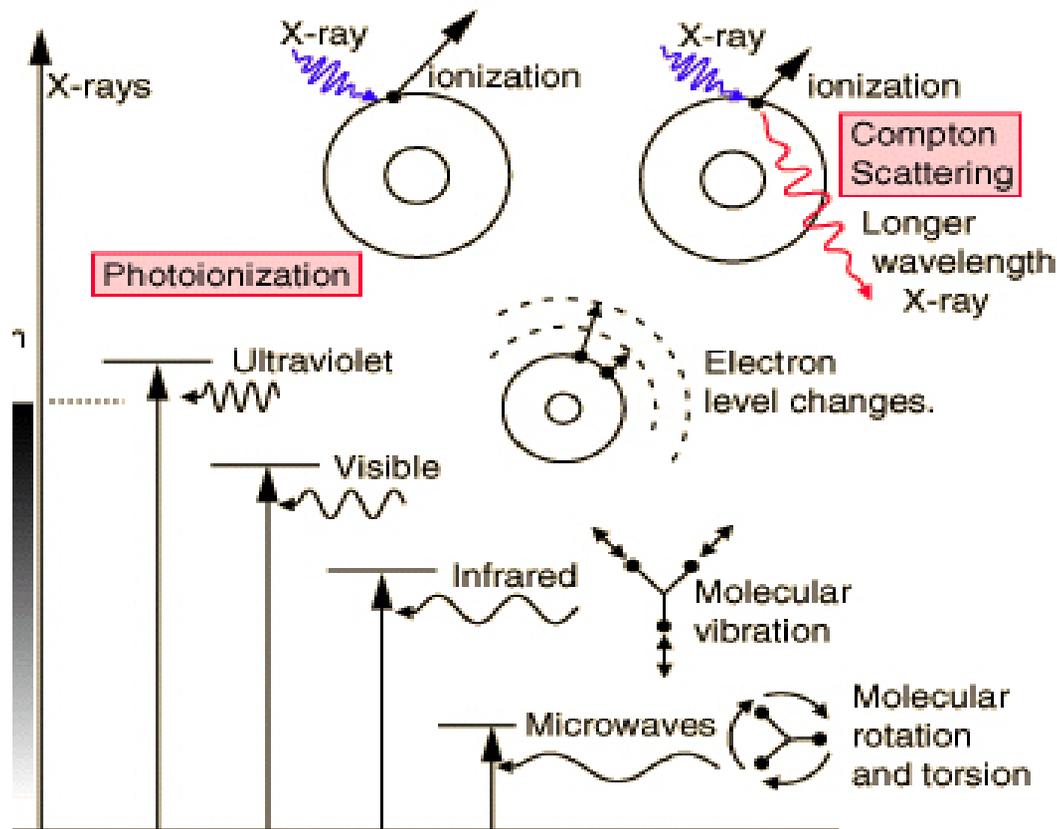


# Interazione dei fotoni con la materia

A seconda dell'energia dei fotoni (o onda e.m. o radiazione e.m.) diversi sono i processi di interazione con la materia.



## Interazione con le microonde

L'energia tipica delle microonde appartiene all'intervallo tra  $10^{-5}$  a  $10^{-3}$  eV, ovvero nel range delle energie tra lo stato quantico di rotazione molecolare e di torsione. L'interazione con la materia provocando la rotazione molecolare produce calore.

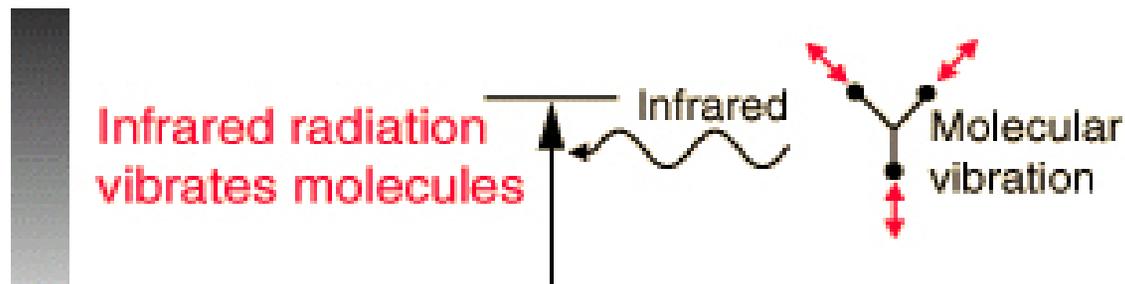


# Interazione con infrarossi

L'energia tipica delle radiazioni infrarosse appartiene all'intervallo tra  $10^{-3}$  a 1.7 eV, ovvero nel range delle energie proprie dello stato quantico di vibrazione molecolare. Gli infrarossi vengono assorbiti maggiormente delle microonde ma meno della luce visibile.

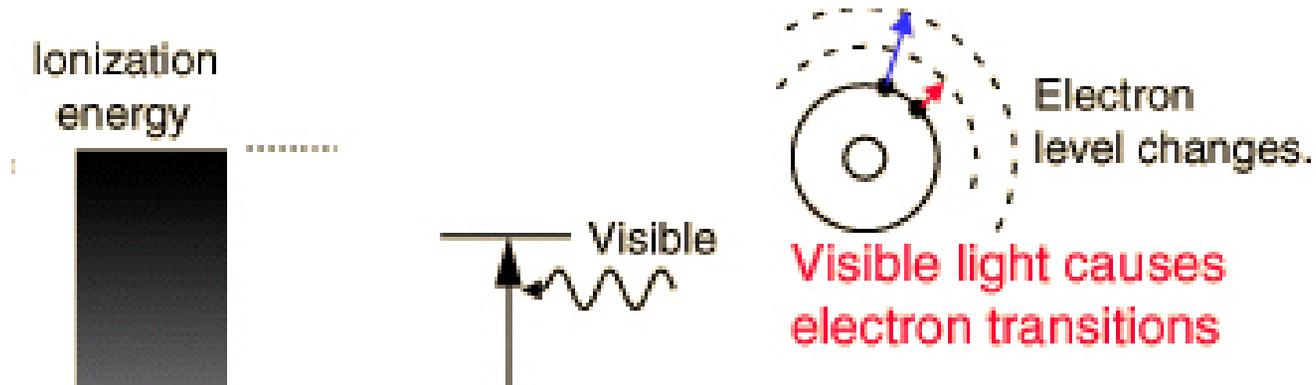
L'interazione con la materia provocando l'aumento del moto vibrazionale molecolare produce calore.

*La radiazione infrarossa penetra la pelle oltre la portata della luce visibile e quindi può essere usata per immagini dei vasi sanguigni subcutanei.*



# Interazione con la luce visibile

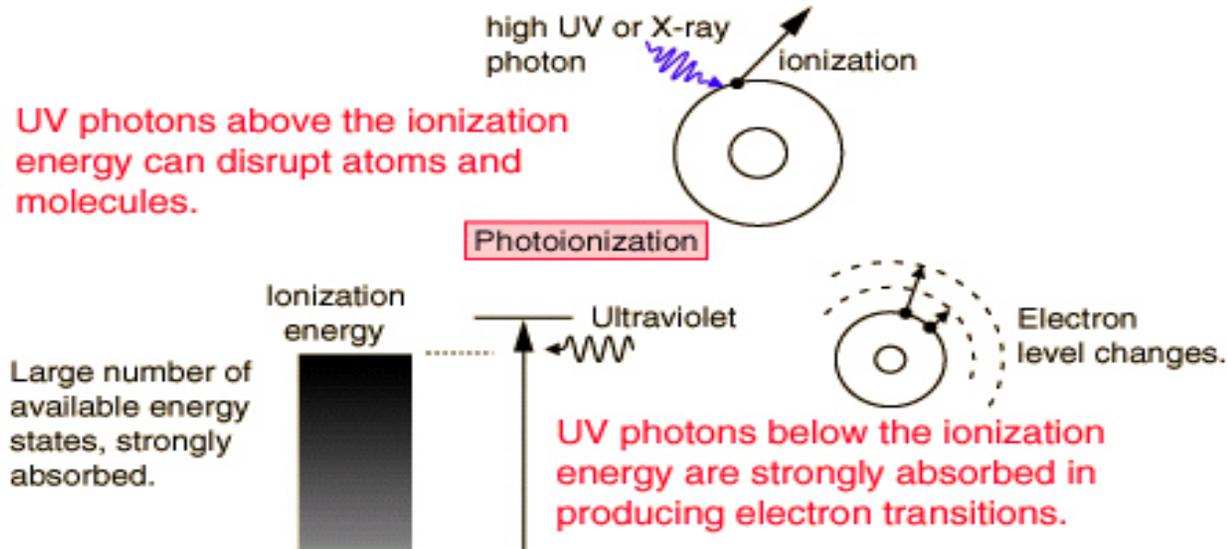
Il meccanismo primario di interazione della luce con la materia è l'elevazione degli elettroni a livelli di energia più alti. Poiché diversi sono gli stati possibili di transizione, la componente visibile è fortemente assorbita.



La luce in realtà scalda la parte colpita ma non produce le scottature, dovute alla componente della luce solare a più alta frequenza (componente ultravioletta u.v.).

# Interazione con gli ultravioletti

I fotoni ultravioletti di energia superiore all'energia di ionizzazione possono rompere atomi e molecole, mentre per energie inferiori sono assorbiti producendo transizioni elettroniche.



Gli ultravioletti sono fortemente assorbiti dagli strati superficiali della pelle per transizione elettronica. Aumentando l'energia degli uv, le energie di ionizzazione per molte molecole sono raggiunte quindi aumenta la probabilità dei processi di foto ionizzazione "pericolosi": scottature e nel tempo rischio di cancro cutaneo (basaliomi, spinocellulari, melanomi...)

# Interazione con i raggi X e gamma

Aumentando ancora l'energia dei fotoni, l'interazione incomincia ad interessare i livelli atomici producendo possibili interazioni tra i livelli energetici, collisioni elastiche e anelastiche con gli elettroni più esterni o più interni o addirittura interazioni con il nucleo stesso.

I principali processi di interazione che coinvolgono le energie della radiazione X e gamma sono i seguenti:

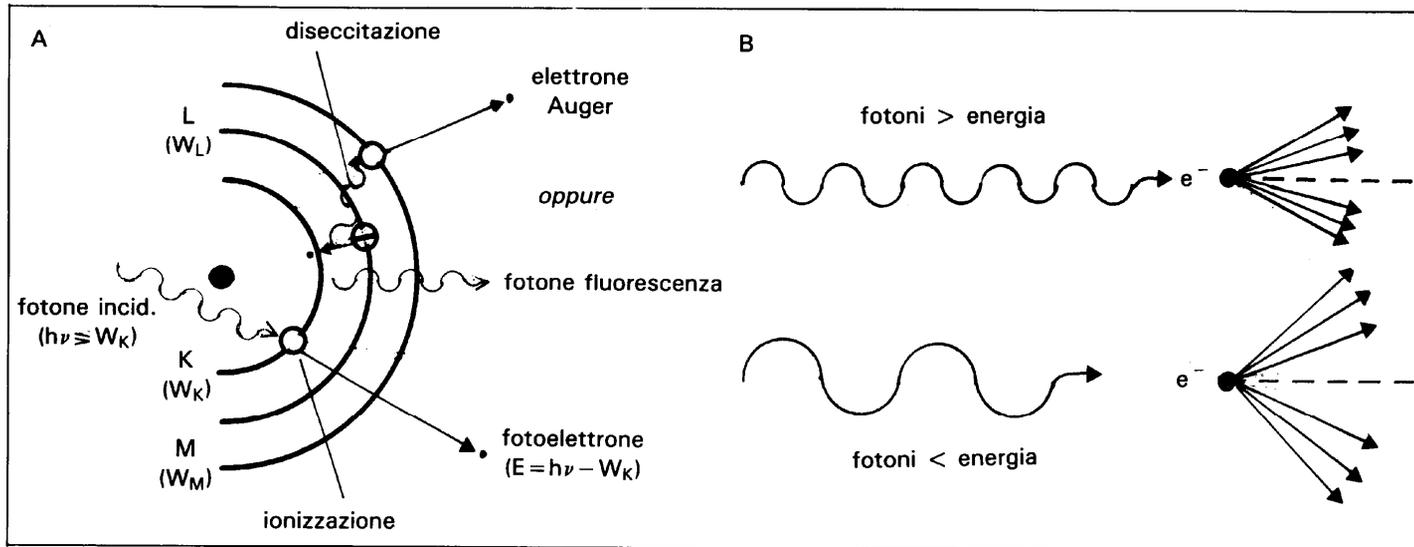
**EFFETTO FOTOELETTRICO**

**PROCESSO COMPTON (diffusione incoerente)**

**PRODUZIONE DI COPPIA**

# Interazione con i raggi X: effetto fotoelettrico

Se un fotone di energia  $h\nu$  colpisce un elettrone interno (livello K, L, M,..) e la sua energia è **maggiore dell'energia di legame dell'elettrone**, il fotone viene completamente assorbito nell'urto e l'elettrone (detto anche **fotoelettrone**) viene espulso dall'atomo con una energia cinetica pari alla differenza tra l'energia  $h\nu$  e quella di legame.

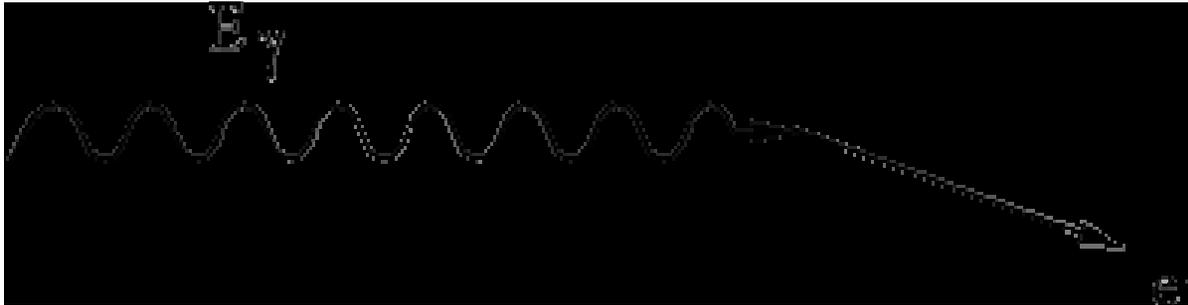


L'atomo risulta così in uno stato di eccitazione e dopo breve tempo un altro elettrone occuperà il vuoto lasciato nell'orbita con conseguente emissione di una radiazione elettromagnetica detta **radiazione caratteristica** o di **fluorescenza**.

# Interazione con i raggi X: effetto fotoelettrico

L'effetto fotoelettrico è quello predominante a basse energie.

Per materiali ad alto numero atomico  $Z$ , l'effetto si ha fino ad energie di 1MeV.



La **probabilità dell'evento fotoelettrico** è rappresentato dal coefficiente di attenuazione lineare  **$\mu$** .

# Interazione con i raggi X: effetto fotoelettrico

Il coefficiente di attenuazione lineare  $\tau$  risulta essere funzione dell'energia dei fotoni e del numero atomico  $Z$  del materiale interessato, secondo la relazione:

$$\tau \propto \frac{Z^n}{h\nu^3}$$

Essendo  $n$  pari a 3 per elementi ad alto  $Z$  e 3.8 per elementi a basso  $Z$ .

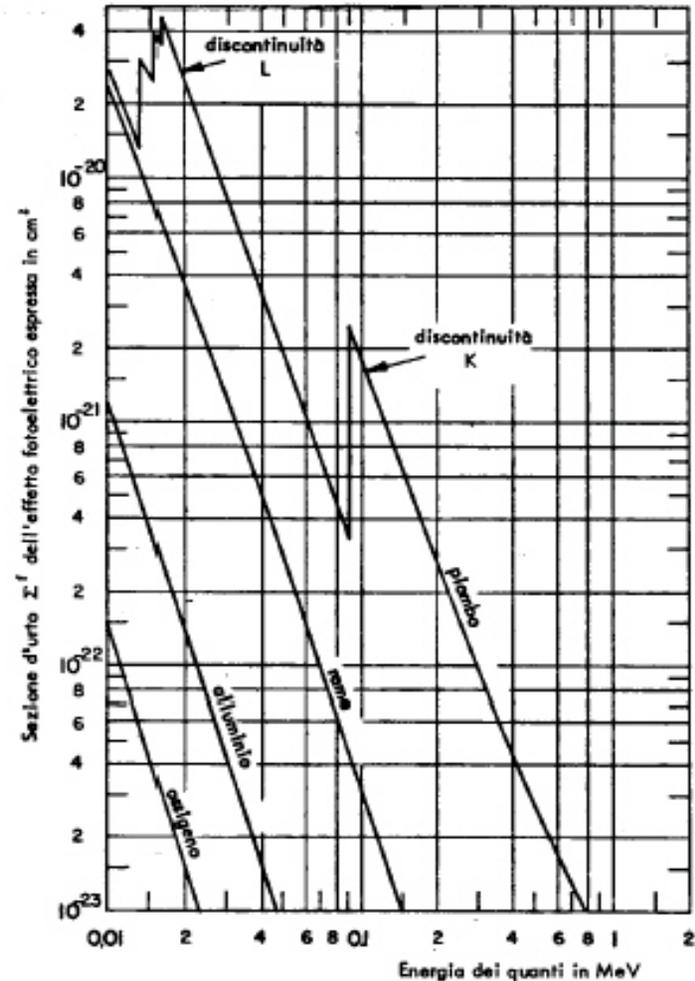


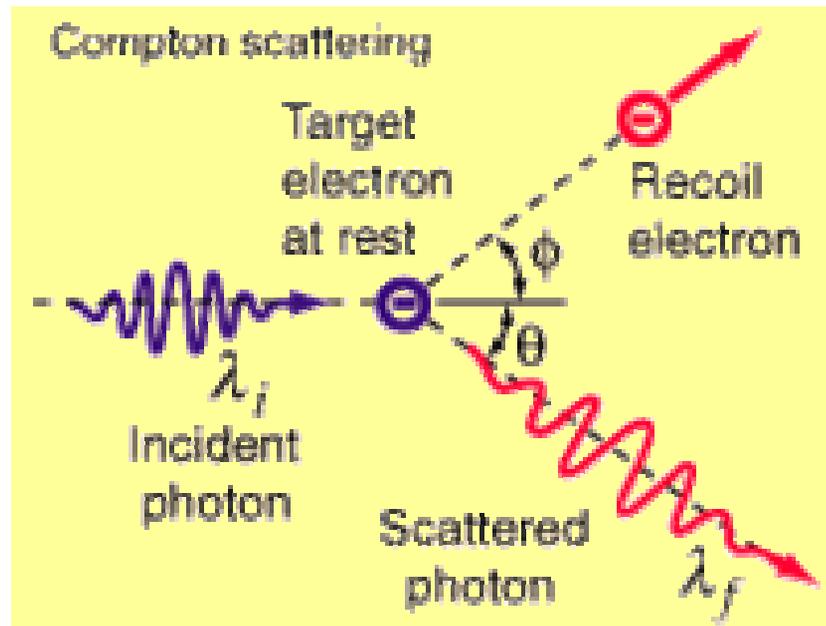
Fig 13.1 sezione d'urto fotoelettrica in vari materiali

# Interazione con i raggi X: effetto Compton

Se il fotone incidente di energia  $h\nu$  interagisce con un **elettrone orbitale esterno** (considerato «libero» o «debolmente legato»), nell'urto parte della sua energia viene trasferita all'elettrone.

L'elettrone è messo in movimento con una certa energia cinetica, mentre il fotone ( o «fotone diffuso») cambia direzione di propagazione ed assume una energia minore pari alla differenza tra quella incidente e quella cinetica dell'elettrone.

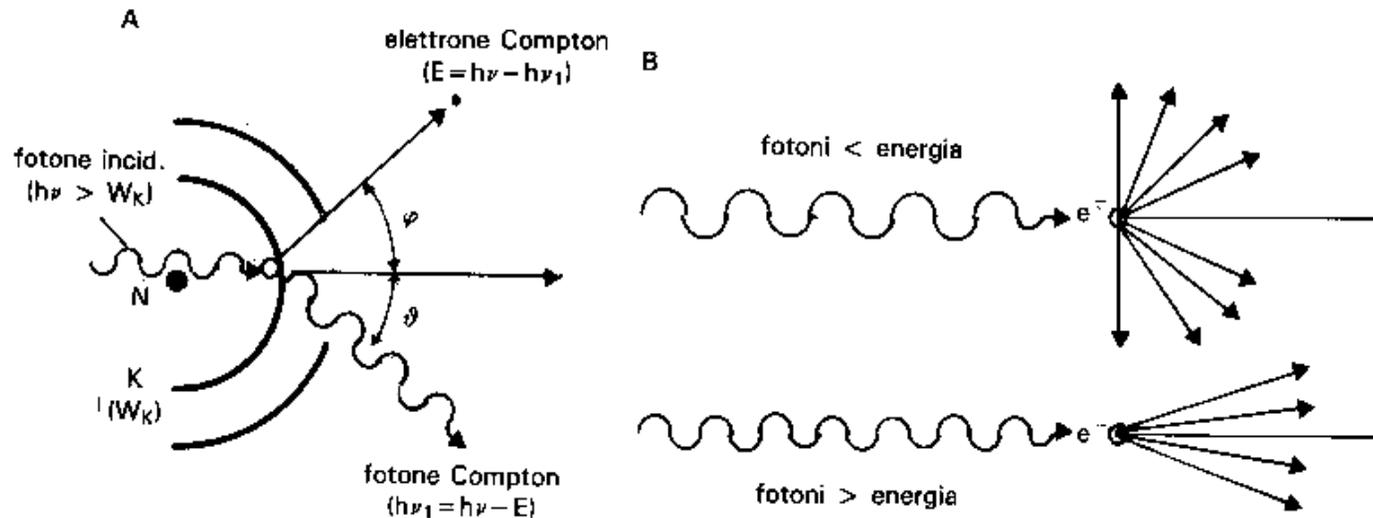
La **direzione** del fotone diffuso e dell'elettrone emesso dipende dalla energia cinetica dell'elettrone, dall'energia del fotone incidente e da quella del fotone diffuso.



# Interazione con i raggi X: effetto Compton

## Effetto Compton: fotone di energia bassa

Nel caso di *fotoni di energia bassa* (molto inferiore a 0.511MeV), l'energia fornita all'elettrone orbitale è molto piccola, il fotone diffuso mantiene pressoché inalterata la direzione di propagazione e l'elettrone viene espulso perpendicolarmente ad essa.

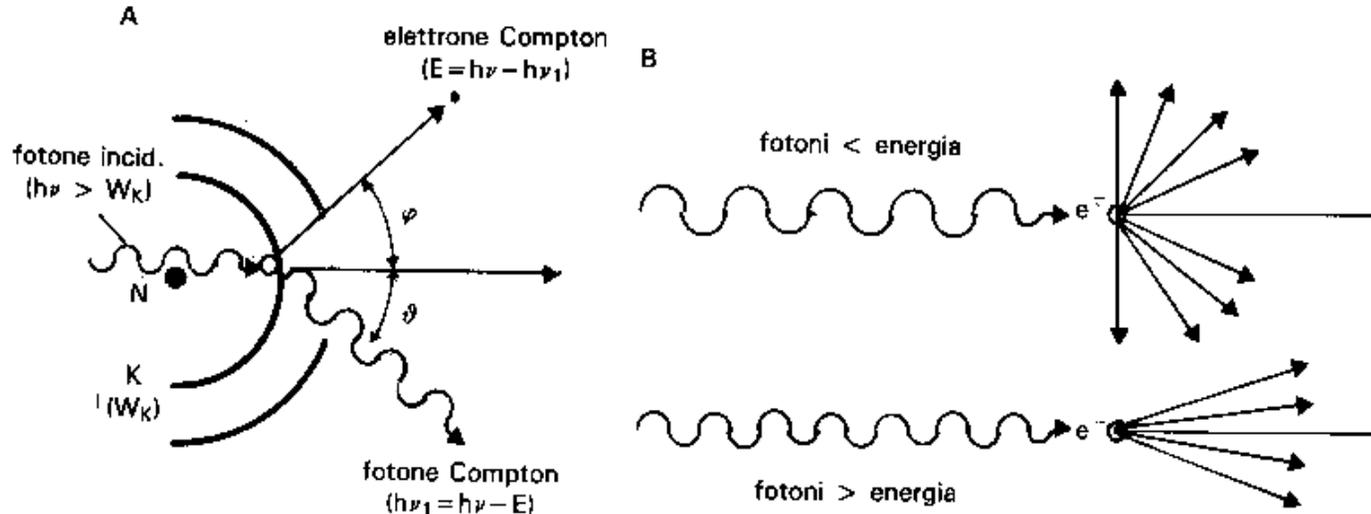


# Interazione con i raggi X: effetto Compton

## Effetto Compton: fotone diffuso di energia alta

Nel caso di *fotoni di energia elevata*, nell'urto, gran parte dell'energia del fotone incidente viene trasferito all'elettrone orbitale che si muoverà nella stessa direzione del fotone incidente.

Il fotone diffuso caratterizzato da una energia molto minore di quella incidente manterrà la stessa direzione di propagazione ma con verso contrario (**fotoni retrodiffusi**).



# Interazione con i raggi X: effetto Compton

**Coefficiente di interazione Compton: componente diffusa e componente trasferita**

**La probabilità dell'effetto Compton è definita dal coefficiente totale  $\sigma$ , che tiene conto sia della componente diffusa  $\sigma_s$  (fotone diffuso) sia della componente trasferita  $\sigma_{tr}$  (elettrone)**

**In generale  $\sigma$  dipende da:**

- numero atomico  $Z$  del materiale assorbente**
- inversamente dall'energia del fotone incidente**
- dal numero di atomi  $N$  presenti nel materiale assorbente.**

***Per energie basse  $\sigma_{tr} \ll \sigma$***

***Per energie alte  $\sigma_{tr} \approx \sigma$***

# Interazione con i raggi X: effetto Compton

La probabilità dell'effetto Compton è definita dal coefficiente totale  $\sigma$ , che tiene conto sia della componente diffusa  $\sigma_s$  (fotone diffuso) sia della componente trasferita  $\sigma_{tr}$  (elettrone)

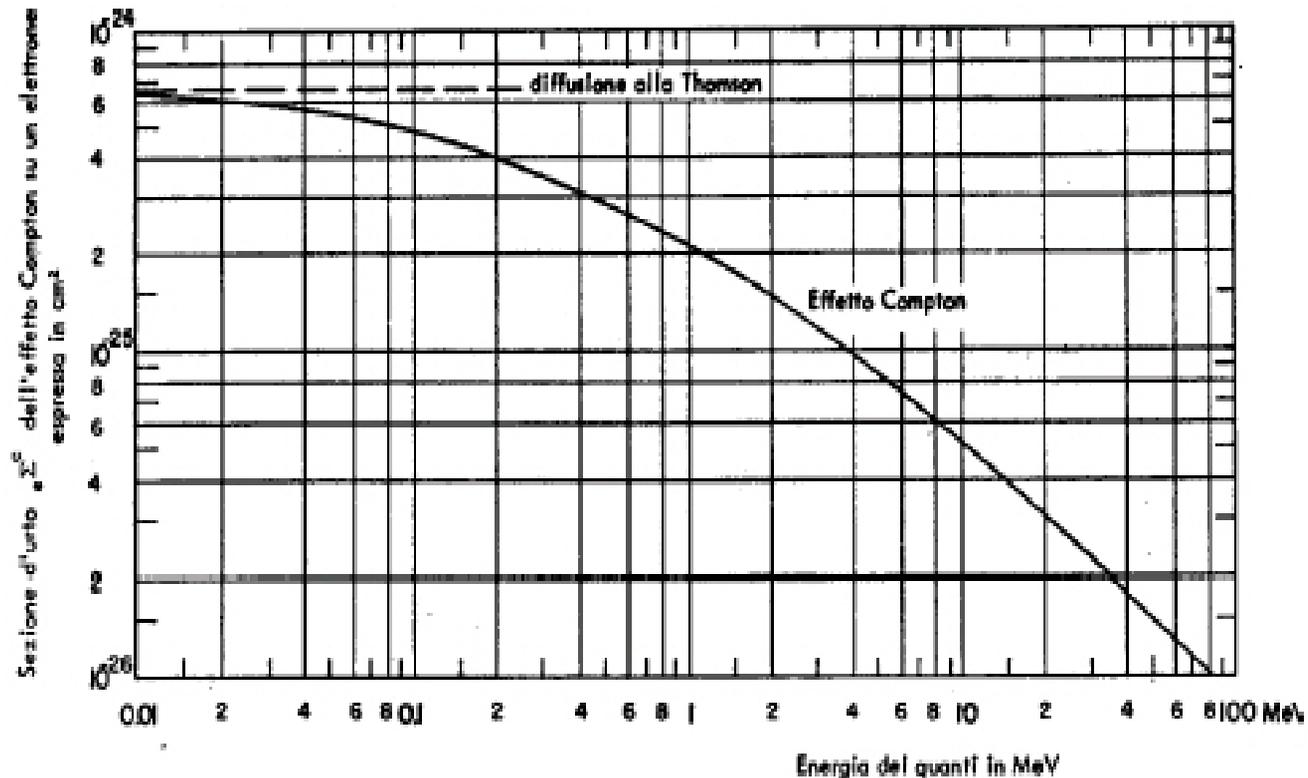


Fig 13.2 sezione d'urto Compton (e Thomson)

# Interazione con i raggi X: effetto Compton

Distribuzione angolare dei fotoni in funzione della energia

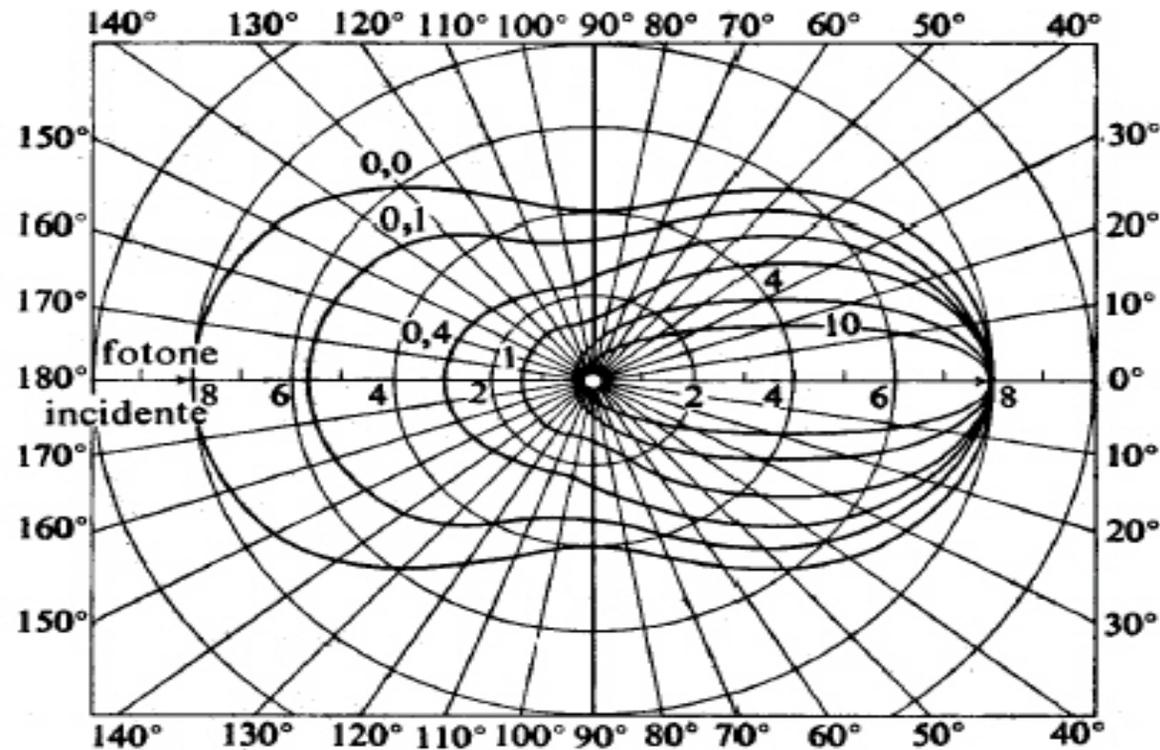
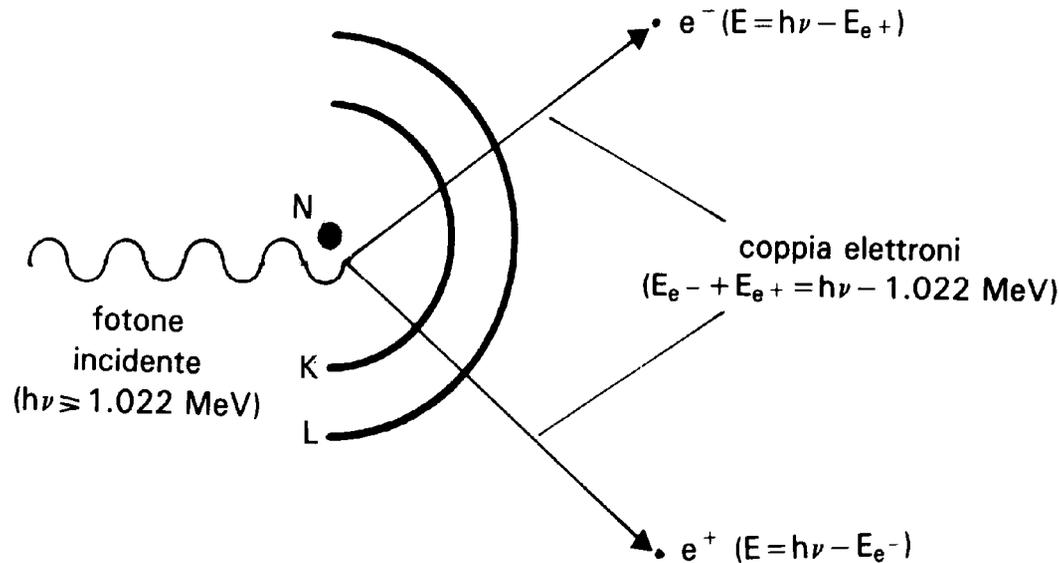


Fig 13.3 distribuzione angolare nell'effetto Compton

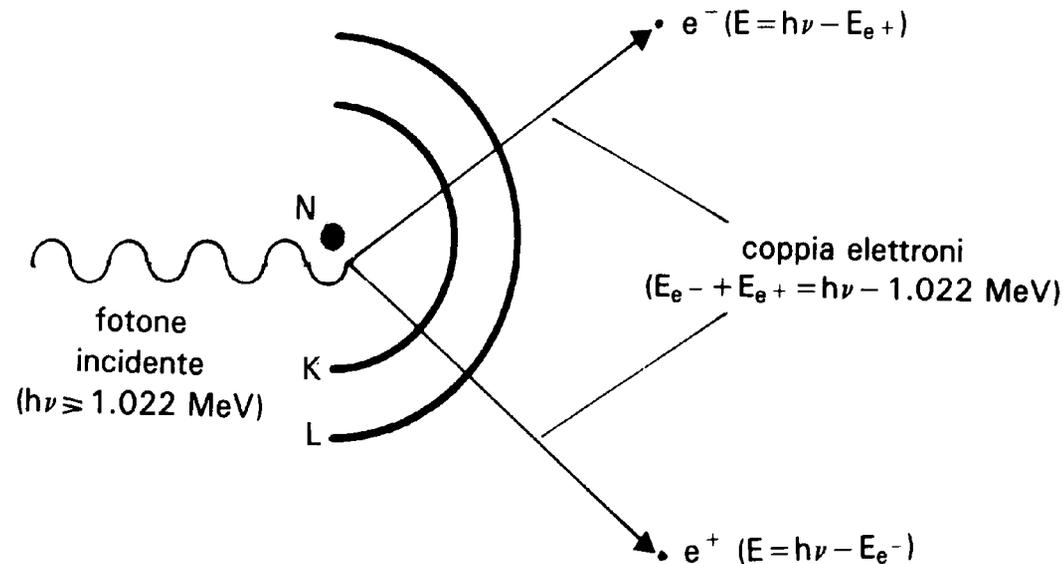
# Interazione con i raggi X: produzione di coppia



**Per energie dei fotoni incidenti superiori a 1,022 MeV, si ha un particolare fenomeno detto *produzione di coppia*.**

**Tale processo è legato all'interazione diretta del fotone con il nucleo dell'atomo del mezzo assorbente.**

# Interazione con i raggi X: produzione di coppia



**Nell'interazione il fotone può scomparire completamente dando luogo ad una coppia di elettroni positive e negativi di energia cinetica pari alla differenza dell'energia del fotone incidente e l'energia di 1,022 MeV corrispondente all'equivalente energetico della massa delle due particelle (teoria di Einstein sulla equivalenza tra materia ed energia).**

# Interazione con i raggi X: produzione di coppia

L'effetto quindi è la creazione di due particelle:

1. un elettrone di data energia cinetica che si muoverà nel mezzo perdendo via via la propria energia negli urti con gli elettroni orbitali
2. un «antielettrone» o positrone (corrispondente antimateria dell'elettrone).

Il positrone persa la sua energia cinetica nel mezzo, interagirà successivamente con gli elettroni del mezzo assorbitore in un *processo di annichilazione* ovvero di sparizione con successiva emissione di due fotoni di energia pari a 0,511 MeV e di direzione opposta.

*La probabilità di questo effetto dipende  
fondamentalmente dall'energia e dal numero atomico Z.*