

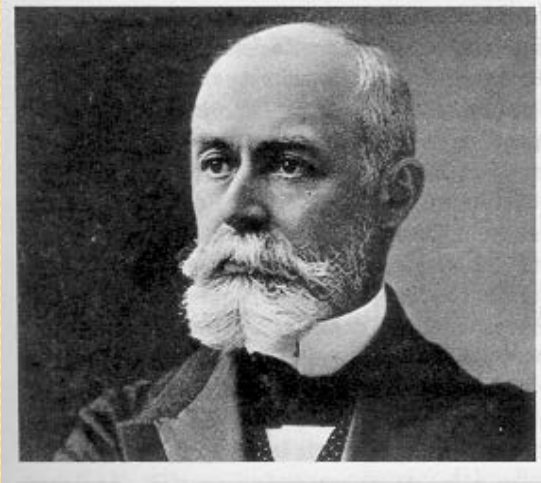
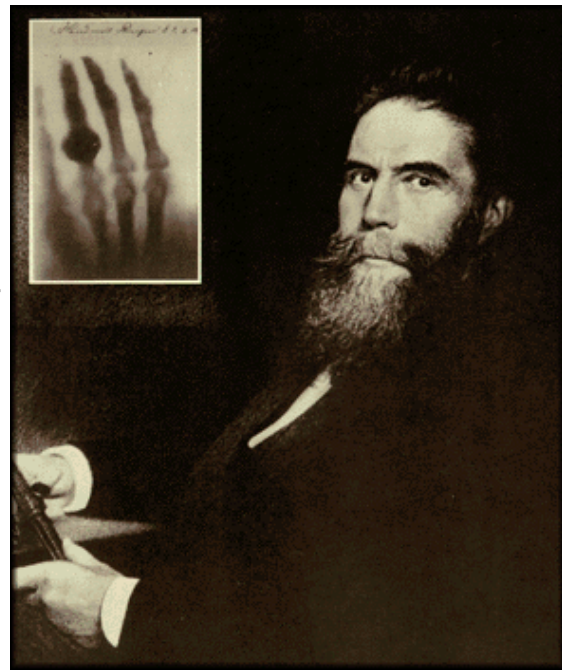


# Interazione radiazione materia

Dott.ssa Alessandra Bernardini

# Un po' di storia

- Lo studio delle radiazioni ionizzanti come materia di interesse nasce nel novembre del **1895** ad opera del fisico tedesco Wilhelm Röntgen: studiando i fenomeni associati al passaggio di corrente elettrica attraverso gas a bassa pressione, scoprì i raggi X.



- Pochi mesi dopo, nei primi mesi del **1896**, il fisico francese Antoine Henri Becquerel scoprì la radioattività naturale.

- L'anno successivo (**1897**) Maria Sklodovska Curie scelse come argomento di tesi in fisica lo studio del fenomeno della radioattività appena scoperto.



# Le radiazioni ionizzanti

- Per radiazioni ionizzanti si intendono onde elettromagnetiche e particelle di energia sufficientemente elevata da riuscire a strappare elettroni alla materia, cioè in grado di ionizzare atomi e molecole.

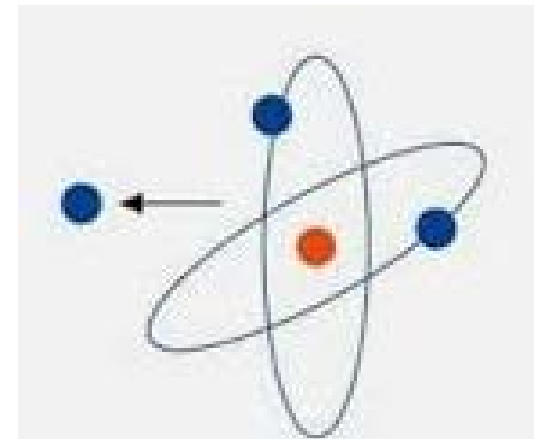
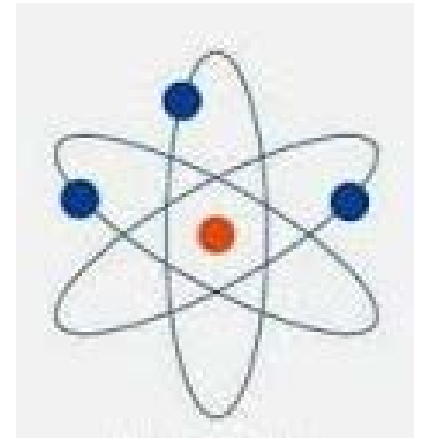
Radiazioni emesse durante i decadimenti radioattivi:

- Particelle  $\alpha$  e  $\beta$
- Radiazioni  $\gamma$

Radiazioni emesse da altre sorgenti:

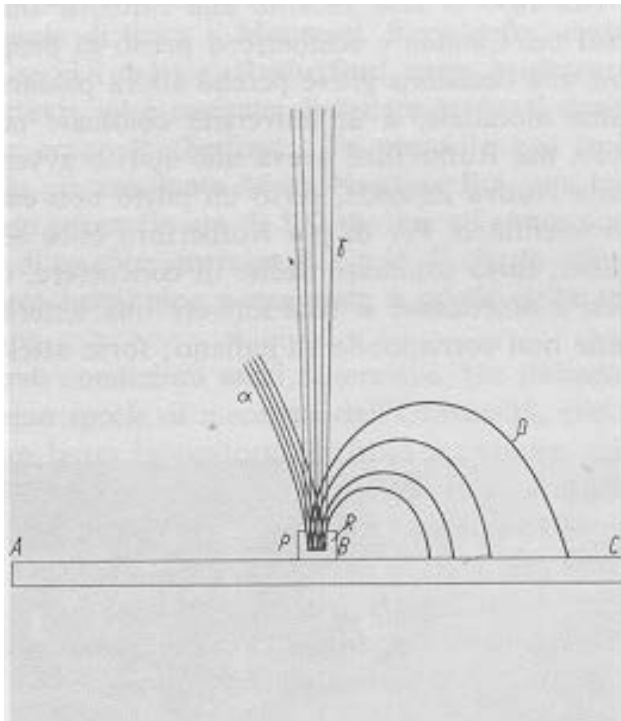
- Raggi X
- Raggi ultravioletti

Le radiazioni ionizzanti possono produrre danni agli organismi viventi.



# Natura delle radiazioni ionizzanti

- Le radiazioni ionizzanti possono essere di natura **corpuscolare** oppure di natura **ondulatoria** a seconda che l'energia sia trasportata da particelle o da onde elettromagnetiche.



- Inoltre alcune radiazioni vengono deviate da un campo magnetico ( $\alpha$  e  $\beta$ ), altre ( $\gamma$  e  $X$ ) procedono indisturbate.

# Radiazioni direttamente e indirettamente ionizzanti

- Le radiazioni *direttamente* ionizzanti, vengono chiamate così perché riescono a ionizzare direttamente l'atomo. Sono costituite da particelle cariche (protoni, elettroni, positroni, particelle  $\alpha$ , ioni ecc.) che riescono ad interagire elettricamente con la materia.
- Le radiazioni *indirettamente* ionizzanti, invece, sono costituite da particelle neutre e da radiazione elettromagnetica (neutroni, raggi X e  $\gamma$ ) che cedono tutta o parte della loro energia a particelle elettricamente cariche (secondi carichi) che possono ionizzare direttamente la materia.

# Potere frenante (Stopping Power)

- Una particella carica ( $e^-$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ ,  $\alpha$ ,  $p^+$  ...) che attraversa la materia interagisce con gli elettroni degli atomi producendo ionizzazioni.
- Occorrono mediamente 30 eV per produrre una ionizzazione e la particella perde una corrispondente frazione di energia
- Un parametro importante è il Potere Frenante (Stopping Power) che varia fortemente tra le varie particelle e varia con il materiale attraversato e l'energia della particella.

$$S = \frac{\Delta E}{\Delta x}$$

# Perdita di energia per unità di percorso

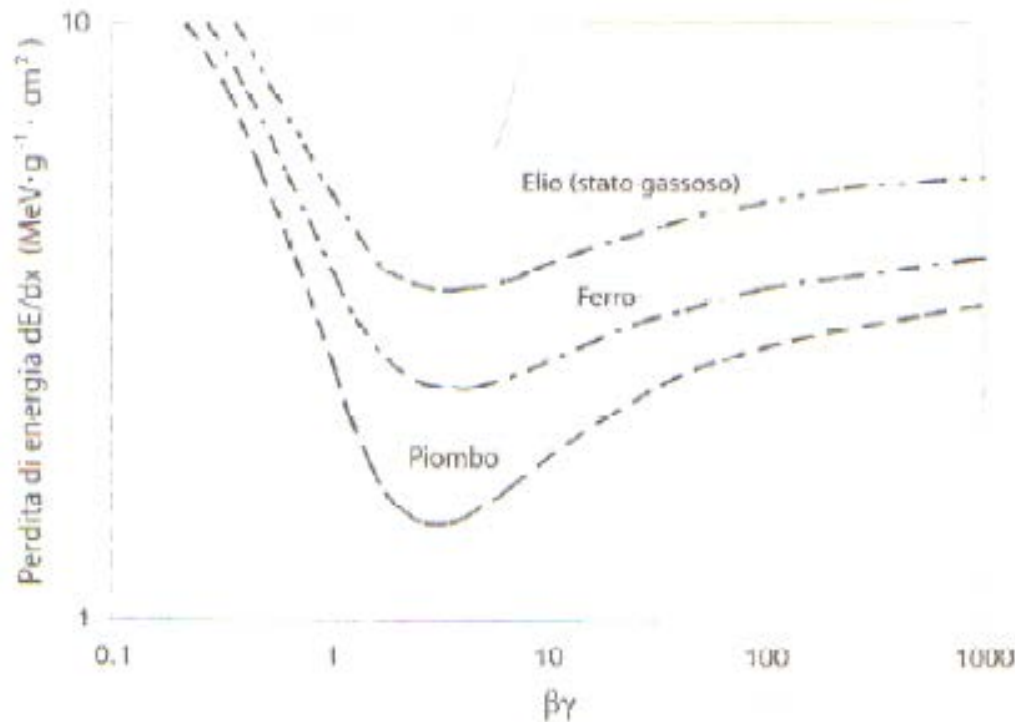


Figura 10. Perdita di energia per unità di percorso per particelle cariche pesanti.

Radioprotezione di base – S.Sandri et al.

[...] Una particella lenta rilascia più energia. Più è veloce, meno perde energia per unità di cammino percorso. Dopo aver raggiunto il minimo si ha una lenta crescita relativistica.

# Curva di Bragg

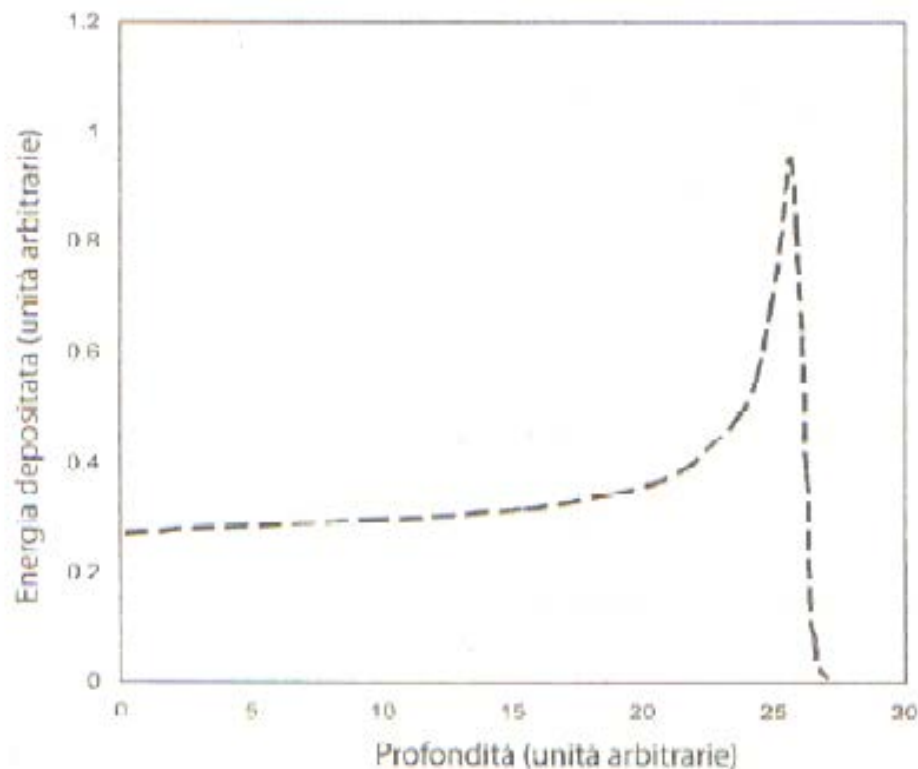


Figura 12. Curva di Bragg.

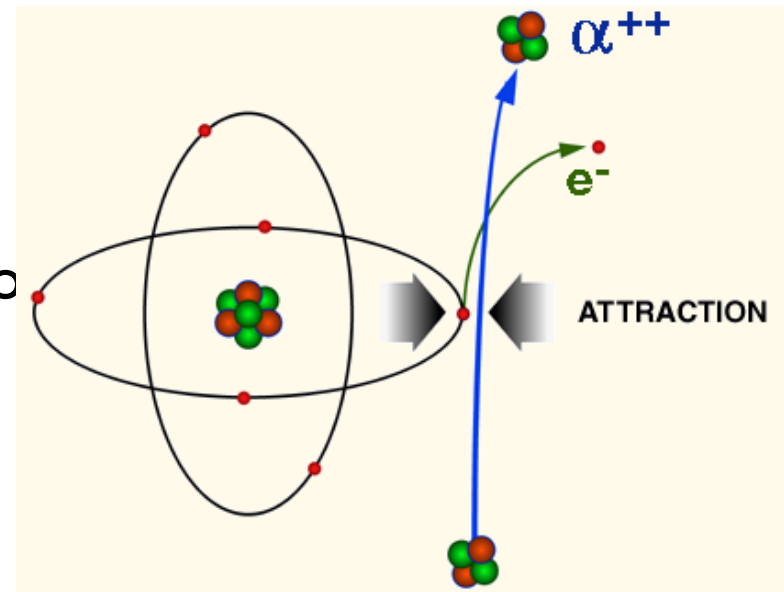
Radioprotezione di base – S.Sandri et al.

[...] Per le particelle cariche si ha pertanto un massimo di ionizzazione per bassi valori di energia, il che si verifica in prossimità della fine del percorso della particella quando questa ha quasi completamente degradato l'energia iniziale nei processi di collisione



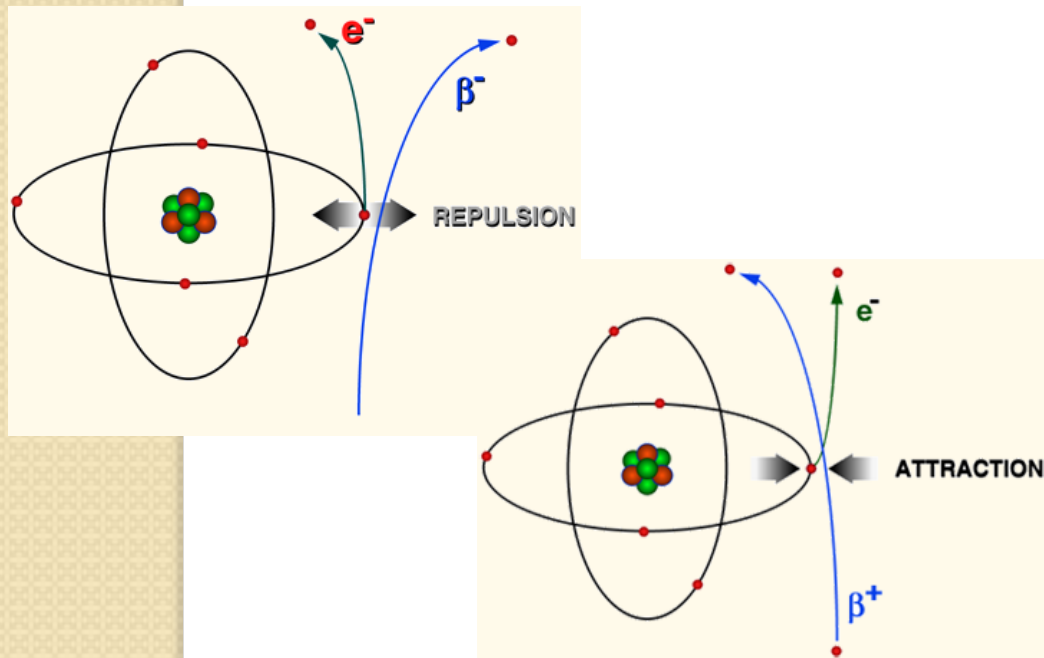
# Particelle alfa ( $\alpha$ )

- Nei nuclei molto grandi, i protoni della periferia sentono meno la forza attrattiva (forza forte) che tiene incollati i nucleoni (protoni e neutroni) fra loro, possono quindi essere espulsi dal nucleo.
- Non viene mai espulso un protone da solo, ma un pacchetto di nucleoni costituito da 2 protoni e 2 neutroni, chiamato particella alfa ( $\alpha$ ). La particella  $\alpha$  ha carica  $2+$



# Particelle beta ( $\beta$ )

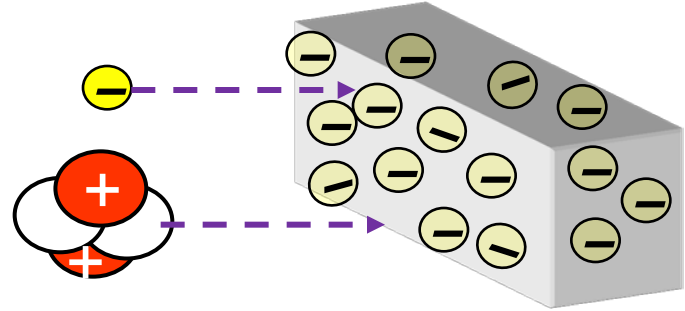
- Le particelle beta sono elettroni proprio come quelli che orbitano attorno al nucleo.
- Vengono chiamate particelle  $\beta$  per indicare che hanno una origine diversa, infatti, vengono prodotte nel nucleo durante il decadimento.



- Le particelle beta possono avere carica  $-1$  oppure  $+1$  a seconda che si tratti di elettroni o di positroni (identici agli elettroni ma con carica positiva)

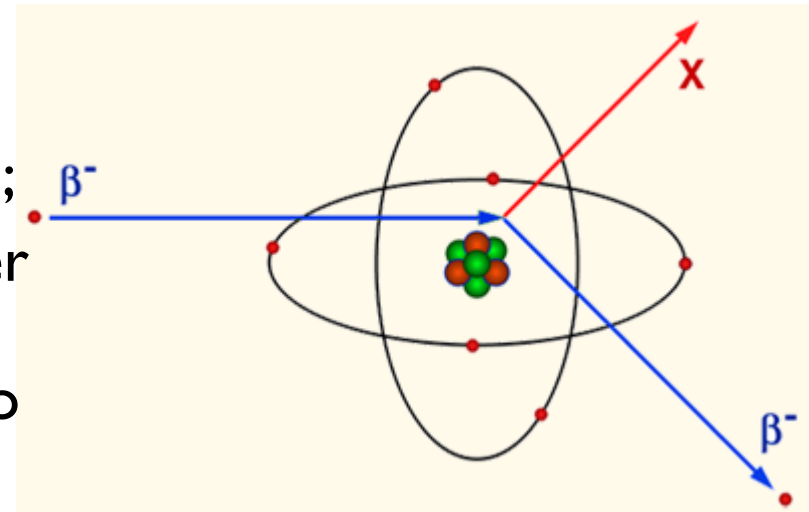
# Particelle $\alpha$ e $\beta$ in aria

- Il potere frenante dipende dal numero di elettroni incontrati dalla particella ionizzante nel suo percorso.
- Il numero di elettroni è proporzionale alla densità, quindi le particelle  $\alpha$  e  $\beta$  compiono percorsi maggiori in aria piuttosto che in acqua (o nel tessuto).
- L'aria ha una densità pari a  $1.3 \text{ kg/m}^3$  mentre l'acqua ha una densità di circa  $1000 \text{ kg/m}^3$ , quindi il percorso in aria è  $1000/1,3 = 770$  volte maggiore rispetto al percorso in acqua.




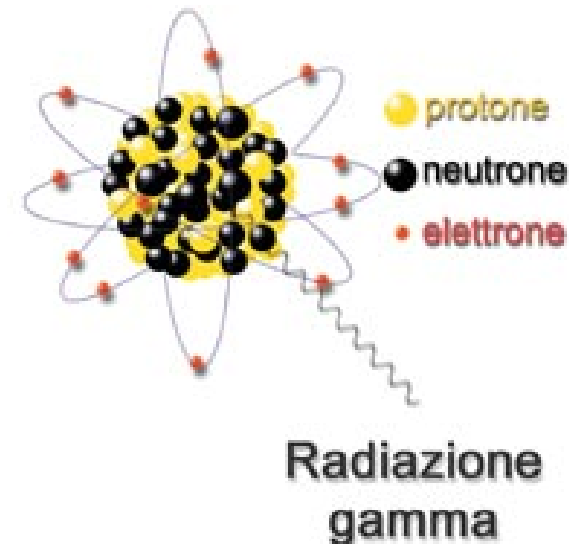
# Perdita di energia per bremsstrahlung

- Tutte le particelle cariche che attraversano la materia possono perdere energia anche per «frenamento».
- Questo fenomeno è molto evidente per gli elettroni (minore è la massa maggiore l'effetto).
- La particella carica che passa vicino al nucleo, viene 'rallentata' e deviata dal suo campo elettrico;
- L'energia perduta per frenamento viene emessa come radiazione e.m. (fotoni);
- Il fenomeno viene esaltato per elettroni di energia elevata e per materiali con alto numero atomico  $Z$ ;

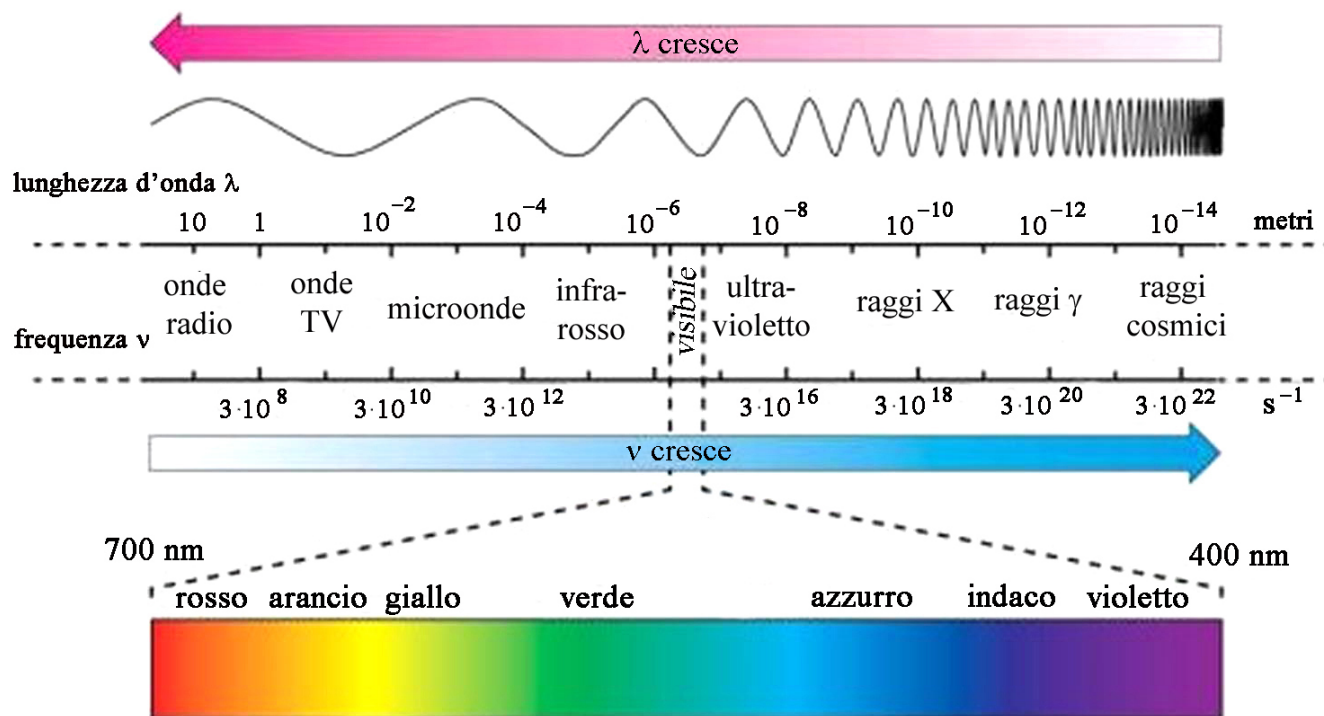


# Radiazione gamma ( $\gamma$ )

- I raggi  $\gamma$  non sono altro che radiazioni elettromagnetiche (e.m.) proprio come la luce visibile, le onde radio o le microonde.
- La radiazione e.m. è un'onda che trasporta solo energia e non materia.
- Le onde e.m. viaggiano in brevi treni di impulsi (piccoli pacchetti) chiamati: fotoni che simbolicamente vengono rappresentati in questo modo  e sono prodotti nei decadimenti radioattivi.



# Spettro elettromagnetico



- Le radiazioni luminose hanno energie  $1,5 \text{ eV} \div 3 \text{ eV}$
- I raggi ultravioletti  $3 \text{ eV} \div 20 \text{ eV}$
- I raggi X usati per le radiografie  $20 \text{ keV} \div 100 \text{ keV}$
- I raggi gamma emessi dal Cesio 137  $662 \text{ keV}$

# Interazione dei fotoni

- I fotoni possono interagire con la materia in modi diversi a seconda dell'energia che trasportano:

- Fotoni a bassa energia

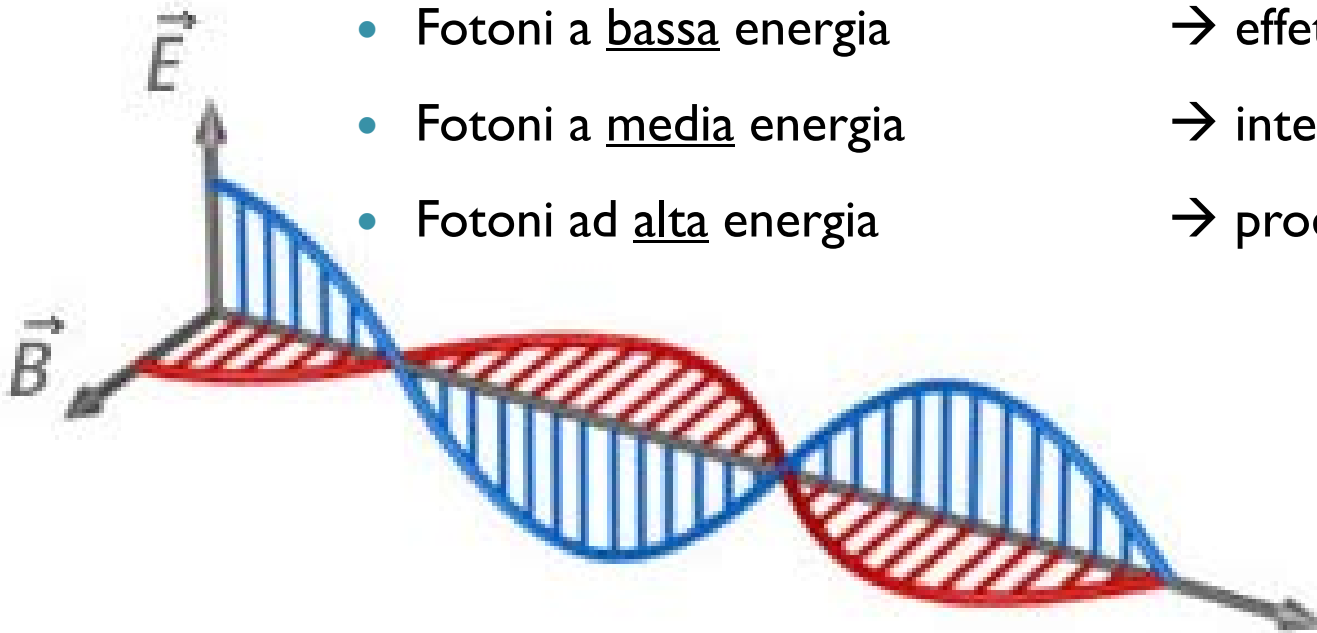
→ effetto fotoelettrico

- Fotoni a media energia

→ interazione Compton

- Fotoni ad alta energia

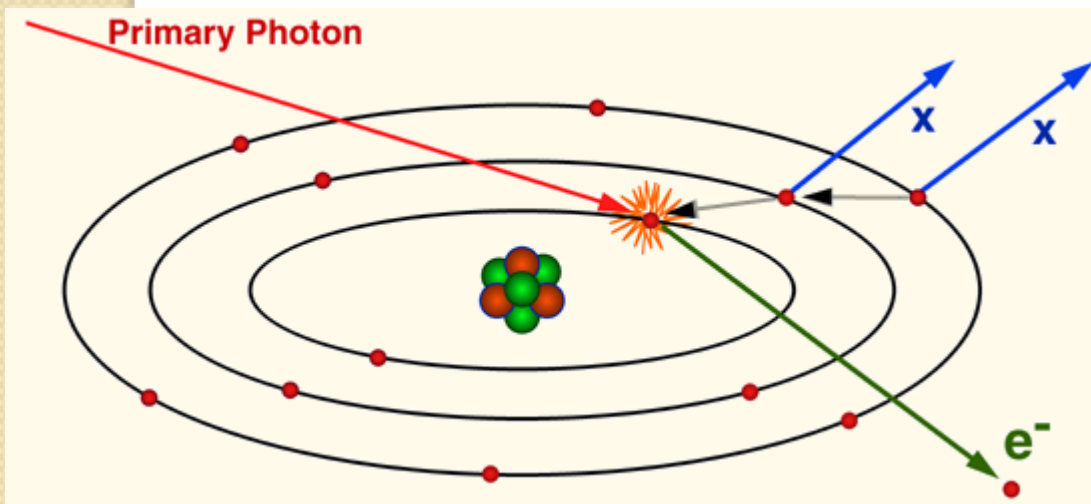
→ produzione di coppie



- Bassa energia  $< 500 \text{ keV}$
- $500 \text{ keV} < \text{media energia} < 1 \text{ MeV}$
- Alta energia  $> 1,022 \text{ MeV}$

# Effetto fotoelettrico

- L'effetto fotoelettrico è predominante nell'interazione dei fotoni con la materia, alle basse energie.
- Nel processo un fotone viene completamente assorbito da un  $e^-$  interno all'atomo (più vicino al nucleo);
- L' $e^-$  viene espulso con una energia uguale all'energia del fotone meno l'energia di legame dell' $e^-$  all'atomo.

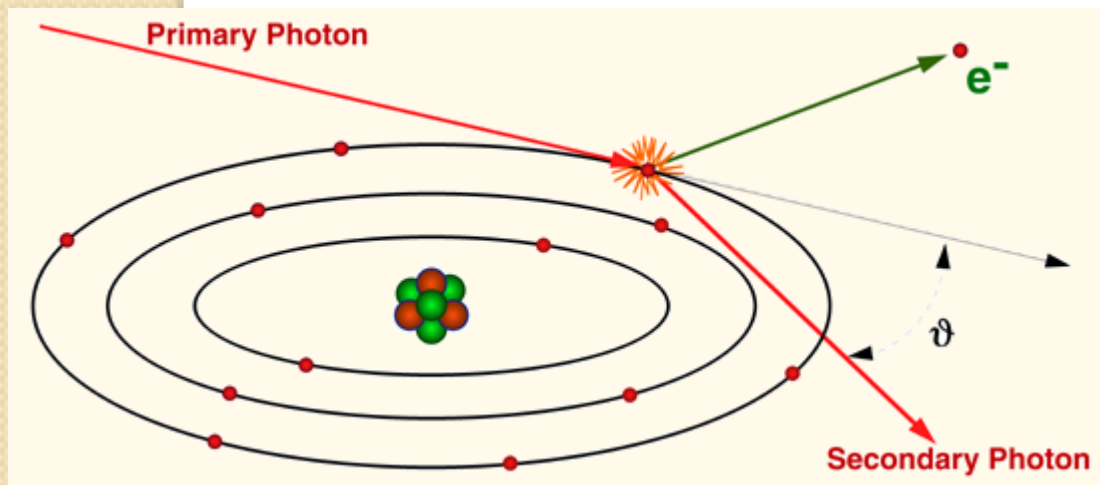


- A seguito dell'espulsione di un  $e^-$  la configurazione elettronica dell'atomo si riassetta in maniera tale da occupare la vacanza creatasi all'interno dell'atomo stesso. Nel riassetamento vengono emessi raggi X di fluorescenza.



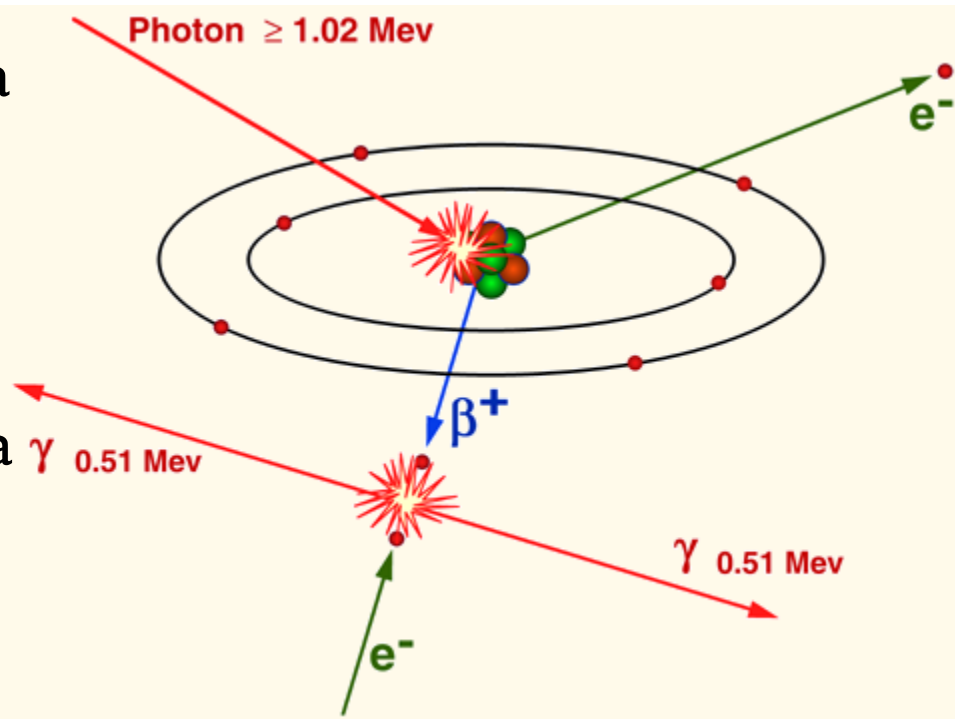
# Interazione Compton

- Rappresenta il processo elementare di diffusione elastica di un fotone su un elettrone atomico ed è più probabile che avvenga con elettroni delle orbite più esterne che non con quelli delle orbite più interne.
- E' più probabile per fotoni di energia media ( $500 \text{ keV} < E_\gamma < 1 \text{ MeV}$ );
- Nell'interazione il fotone non viene assorbito, ma viene diffuso con una energia minore di quella di incidenza;



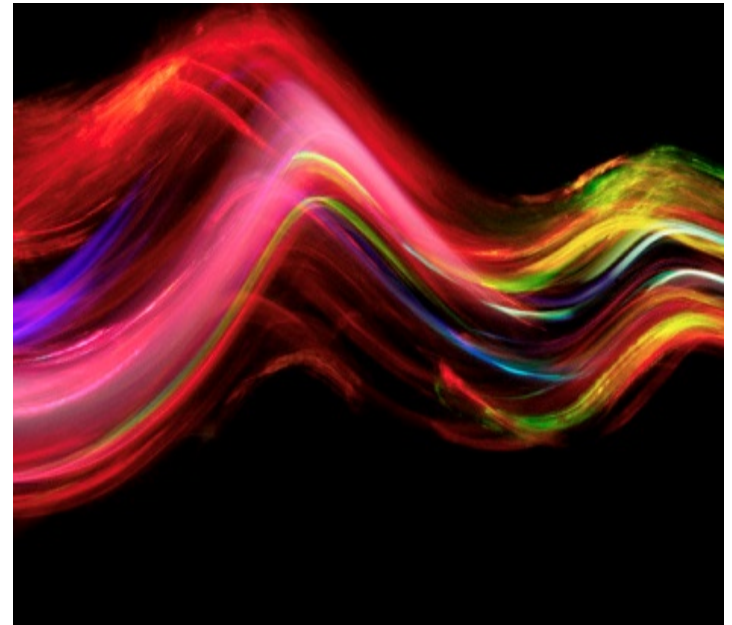
# Produzione di coppie elettrone-positrone

- È un processo di assorbimento in cui un fotone si trasforma in una coppia elettrone - positrone
- È un processo a soglia, pertanto si verifica solo per fotoni con energie superiori a 1,022 MeV (massa  $e^- = 0,511$  MeV);
- Affinché il processo possa avvenire è necessaria la presenza di un terzo corpo (nucleo atomico) per la conservazione della quantità di moto;



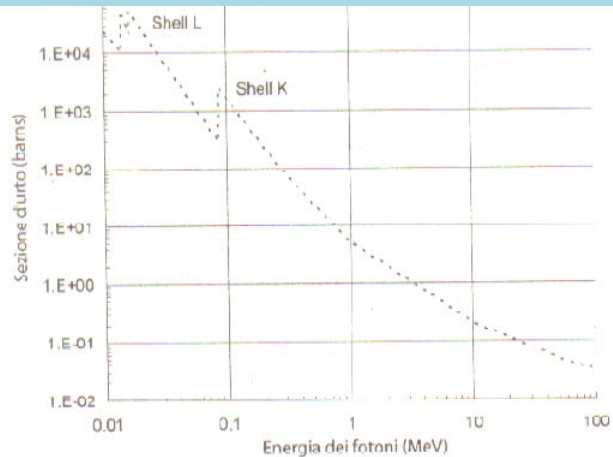
# Probabilità di interazione

- La probabilità che i fotoni interagiscano con la materia in un modo piuttosto che in un altro dipende:
  - 1 – dalla energia del fotone
  - 2 – dal numero atomico  $Z$  del materiale.
- L'effetto fotoelettrico: è prevalente alle basse energie e per valori di  $Z$  elevati;
- L'interazione Compton: è prevalente alle energie medie ed è quasi indipendente da  $Z$ ;
- La produzione di coppie: è prevalente alle alte energie e per valori di  $Z$  elevati;

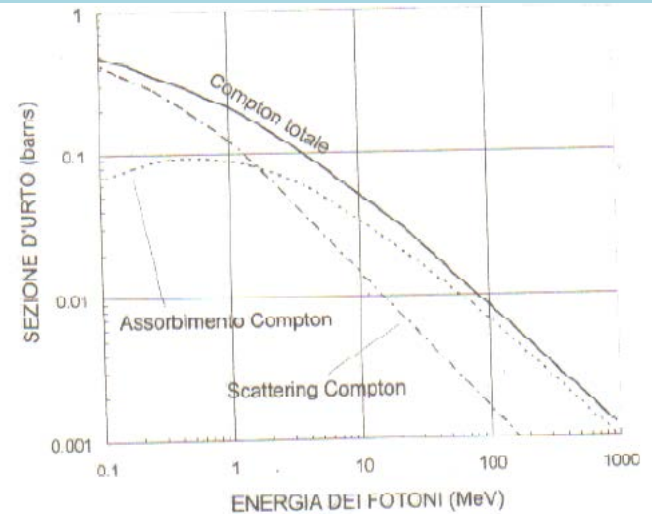


# Sezioni d'urto

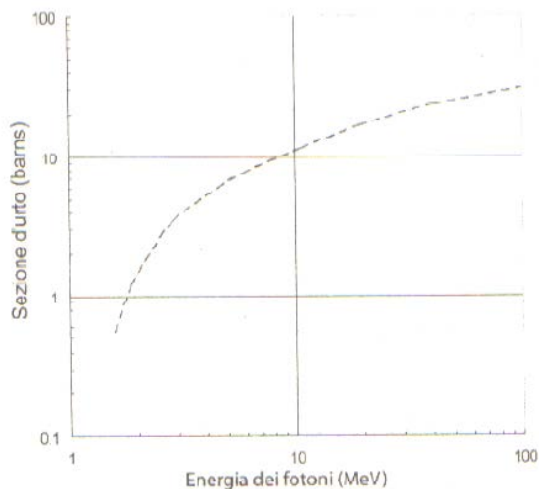
## Sezione d'urto per effetto fotoelettrico



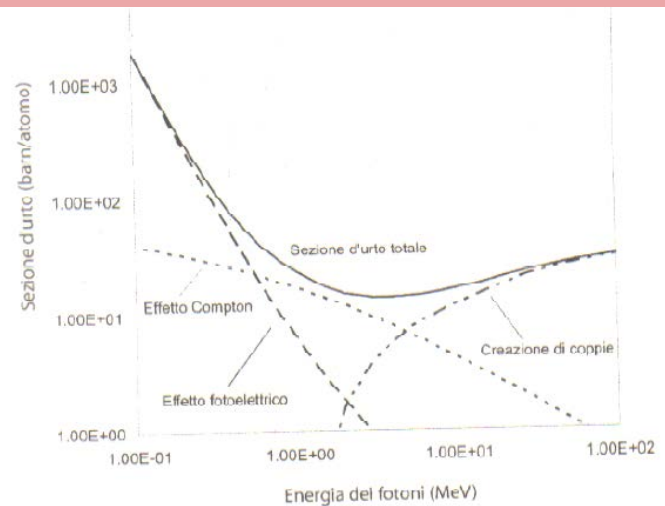
## Sezione d'urto per effetto Compton



## Sezione d'urto per produzione di coppie



## Sezione d'urto totale su Piombo



# Coefficienti di attenuazione

- Il coefficiente di attenuazione rappresenta la frazione di radiazione gamma che interagisce per unità di spessore attraversato

$\mu_f$  = coefficiente di assorbimento fotoelettrico.

$\mu_c$  = coefficiente di interazione Compton.

$\mu_{pp}$  = coeffic. di interazione per la produzione di coppie.

$$\mu_F \cong \frac{Z^4}{E^3}$$

Fotoelettrico

$$\mu_C \cong \frac{Z}{E}$$

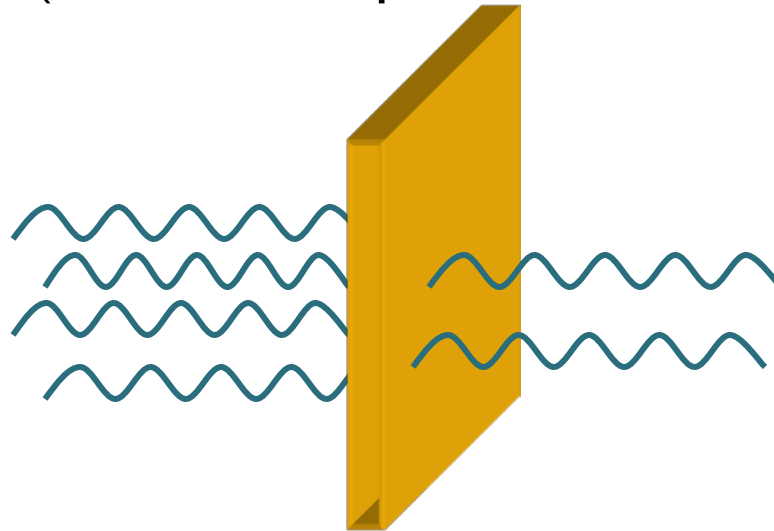
Compton

$$\mu_{PP} \cong Z^2 \times (E - 1,022)$$

Produzione di coppie

# Attenuazione del fascio

- Le interazioni dei fotoni ( $X$  e  $\gamma$ ) con la materia sono fenomeni probabilistici;
- Non posso dire se il singolo fotone sarà assorbito, ma posso conoscere la frazione di fotoni che attraverserà lo schermo (o viceversa quella che sarà assorbita);



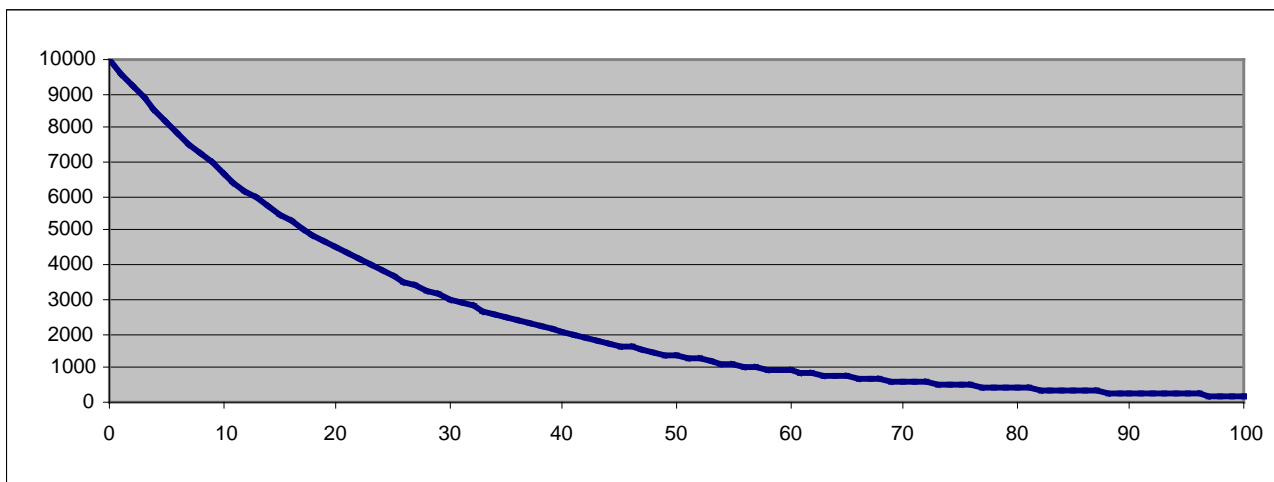
# Frazione di fotoni che interagisce

- Il numero  $\Delta N$  di fotoni che interagisce dipende da:
  - ◆ Numero di fotoni incidenti  $N_0$
  - ◆ Coefficiente di attenuazione  $\mu$
  - ◆ Spessore del materiale  $\Delta x$
- Di conseguenza :  $\Delta N = - N_0 \mu \Delta x$
- Tutte le leggi con un meccanismo di funzionamento probabilistico portano ad una equazione esponenziale

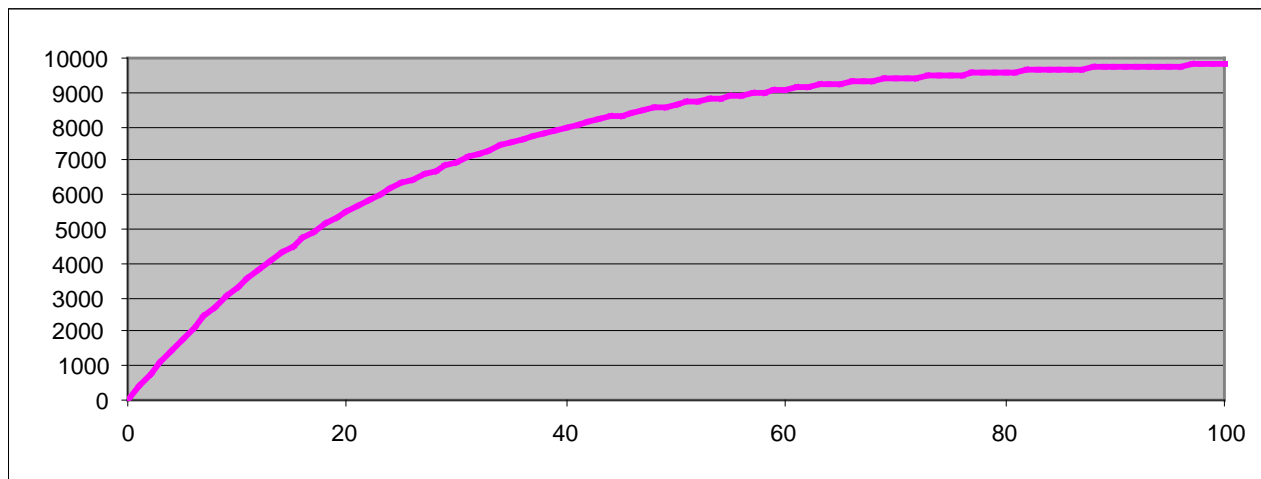
$$N(x) = N_0 e^{-\mu x}$$

...molto simile alla legge sul decadimento radioattivo.

# Fotoni emergenti e fotoni assorbiti



♦ Fotoni emergenti  $N(x) = N_0 e^{-\mu x}$



♦ Fotoni assorbiti  $N_{abs}(x) = N_0 (1 - e^{-\mu x})$