** (divergenti).

Se con g e b definiamo rispettivamente le distanze dal centro della lente del punto oggetto e del punto immagine si può dimostrare, per lenti sottili, che vale la **legge dei punti coniugati**

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

con f = distanza focale.

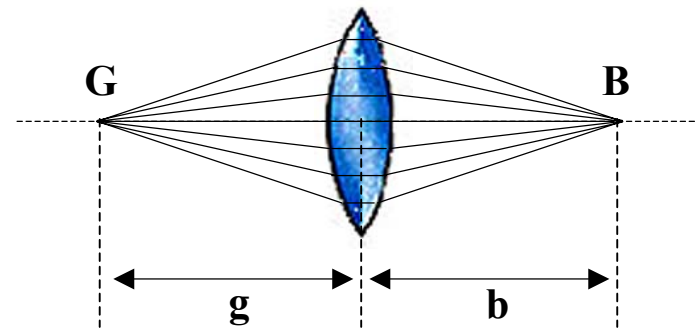
Nella lente la distanza focale dipende dai raggi di curvatura e dall'indice di rifrazione del materiale.



convessa
(convergente)



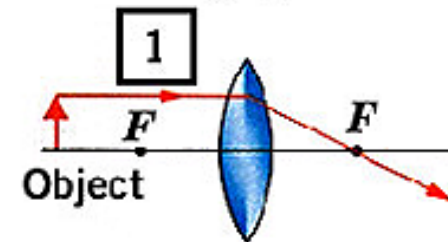
concava
(divergente)



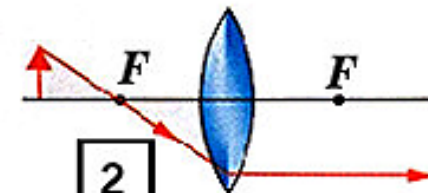
Immagini attraverso lenti convergenti (1)

Dall'equazione dei punti coniugati risulta, in maniera analoga allo specchio concavo, che

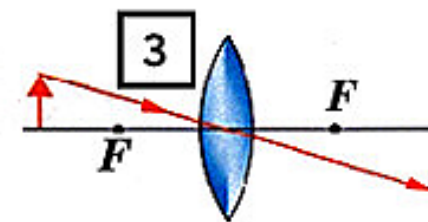
1. I raggi paralleli all'asse vengono riflessi in modo da passare per il fuoco che si trova dall'altra parte della lente.
2. I raggi focali (che passano attraverso il fuoco) diventano paralleli dopo la rifrazione.
3. I raggi centrali attraversano la parte centrale della lente, che può essere considerata una lastra a facce parallele; quindi essi vengono spostati parallelamente. Se consideriamo una lente sottile, allora lo spostamento può essere trascurato.



(a)



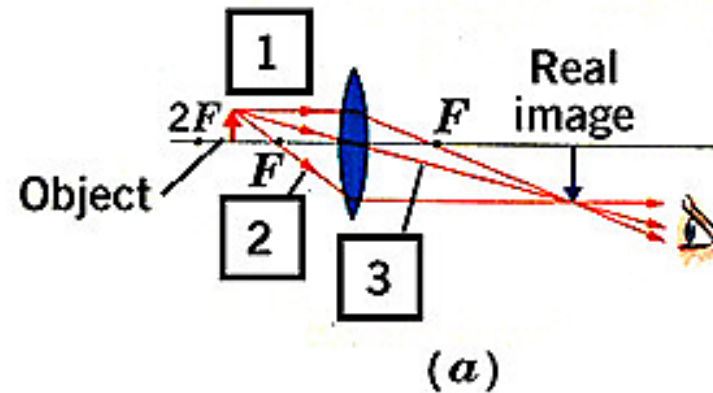
(c)



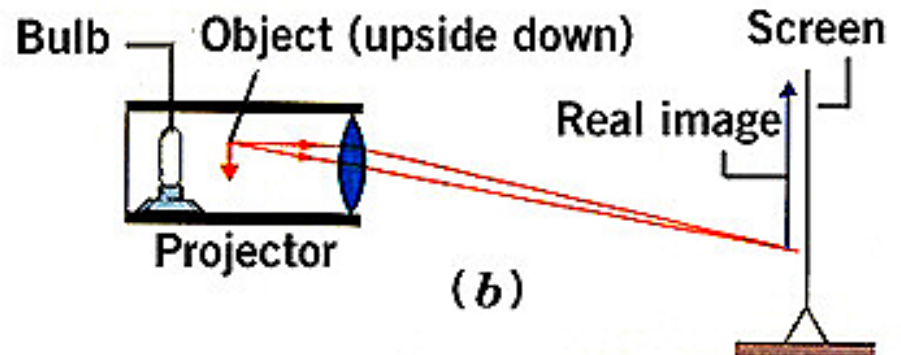
Copyright John Wiley & Sons

Immagini attraverso lenti convergenti (2)

Ragionando con i tre fasci principali si dimostra che ogni oggetto che si trova ad una distanza compresa tra f e $2f$ dalla lente produce un'immagine reale, ingrandita e capovolta, dall'altra parte della lente.



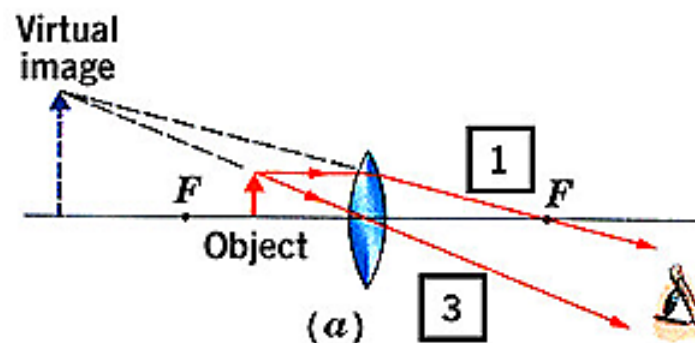
Questo fenomeno viene sfruttato nei proiettori di immagine (fotografici o cinematografici) dove la pellicola è inserita capovolta, in modo da ottenere immagini non rovesciate sullo schermo.



Copyright John Wiley & Sons

Immagini attraverso lenti convergenti (3)

Se invece l'oggetto si trova ad una distanza minore di f dalla lente i fasci rifratti divergono. Un osservatore posto dopo la lente osserva un'immagine virtuale ed ingrandita posizionata ad una distanza maggiore di f , dalla stessa parte dell'oggetto reale.



Questo fenomeno viene sfruttato nelle lenti d'ingrandimento.

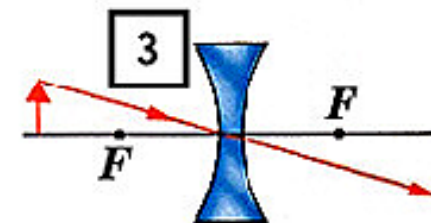
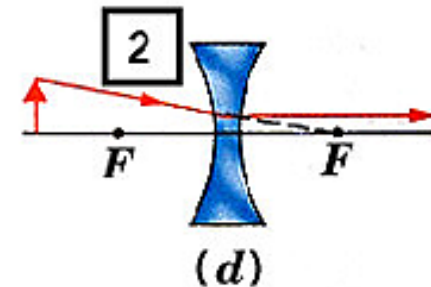
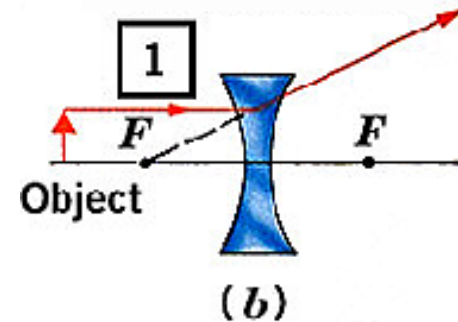


Copyright John Wiley & Sons

Immagini attraverso lenti divergenti

Dall'equazione dei punti coniugati risulta, in maniera analoga allo specchio concavo, che

1. I raggi paralleli all'asse vengono riflessi in modo da lasciare la lente in maniera divergente, provenendo apparentemente dal fuoco posto prima di essa.
2. I raggi che incidono nella lente e che dovrebbero incontrarsi nel fuoco posto dopo di essa diventano paralleli dopo la rifrazione.
3. I raggi centrali attraversano la lente senza subire variazioni (sempre nell'ipotesi di lenti sottili).

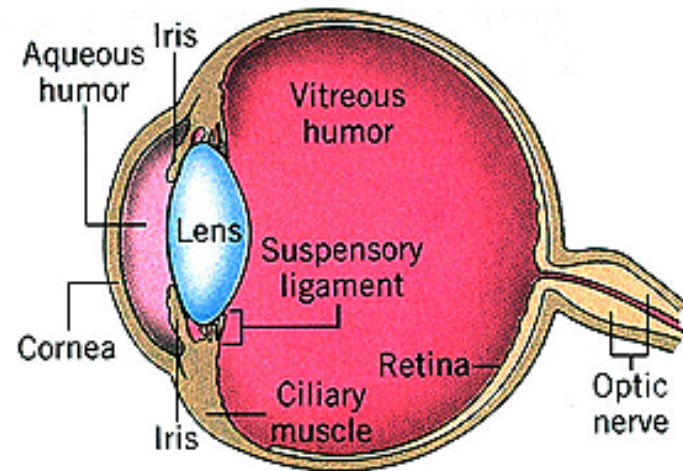


L'occhio come esempio di sistema ottico

In figura è illustrata schematicamente la sezione di un occhio. Dietro la **cornea** si trova una camera piena di **umore acqueo** e più indietro ancora il **cristallino** (o lente), il cui spessore è regolato dai muscoli ciliari. Davanti a questo è posta l'**iride** (un diaframma dal diametro regolabile). nello spazio compreso tra il cristallino e la **retina fotosensibile** si trova il **corpo vitreo**.

Qui abbiamo a che fare con una combinazione di diversi sistemi rifrangenti: la rifrazione avviene nelle superfici limite aria-cornea, cornea-umore acqueo, umore acqueo-cristallino, e cristallino-corpo vitreo.

La rifrazione principale ha luogo nella cornea, poiché qui sussiste la maggiore differenza di indice di rifrazione. Con questo sistema multirifrangente, alla fine nella retina si forma una immagine reale, capovolta e ridotta dell'oggetto visto.

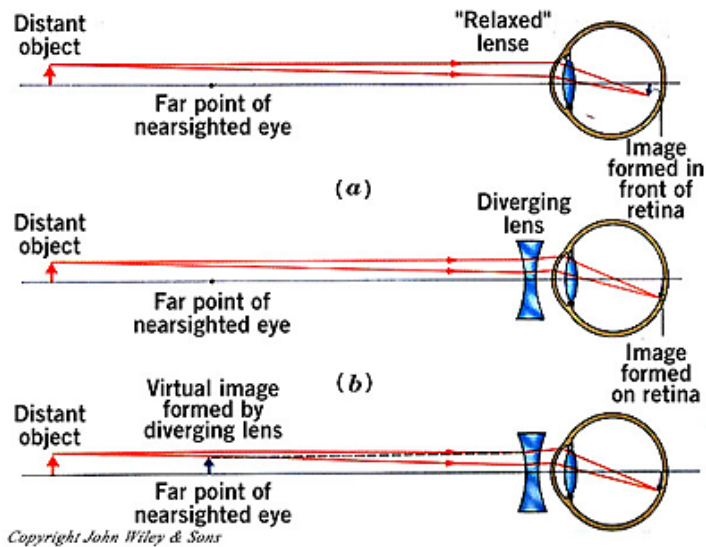


Copyright John Wiley & Sons

Difetti visivi

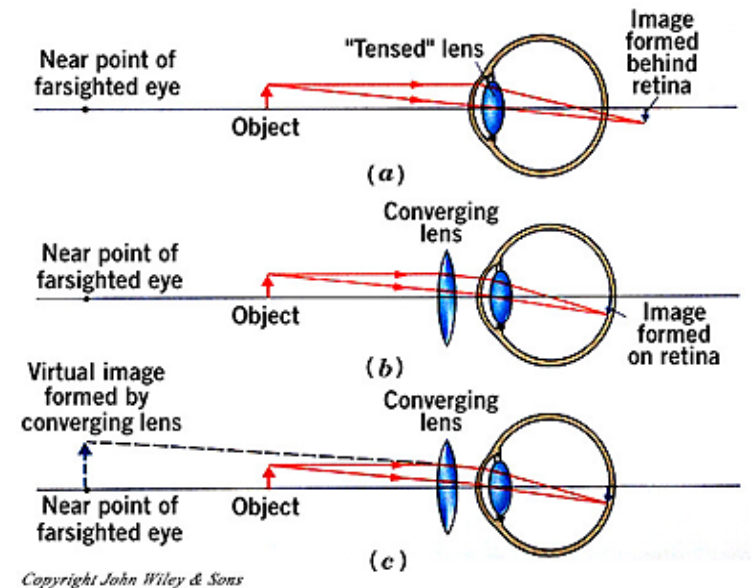
Nella **miopia** non è possibile osservare nitidamente oggetti lontani, poiché il potere rifrangente dell'occhio è troppo elevato e l'immagine si forma davanti alla retina, anziché sopra di essa.

Il difetto può essere corretto utilizzando lenti divergenti, che permettono all'occhio di focalizzare le immagini sulla retina.



Nella **presbiopia**, il potere rifrangente dell'occhio in rapporto alla sua lunghezza è troppo piccolo.

Con occhiali a lenti convergenti tale potere viene aumentato, permettendo così di vedere immagini nitide a breve distanza.



Diffrazione ed interferenza della luce

Consideriamo un fronte d'onda piano che attraversa un piccolo foro (di dimensioni uguali o inferiori alla lunghezza d'onda della luce). La forma dell'onda viene modificata al passaggio nel foro, e il fronte d'onda diviene sferico (fig. 1). Nel caso in cui il fronte d'onda incidenti attraversi due fori (fig. 2), si generano due fronti d'onda sferici che interferiscono tra loro e, sul piano dell'immagine danno origine a interferenza costruttiva (fig. 3) o distruttiva (fig. 4) a seconda che arrivino in fase o meno. Nei punti in cui le due onde interagiscono distruttivamente sul piano immagine non si osserva alcun segnale.

Un reticolo di diffrazione è costituito da una serie di fenditure poste a distanza a , dalle precedenti osservazioni si ricava la legge di Bragg:

$$a \sin \vartheta = m \lambda$$

dove ϑ è l'angolo di incidenza della radiazione, λ la lunghezza d'onda ed m è un numero intero.

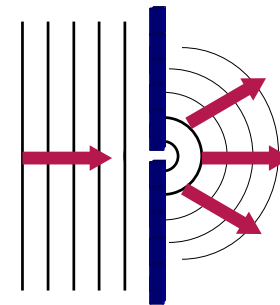


figura 1

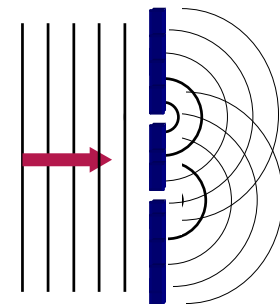


figura 2

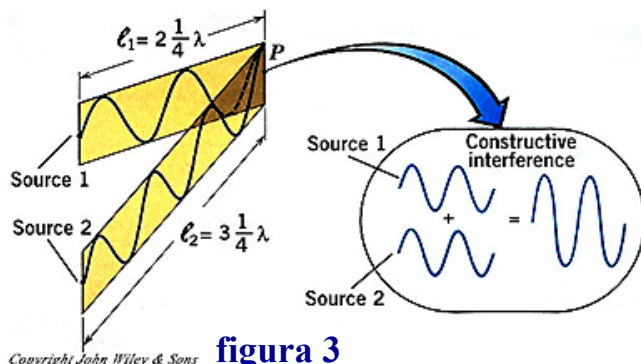


figura 3

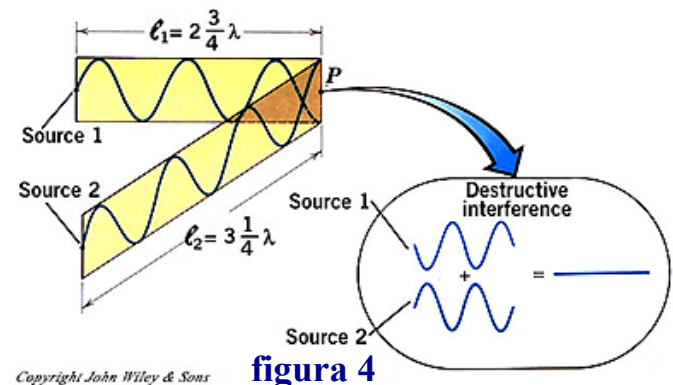


figura 4

Polarizzazione della luce (1)

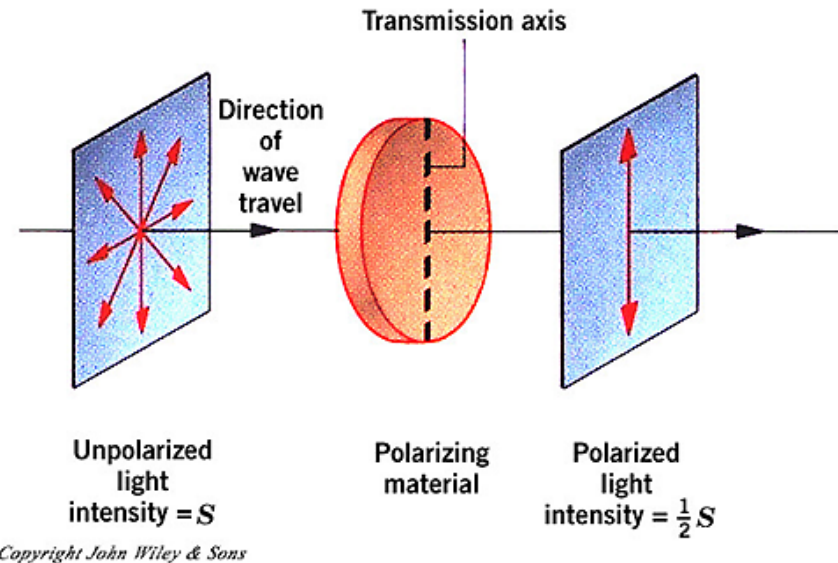
La luce, come tutta la radiazione elettromagnetica, si propaga sotto forma di onde trasversali. Ciò significa che la direzione di oscillazione è perpendicolare a quella di propagazione.

Data una direzione di propagazione, esistono quindi innumerevoli direzioni di oscillazione.

Un'onda trasversale si dice **polarizzata** quando presenta una sola direzione di oscillazione.

La luce naturale è **non polarizzata**, non esistendo una direzione privilegiata di oscillazione.

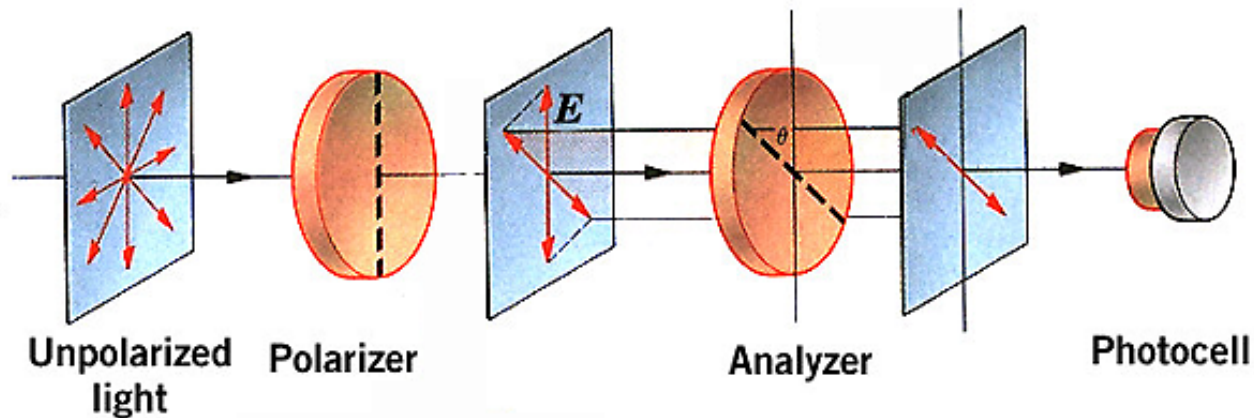
Particolari materiali, detti **polarizzatori**, sono in grado di polarizzare la luce, agendo da filtri e lasciando passare solamente la parte di radiazione che presenta una ben determinata direzione di polarizzazione.



Polarizzazione della luce (2)

Per stabilire se un'onda è polarizzata e misurarne il piano di polarizzazione si utilizza un analizzatore. Anche questo è un dispositivo che lascia passare soltanto le onde di una direzione di polarizzazione data. Si ha che:

- se il piano di polarizzazione dell'onda coincide con la direzione dell'analizzatore, allora l'onda gli passa attraverso senza diminuire di ampiezza;
- se il polarizzatore viene ruotato di 90° l'onda non riesce a passare, perché nessuna sua componente si trova nella direzione prefissata;
- se l'analizzatore è orientato in maniera diversa, riesce a passare solo quella parte dell'onda che oscilla nella direzione di passaggio del polarizzatore.



Copyright John Wiley & Sons