

Esercitazione Corso di Rischio Fisico

Francesco Di Capua

2021/2022

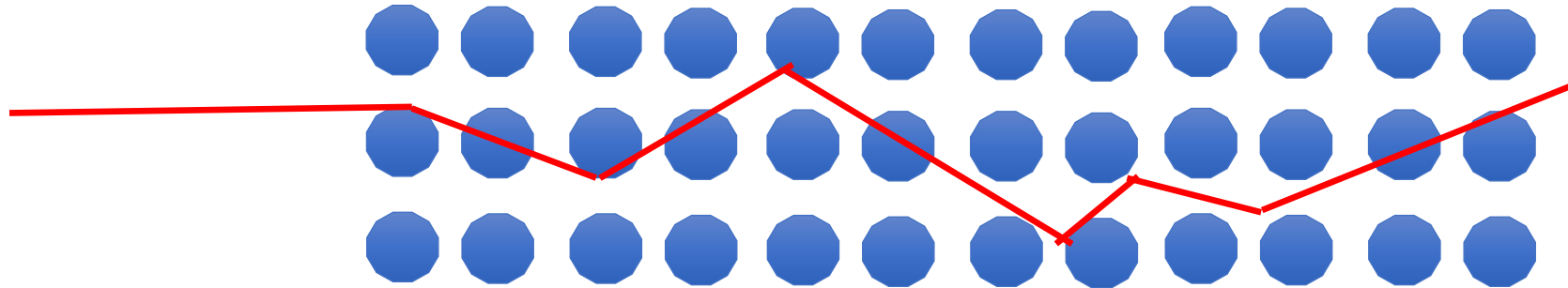
Riassunto lez. precedente

Interazione della radiazione con la materia:

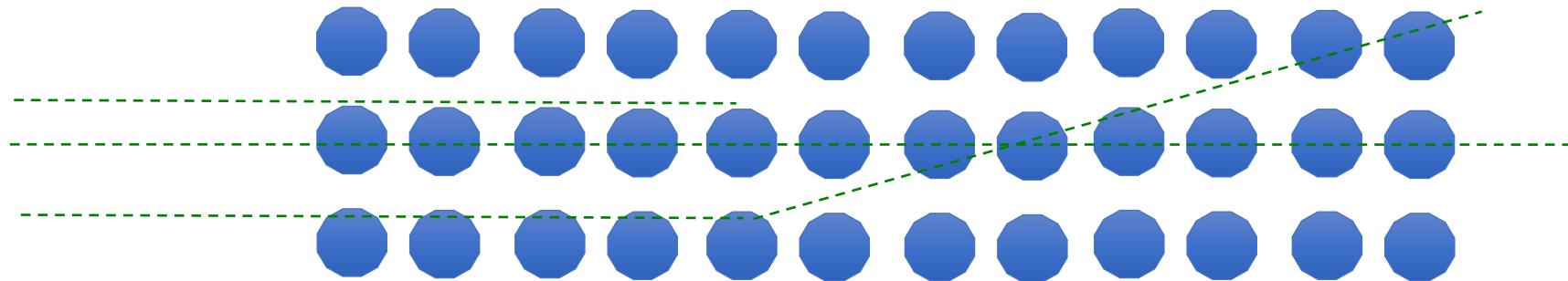
- Le **particelle cariche** perdono energia nella materia ionizzando ed eccitando gli elettroni atomici, la perdita di energia è un **processo continuo**: elettroni, protoni, alfa vengono diffusi e perdono via via energia nella materia fino ad arrestarsi
- Un fotone **X o gamma** può attraversare una quantità di materiale con una probabilità non nulla di non subire alcuna interazione, le interazioni avvengono in maniera **discreta** ed un fotone può essere assorbito in una singola interazione (processo di natura stocastica)

Interazione della radiazione con la materia:

Particelle cariche: diffusione nel campo colombiano e perdita di energia continua per processi di ionizzazione ed eccitazione



Radiazione X e gamma: interazioni discrete, processi di assorbimento e diffusione Compton



Particelle cariche

- **Elettroni:** piccola massa e carica negativa, da decadimento beta e da acceleratori, possono essere accelerati ad altissima velocità, oltre alla perdita di energia per ionizzazione, perdono energia per bremsstrahlung (emissione di X)
- **Protoni:** positivamente carichi, prodotti agli acceleratori e possono essere accelerati ad energie utili per ricerca e terapia medica dai MeV a 300 MeV (...o oltre per applicazioni scientifiche)
- **Particelle-alfa:** nuclei di elio emessi da radionuclidi nel decadimento alpha, ...oppure prodotte agli acceleratori
- **Ioni pesanti** (Carbonio, Ossigeno,) prodotti agli acceleratori per scopi di ricerca e per terapia medica

Linear Energy Transfer (LET)

Per descrivere la perdita di energie delle particelle cariche si introduce il LET (perdita di energia per unità di lunghezza)

$$LET \propto C \frac{z^2}{v^2} Z$$

z: carica elettrica della particella
Z: numero atomico del materiale
v: velocità della particella

1. Il LET cresce al decrescere della velocità della particella
2. Il LET cresce al crescere della carica elettrica della particella: per le alfa $z=2$, per cui il LET è 4 volte superiore a quello dei protoni ($z=1$)
3. Il LET non dipende direttamente dalla massa della particella

Il valore massimo del LET è detto:

PICCO DI BRAGG

Interazioni con la materia:

Le radiazioni Elettromagnetiche non sono “direttamente ionizzanti” come le particelle cariche, ma sono “indirettamente ionizzanti” attraverso diversi meccanismi di interazione

I principali processi di interazione dei fotoni X e Gamma con la materia sono 3:

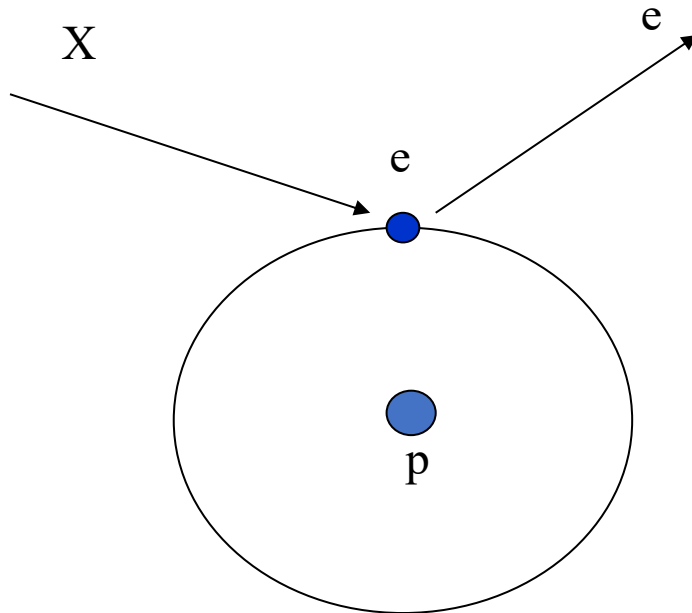
1. Effetto fotoelettrico
2. Effetto Compton
3. Produzione di coppie

Effetto fotoelettrico

L'effetto fotoelettrico è un urto fotone-elettrone legato:
Il fotone sparisce e l'elettrone urtato acquista energia cinetica

L'energia cinetica dell'elettrone emesso è: $E_{el} = E_{\gamma} - B$

B: energia di legame elettrone-atomo



La probabilità di avere un effetto fotoelettrico si calcola avere questa espressione

$$\sigma \cong C \frac{Z^n}{E_{\gamma}^m} \quad \begin{array}{l} n = 4 \div 4.6 \\ m = 1 \div 3 \end{array}$$

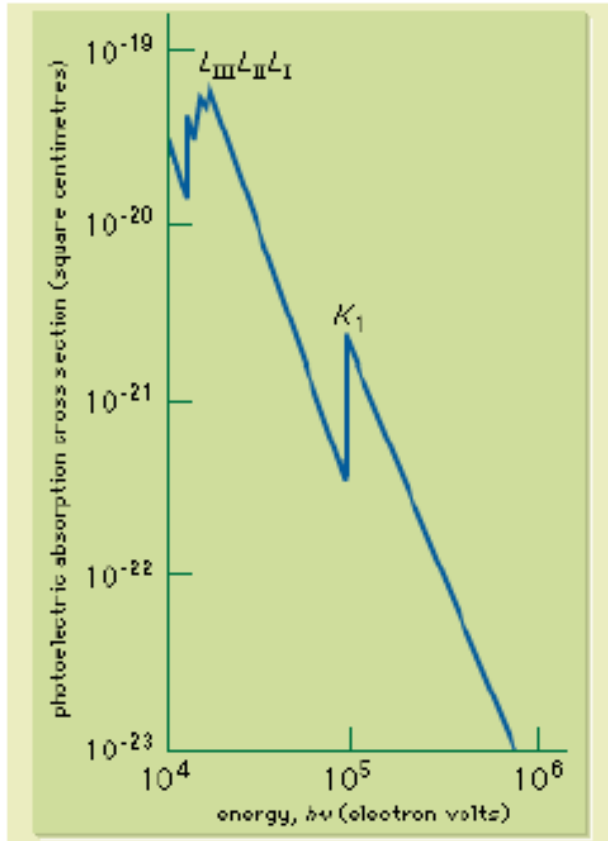
La probabilità di avere effetto fotoelettrico dipende:

- dal materiale (quarta potenza di Z)
- dall'energia, importante per fotoni di bassa energia (10-100 KeV)

$$\sigma \cong C \frac{Z^4}{E_{\gamma}^3} \quad \begin{array}{l} \text{per} \\ E_{\gamma} < 100 \text{keV} \end{array}$$

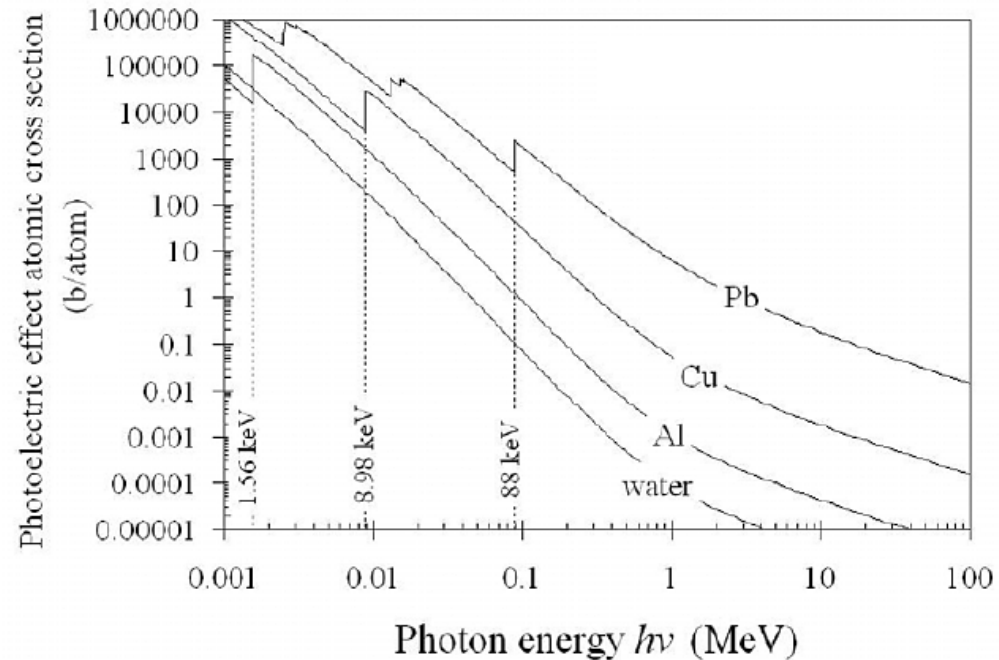
Probabilità di interazione per effetto fotoelettrico in funzione dell'energia e del tipo di materiale

dipendenza dall'energia



©1996 Encyclopaedia Britannica, Inc.

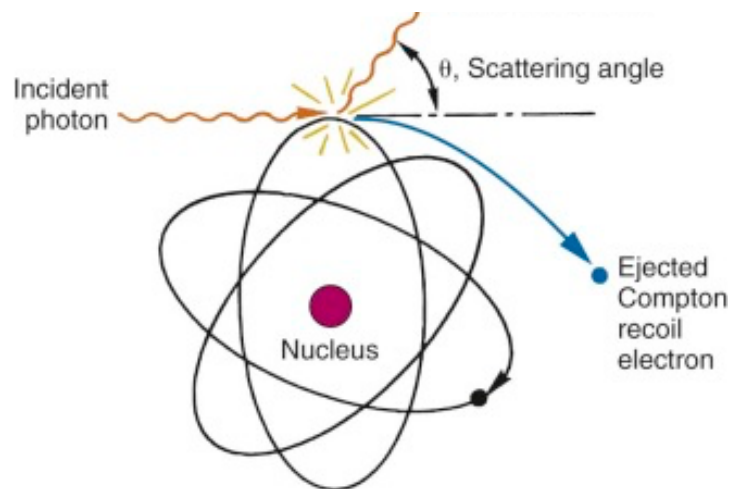
dipendenza dall'energia e dal materiale



Effetto Compton

Accade quando un fotone (primariamente di media energia) interagisce con un elettrone degli orbitali più esterni (debolmente legato al nucleo) cedendo parte della sua energia. Come risultato si ha l'emissione di un elettrone con una sua energia cinetica e di un fotone gamma secondario (gamma Compton) che si propaga secondo un angolo di scatter che dipende dall'energia ceduta all'elettrone.

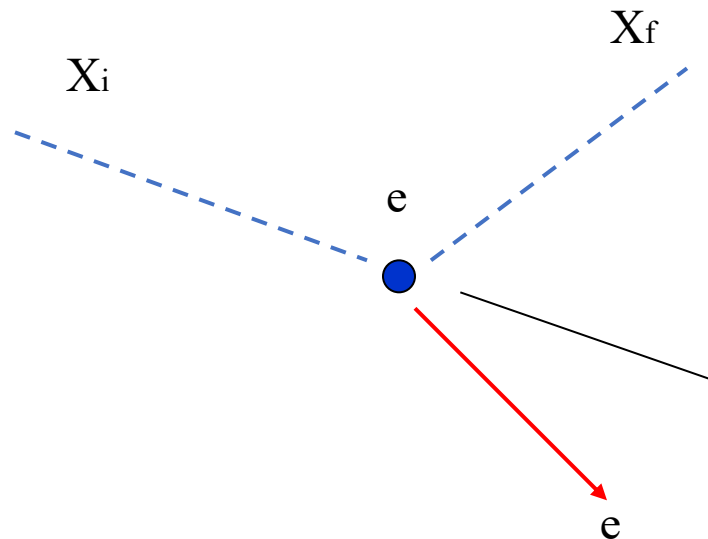
L'elettrone e il fotone di scattering possono a loro volta interagire con la materia fino ad esaurire la loro energia.



L'elettrone diffuso inizia a cedere alla materia energia tramite processi di ionizzazione

Effetto Compton

L'effetto Compton è un urto fotone-elettrone:



In questo caso il fotone incidente perde parte della propria energia e cambia direzione

L'energia persa dal fotone viene acquistata dall'elettrone urtato

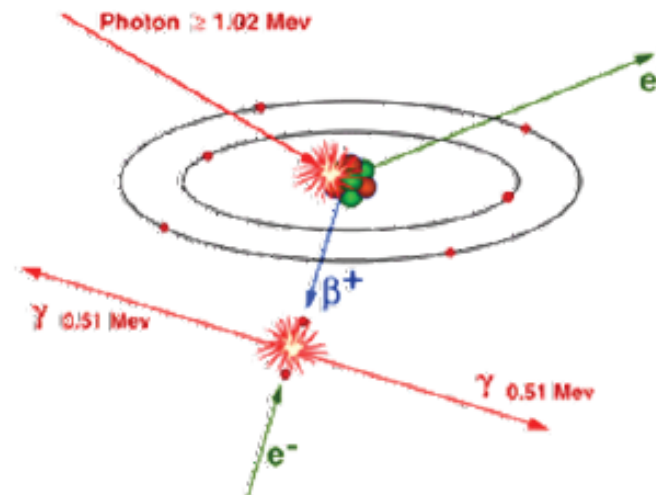
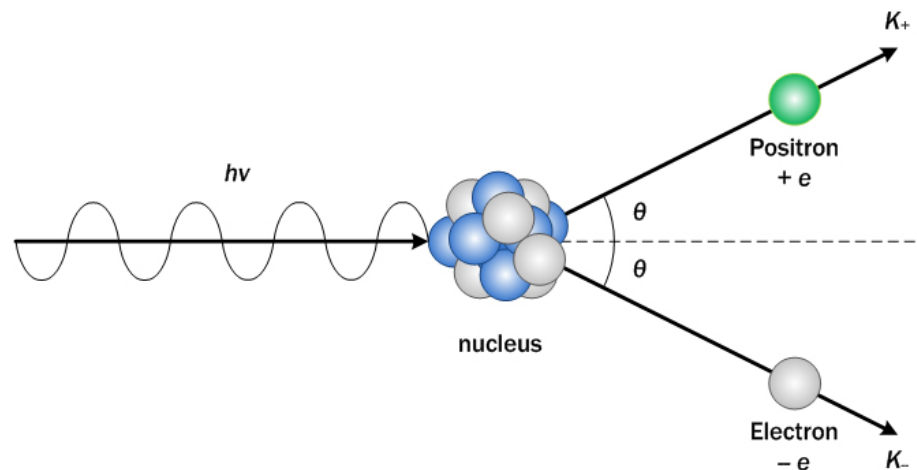
La probabilità con la quale avviene l'effetto Compton è proporzionale a Z

Il processo Compton per energie nell'intervallo 100 keV-1 MeV ha maggiore probabilità di accadere rispetto al processo fotoelettrico

I fotoni compton non possono essere considerati rimossi dal fascio perché attraverso un secondo scattering possono tornar a far parte del fascio.

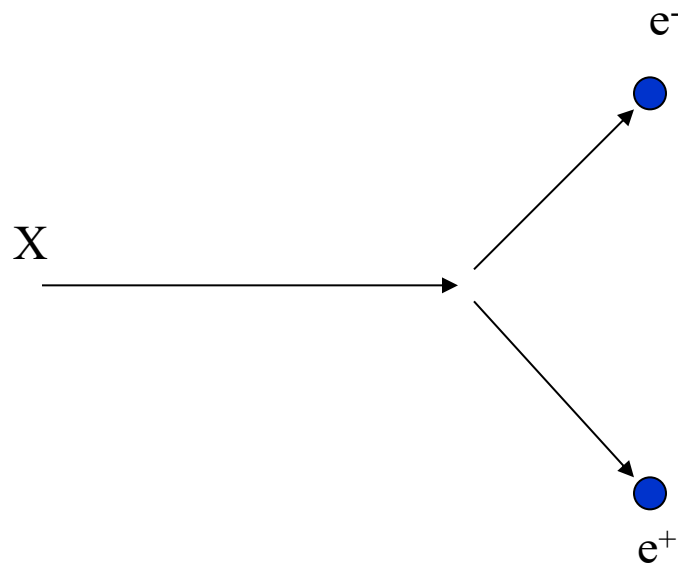
Produzione di coppie

Accade per fotoni di energia superiore a 1.022 MeV, corrispondente alla massa delle due particelle che vengono generate dal fenomeno. Il fotone, interagendo col campo di forza del nucleo, scompare con la contemporanea creazione di 2 particelle: un elettrone e un positrone; tutta l'energia oltre la soglia di 1.022 MeV è distribuita in ugual misura tra le due particelle sotto forma di energia cinetica. L'elettrone così prodotto può provocare ionizzazioni, mentre il positrone va incontro ad annichilazione, con la conseguente produzione di 2 radiazioni gamma di 0.511 MeV dirette in direzioni diametralmente opposte.



Produzione di coppie

Un fotone sparisce e al suo posto viene creata una coppia elettrone-positrone



È un processo a soglia:

$$m(e^-) + m(e^+) = 1,022 \text{ MeV}$$

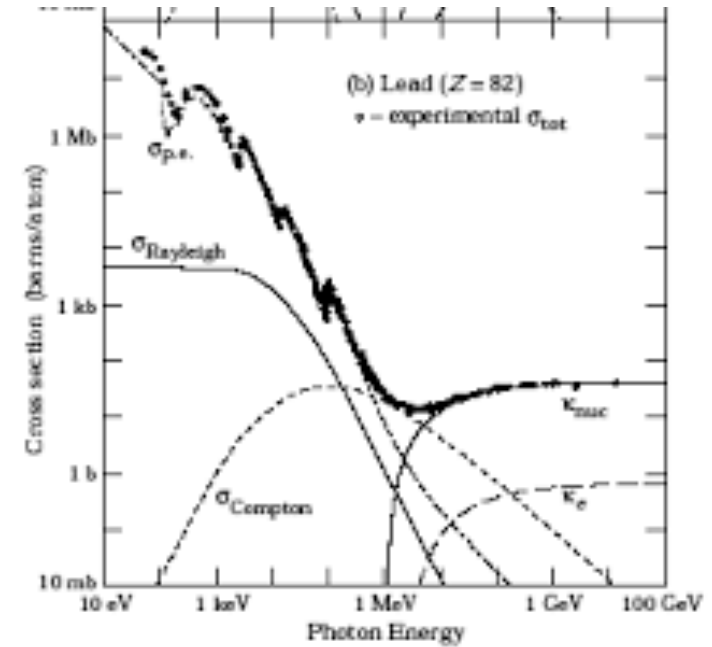
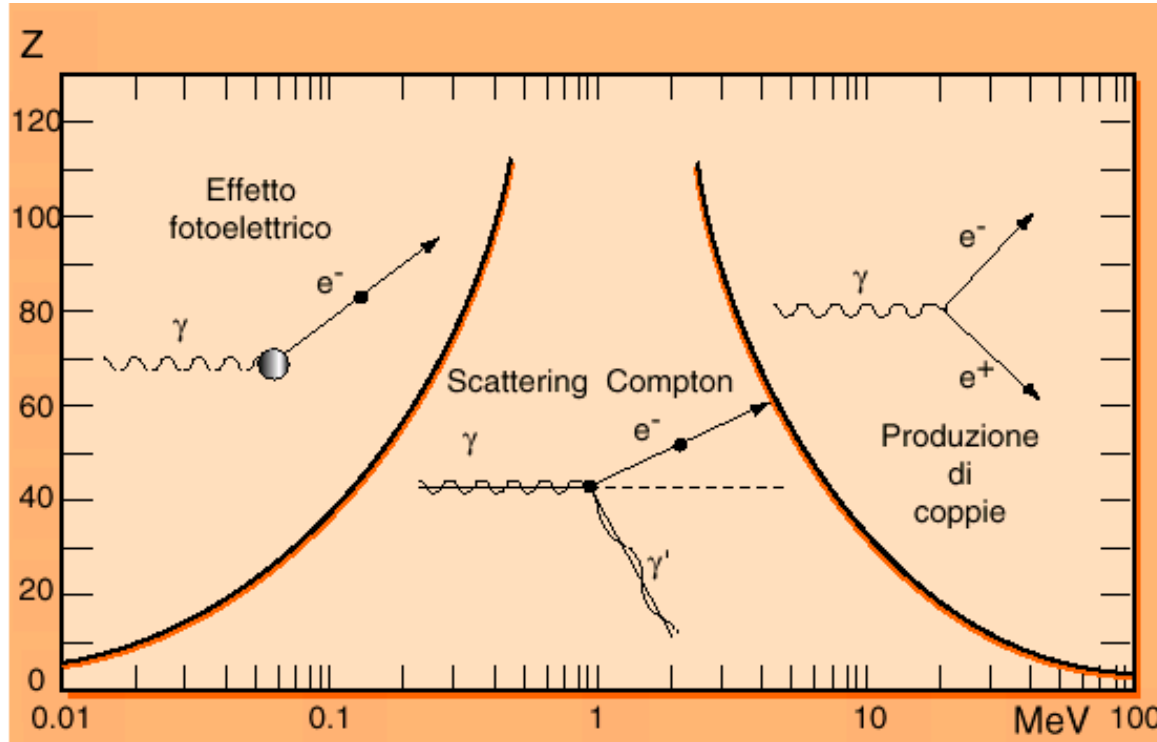
per conservazione di energia e impulso si ha:

$$E_{\gamma}^{\text{th}} = 1-2 \text{ MeV}$$

$$\sigma_{\text{coppie}} \cong CZ^2 f(E_{\gamma})$$

La probabilità di produzione di coppie dipende da Z al quadrato

Dipendenza dall'energia del tipo di interazione



$E < 10\text{-}100\text{ keV}$
(proporzionale a Z^4)

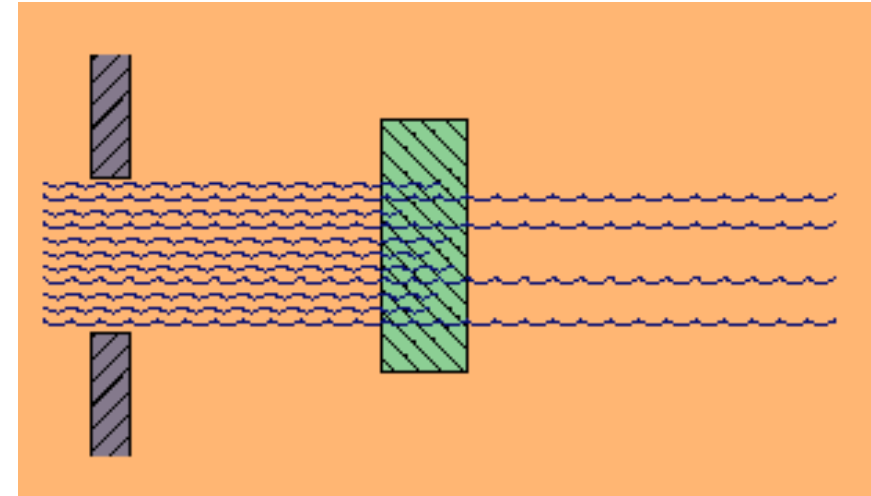
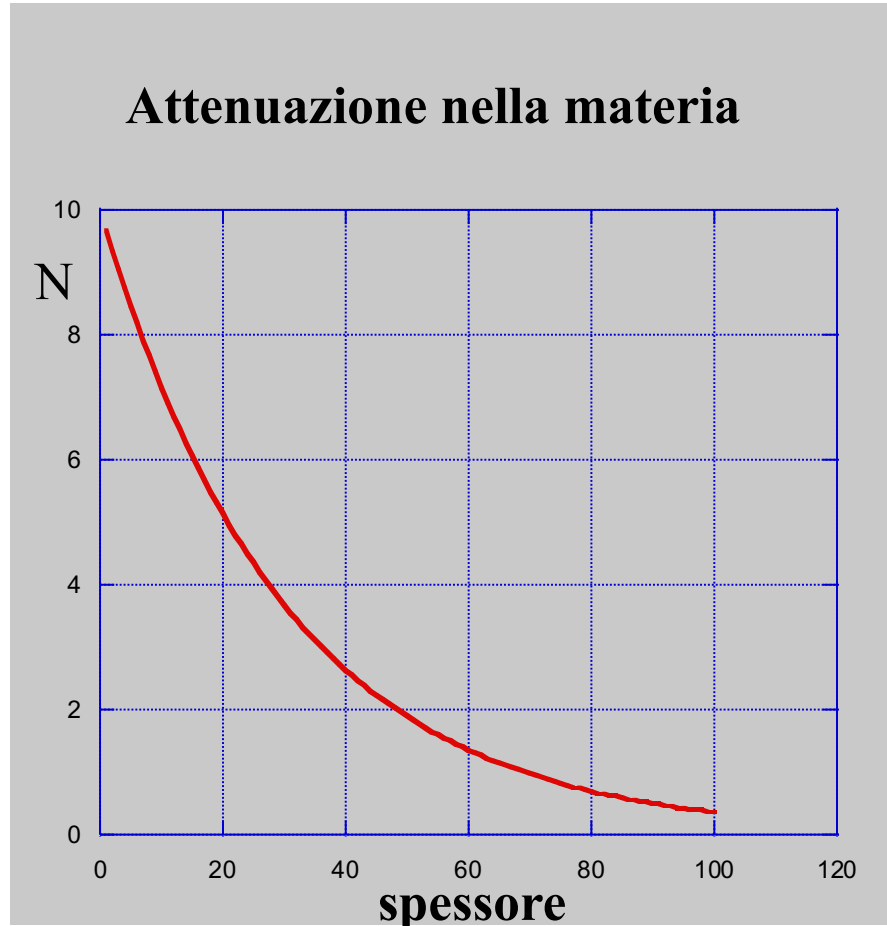
Prevale fotoelettrico

$100\text{ keV} < E < 5\text{ MeV}$
(proporzionale a Z)

Prevale Compton

Interazioni fotoni con la materia:

Un fascio di fotoni nel passaggio in un mezzo diminuisce la sua intensità a causa dei fenomeni di assorbimento



L'intensità della radiazione incidente diminuisce esponenzialmente con lo spessore del materiale attraversato

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

μ è il coefficiente di attenuazione lineare

Coefficiente di attenuazione

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

$$\mu = \rho \frac{N_A}{A} \sigma_{TOT}$$

$$\sigma_{TOT} = \sigma_{fotoelettrico} + \sigma_{Compton} + \sigma_{coppie}$$

Probabilità di
interazione di
un fotone

μ : coefficiente di attenuazione lineare

μ/ρ : coefficiente di attenuazione massico

- Il coefficiente di attenuazione per un dato materiale è fortemente dipendente dall'energia
- Per una radiazione monoenergetica (come quella delle sorgenti radioattive) l'attenuazione di un fascio elettromagnetico è facilmente calcolabile utilizzando il corrispondente coefficiente di attenuazione
- Lo spettro di una macchina a raggi X è continuo, occorre quindi considerare la convoluzione di tutte le componenti per valutare l'attenuazione della radiazione in funzione della schermatura

Domanda 1

- Data una sostanza contenente N_0 nuclei radioattivi ad un certo istante $t=0$, quanti nuclei radioattivi sono rimasti (cioè NON saranno decaduti) al generico tempo t ?

Domanda 2

- Data una sostanza contenente N_0 nuclei radioattivi ad un certo istante $t=0$, quanti nuclei radioattivi SONO decaduti al generico tempo t ?

Domanda 3

- Che significato ha la vita media di un radionuclide?

Domanda 4

Quali tra quelle elencate sono radiazioni ionizzanti

- Le particelle alfa
- Le microonde
- Tutte le onde elettromagnetiche
- I raggi X

Domanda 5

Che cosa è il becquerel (Bq)?

Domanda 6

Descrivere per punti fondamentali il principio di funzionamento di un tubo a Raggi X

Domanda 7

- In che cosa consiste il fenomeno denominato bremsstrahlung? Fate una breve descrizione

Domanda 8

- Che cosa è la radiazione caratteristica in un tubo a raggi X?

Domanda 9

- Indicate come è fatta la distribuzione di energia dei raggi X emessi da un tubo a raggi X.

Domanda 10

La radiazione emessa da un tubo radiologico alimentato a 60kV è caratterizzata da:

- Emissione di radiazione monocromatica a 60 KeV
- Nessuna emissione perché occorrono minimo 100 kV
- Di tipo corpuscolare
- Spettro di emissione continua con energia massima a 60 KeV
- Emissione di elettroni da 60 KeV

Domanda 11

- Quando si parla di produzione di coppie a che radiazione si fa riferimento? Descrivere il fenomeno

Domanda 12

- Dato un certo numero di fotoni N_0 emesso da una certa sorgente, con quale legge diminuisce tale numero nell'attraversare un certo spessore x di materiale?

Domanda 13

- Supponiamo di avere un fascio di raggi X tutti della stessa energia che attraversano uno spessore X di 10 cm di un certo materiale, e che il coefficiente di attenuazione di tale materiale sia $\mu=0.5 \text{ cm}^{-1}$

Qual'è il fattore di riduzione degli X che attraversano il materiale?

Domanda 14

- Indicare come dipende dal numero atomico Z la probabilità di avere un effetto fotoelettrico, un effetto Compton, una produzione di coppie

Domanda 15

- Quando un positrone si annichila, quali particelle vengono emesse?
- E che energia hanno?

Domanda 16

- Ordinare da quella più penetrante a quella meno penetrante i diversi tipi di radiazione: beta, alfa, neutroni, gamma, protoni (si consideri energia cinetica della radiazione 1 MeV e l'acqua come materiale attraversato)

Domanda 17

- Si consideri un protone ed una particella alfa che hanno la stessa velocità, chi perde più energia per unità di lunghezza, in un mezzo materiale?
... e di quanto in più?

Domanda 18

- Qual'è la principale differenza tra il rilascio di dose da parte di un fascio di fotoni (ad es. da 10 MeV) e da parte di un fascio di protoni (ad es. da 200 MeV)

....disegnate l'andamento della dose in funzione dello spessore attraversato

Domanda 19

- Che cosa è il picco di Bragg?

Domanda 20

- L'assorbimento dei raggi X in radiodiagnostica avviene prevalentemente per:
 - a) Effetto coppia
 - b) Effetto fotoelettrico
 - c) Effetto paramagnetico
 - d) Effetto Compton
 - e) Fenomeni di impedenza tissutale

Domanda 21

Raddoppiando la distanza da una sorgente radioattiva puntiforme, la dose da irradiazione diventa:

- La metà
- un ottavo
- un quarto

Domanda 22

- Qual'è la definizione di dose assorbita, e qual'è la sua unità di misura

Domanda 23

- Come è definita la dose equivalente?

Domanda 24

- Se ho una dose di 1 Gy dovuta ad un campo di fotoni ed una dose di 0.2 Gy dovuta ad un campo di protoni, sapreste scrivere le rispettive dosi equivalenti per i due campi di radiazione?

Domanda 21

- Qual'è il valor medio della dose assorbita da un uomo in un anno a causa delle sorgenti naturali?
- Indicate alcune sorgenti naturali

Domanda 22

- Qual'è il valore limite di dose assorbita annualmente da personale professionalmente esposto?

Domanda 23

- Quali sono i meccanismi con cui la radiazione interagisce e danneggia il DNA di una cellula

Domanda 24

- A che valori di dose per irraggiamento acuto, si può avere il decesso?