

L'ipotesi di Einstein e l'effetto fotoelettrico

Abbiamo visto che:

alla fine del XIX secolo ci sono ancora dei fenomeni che la fisica classica non riesce a spiegare:

- lo spettro d'irraggiamento del corpo nero (chiarito da Planck)
- l'effetto fotoelettrico

Ipotesi dei *fotoni*

Einstein estese la quantizzazione di Planck a **tutta** la radiazione elettromagnetica:

fotoni o quanti di luce

spiegando così le evidenze sperimentali dell'effetto fotoelettrico (1905).

I fotoni sono corpuscoli senza massa, pacchetti di energia viaggianti alla velocità della luce (c nel vuoto $\simeq 3 \cdot 10^8$ m/s).

Un fascio di qualsiasi radiazione elettromagnetica con frequenza f è un flusso di fotoni ciascuno di energia:

$$E = h f$$

E impulso o quantità di moto (derivato da una relazione relativistica):

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h f}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

con λ lunghezza d'onda della radiazione.

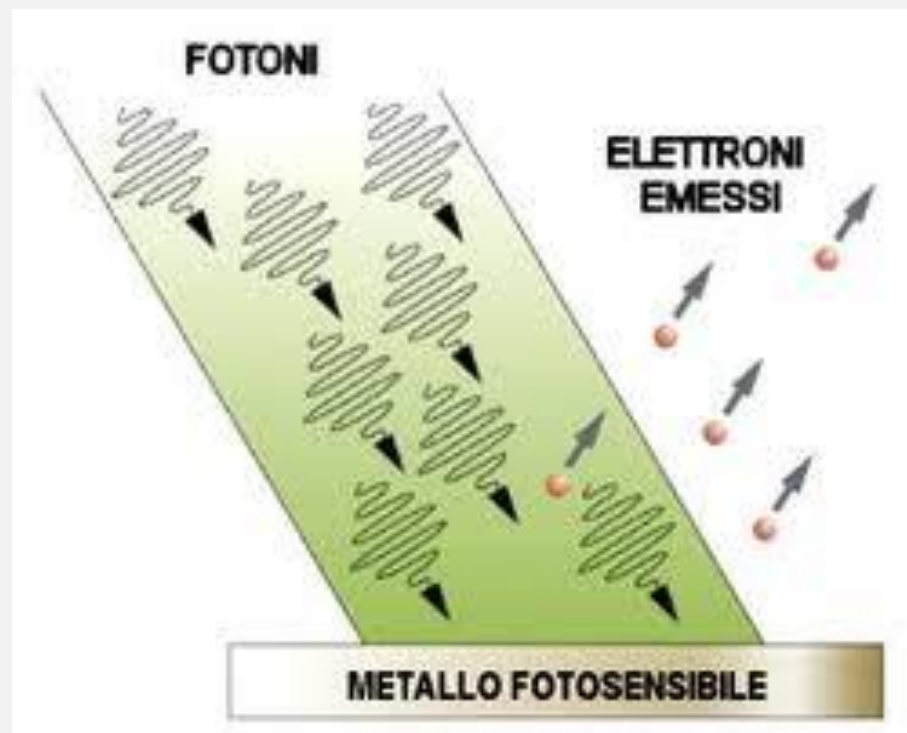
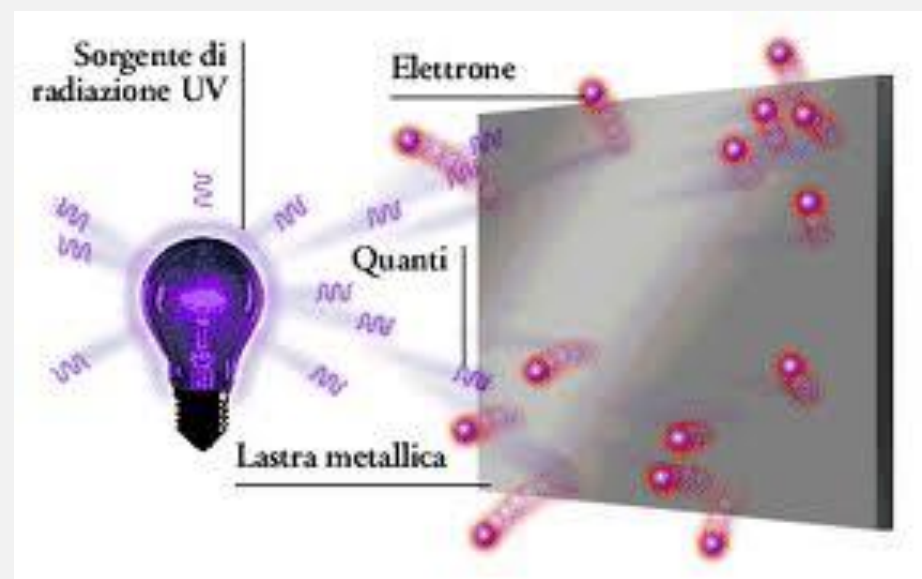
Cos'è l'effetto fotoelettrico

Consiste nell'emissione di elettroni da un metallo quando questo viene illuminato da una radiazione elettromagnetica di frequenza sufficientemente elevata (raggi X, raggi UV e talvolta luce visibile).
(H. Hertz, 1887)

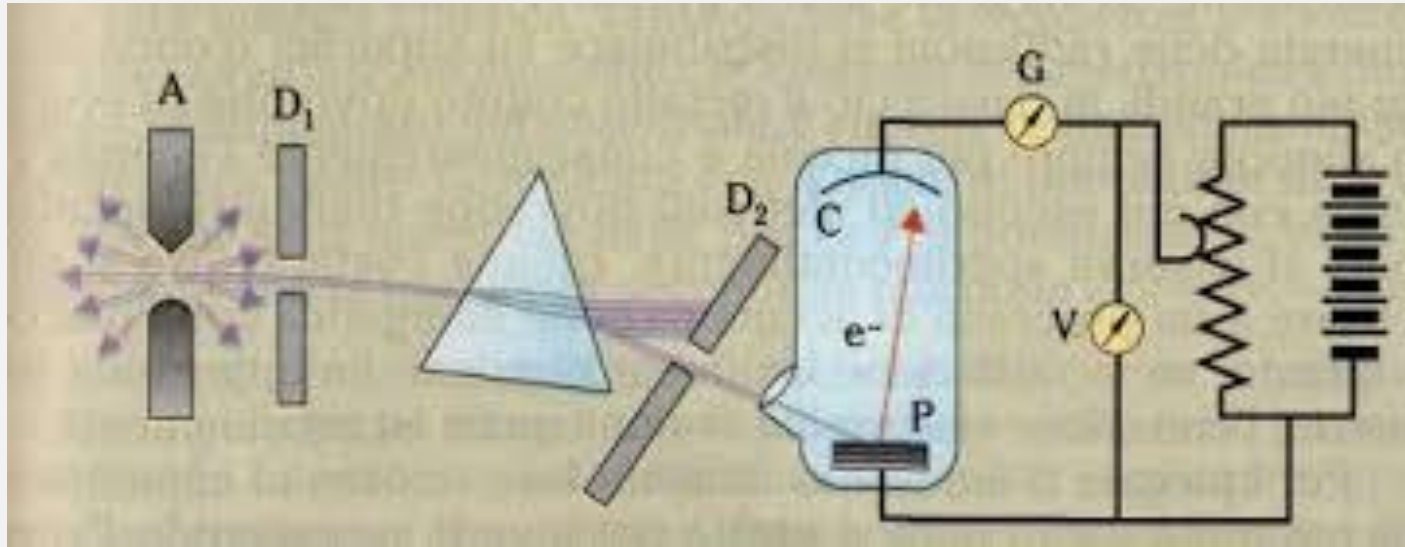
Impieghi:

è sfruttato quando serve convertire variazioni di intensità luminosa in variazioni di corrente elettrica:

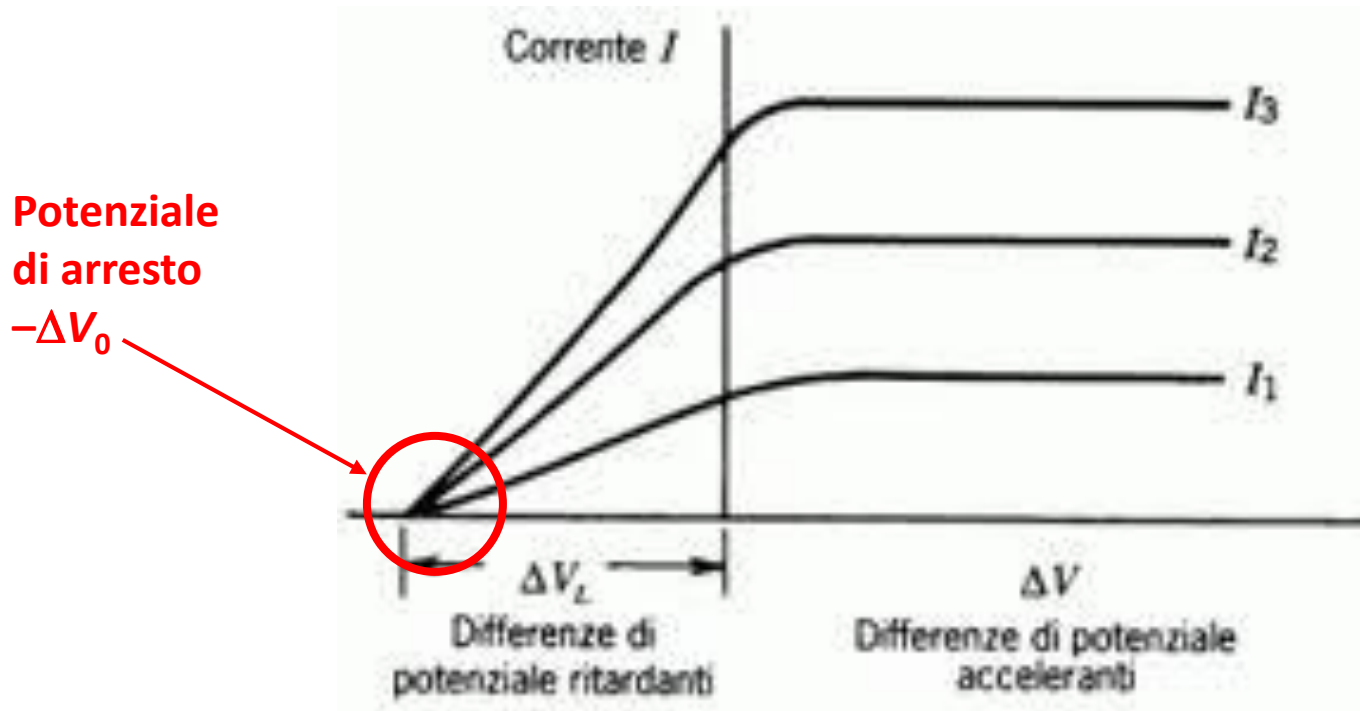
- sensori o fotocellule (sistemi di apertura automatizzati di porte e cancelli, dispositivi di allarme, regolazione del diaframma di un obiettivo fotografico, effetti sonori nelle sale cinematografiche, ecc.);
- fotomoltiplicatori (rivelatori di particelle);
- celle fotovoltaiche (pannelli fotovoltaici, batterie solari in calcolatrici, orologi, satelliti artificiali).



Apparato strumentale per studiare l'effetto fotoelettrico



Corrente vs d.d.p. applicata



I_1, I_2, I_3 correnti di saturazione ottenute con:

- stessa frequenza f della radiazione
- diversa intensità della radiazione (si osserva che la corrente $I \propto$ intensità della radiazione)

Dal potenziale di arresto all'energia cinetica massima degli elettroni

Per la conservazione dell'energia:

$$\Delta E_c = -\Delta U$$

Ma sappiamo che $\Delta U = -e \Delta V$ (– e perché elettroni)

con

$$\Delta V = -\Delta V_0 \text{ (potenziale di arresto)}$$

$$\Delta E_c = 0 - E_{c,\max} = -E_{c,\max}$$

Sostituendo:

$$-E_{c,\max} = -(-e)(-\Delta V_0)$$

$$E_{c,\max} = e \Delta V_0$$

Energia cinetica massima dei fotoelettroni

Quindi dai grafici corrente-d.d.p. si osserva che:

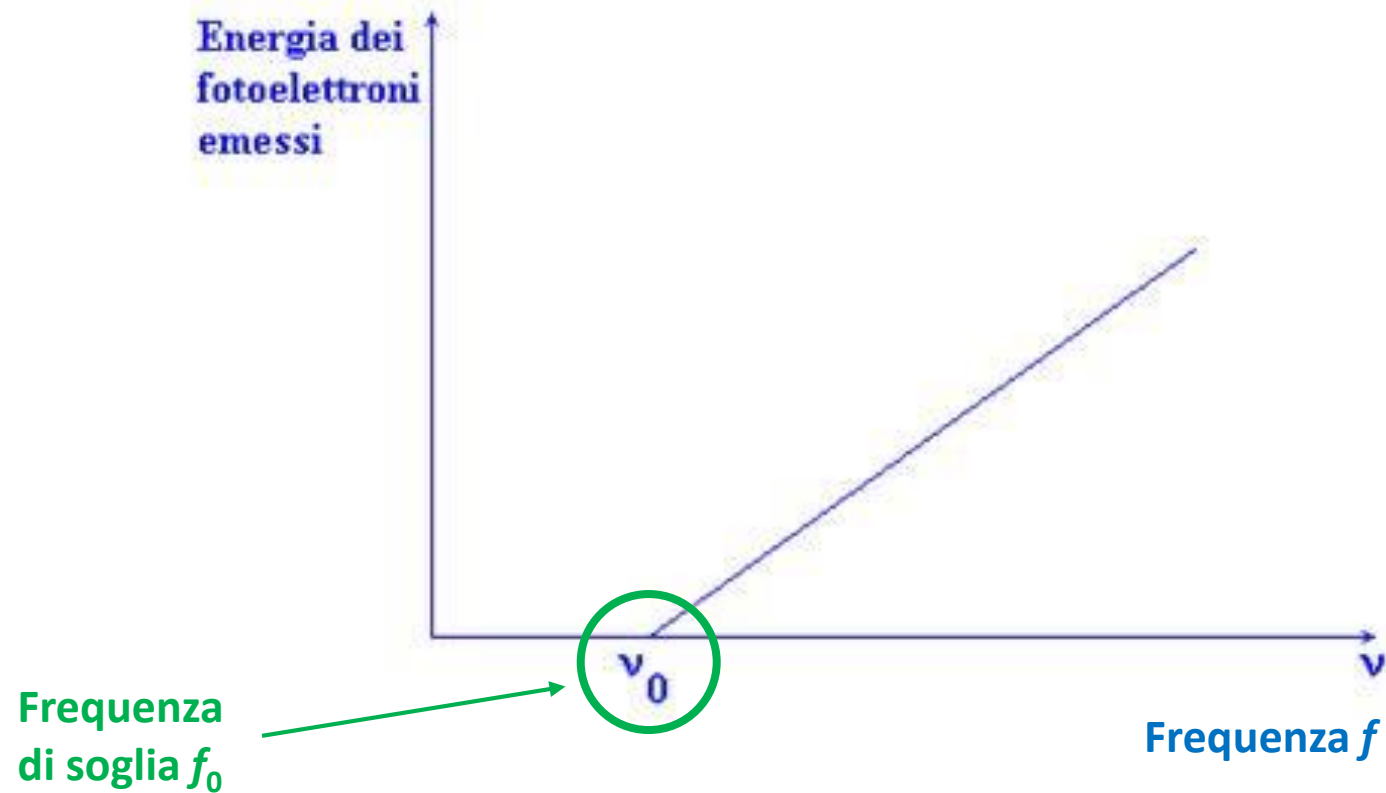
Il potenziale di arresto, perciò l'energia cinetica massima degli elettroni

NON DIPENDE

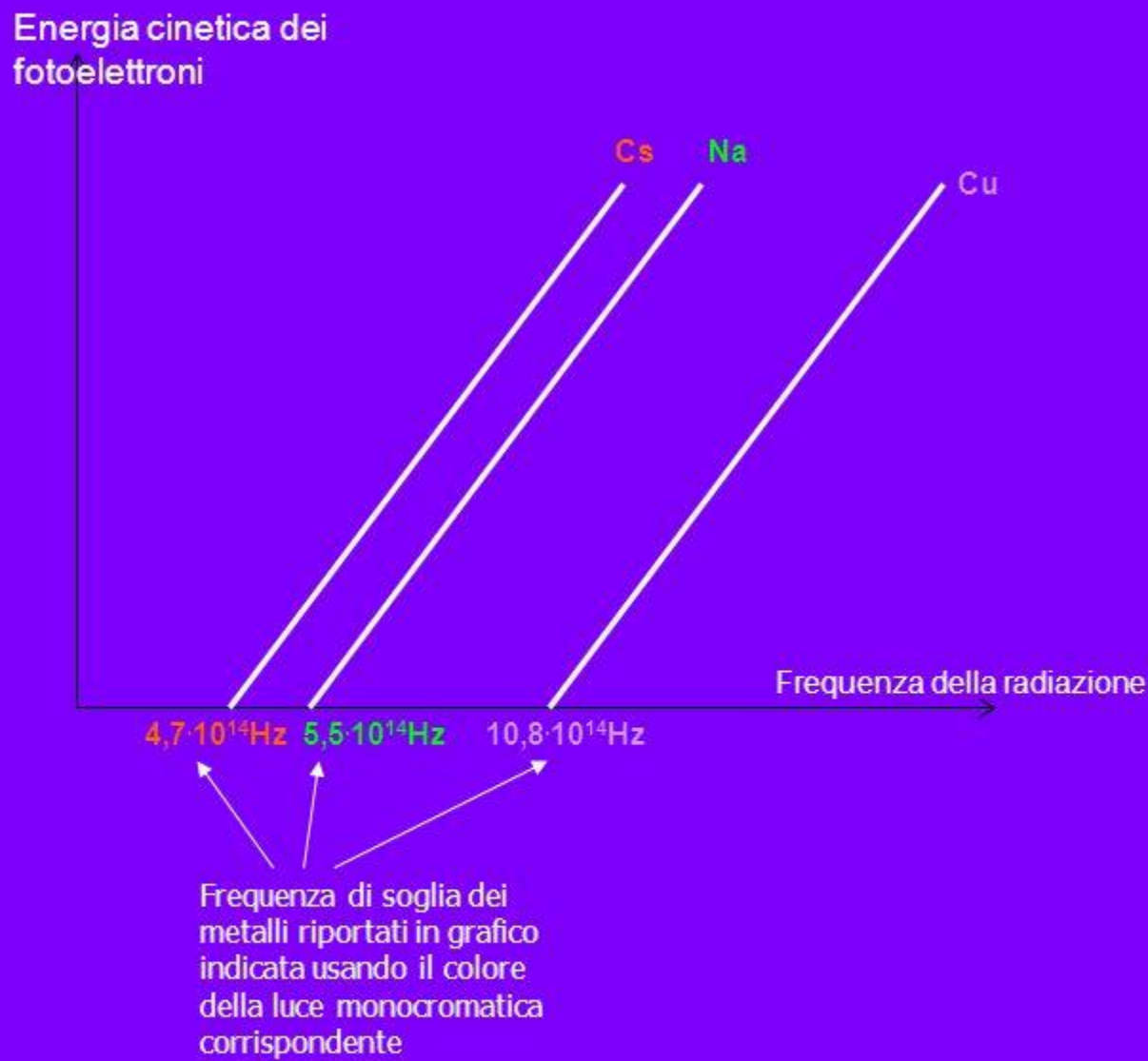
dall'intensità della radiazione che incide sul metallo!

Ciò è assurdo dal punto di vista classico!

Energia cinetica vs frequenza



Grafici dei risultati sperimentali dell'effetto fotoelettrico



Quindi dai grafici $E_{c,max}$ degli e^- (potenziale di arresto)- f della radiazione si osserva che:

Nessun fotoelettrone è emesso se la frequenza f della radiazione incidente è minore di un certo valore f_0 (soglia fotoelettrica) dipendente dal tipo di metallo, *qualunque* sia l'intensità della radiazione stessa.

Per frequenze maggiori della soglia fotoelettrica, l'energia cinetica massima cresce linearmente al crescere della frequenza f della radiazione.

Tutto ciò ancora una volta è inspiegabile dalla fisica classica!

Interpretazione quantistica

Se ammettiamo l'esistenza dei fotoni e supponiamo che ogni fotone, colpendo la superficie del metallo, trasferisca la propria energia a un solo elettrone, liberandolo dal metallo, le proprietà dell'effetto fotoelettrico trovano tutta una spiegazione.

Lavoro di estrazione L_0 : energia minima necessaria per estrarre un elettrone dal metallo.

Se $f > f_0$ (per avere emissione) e se l'energia del fotone è $hf > L_0$, allora la differenza è l'energia cinetica massima degli elettroni:

$$E_{c,\max} = hf - L_0$$

Conviene definire la frequenza minima per estrarre un elettrone: $f_0 = L_0 / h$ che è proprio la frequenza di soglia. Infatti, sostituendo:

$$E_{c,\max} = hf - hf_0$$

cioè:

$$E_{c,\max} = e \Delta V_0 = h (f - f_0)$$