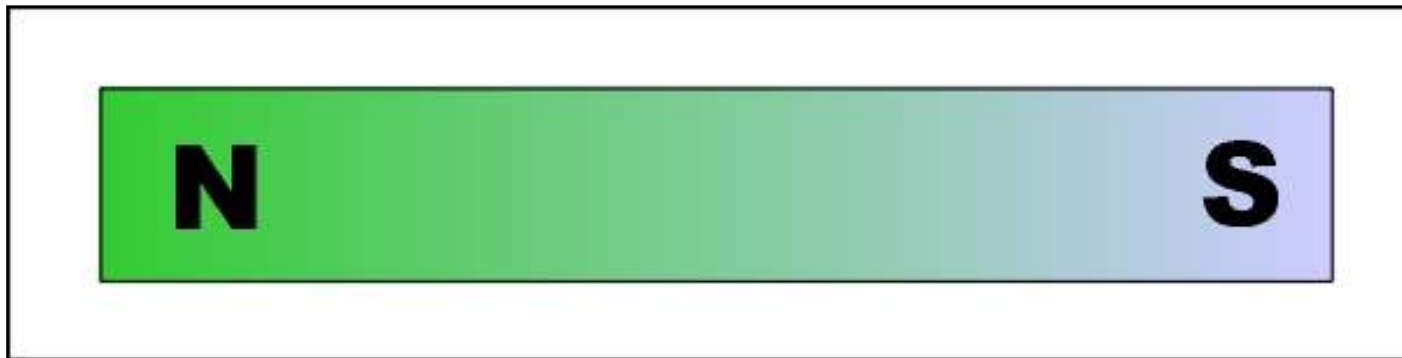


MAGNETISMO

Alcuni materiali (calamite o magneti) hanno la proprietà di attirare pezzetti di ferro.

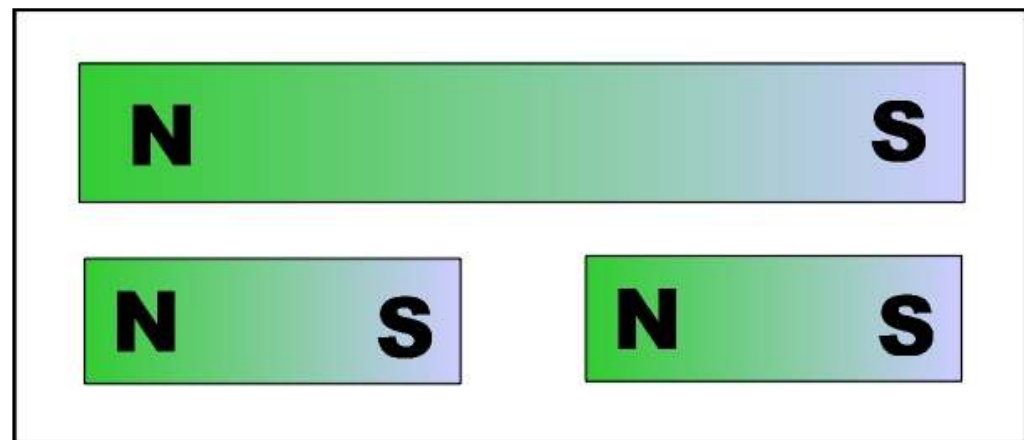
Le proprietà magnetiche si manifestano alle estremità del magnete, chiamate poli.



MAGNETISMO

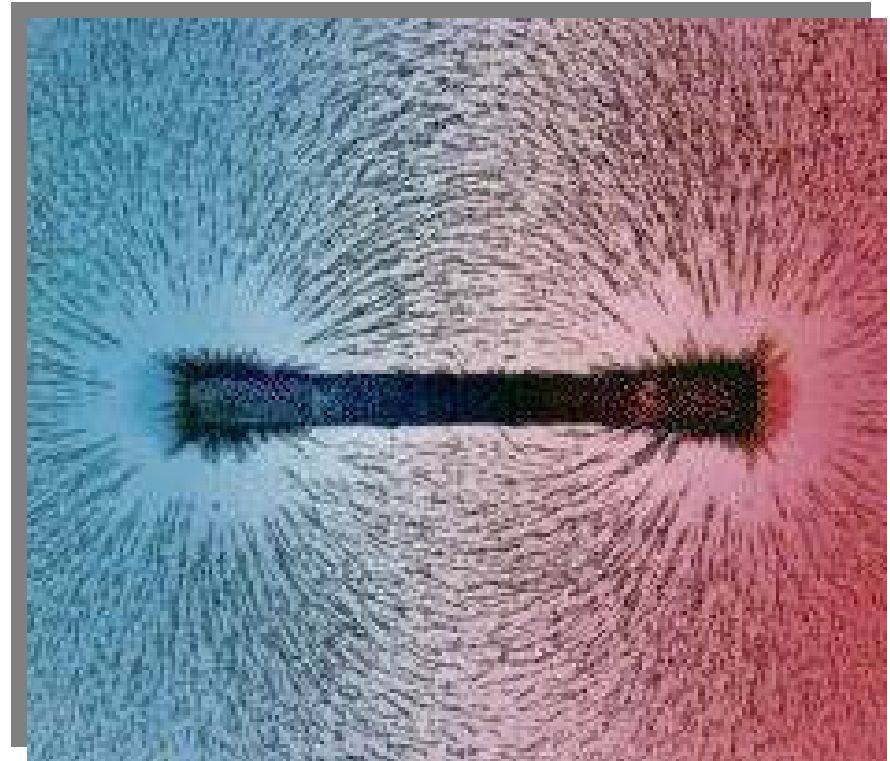
Le caratteristiche magnetiche presentano molte affinità con quelle elettriche, ma esistono anche sostanziali differenze.

Non è possibile isolare i poli magnetici.



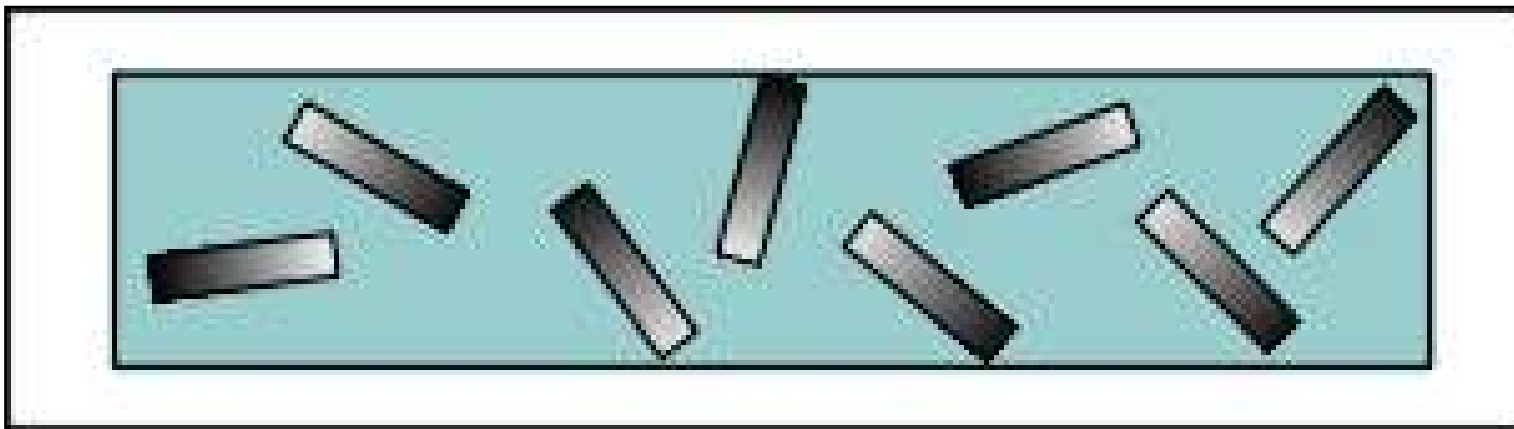
CAMPO MAGNETICO (1)

Un magnete crea nello spazio circostante un campo magnetico, così come una carica elettrica crea un campo elettrico.



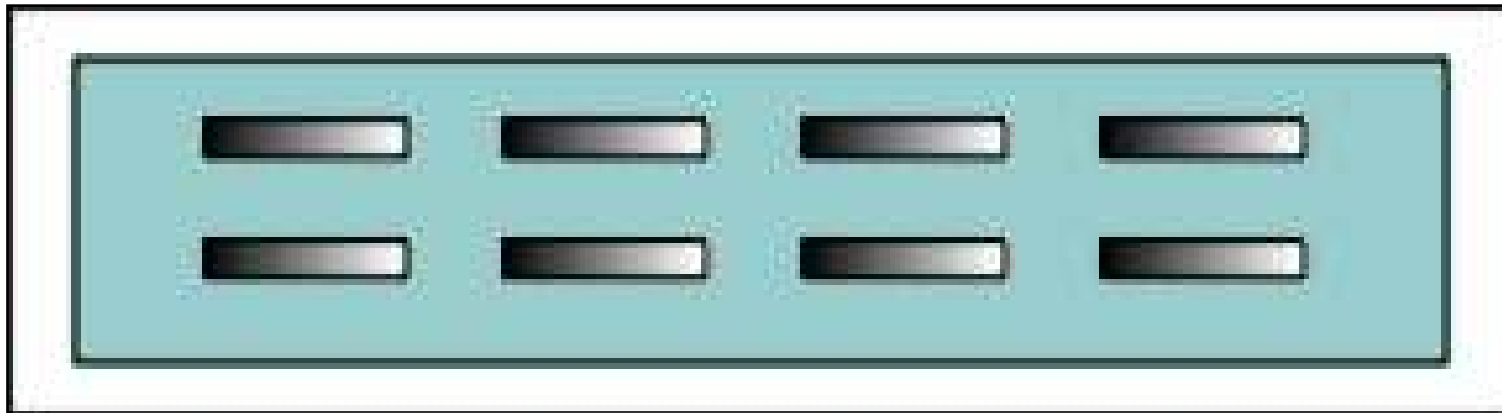
CAMPO MAGNETICO (2)

All'interno di un corpo i magneti elementari sono disposti disordinatamente per cui è nullo il campo magnetico risultante prodotto da essi.



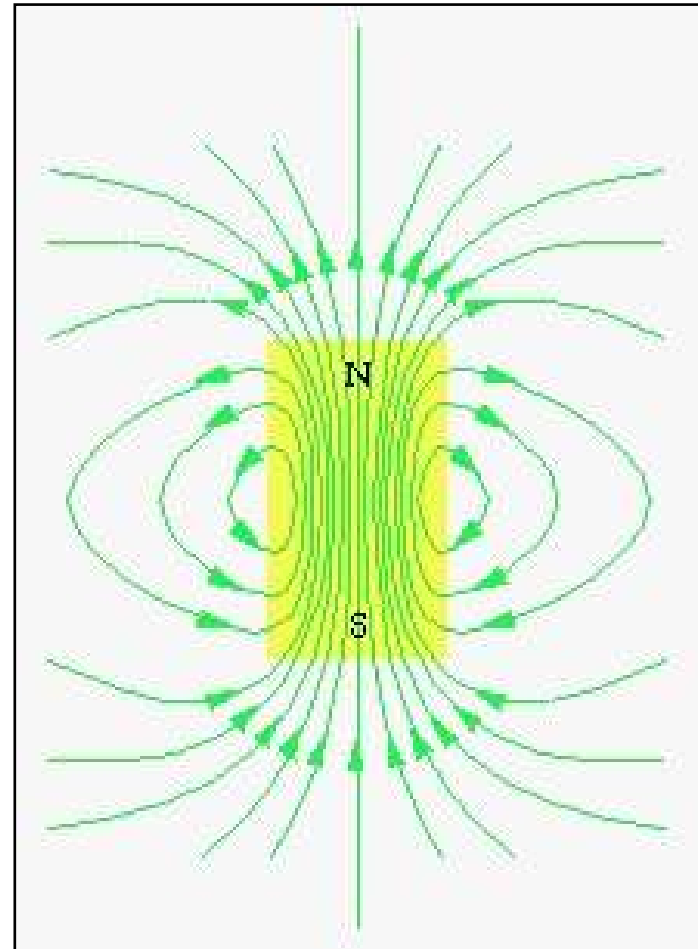
CAMPO MAGNETICO (3)

Se i magneti elementari sono anche parzialmente ordinati (temporaneamente o permanentemente), essi producono un campo magnetico risultante non nullo.



CAMPO MAGNETICO (4)

Anche il campo magnetico può essere visualizzato mediante le linee di forza, come accade per il campo elettrico.



CAMPO MAGNETICO (5)

Il campo magnetico \mathbf{B} può essere misurato dall'azione che esercita su una carica q in moto con velocità \mathbf{v} .

$$\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

$$F = qvB \sin \alpha$$

α è l'angolo che il vettore velocità forma con il vettore campo magnetico.

Legge di Lorentz

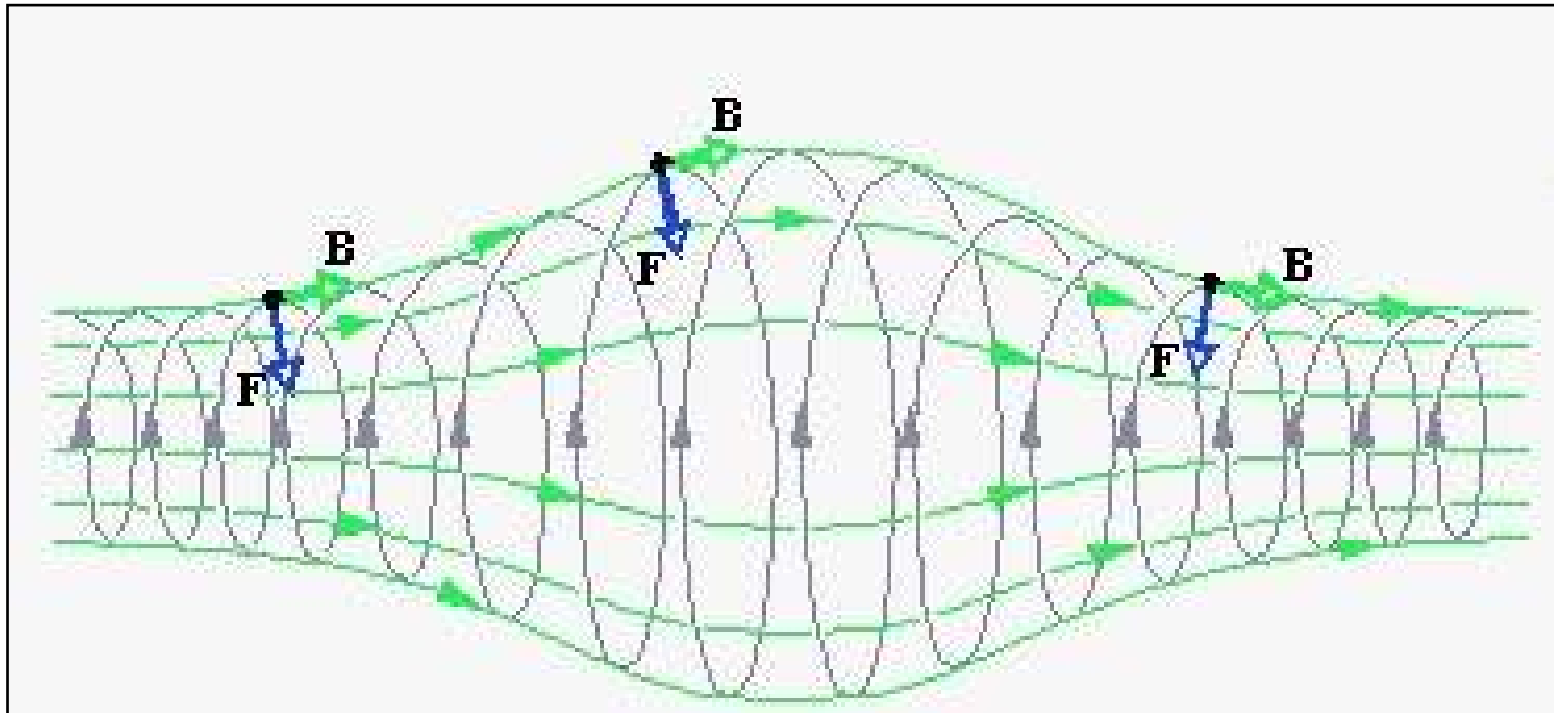
CAMPO MAGNETICO (6)

L'unità di misura del campo magnetico nel S.I. si chiama tesla (T).

Il campo magnetico di 1 T esercita la forza di 1 N sulla carica elettrica di 1 C, che si muove con velocità di 1 m/s nella direzione del campo magnetico.

CAMPO MAGNETICO (7)

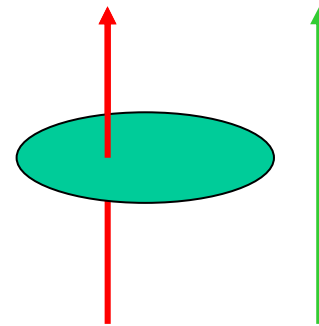
Moto di una carica elettrica in un campo magnetico.



TEOREMA DELLA CIRCUITAZIONE (1)

Il teorema della circuitazione del campo magnetico \vec{B} (detto anche *Legge di Ampère*) dice che l'integrale di linea di \vec{B} lungo una qualsiasi linea chiusa C è eguale alla somma algebrica delle correnti **concatenate** con la linea chiusa moltiplicata per la costante di permeabilità magnetica del vuoto μ_0

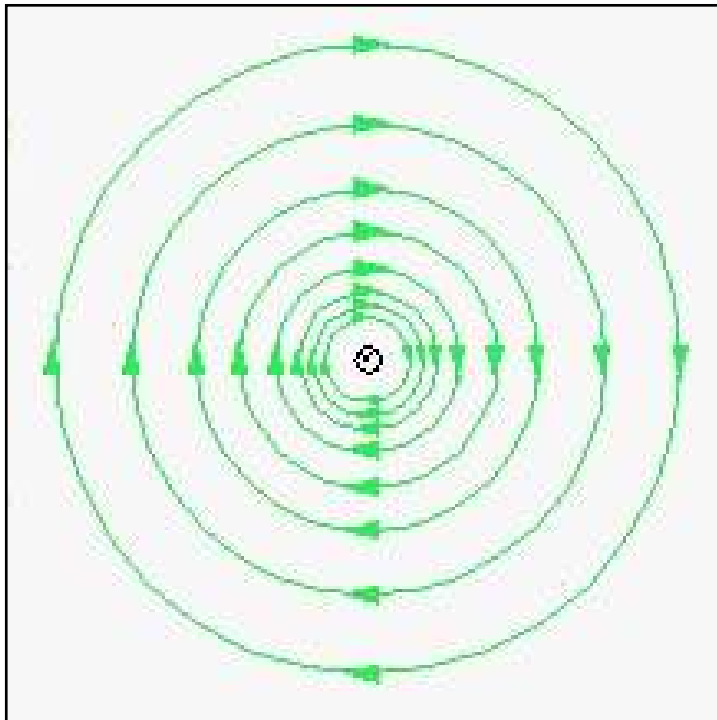
$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \sum_n i_n$$



$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}$$

TEOREMA DELLA CIRCUITAZIONE (2)

Consideriamo un filo rettilineo percorso da una corrente i . Esso genera, sperimentalmente, un campo magnetico le cui linee di forza sono dei cerchi concentrici intorno al filo (in figura il filo entra nel piano del foglio).



tangente ad esse e per ragioni di simmetria costante in modulo, quindi su di un cerchio di raggio r

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \oint_C B ds = B \oint_C ds = B 2\pi r = \mu_0 i$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \quad \text{Legge di Biot-Savart}$$

INDUZIONE ELETTROMAGNETICA (1)

Il fenomeno dell'induzione elettromagnetica è descritto dalla *legge di Faraday-Neumann*. Consideriamo una spira di superficie S ed un campo magnetico B , possiamo calcolare il flusso del campo attraverso la superficie della spira, come

$$\Phi_S(\vec{B}) = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

INDUZIONE ELETTROMAGNETICA (2)

Legge di Faraday-Neumann

$$\frac{d\Phi_S(\vec{B})}{dt} = -V_i$$

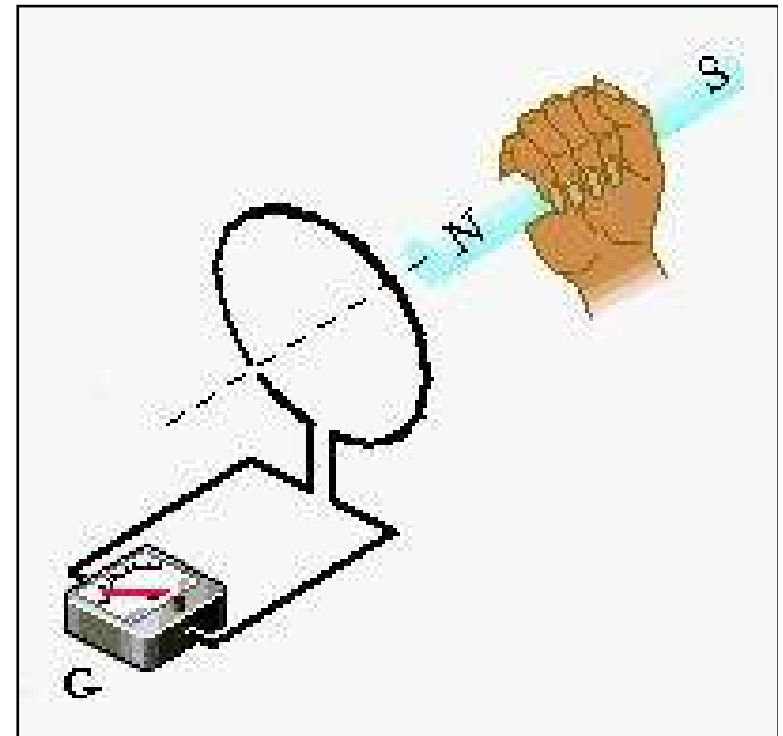
La variazione nel tempo del flusso del campo magnetico attraverso una spira produce una d.d.p indotta nella spira stessa.

È importante notare come un campo magnetico costante non dia origine al fenomeno dell'induzione. È necessario che il magnete o il circuito vengano mossi, consumando energia meccanica.

INDUZIONE ELETTROMAGNETICA (3)

Il segno meno della legge di Faraday-Neumann indica la d.d.p. produce una corrente che a sua volta produce un campo magnetico indotto tale da opporsi alla causa che lo ha prodotto.

$$\frac{d\Phi_S(\vec{B})}{dt} = -V_i$$



INDUZIONE ELETTROMAGNETICA (4)

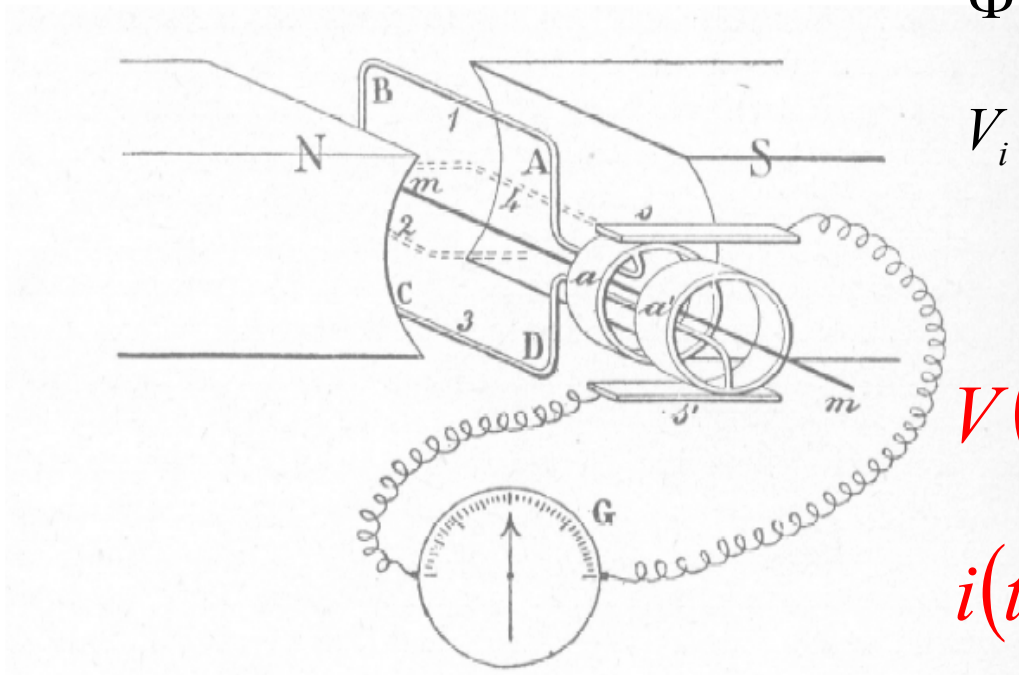
Questo fatto rispetta il *principio di conservazione dell'energia*.

Se il circuito è aperto, non si ha flusso di corrente e non si ha dissipazione di energia per effetto Joule. Per lo stesso motivo non si ha una forza di reazione alla variazione di campo magnetico ed il movimento del magnete o del circuito non compie lavoro.

Se invece si ha una circolazione di corrente nel circuito con dissipazione di energia, la variazione di campo magnetico subirà una resistenza e richiede di compiere un lavoro per attuarsi. In base a questo principio un generatore consuma tanta energia meccanica quant'è l'energia elettrica in uscita (trascurando le perdite per attrito ed effetto Joule).

Alternatore

L'alternatori sono i generatori di corrente alternata (la corrente di rete). Concettualmente si tratta di far ruotare, con velocità angolare costante ω , una spira di superficie S all'interno di un campo magnetico costante B .



$$\Phi_S(\vec{B}) = BS \cos \omega t$$

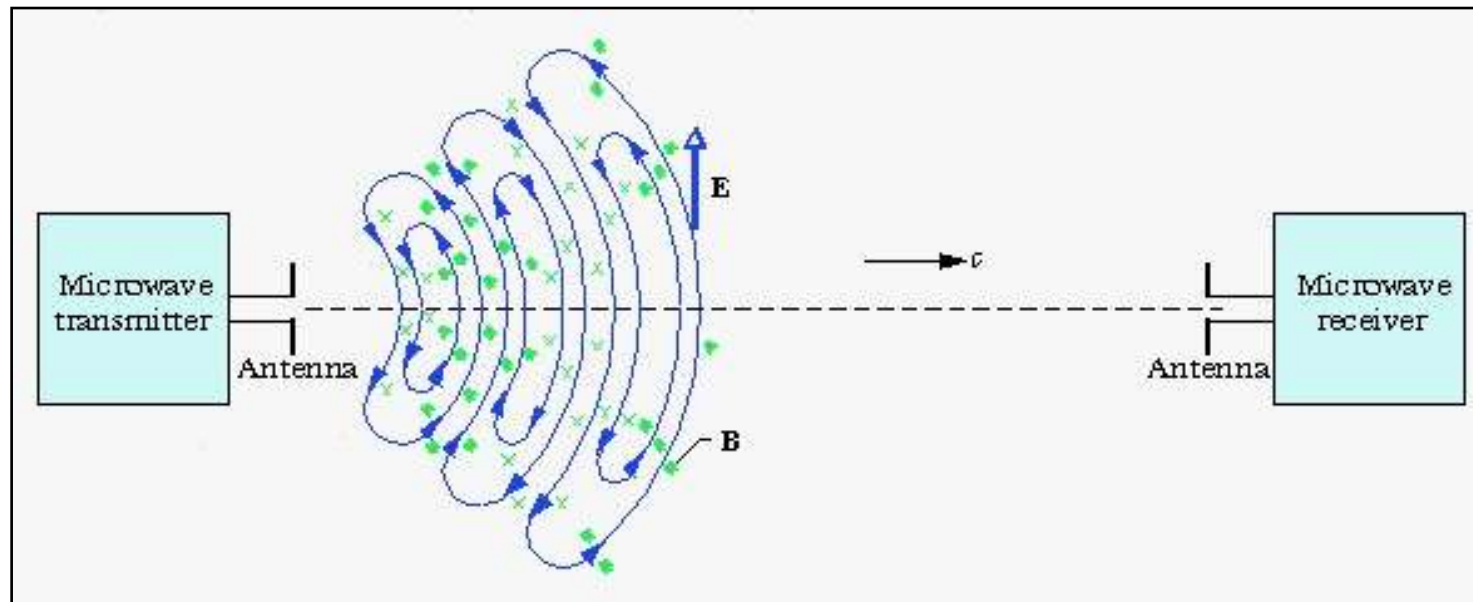
$$V_i = -BS \frac{d(\cos \omega t)}{dt} = -BS(-\omega \sin \omega t)$$

$$V(t) = BS\omega \sin \omega t = V_0 \sin \omega t$$

$$i(t) = \frac{V_0}{R} \sin \omega t = i_0 \sin \omega t$$

ONDE ELETTROMAGNETICHE (1)

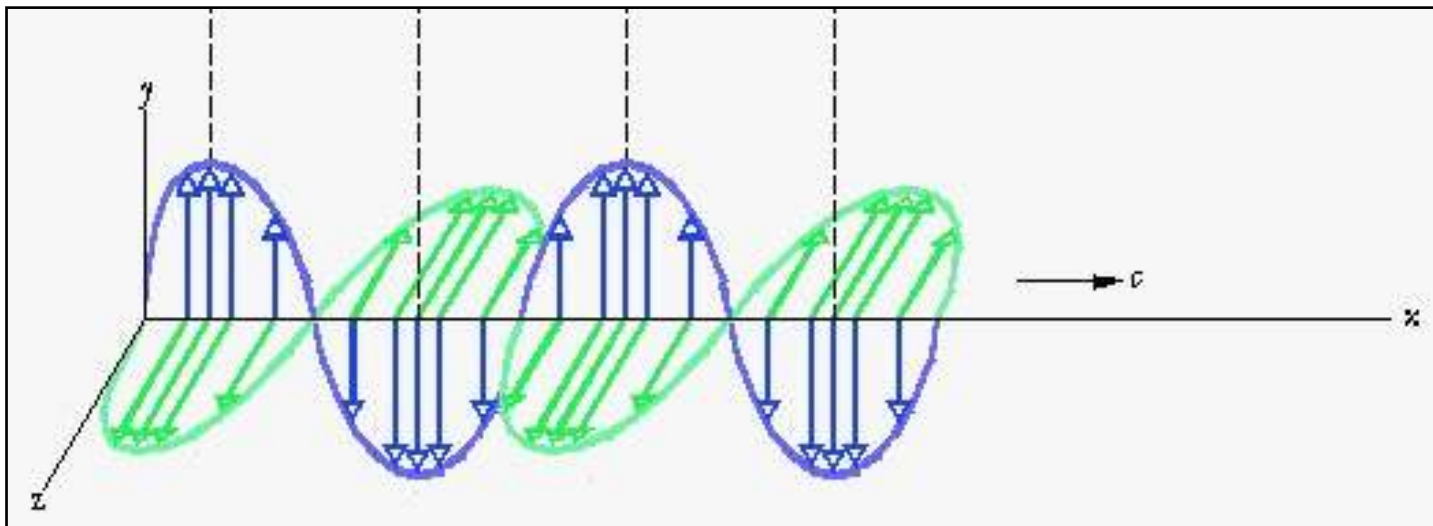
Così come un campo magnetico variabile crea un campo elettrico indotto, un campo elettrico variabile crea un campo magnetico indotto.



Ad esempio, una carica oscillante lungo un'antenna produce un'onda elettromagnetica.

ONDE ELETTROMAGNETICHE (2)

Un'onda elettromagnetica è costituita dalla propagazione di un campo elettrico e di un campo magnetico, variabili ed accoppiati. Essi sono fra loro perpendicolari fra loro e perpendicolari entrambi alla direzione di propagazione.



ONDE ELETTROMAGNETICHE (3)

Partendo dalle leggi dell'elettromagnetismo J.C. Maxwell fu in grado di prevedere l'esistenza delle onde elettromagnetiche, calcolandone la velocità nel vuoto mediante le costanti dell'elettromagnetismo.

$$c = \lambda \nu = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

lunghezza d'onda

frequenza

Questo è indipendente dal sistema di riferimento e quindi **non soddisfa la relatività galileiana**

Che fare?

Si aprono varie possibilità:

(1) la teoria dell'elettromagnetismo è sbagliata

(2) per l'elettromagnetismo non vale un principio di relatività

(3) la meccanica e l'elettromagnetismo hanno principi di relatività diversi

(4) la meccanica newtoniana è sbagliata

Che fare?.....

Le possibilità

(2) per l'elettromagnetismo non vale un principio di relatività

(3) la meccanica e l'elettromagnetismo hanno principi di relatività diversi

produrrebbero degli scenari non accettabili.

Se fosse vero (2) la verifica sperimentale della teoria elettromagnetica sarebbe assai problematica.

La situazione (3) è del tutto plausibile, ma non soddisfacente dal punto di vista della comprensione del mondo fisico.

Che fare?.....

Storicamente, all'inizio del 1900 si sono confrontate le due possibilità

(1) la teoria dell'elettromagnetismo è sbagliata

(4) la meccanica newtoniana è sbagliata

La totalità dei fisici teorici e sperimentali europei si concentrarono sulla possibilità (1) costruendo così, dal punto di vista sperimentale, un poderoso insieme di misure ed esperimenti che confermavano, con precisioni per l'epoca assai spinte, *l'elettromagnetismo*.

Che fare?.....

Accettando il verdetto dell'esperimento Albert Einstein (1879-1955) si convinse che il modello elettromagnetico era giusto e scrisse una relatività funzionante per esso

Relatività Ristretta

e al contempo affermò quindi che la Meccanica Classica, modello perfettamente funzionante dalla fine del 1600, era sbagliata.

GALILEO



EINSTEIN

$$\vec{V}' = \vec{V} - \vec{V}_{relativa}$$

$$t' = t$$

$$P = mv \quad \text{impulso}$$

$$E_0 = 0 \quad \text{energia a riposo}$$

$$E = \frac{P^2}{2m} \quad \text{energia cinetica}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_{relativa}^2}{c^2}}}$$

$$l' = \frac{l}{\gamma} \quad \text{contrazione delle lunghezze}$$

$$t' = t\gamma \quad \text{dilatazione temporale}$$

$$P = \gamma mv \quad \text{impulso}$$

$$E_0 = mc^2 \quad \text{energia a riposo}$$

$$E = \gamma E_0 \quad \text{energia cinetica}$$

ONDE ELETTROMAGNETICHE (4)

Un'onda e.m. monocromatica è caratterizzata da:

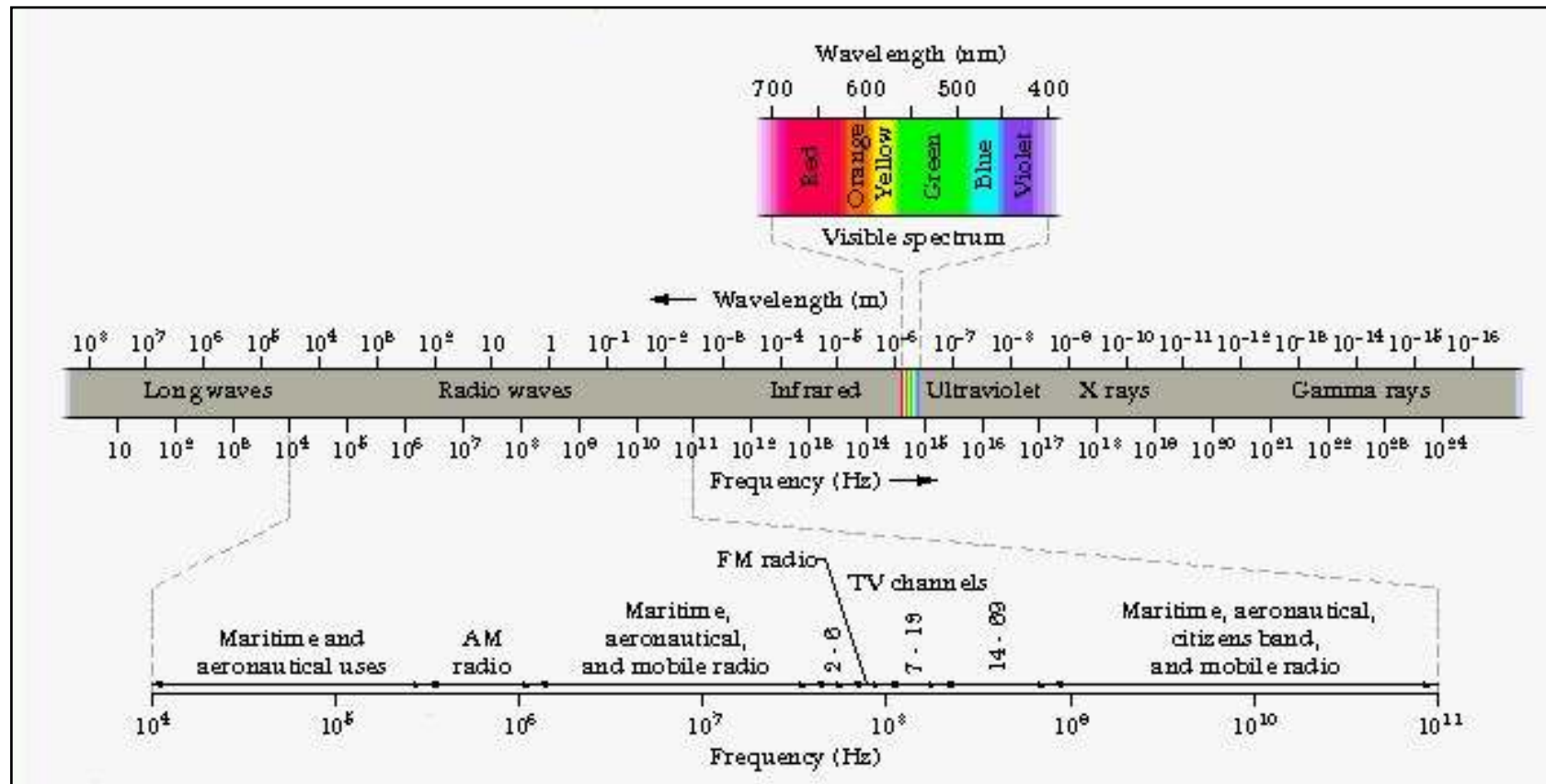
Lunghezza d'onda λ : minima distanza fra due punti dell'onda aventi le stesse condizioni fisiche (periodicità spaziale).

Frequenza f : numero di cicli descritti in 1 s (periodicità temporale).

Velocità di propagazione $c = \lambda f$.

SPETTRO ELETTROMAGNETICO (1)

Spettro delle onde elettromagnetiche:



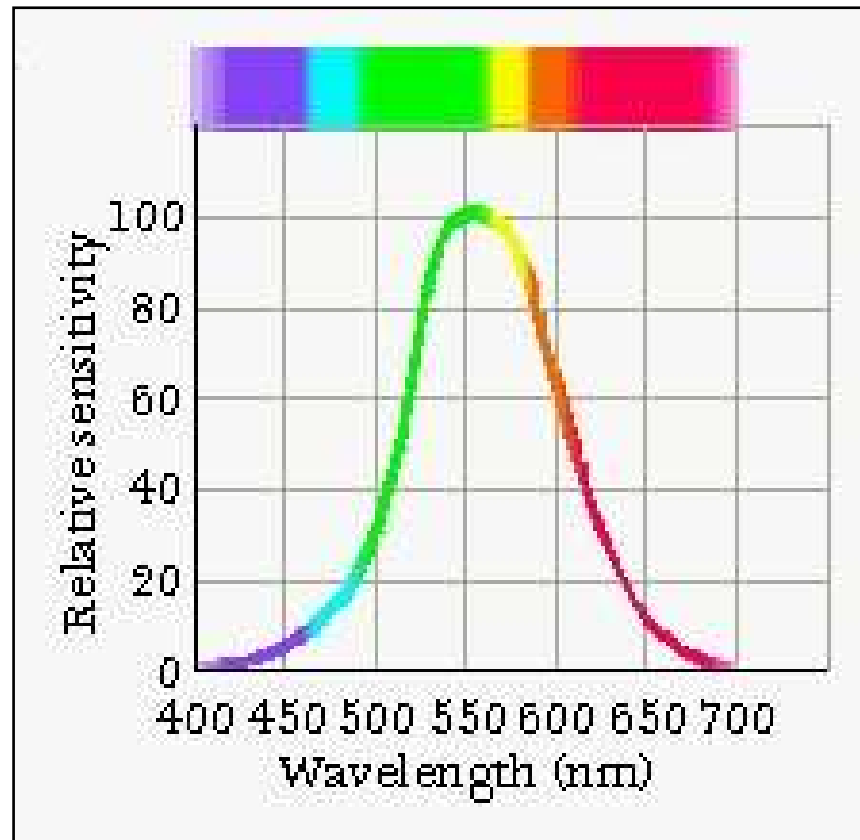
SPETTRO ELETTROMAGNETICO (2)

Spettro delle onde elettromagnetiche:

	λ (m)	ν (Hz)
Onde radio	$10^6 - 10^{-2}$	$10^3 - 10^{10}$
Microonde	$10^{-2} - 10^{-4}$	$10^9 - 10^{12}$
Raggi infrarossi	$10^{-4} - 7 \cdot 10^{-6}$	$10^{12} - 10^{14}$
Luce visibile	$7 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{14} - 10^{15}$
Raggi ultravioletti	$4 \cdot 10^{-7} - 10^{-8}$	$10^{15} - 10^{16}$
Raggi X	$10^{-8} - 10^{-12}$	$10^{16} - 10^{20}$
Raggi gamma	$10^{-11} - 10^{-16}$	$10^{19} - 10^{25}$

ONDE ELETTROMAGNETICHE (5)

Sensibilità dell'occhio umano alle diverse lunghezze d'onda della radiazione luminosa



OTTICA GEOMETRICA

Un'onda e.m. si propaga rettilineamente in un mezzo omogeneo ed isotropo con velocità

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

$$n > 1$$

n si chiama indice di rifrazione e dipende sia dal mezzo sia dalla lunghezza d'onda della radiazione

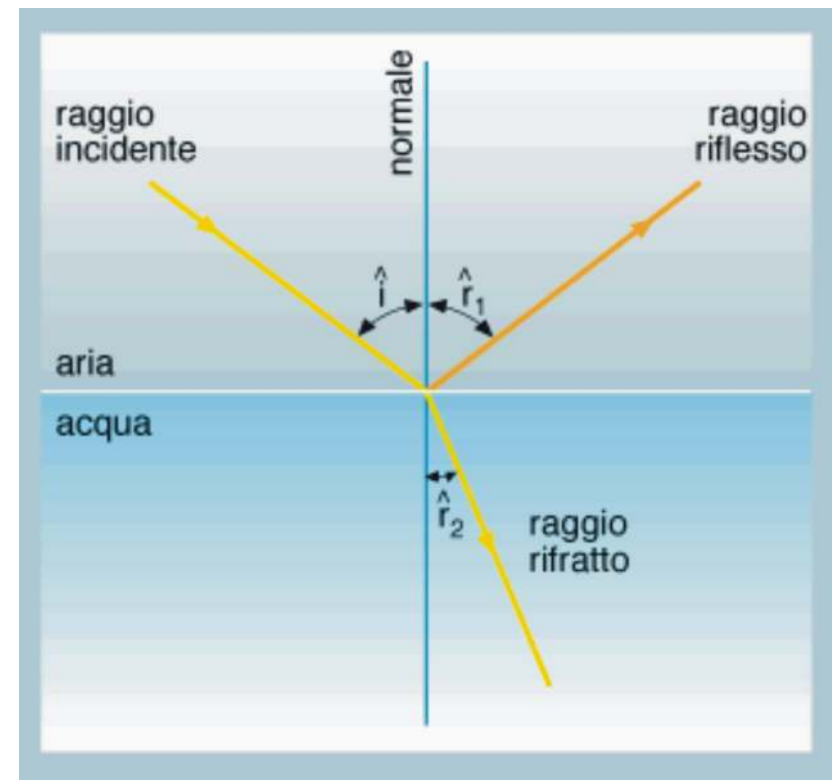
RIFLESSIONE E RIFRAZIONE

Un'onda e.m., che incide su una superficie di separazione fra due mezzi trasparenti, si suddivide in due raggi: un raggio riflesso ed uno rifratto

Il raggio riflesso, il raggio rifratto e la normale alla superficie nel punto di incidenza sono complanari

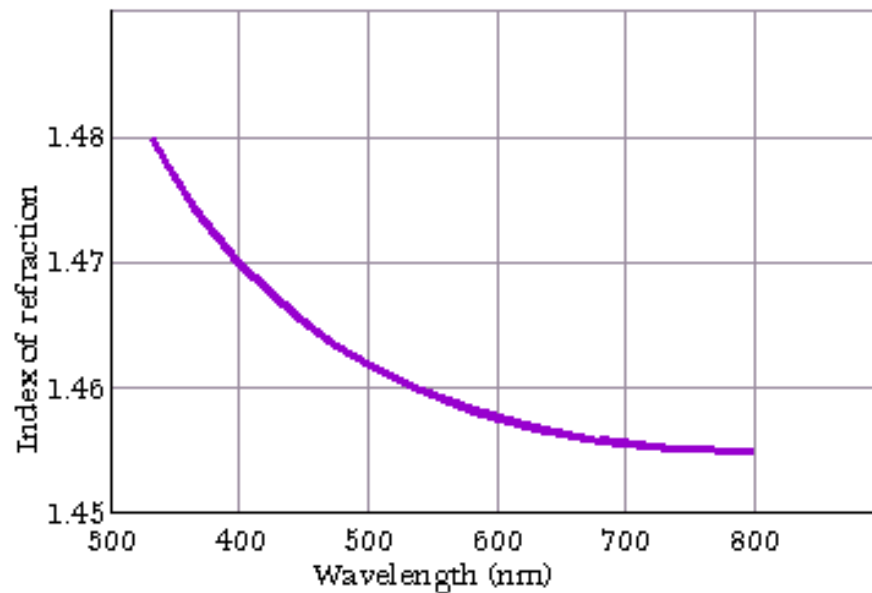
$$\hat{i} = \hat{r}_1$$

$$n_1 \text{sen} \hat{i} = n_2 \text{sen} \hat{r}_2$$



INDICE DI RIFRAZIONE

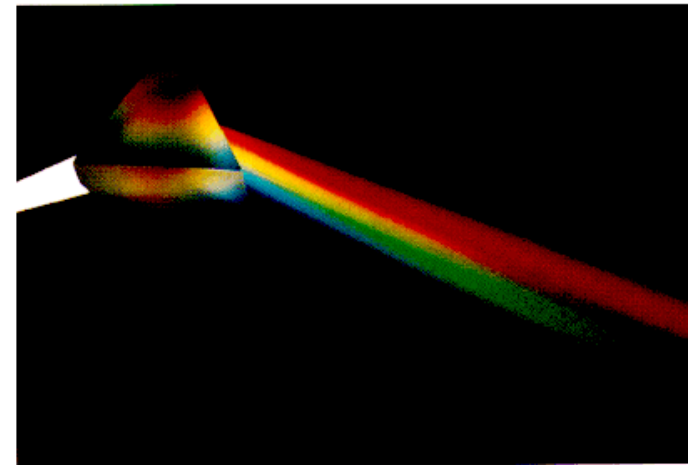
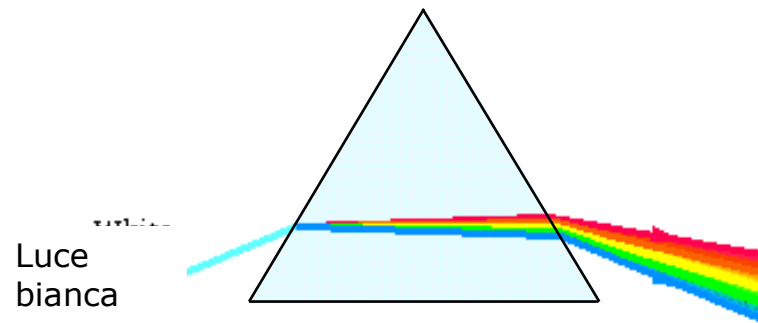
L'indice di rifrazione è caratteristico del mezzo e varia al variare della lunghezza d'onda della luce



	n
Aria	1.0029
Acqua	1.33
Alcool etilico	1.35
Balsamo del Canada	1.53
Calcite (raggio ord.)	1.66
Diamante	2.42
Vetro Crown	1.52
Vetro Flint	1.63

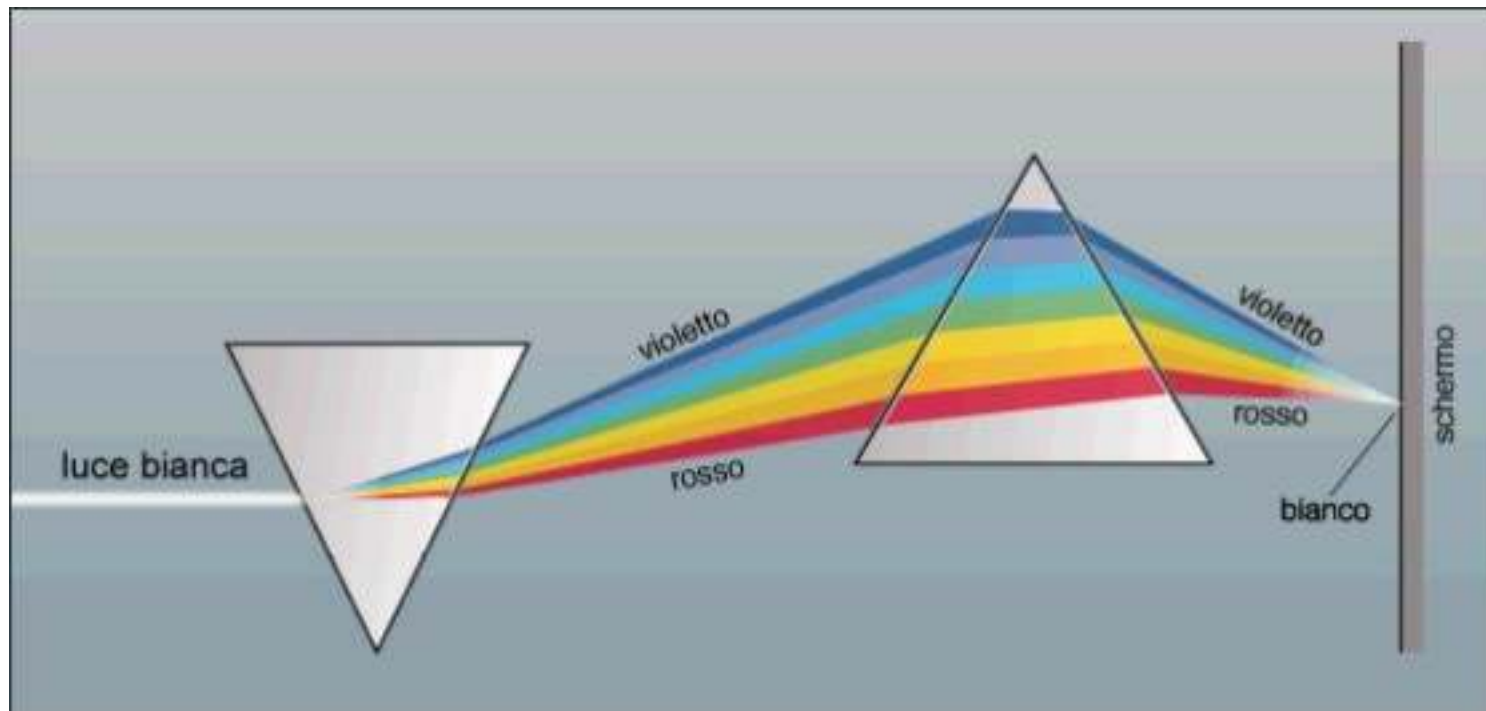
INDICE DI RIFRAZIONE

La variazione dell'indice di rifrazione con la lunghezza d'onda produce la separazione dei colori in un fascio di luce bianca

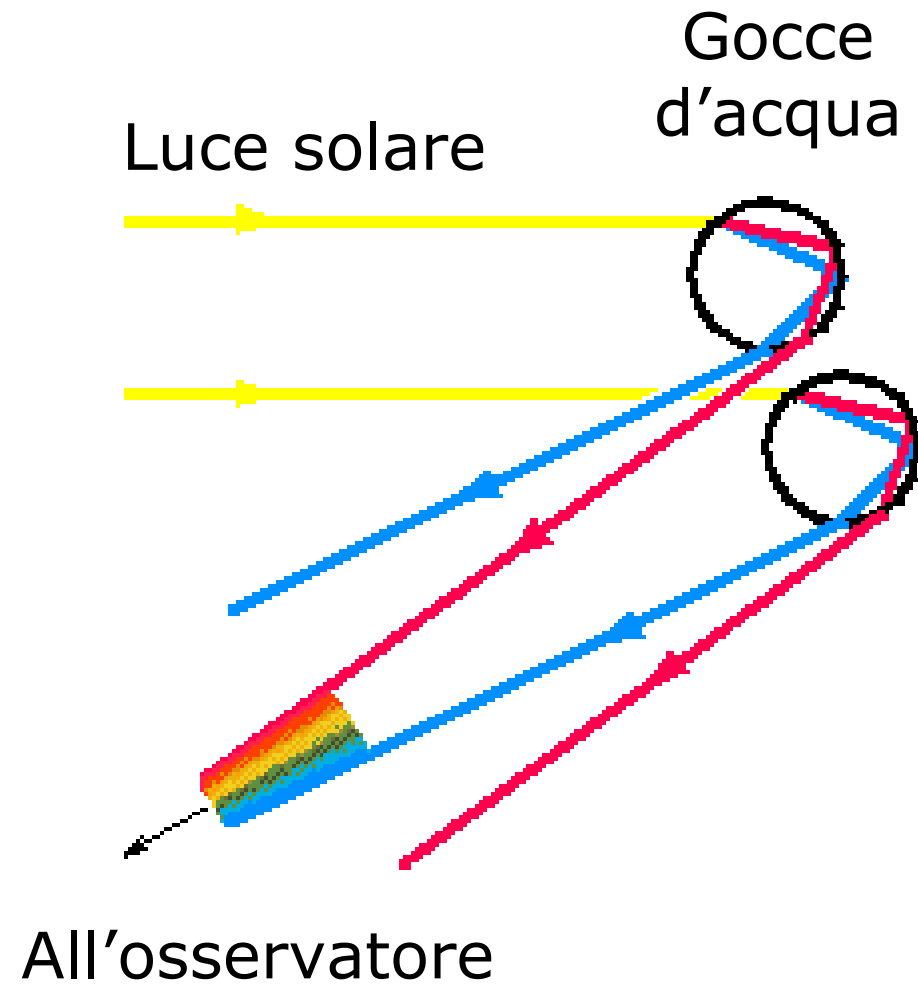


INDICE DI RIFRAZIONE

Un raggio di luce bianca passa attraverso un prisma e si suddivide nei vari colori che, mediante un secondo prisma, si ricombinano in un unico raggio di luce bianca

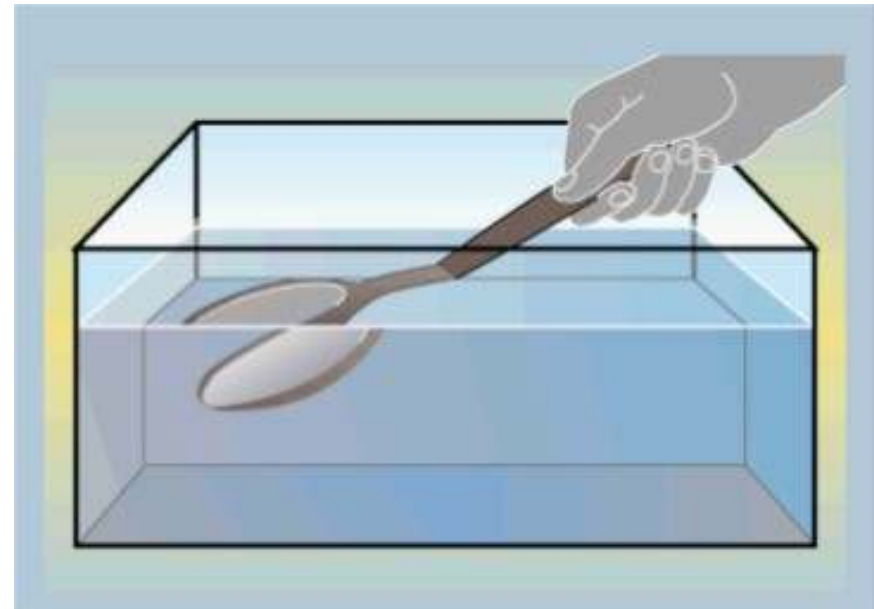
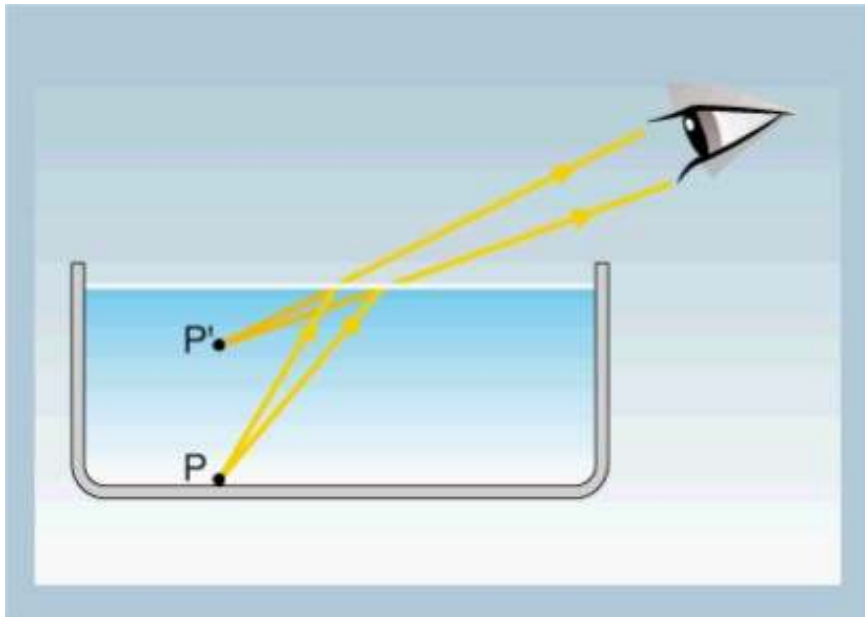


ARCOBALENO



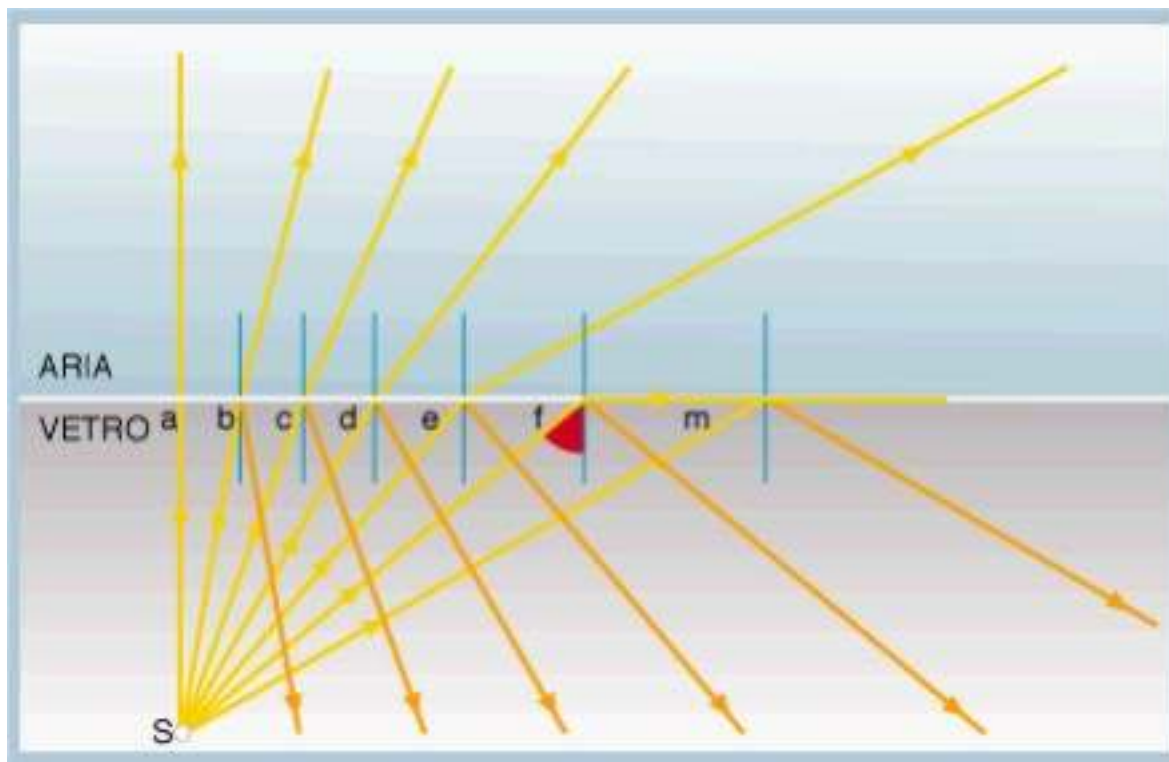
INDICE DI RIFRAZIONE

La rifrazione dà una spiegazione dei fenomeni che si producono nell'osservare oggetti posti al di sotto di uno specchio d'acqua



RIFLESSIONE TOTALE

Un raggio di luce che passa da un mezzo più rifrangente (n_1) ad un mezzo meno rifrangente ($n_2 < n_1$) si rifrange allontanandosi dalla normale



Il raggio f produce un raggio rifratto a 90° .

Il corrispondente angolo d'incidenza si chiama angolo limite ℓ

RIFLESSIONE TOTALE

Si chiama angolo limite ℓ , l'angolo di incidenza che corrisponde all'angolo di rifrazione di 90°

$$\frac{\text{sen } \ell}{\text{sen } 90^\circ} = \text{sen } \ell = \frac{n_2}{n_1}$$

Per angoli di incidenza maggiori dell'angolo limite ℓ , il raggio incidente è totalmente riflesso

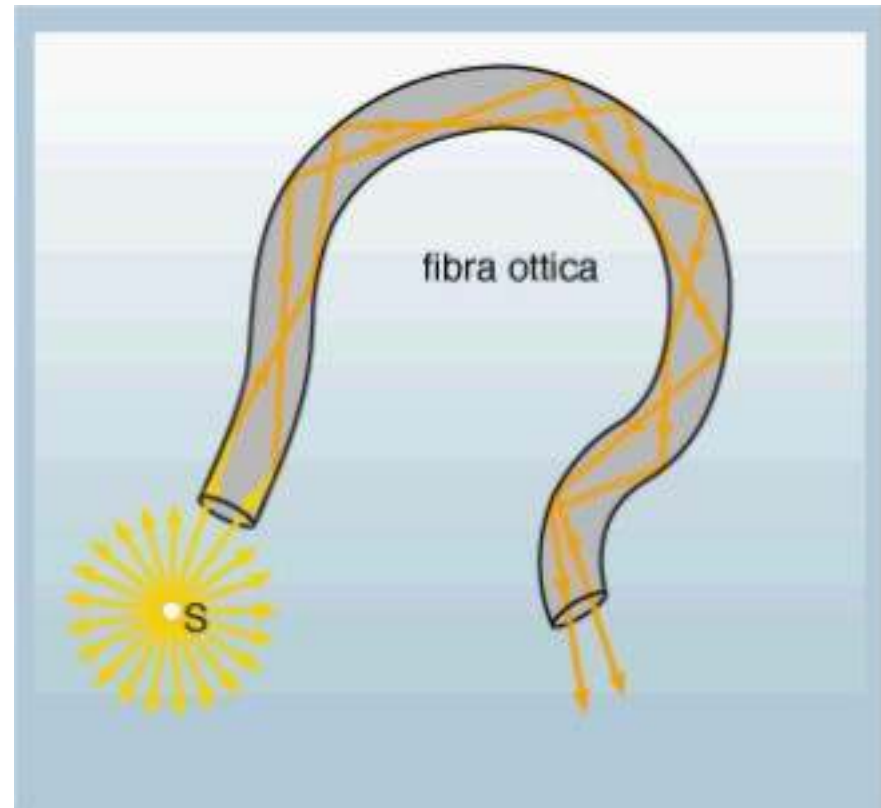
Questa proprietà ha un'importante applicazione nel campo delle fibre ottiche.

RIFLESSIONE TOTALE

La riflessione totale trova un'importante applicazione tecnologica nelle fibre ottiche.

Le fibre ottiche sono fili molto sottili di plastica con pareti lisce. Un fascio di luce che vi penetra subisce più volte la riflessione totale ed esce all'altra estremità seguendo un percorso curvo

Trovano largo impiego in medicina (endoscopi) e nelle telecomunicazioni



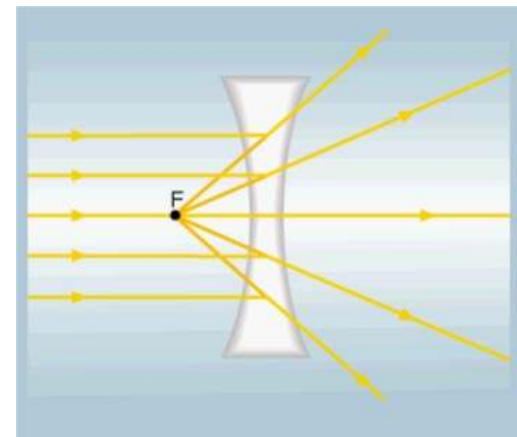
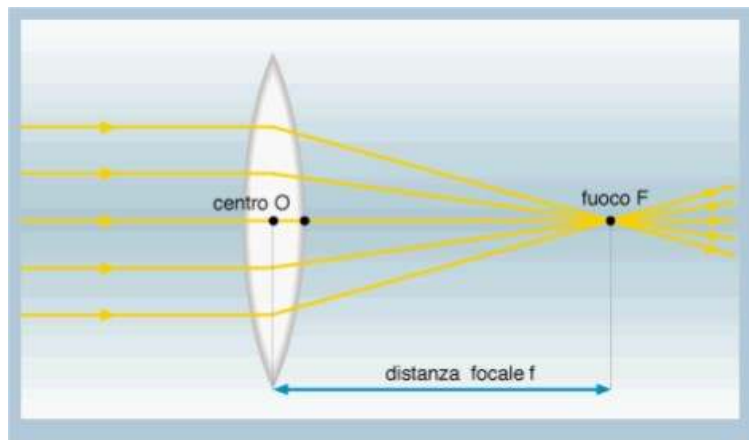
LENTE SOTTILE

Una lente sottile è formata da un mezzo trasparente racchiuso da due superfici sferiche

I raggi paralleli provenienti da una sorgente (oggetto) sono rifratti dalla lente e si verificano due possibilità:

essi convergono in uno stesso punto (Fuoco)

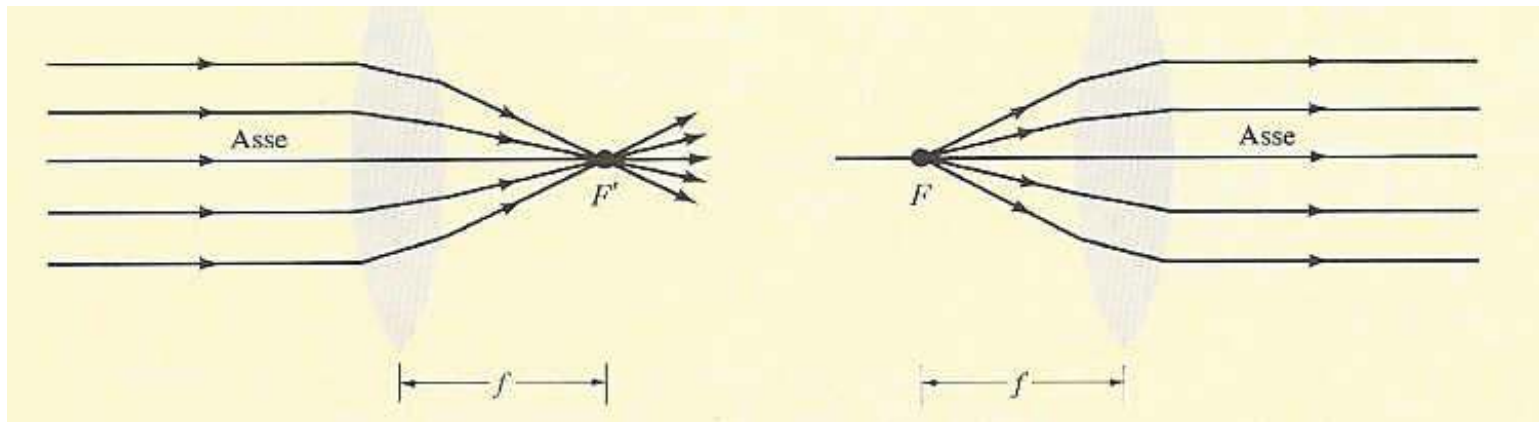
essi divergono in modo che i loro prolungamenti provengano dallo stesso punto (Fuoco)



LENTE CONVERGENTE

I fuochi di una lente sottile sono due punti situati simmetricamente rispetto alla lente a distanza pari alla distanza focale

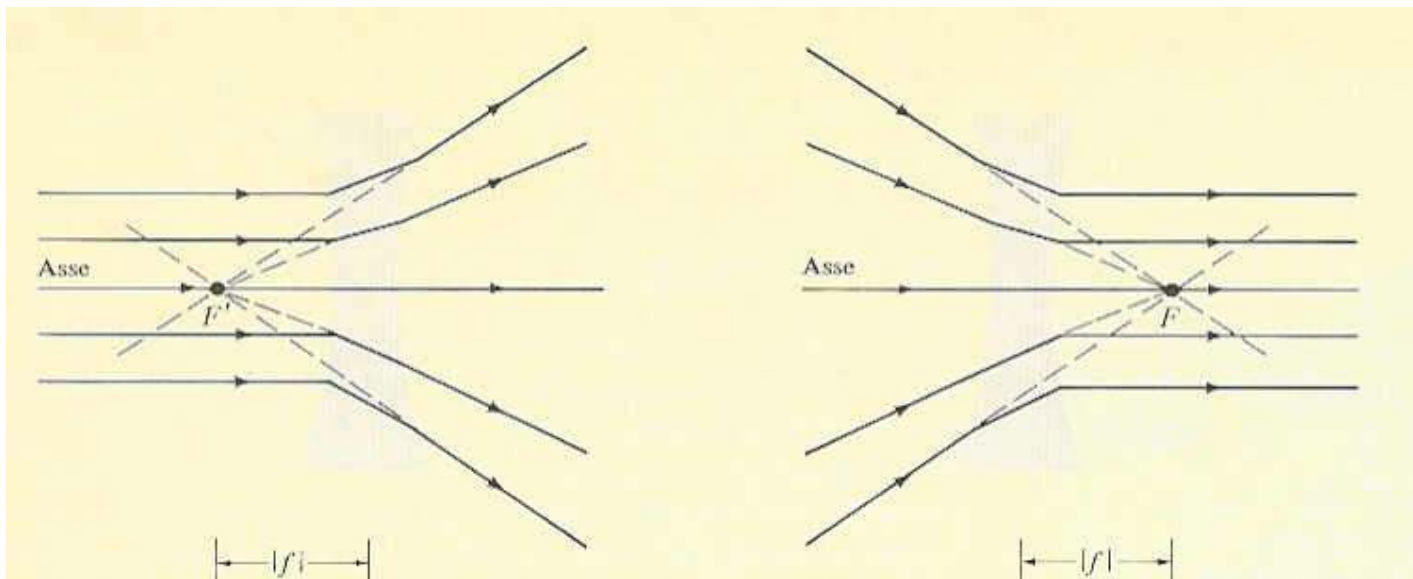
lente convergente



LENTE DIVERGENTE

I fuochi di una lente sottile sono due punti situati simmetricamente rispetto alla lente a distanza pari alla distanza focale

lente divergente

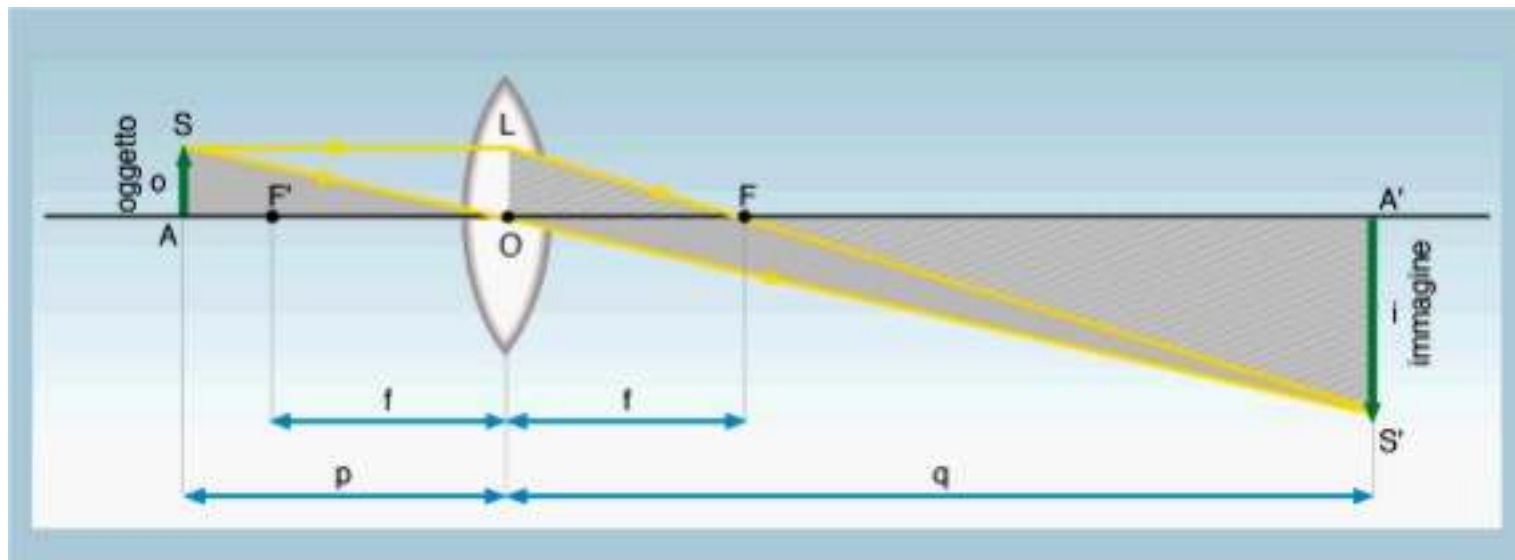


COSTRUZIONE DELL'IMMAGINE (1)

I raggi di luce uscenti da un punto (oggetto) attraversano la lente e convergono in un punto (immagine)

I due punti, oggetto ed immagine, si chiamano punti coniugati e le loro posizioni p e q soddisfano l'equazione

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



COSTRUZIONE DELL'IMMAGINE (2)

f si chiama distanza focale
ed il suo segno è tale che
 $f > 0 \Rightarrow$ lente convergente
 $f < 0 \Rightarrow$ lente divergente

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

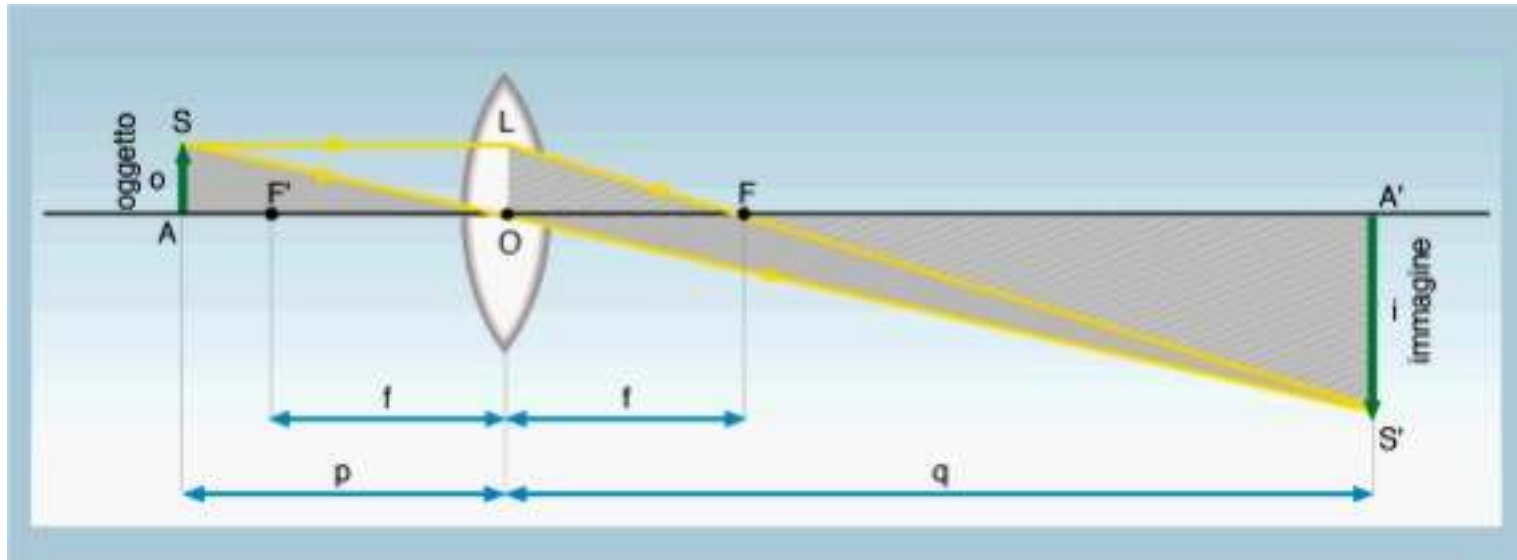
Potere di convergenza
o potere diottrico

$$D = \frac{1}{f}$$

Si misura in diottrie con la distanza
focale misurata in metri

**I poteri
diottrici
sono
addittivi**

COSTRUZIONE DELL'IMMAGINE (3)



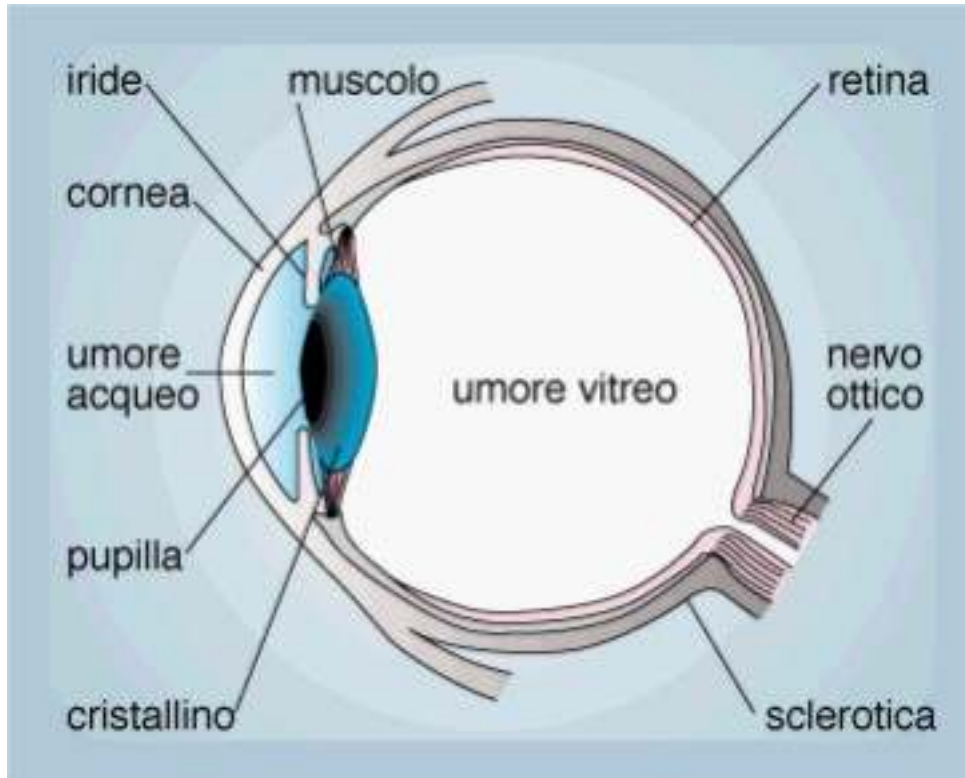
I triangoli ASO e $A'S'O$ sono simili e quindi

Ingrandimento
lineare



$$\frac{A'S'}{AS} = \frac{A'O}{AO} = \frac{q}{p}$$

OTTICA DELLA VISIONE



Parametrici fisici

Indice di rifrazione

Umor acque 1.34

Cristallino 1.43

Umor vitreo 1.34

Raggi di curvatura

Cornea 0.8 cm

Cristallino (ant) 1.0 cm

Cristallino (post) 0.6 cm

Diametro del globo oculare 22-24 cm

ACCOMODAMENTO

Si definisce **accomodamento** dell'occhio la variazione del suo potere diottrico prodotta dalla tensione dei muscoli ciliari con conseguente variazione della curvatura del cristallino

L'accomodamento consente la formazione sulla retina di immagini nitide

Punto remoto: distanza dell'oggetto, quando i muscoli ciliari sono rilassati (infinito)

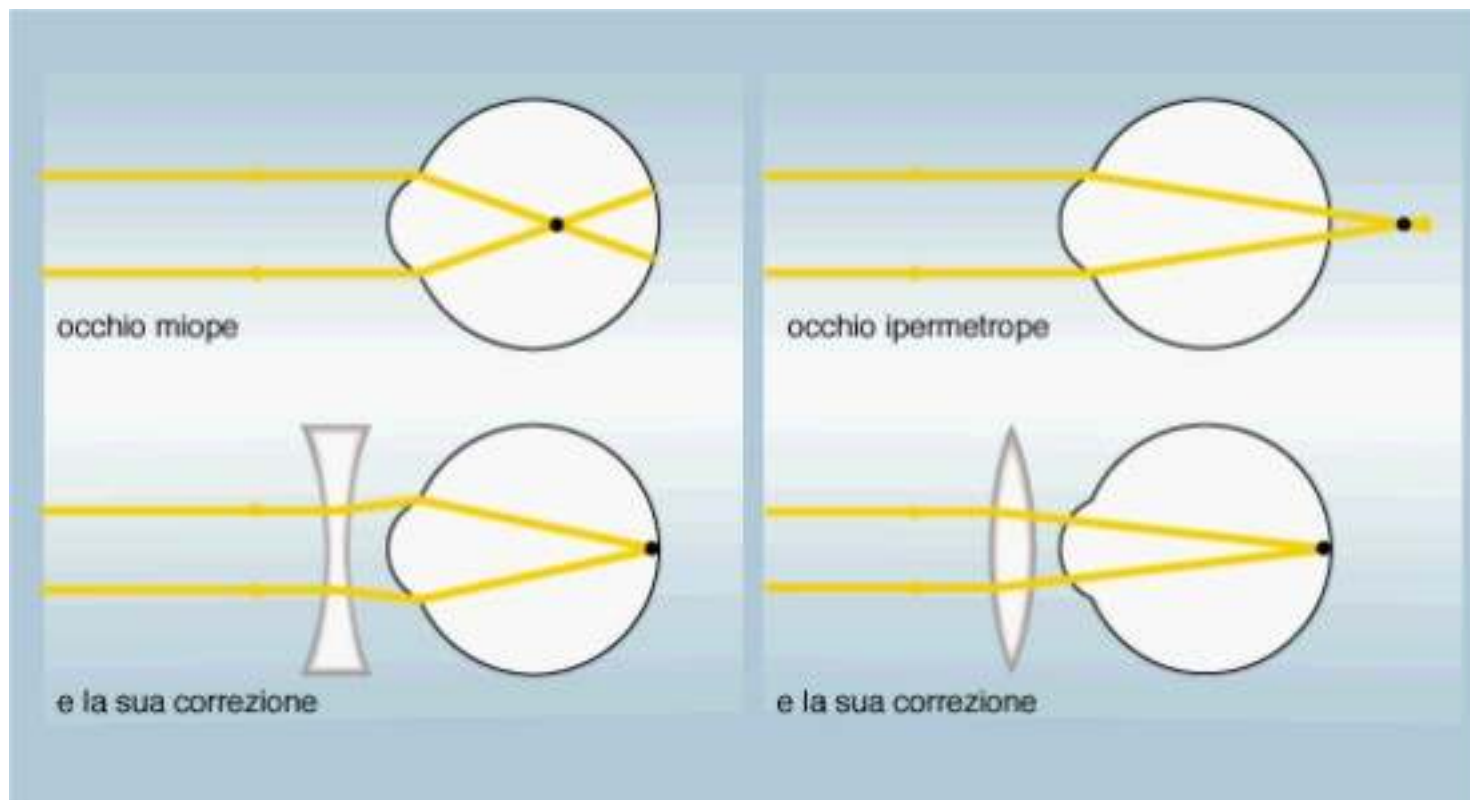
Punto prossimo: distanza dell'oggetto, quando i muscoli ciliari sono contratti al massimo (10 cm)

Visione distinta: distanza minima dell'oggetto, che consente la visione distinta senza eccessivo sforzo (25 cm)

DIFETTI VISIVI

MIOPIA: sistema oculare troppo convergente (si corregge con lenti divergenti)

IPERMETROPIA: sistema oculare poco convergente (si corregge con lenti convergenti)



DIFETTI VISIVI

PRESBIOPIA: difficoltà a focalizzare oggetti vicini a causa della ridotta elasticità del cristallino (dovuta all'età)

ASTIGMATISMO: non perfetta sfericità della cornea, che presenta diversi raggi di curvatura zonali

DALTONISMO: riduzione o assenza di sensibilità ad uno o più colori fondamentali

MICROSCOPIO (1)

L'occhio ha una distanza di visione ottimale di ~25 cm, quindi una lente di ingrandimento deve tentare di mettere l'immagine virtuale a 25 cm.

Per l'ingrandimento lineare m abbiamo

$$m = \frac{25 \text{ cm}}{p} = 1 + \frac{25 \text{ cm}}{f} \quad \longleftarrow \text{ f misurata in cm}$$

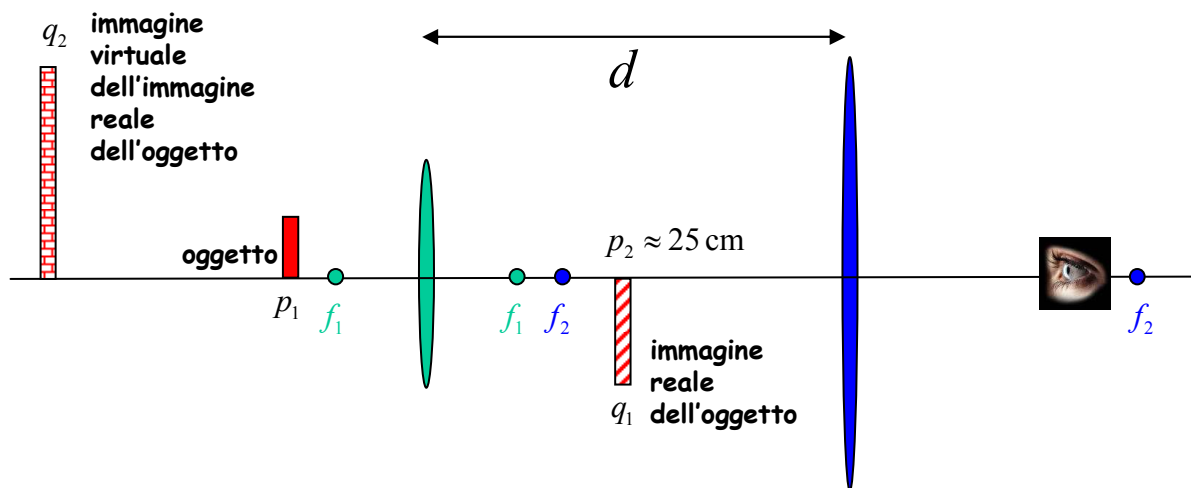
quindi m aumenta al diminuire di f . Per esempio

$$f = 1 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad m = 26 \text{ volte} \quad \Rightarrow \quad p = 0.96 \text{ cm}$$

Questo è un limite all'uso delle lenti di ingrandimento: oggetti troppo vicini!!

MICROSCOPIO (2)

Il microscopio è costituito da due lenti convergenti: (1) obiettivo, (2) oculare. La (1) produce una immagine reale dell'oggetto e la (2) una immagine virtuale dell'immagine reale dell'oggetto.



$$\frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_1} = \frac{1}{f_1}$$

si sceglie $p_1 > \approx f_1$

$$m_1 = \frac{q_1}{p_1} \approx \frac{q_1}{f_1}$$

$$m_2 = 1 + \frac{25 \text{ cm}}{f_2}$$

$$m_2 = 1 + \frac{25}{3} \approx 9$$

$d = 18 \text{ cm}$ $p_2 = 2.7 \text{ cm}$ $f_1 = 0.5 \text{ cm}$ $f_2 = 3 \text{ cm}$
 $q_1 + p_2 = d \rightarrow q_1 \sim 15.3 \text{ cm}$

$$M = \frac{15.3}{0.5} \left(1 + \frac{25}{3} \right) \approx 285$$

$$M = m_1 m_2 = \frac{q_1}{f_1} \left(1 + \frac{25 \text{ cm}}{f_2} \right)$$