



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Induzione elettromagnetica e le onde elettromagnetiche

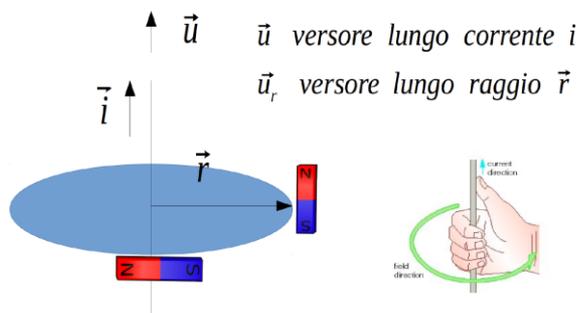
SORGENTE del campo magnetico: cariche in movimento

Legge di Biot Savart: SPERIMENTALE

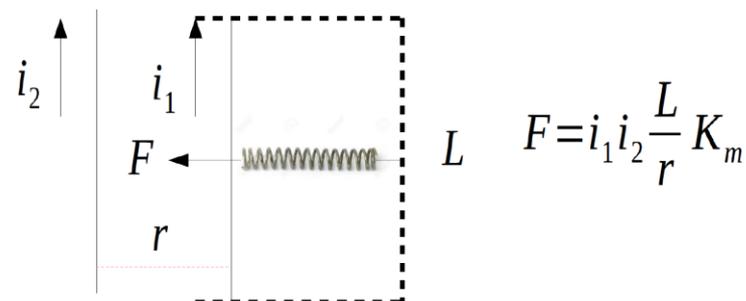


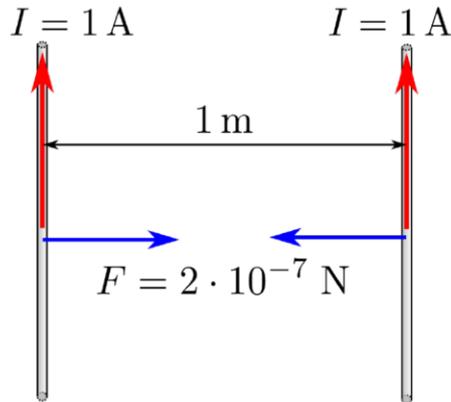
1) Il campo è tangente a circonferenze che circondano un filo percorso da corrente

$$\vec{B} = \vec{u} \times \vec{u}_r \quad B$$



2) Il modulo del campo viene misurato dall'interazione tra fili percorsi da corrente.





$$K_m = 2 \times 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2} = \frac{\mu_0}{2\pi}$$

$$\mu_0 = 1.2566370 \times 10^{-6} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$$

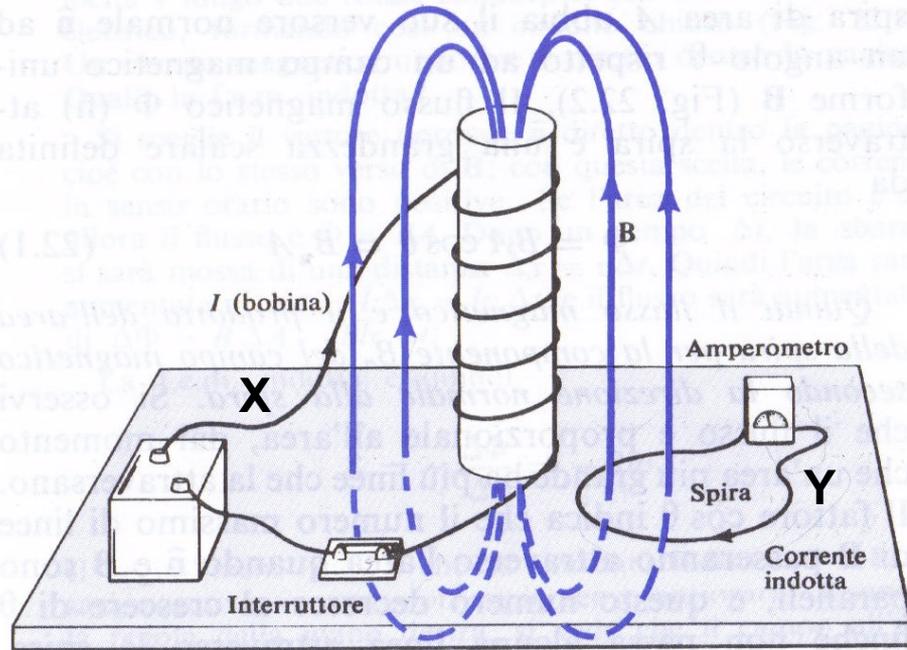
μ_0 Permeabilità magnetica

Combinando gli esperimenti 1) e 2) si ottiene il campo magnetico prodotto da un filo percorso da corrente

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i}{r} \vec{u} \times \vec{u}_r$$

Sorgente del campo magnetico.

L'esperienza di Faraday



Quando il circuito X viene chiuso si genera una corrente in Y

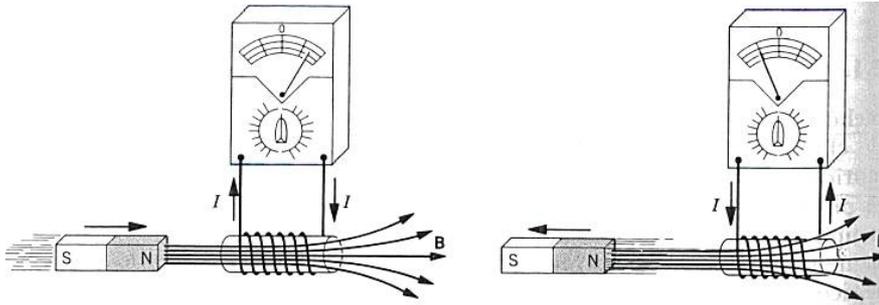
Quando il circuito X viene riaperto si genera una corrente in Y ma in verso opposto al precedente

Una corrente stazionaria in X non genera alcuna corrente in Y

Una variazione di campo magnetico induce una forza elettromotrice ε (o ΔV).

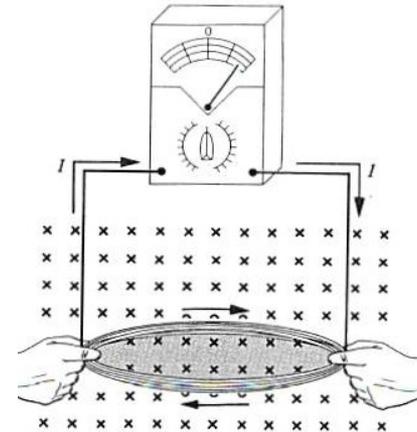
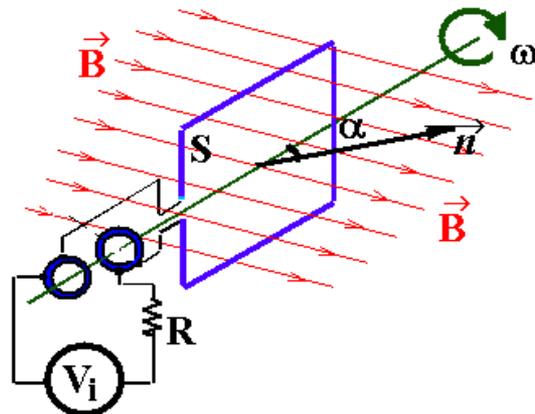
La forza elettromotrice indotta è tanto maggiore quanto più rapida è la variazione del campo B

Induzione elettromagnetica



Se la calamita viene mossa rispetto alla bobina in quest'ultima passa corrente. Se si fa circolare corrente nella bobina la calamita viene attirata.

Se l'area di una spira immersa in un campo magnetico viene modificata compare una corrente

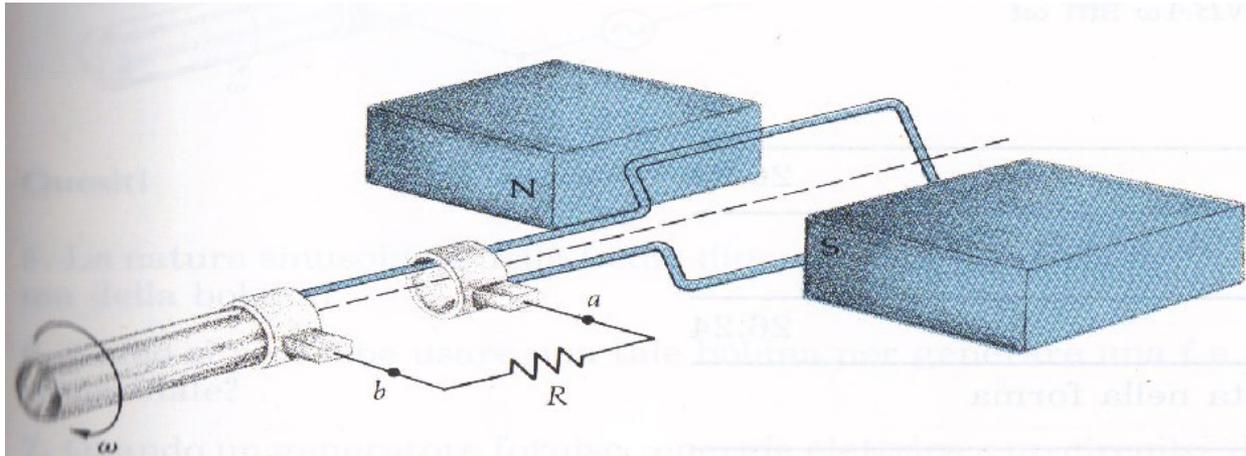


Se una spira viene fatta ruotare in un campo magnetico compare una corrente

Generatori e motori elettrici



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

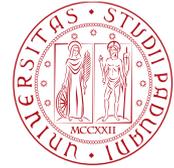


GENERATORE

Una bobina che ruota con frequenza costante in B genera una f.e.m. sinusoidale. Si usa l'energia di una cascata o di una turbina a vapore per far girare la spira, producendo energia elettrica.

Se si fornisce corrente alternata ad una spira immersa in B, essa ruota; può essere usata come **MOTORE**

Equazioni di Maxwell



Maxwell ricondusse a 4 leggi la descrizione di tutti i fenomeni elettromagnetici

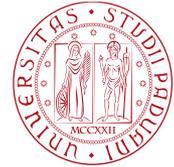
- Cariche elettriche generano campi elettrici
- Cariche elettriche in movimento generano campi magnetici
- Campi magnetici variabili generano campi elettrici

Per simmetria fece l' ipotesi che anche **campi E variabili generassero campi B**



Difficile da provare sperimentalmente
in modo diretto ma verificato con
successo

Onde elettromagnetiche



Se si riesce a generare un campo magnetico oscillante, per esempio mediante una corrente oscillante, per le leggi di Maxwell tale campo dovrebbe generare un campo elettrico oscillante che a sua volta genererebbe un campo magnetico oscillante e così via

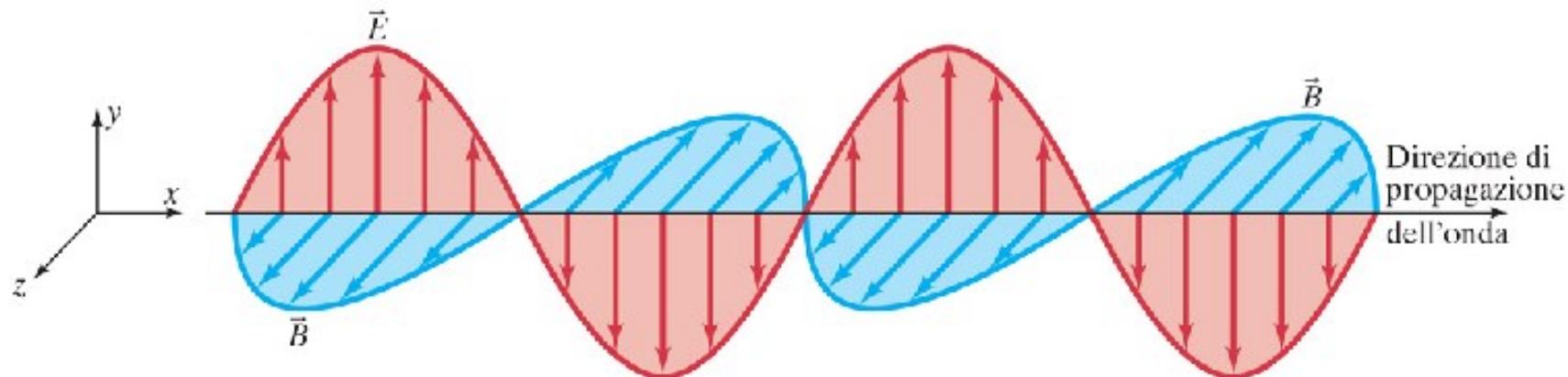


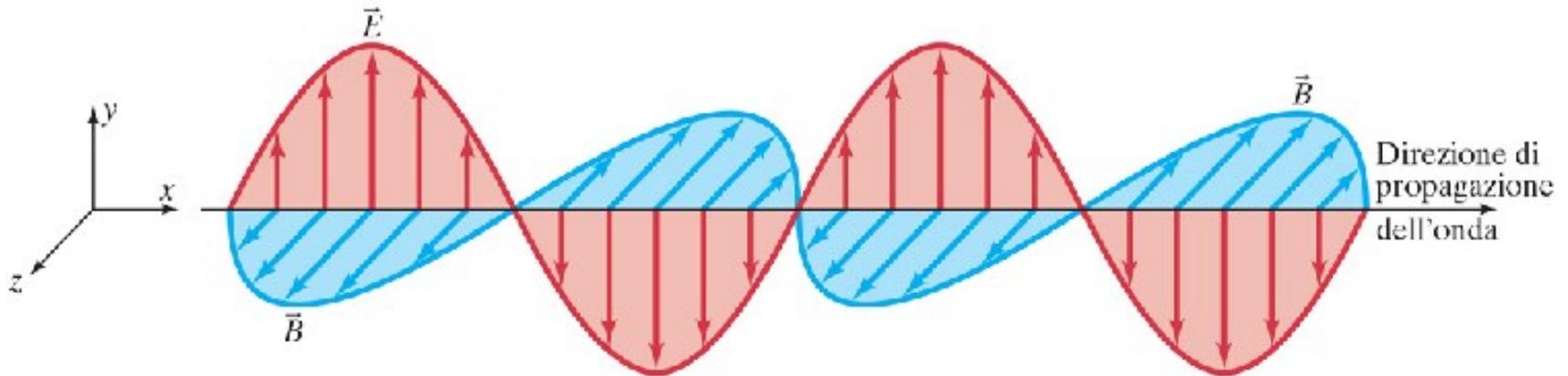
Il risultato di queste interazioni tra campi E e B variabili è un'onda che si propaga



Generazione di **onde elettromagnetiche**

- I vettori campo elettrico e campo di induzione magnetica \mathbf{B} sono perpendicolari alla direzione di propagazione (\mathbf{v})
- I vettori \mathbf{E} ed \mathbf{B} sono perpendicolari tra loro
- I due campi non sono indipendenti: $\mathbf{E} = c\mathbf{B}$ ($c =$ velocità della luce)

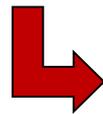




Nel vuoto, il campo elettromagnetico, cioè il campo elettrico ed il campo magnetico, indissolubilmente legati, si propagano senza attenuazione, con velocità

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Questo valore ricavato matematicamente da Maxwell a partire dalle sue equazioni è compatibile, entro gli errori, con la misura della velocità della luce.



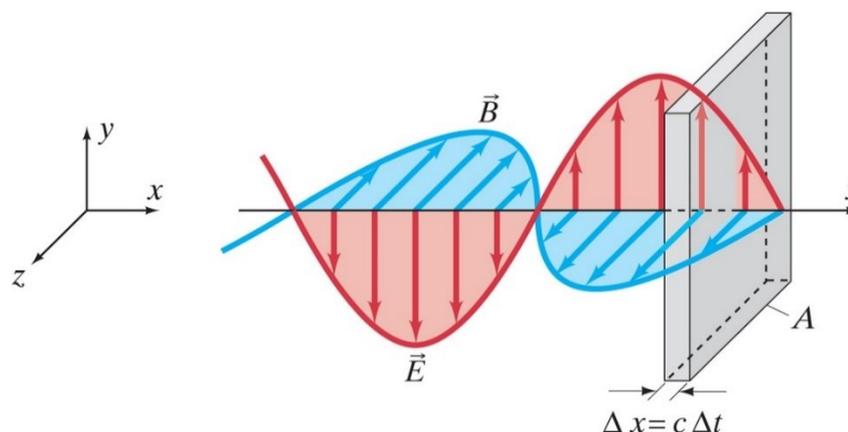
La luce è un'onda elettromagnetica

In termini energetici, si può pensare l'onda elettromagnetica come un flusso di energia, che nel vuoto si propaga alla velocità della luce, sotto forma di campi elettrici e magnetici. Ciascuna delle due componenti dell'onda elettromagnetica, elettrica e magnetica, trasporta la stessa quantità di energia.

L'energia trasportata dall'onda per unità di volume (*densità di energia*, u.d.m. [J/m^3])

$$u = \varepsilon_0 \cdot \mathbf{E}^2 = \mathbf{B}^2/\mu_0 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \cdot \mathbf{E}^2 + \frac{1}{2} \mathbf{B}^2/\mu_0$$

L'intensità di un'onda è definita come l'energia trasportata dall'onda per unità di tempo e di superficie.



Esperienza di Hertz

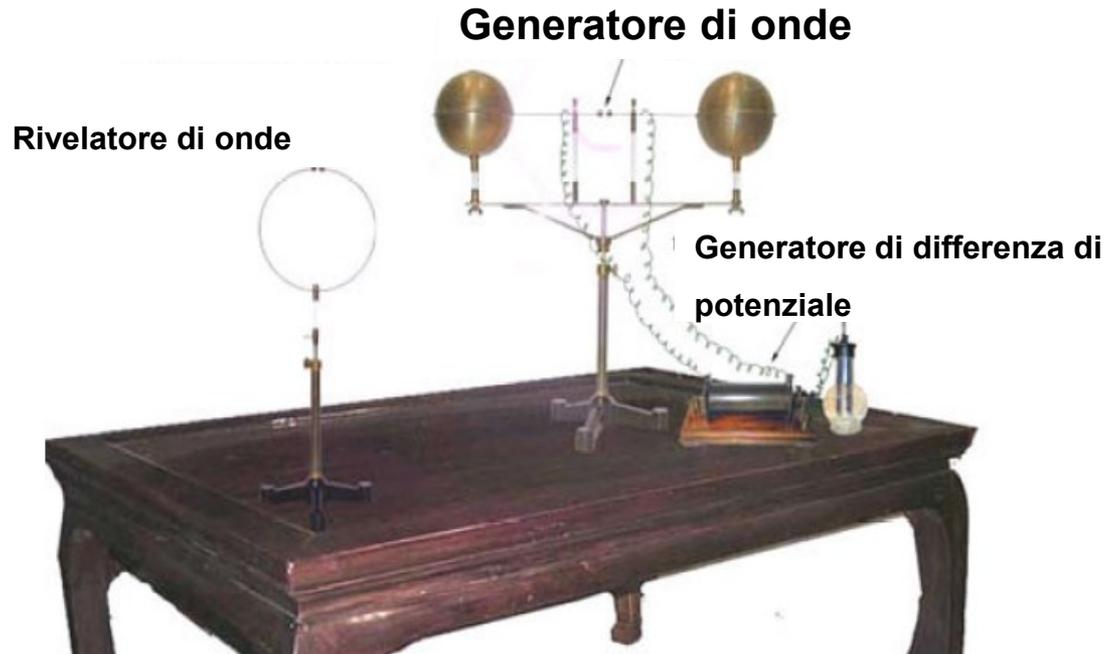


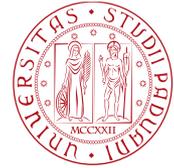
Hertz nel 1886 riuscì per la prima volta a produrre e a rivelare le onde elettromagnetiche di cui Maxwell aveva previsto l'esistenza.

Le onde elettromagnetiche furono generate da oscillazioni di cariche elettriche lungo un circuito.

La trasmissione delle onde era rilevata da un cerchio di grosso filo di rame interrotto da uno spazio di lunghezza regolabile tra due sferette.

Il passaggio di una corrente oscillante nel cerchio di rame si manifestava attraverso una scintilla che illuminava le due sferette





Frequenza delle onde elettromagnetiche

Le onde elettromagnetiche sono prodotte dall'oscillazione di cariche elettriche. La frequenza di oscillazione delle cariche determina la frequenza con cui oscillano i campi elettrico e magnetico e quindi la frequenza dell'onda.

Le onde luminose ($\nu = 10^{14}$ Hz) si originano dal moto delle cariche atomiche. Le onde radio ($\nu = \text{kHz} - \text{MHz}$) sono prodotte da correnti elettriche macroscopiche.

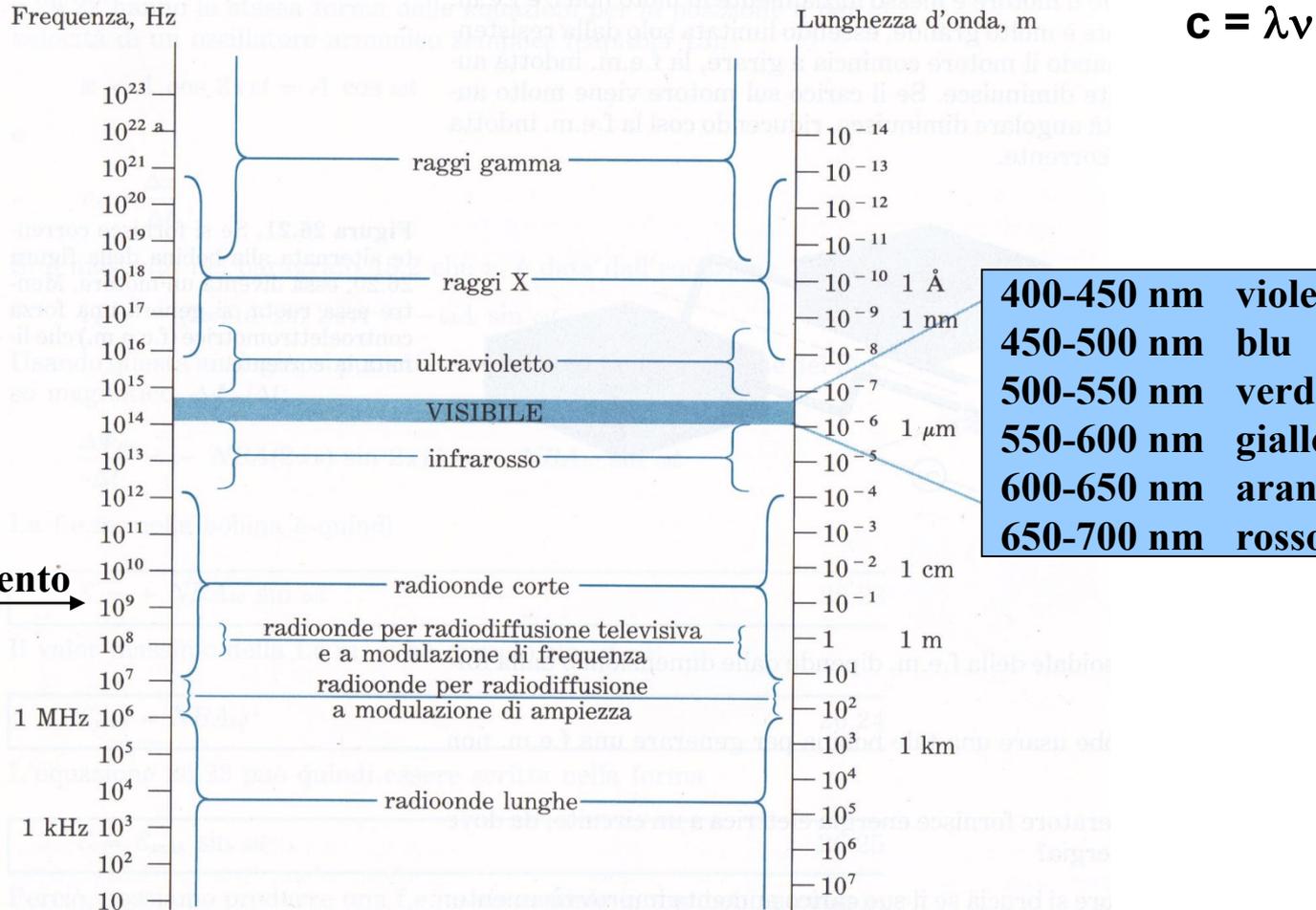
La frequenza delle onde elettromagnetiche determina il tipo di interazione con la materia:

- i raggi X ($\nu \sim 10^{18}$ Hz) penetrano facilmente molti materiali che sono opachi a onde luminose ($\nu \sim 10^{14}$ Hz)
- le microonde con $\nu \sim 2.5 \cdot 10^9$ Hz vengono assorbite dalle molecole d'acqua presenti nei cibi e ne causano il riscaldamento.

Frequenza e lunghezza d'onda delle onde elettromagnetiche sono legate

$$c = \lambda \nu$$

Spettro elettromagnetico

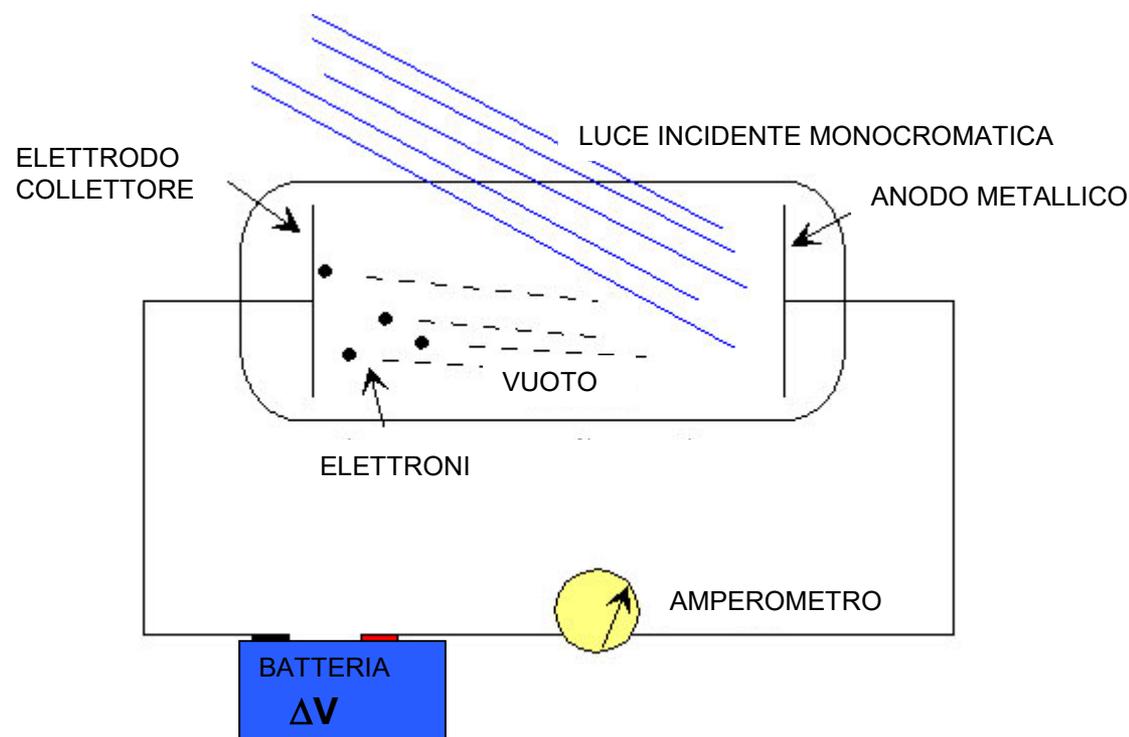


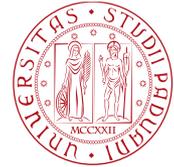
Effetto foto-elettrico

Illuminando alcuni metalli con luce (o più in generale con una radiazione elettromagnetica) di opportuna frequenza, si osserva sperimentalmente che essi emettono elettroni; questo fenomeno si chiama **effetto fotoelettrico**.

Gli elettroni sono trattenuti nei metalli da forze di attrazione. Per estrarre un elettrone occorre quindi fornirgli energia .

L'energia minima necessaria per estrarre un elettrone da un metallo si chiama **lavoro di estrazione (W)**.





Un fascio di luce di frequenza ν è costituito da particelle che si muovono con velocità c chiamate **fotoni**, ogni fotone ha

ENERGIA $E = h\nu$

QUANTITÀ DI MOTO $p = E/c = h\nu/c = h/\lambda$

($h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ Js costante di Planck)

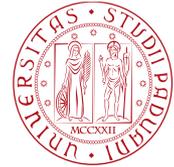
La luce monocromatica è costituita da fotoni della stessa energia. L'intensità della luce monocromatica è proporzionale al numero di fotoni presenti nel raggio.

Aumentare l'intensità del fascio significa aumentare il numero di fotoni in esso contenuti, senza però modificare la loro energia.

L'elettrone del metallo viene emesso in seguito alla collisione con un singolo fotone. In questo processo il fotone cede all'elettrone tutta la sua energia e cessa di esistere.

Se $h\nu > W$ l'elettrone può venire espulso dal metallo. L'energia cinetica dell'elettrone espulso sarà: $K = h\nu - W$

Dualismo onda-particella

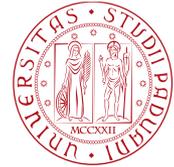


La luce e le onde elettromagnetiche in generale, sono qualcosa di più complesso di:

- una semplice onda
- un fascio di particelle
- una combinazioni di onde e particelle.

Gli aspetti ondulatorio e corpuscolare delle onde elettromagnetiche sono “facce” differenti che esse ci mostrano.

Per ottenere una piena comprensione dei fenomeni legati alle onde elettromagnetiche occorre tenere presenti entrambi gli aspetti che le caratterizzano ed considerare di volta in volta quello più adatto.



Tutti i corpi materiali hanno una doppia natura onda-particella (**ipotesi di de Broglie - 1923**).

- La lunghezza d'onda dei corpi ordinari è troppo piccola per essere misurata.
- La lunghezza d'onda delle particelle elementari (es. elettroni, protoni) è invece piccola ma rilevabile

A tutte le particelle può essere associata una lunghezza d'onda

$$\lambda = h/p$$

con p quantità di moto (classica o relativistica) della particella