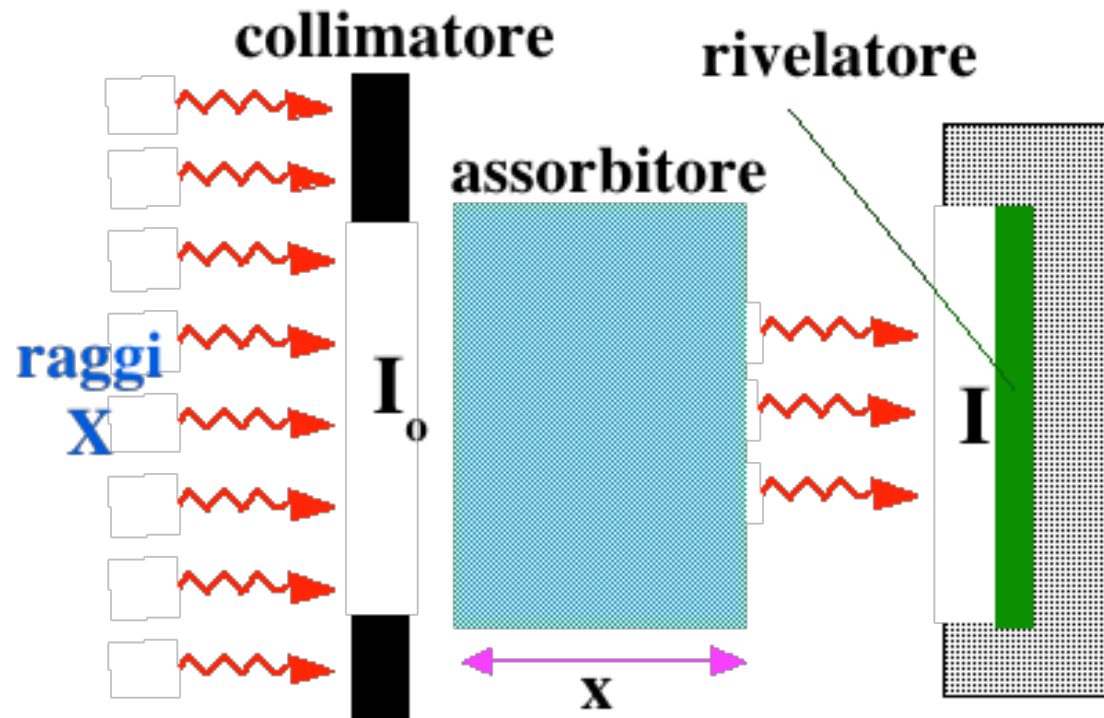


# RAGGI X : assorbimento

- ASSORBIMENTO RAGGI X MONOCROMATICI
- DIFFUSIONE
- EFFETTO FOTOELETTRICO
- EFFETTO COMPTON
- PRODUZIONE DI COPPIE e ANNICHILAZIONE

Lucidi del Prof. D. Scannicchio

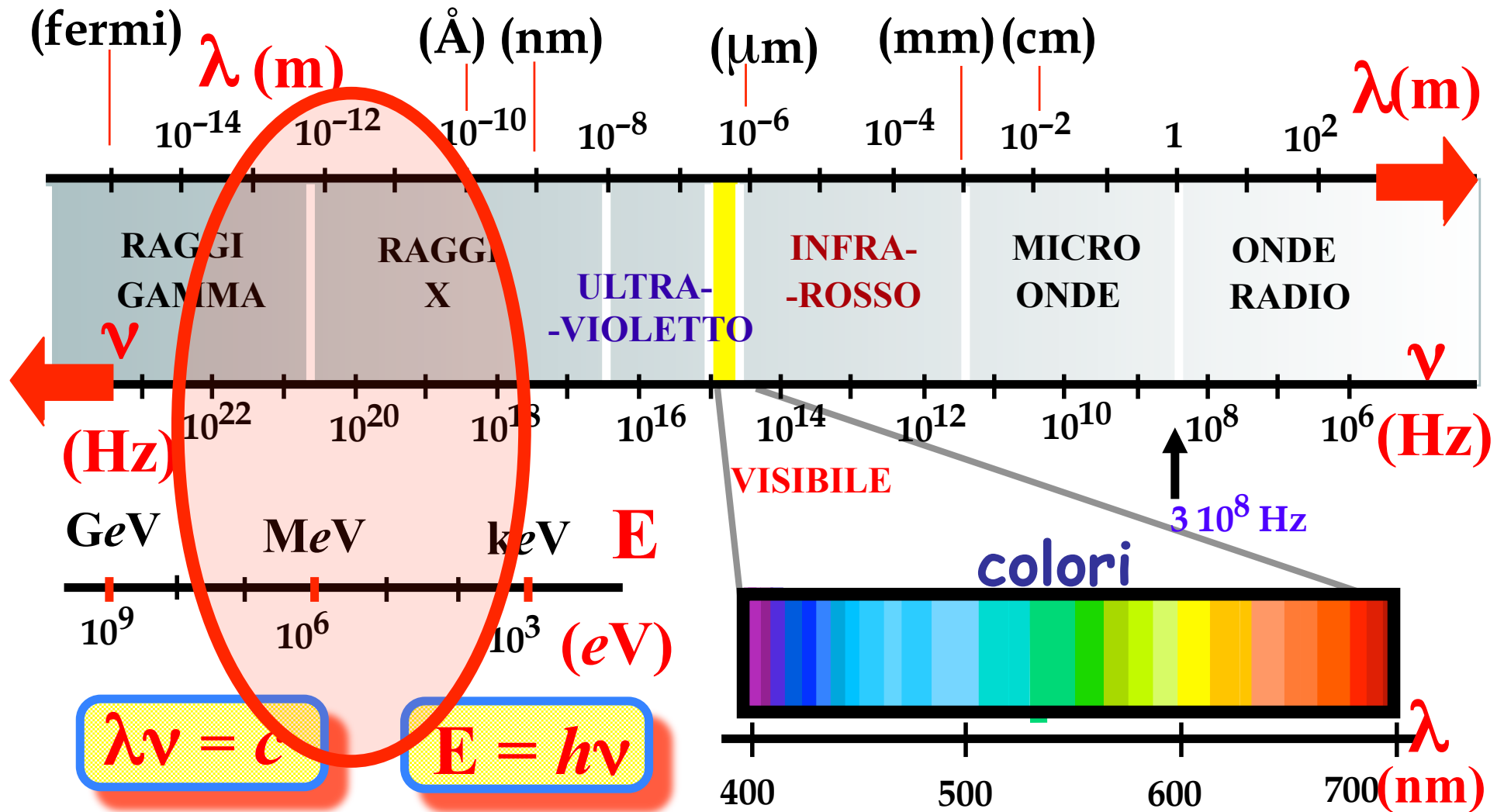
# ASSORBIMENTO RAGGI X (monocromatici)



$$-\frac{\Delta I}{\Delta x} = \mu I(x) \rightarrow -\frac{d I(x)}{dx} = \mu I(x)$$

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Precisazione: in questo ambito si parla indifferentemente di raggi X o raggi  $\gamma$ , cioè di radiazione e.m. di energia compresa fra il keV e le decine di MeV (o più)



# ASSORBIMENTO RAGGI X (monocromatici)

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

- $\mu$  = coefficiente lineare di attenuazione totale  
dimensioni  $[\mu] = [L]^{-1}$

- unità di misura: sistema pratico  $\text{cm}^{-1}$

Definizione di cammino libero medio:

$[\lambda] = [L]$  unità di misura: sist. pratico cm

$$\lambda \equiv 1/\mu$$

$$I = I_0 e^{-\frac{x}{\lambda}}$$

alla profondità  $x=\lambda$  l'intensità del fascio iniziale è ridotta di un fattore  $1/e$ .

# ASSORBIMENTO RAGGI X (monocromatici)

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

■ **diffusione**

→ trascurabile

■ **effetto fotoelettrico**



$\mu_\tau$

■ **effetto Compton**



$\mu_\sigma$

■ **produzione di coppie**

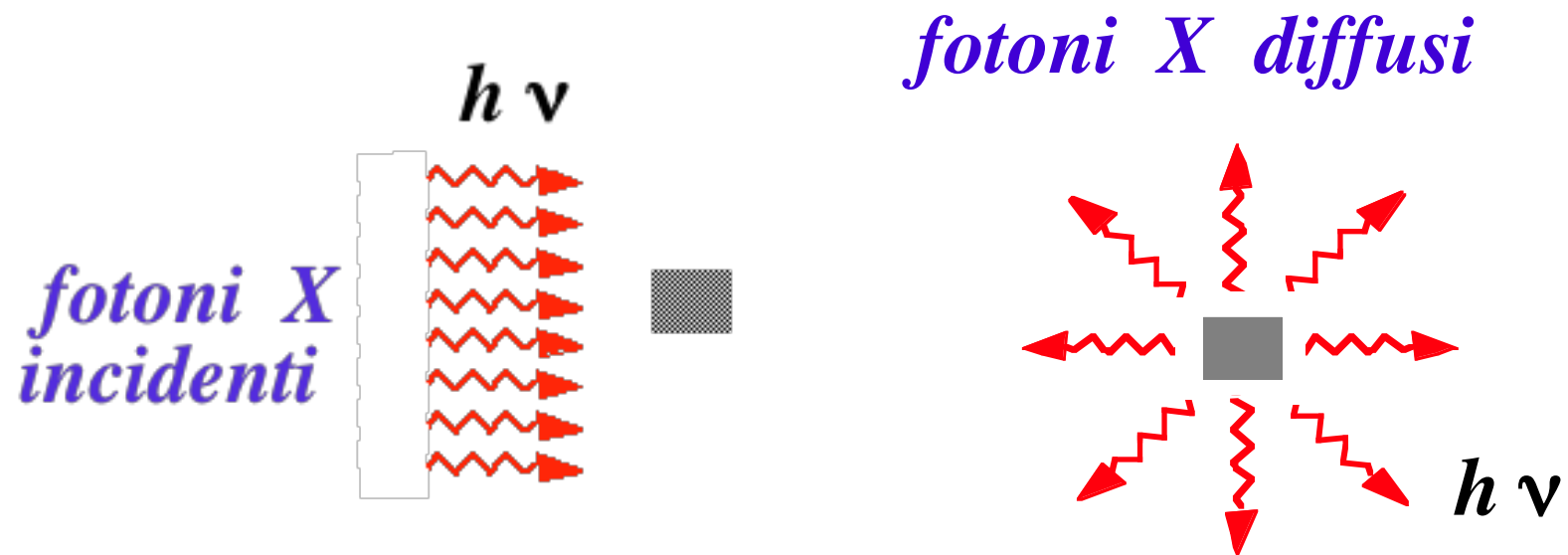


$\mu_\pi$

$$\mu = \mu_\tau + \mu_\sigma + \mu_\pi$$



# DIFFUSIONE



## effetto velatura sulle radiografie

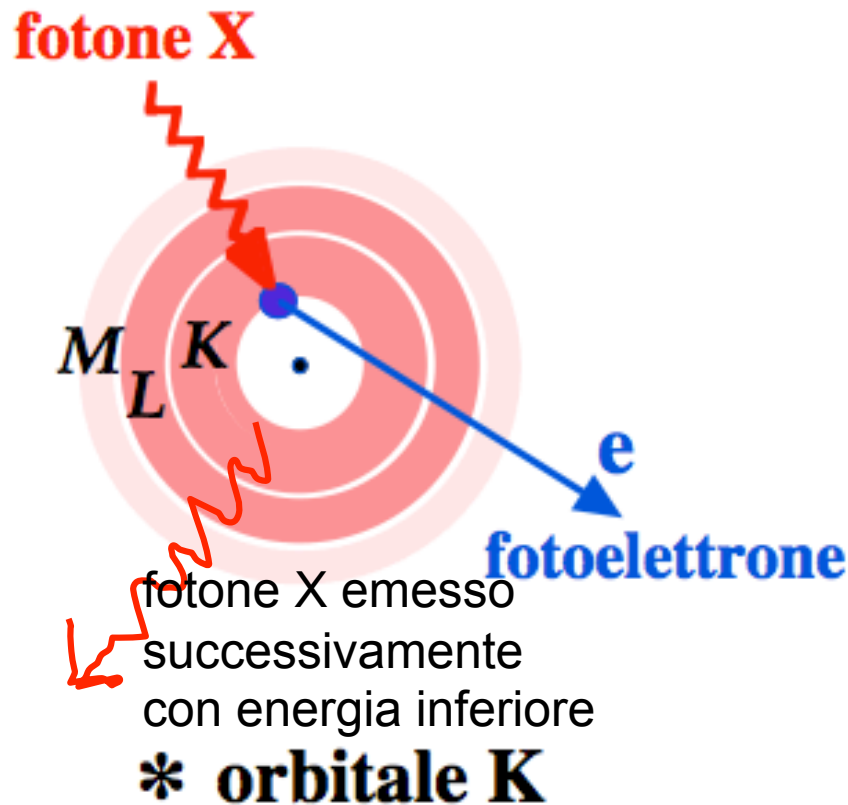
la diffusione dei raggi X (cioè la deviazione dei fotoni in tutte le direzioni ma senza variazione di energia) è in genere trascurabile



**3**

# EFFETTO FOTOELETTRICO

$\mu_{\tau}$  → **coefficiente di assorbimento per effetto fotoelettrico**



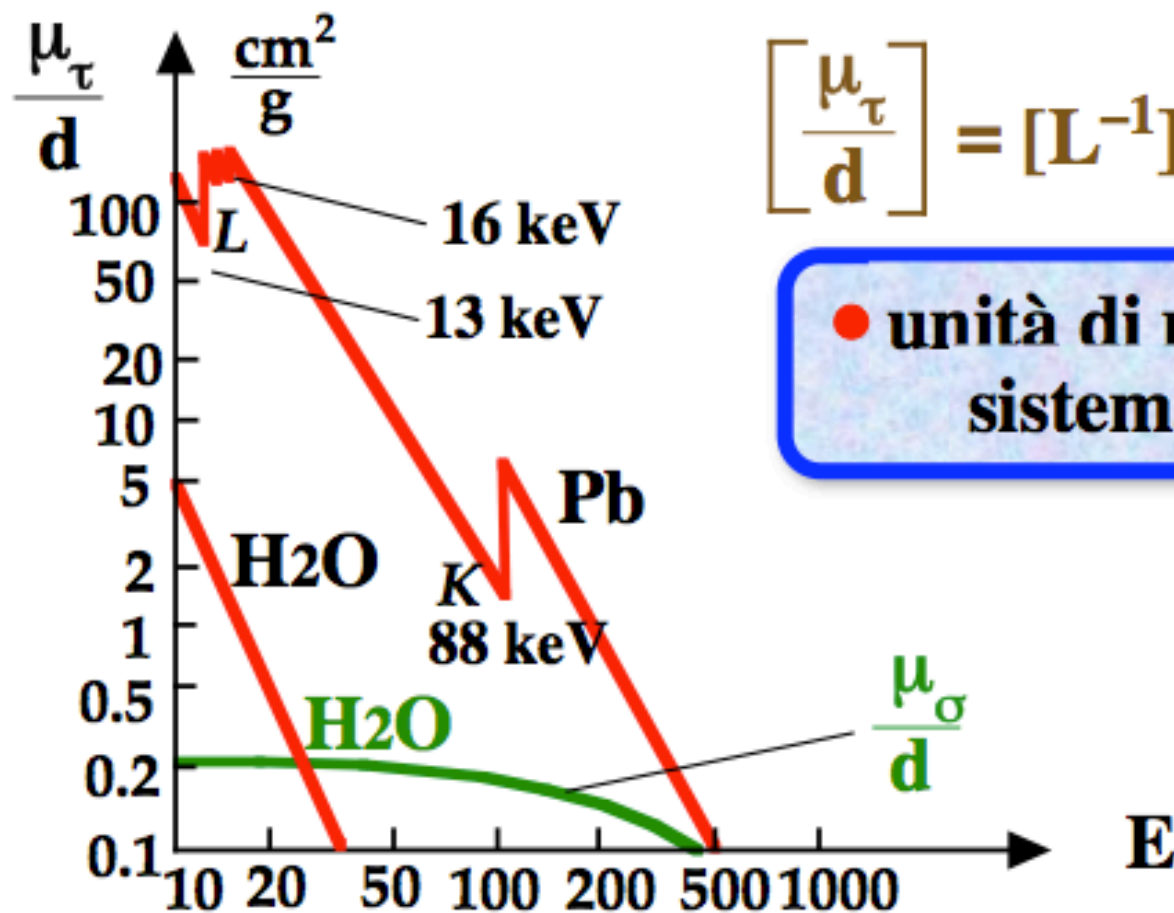
$$\mu_{\tau} \approx C_n d \frac{Z^5}{E^3} *$$

$C_n$  = costante  
(funzione dell' orbitale)

Effetto netto finale:  
fotone iniziale sparisce  
viene emesso un elettrone  
(chiamato fotoelettrone)  
+ diseccitazione atomo successiva con  
emissione fotoni X (o di fluorescenza)

# EFFETTO FOTOELETTRICO

$$\left[ \text{coefficiente di assorbimento di massa} \right] = \frac{\mu_{\tau}}{d}$$



$$\left[ \frac{\mu_{\tau}}{d} \right] = [\text{L}^{-1}][\text{ML}^{-3}]^{-1} = [\text{L}^2\text{M}^{-1}]$$

• unità di misura:  
sistema pratico  $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$



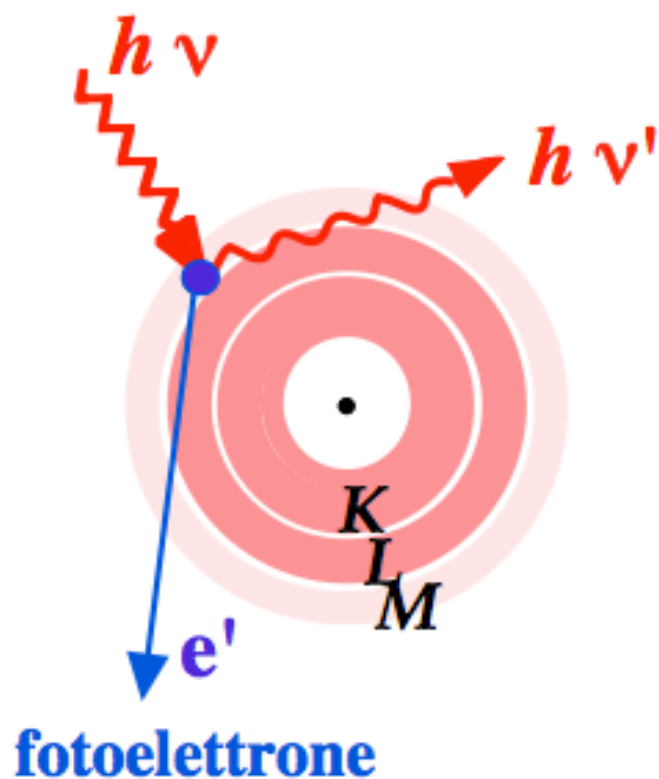
4

# EFFETTO COMPTON

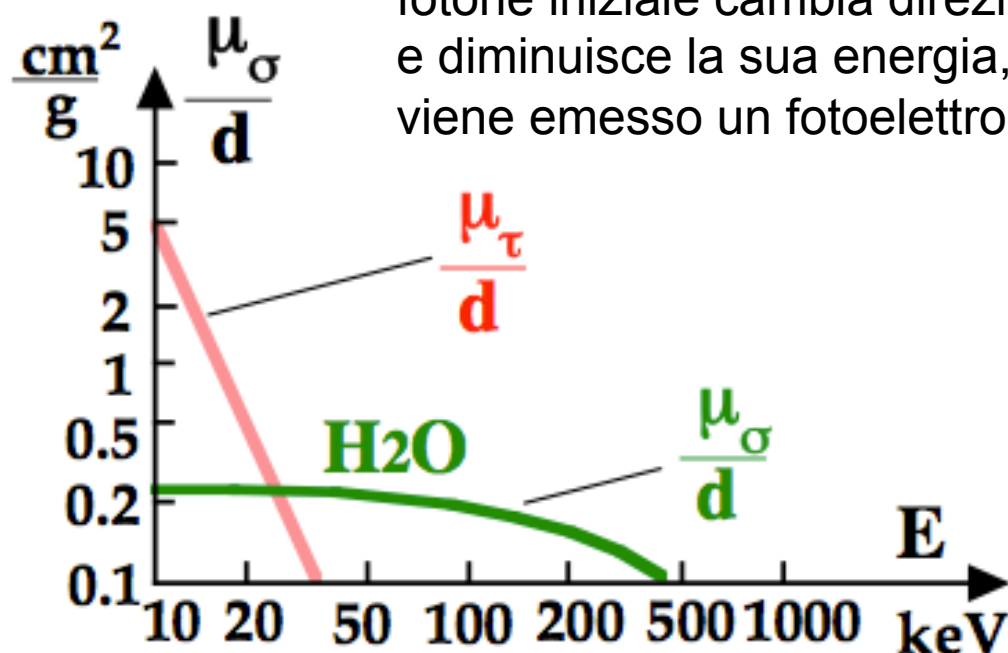
$\mu_{\sigma}$  → coefficiente di assorbimento per **effetto Compton**

$$h\nu + e \rightarrow h\nu' + e'$$

$$\mu_{\sigma} \propto \frac{d}{E}$$

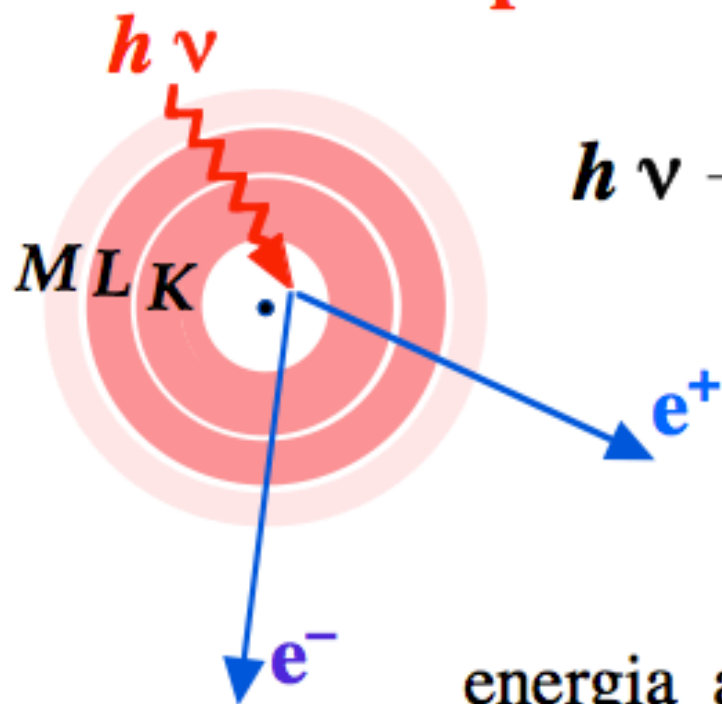


Effetto netto finale:  
fotone iniziale cambia direzione  
e diminuisce la sua energia,  
viene emesso un fotoelettrone



**5****PRODUZIONE DI COPPIE**

$\mu_{\pi}$  → **coefficiente di assorbimento per produzione di coppie di elettroni positivi e negativi**



$$h \nu \longrightarrow e^{+} + e^{-}$$

Effetto netto finale:  
fotone iniziale sparisce  
viene emessa una coppia  
elettrone-positrone

$$\mu_{\pi} \propto Z, E$$

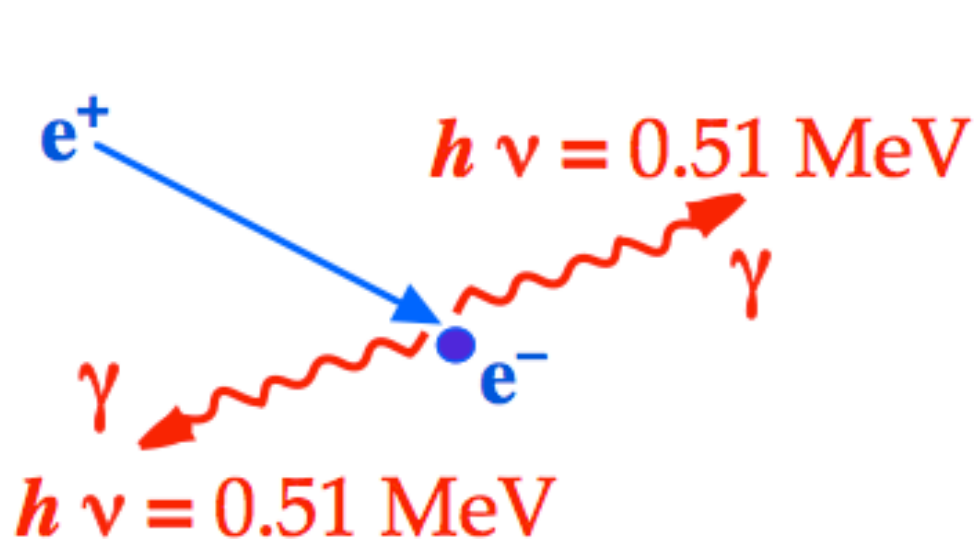
energia associata alla massa dell'elettrone

$$m_e c^2 = 0.51 \text{ MeV} = 510 \text{ keV}$$

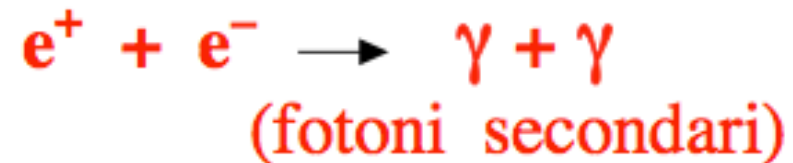
$$h \nu \geq 2 \cdot 0.51 = 1.02 \text{ MeV} \text{ (soglia del processo)}$$

## ANNICILAZIONE

produzione di coppie di elettroni:  $h\nu \longrightarrow e^+ + e^-$



annichilazione con  $e^-$  :

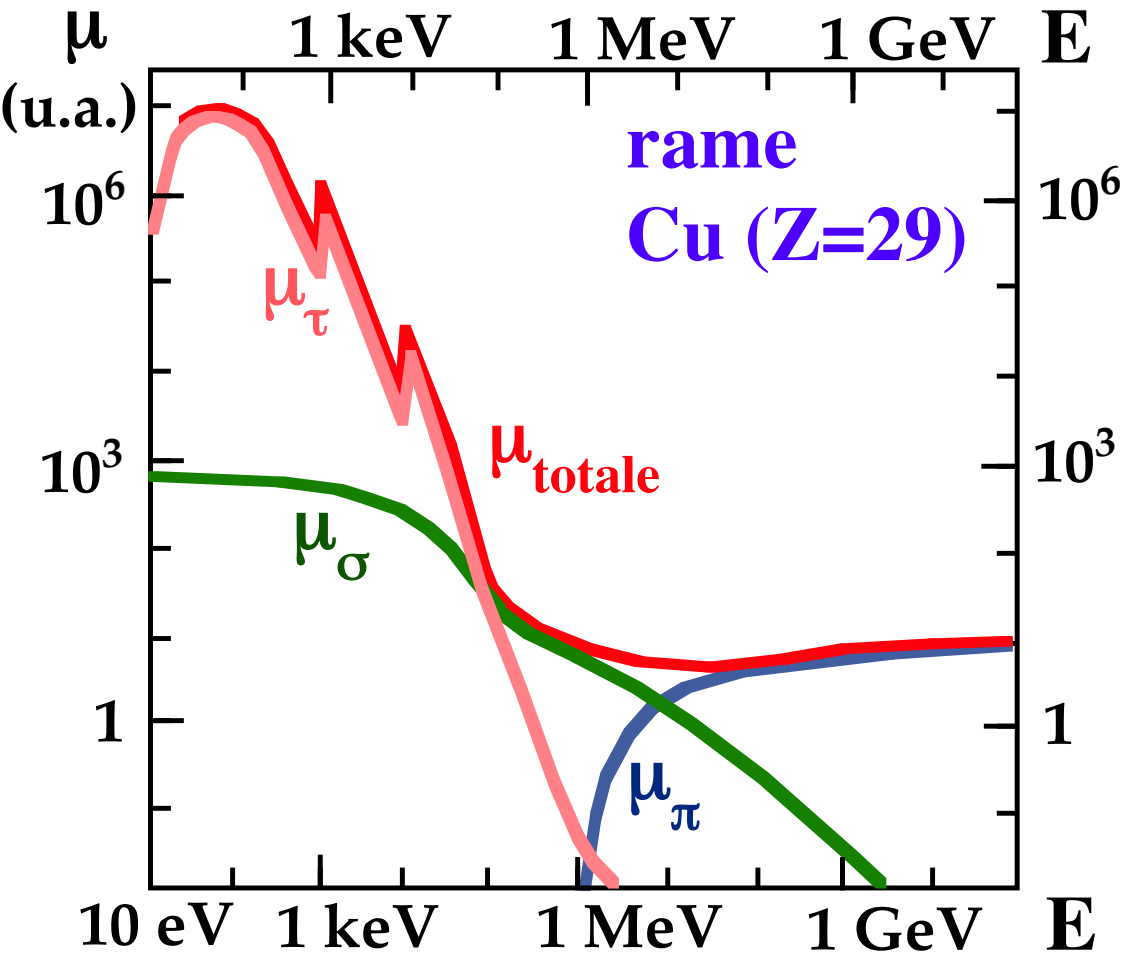


Effetto netto finale:  
positrone iniziale sparisce  
(insieme ad un elettrone  
atomico), viene emessa  
una coppia di fotoni

- attrazione coulombiana  $e^+ \rightarrow e^-$   
(elettroni atomici circostanti)
- annichilazione
- produzione di 2 fotoni
  - stessa energia (510 keV)
  - collineari

# ASSORBIMENTO COMPLESSIVO

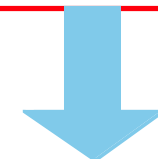
$$\mu = \mu_{\tau} + \mu_{\sigma} + \mu_{\pi}$$



*esempio*

$$\lambda = 0.5 \text{ \AA} \approx 25 \text{ keV}$$

$$I = I_0 e^{-2} \approx \frac{I_0}{7}$$



30 m O<sub>2</sub> (1 atm)

*oppure*

0.12 mm Cu

*oppure*

32 μm Pb



# ASSORBIMENTO COMPLESSIVO

$$\mu = \mu_{\tau} + \mu_{\sigma} + \mu_{\pi}$$

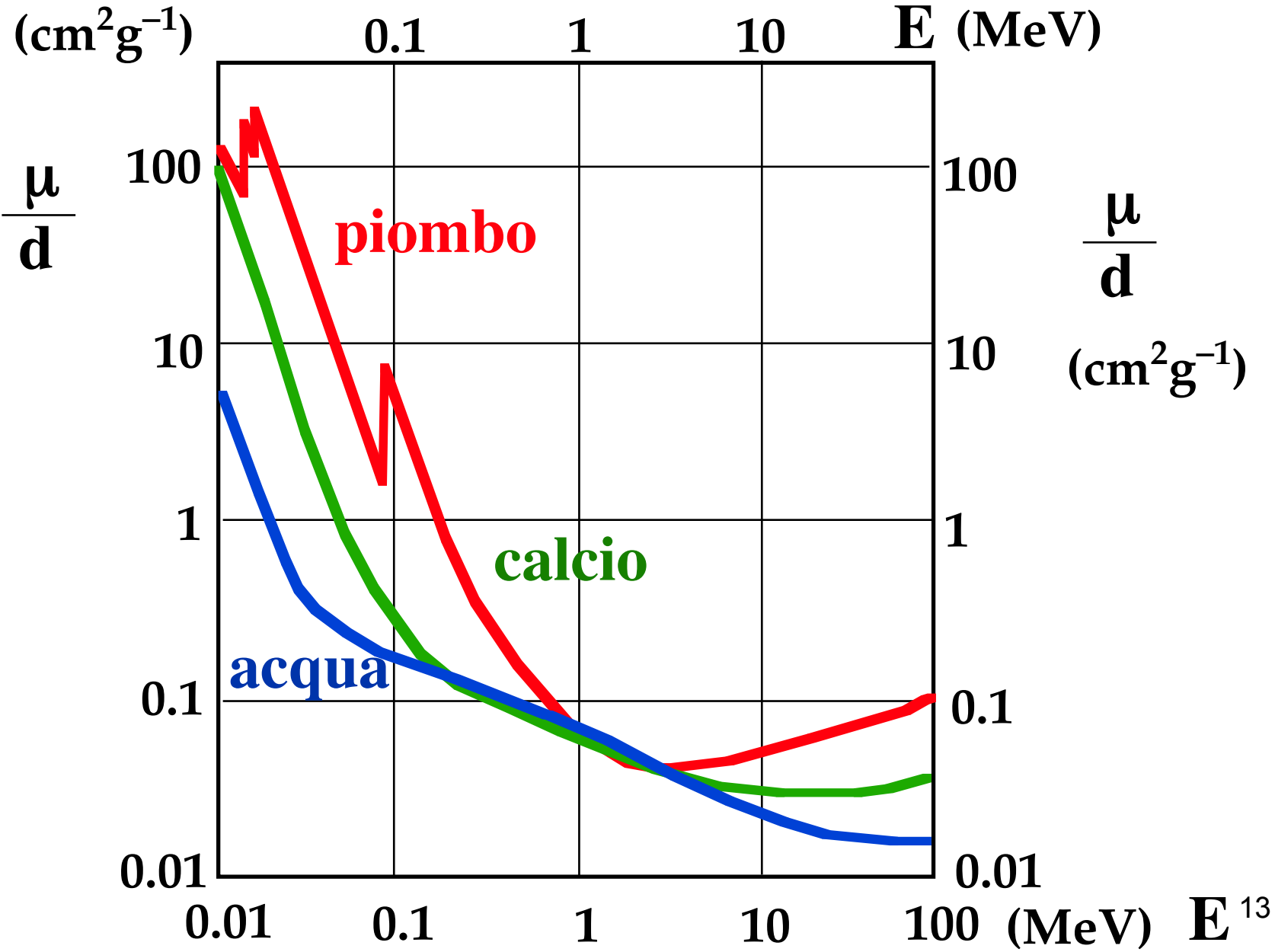
$\frac{\mu}{d}$  = coefficiente di assorbimento di massa

$$\left[ \frac{\mu}{d} \right] = [L^{-1}][ML^{-3}]^{-1} = [L^2M^{-1}]$$

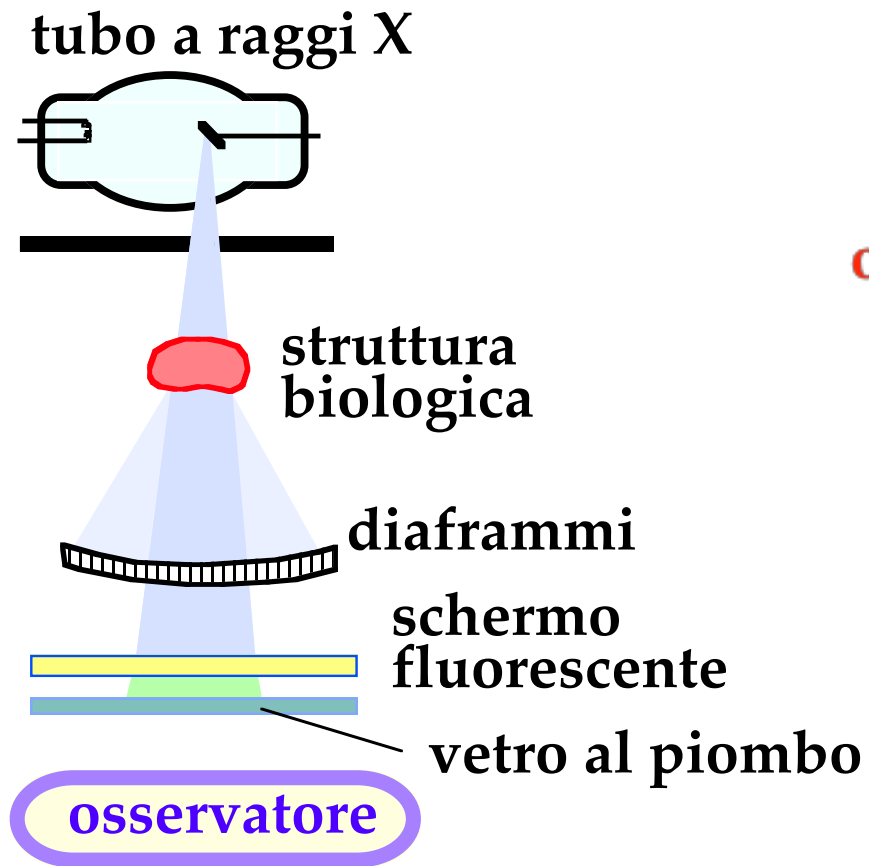
- unita' di misura: sistema pratico  $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$



# ASSORBIMENTO COMPLESSIVO



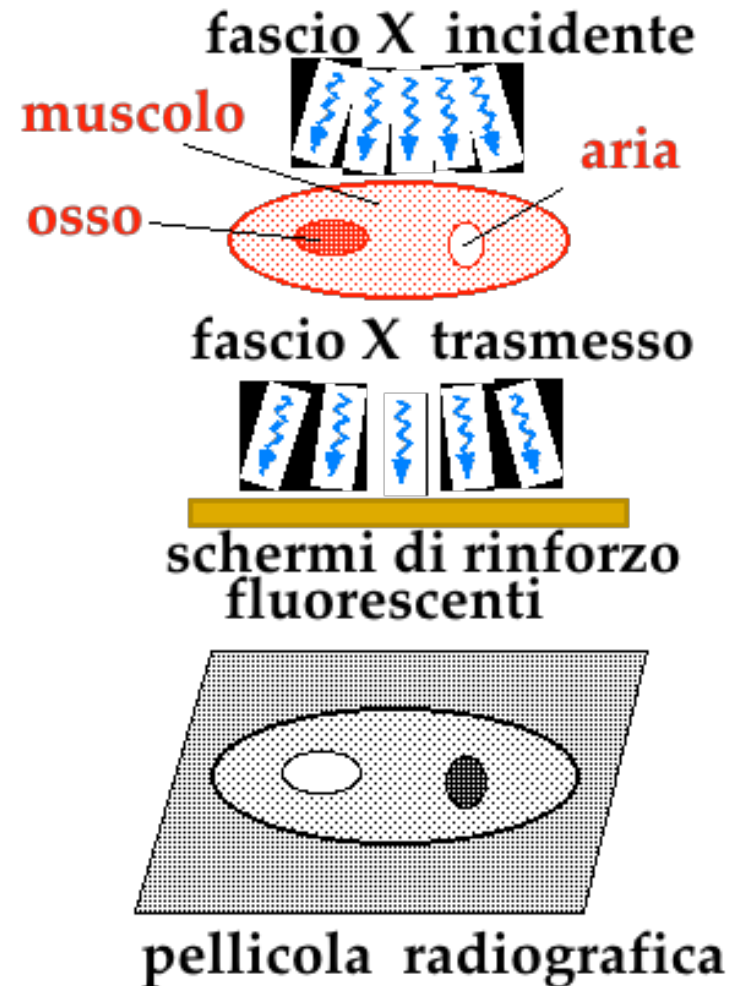
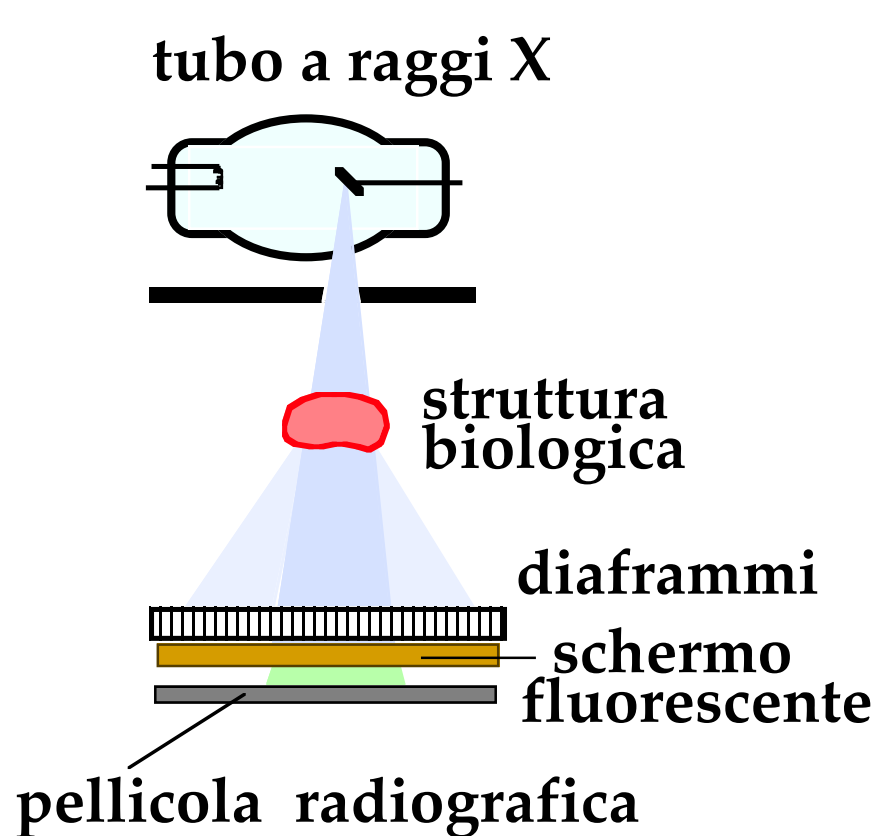
# RADIOSCOPIA



- immagine **positiva**
- osservazione diretta limitata
- osservazione via telecamera e monitor



# RADIOGRAFIA



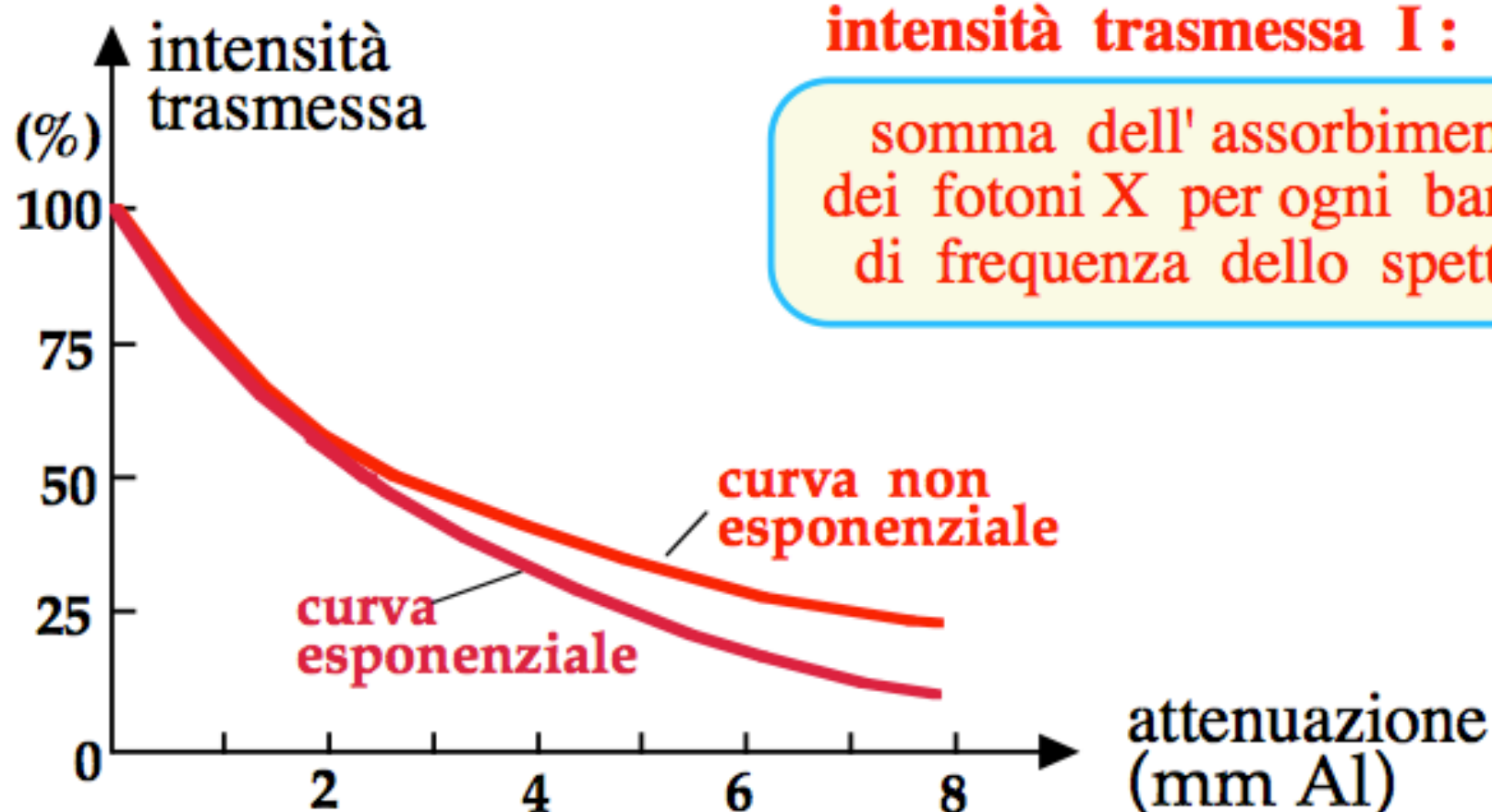
- immagine **negativa**
- sviluppo della pellicola
- **radiografia digitale**



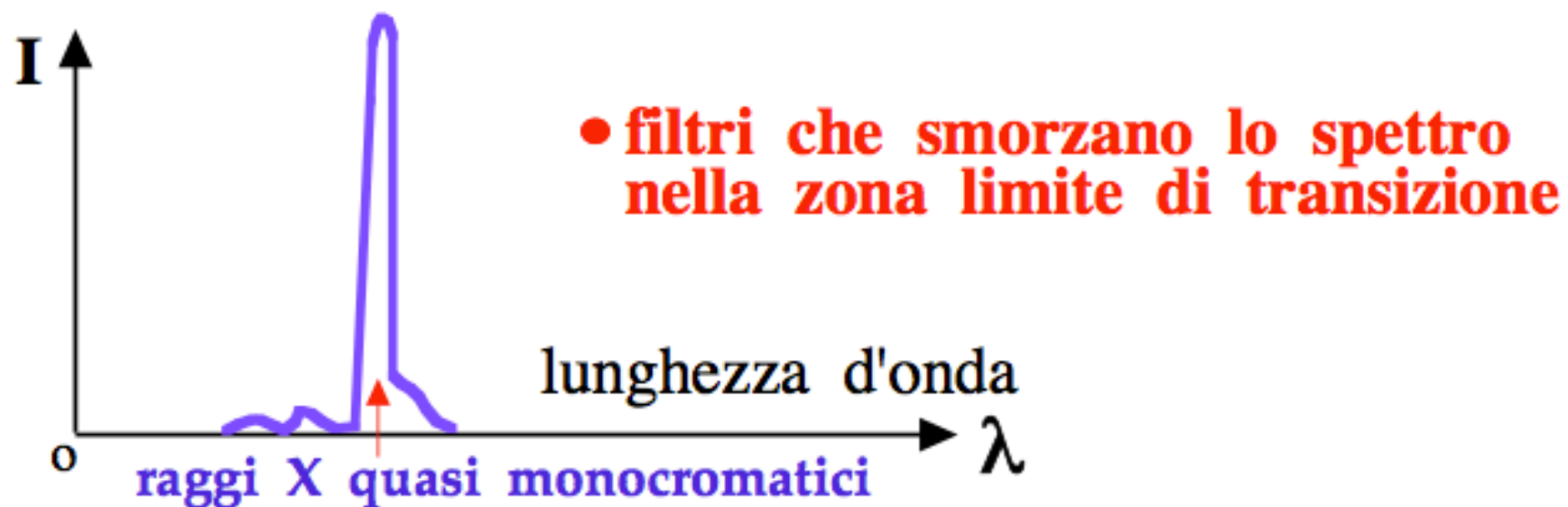
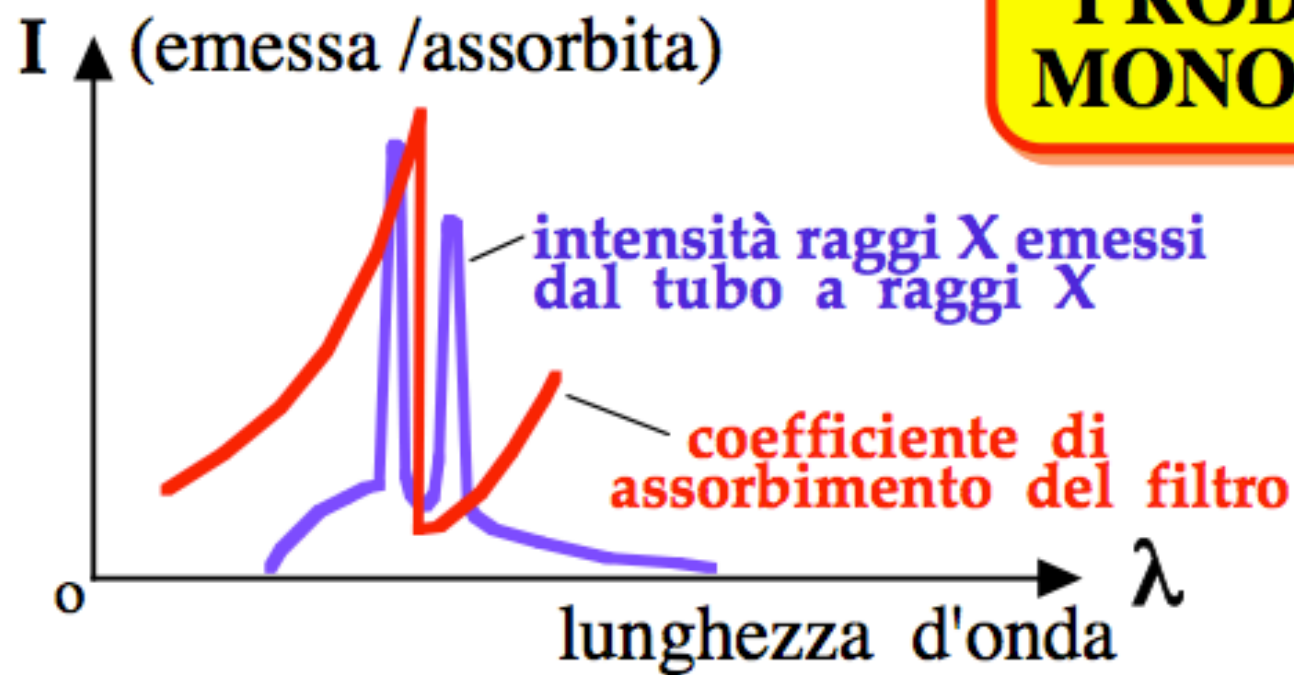


# ASSORBIMENTO SPETTRO EMISSIONE X

tubo a raggi X → spettro di emissione  
(raggi X non monocromatici)



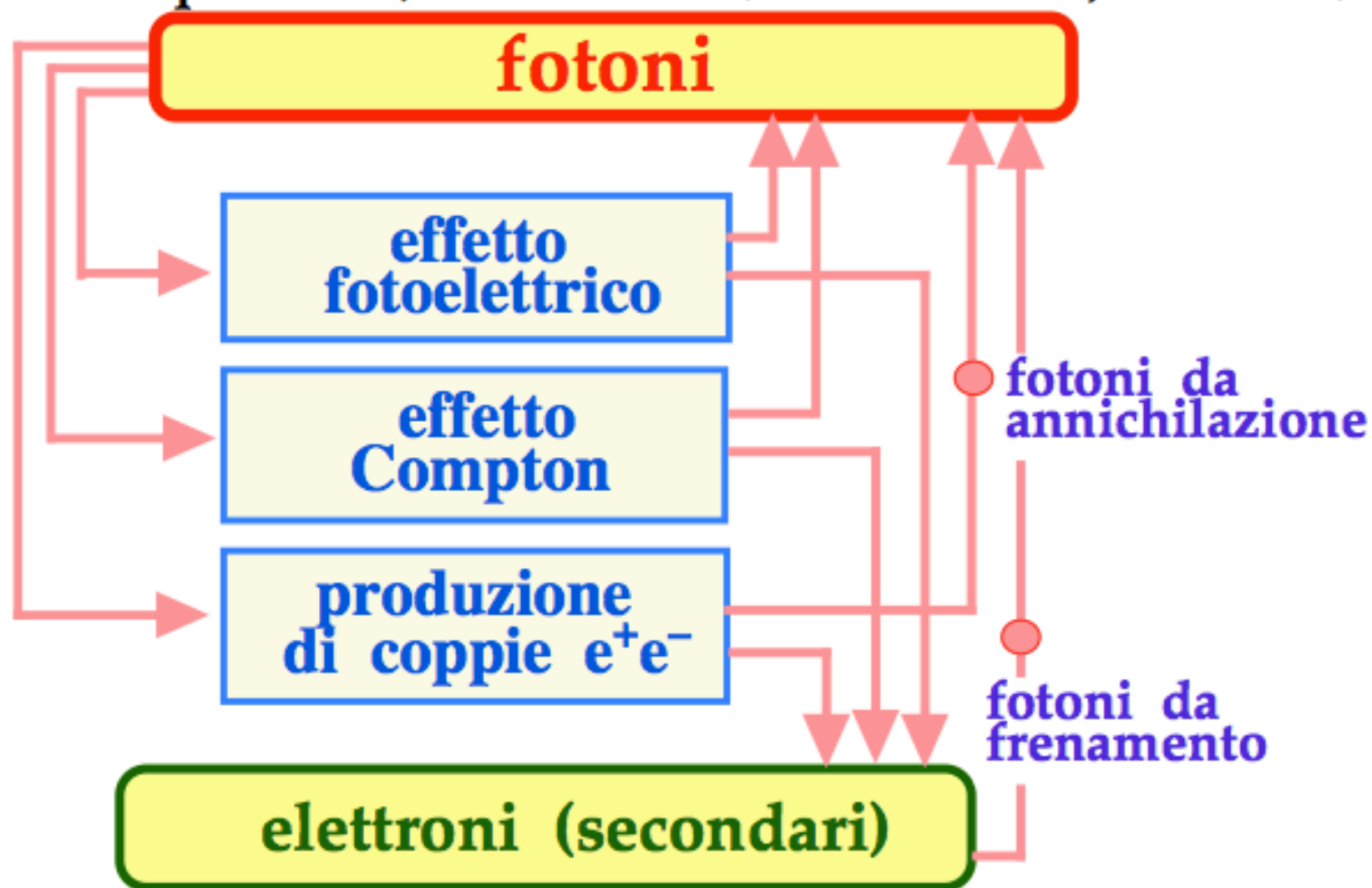
## PRODUZIONE X MONOCROMATICI



# EFFETTO CUMULATIVO

radiazione primaria  
(fotoni X frequenza  $\nu$ )


radiazione secondaria  
(fotoni X  $\nu' < \nu$ , elettroni)



# EFFETTO CUMULATIVO

spessore  $x$  :

fotoni primari      $I = I_0 e^{-\mu x}$  (attenuazione)  
fotoni secondari  
elettroni secondari



$\mu_E$  coefficiente di assorbimento di energia

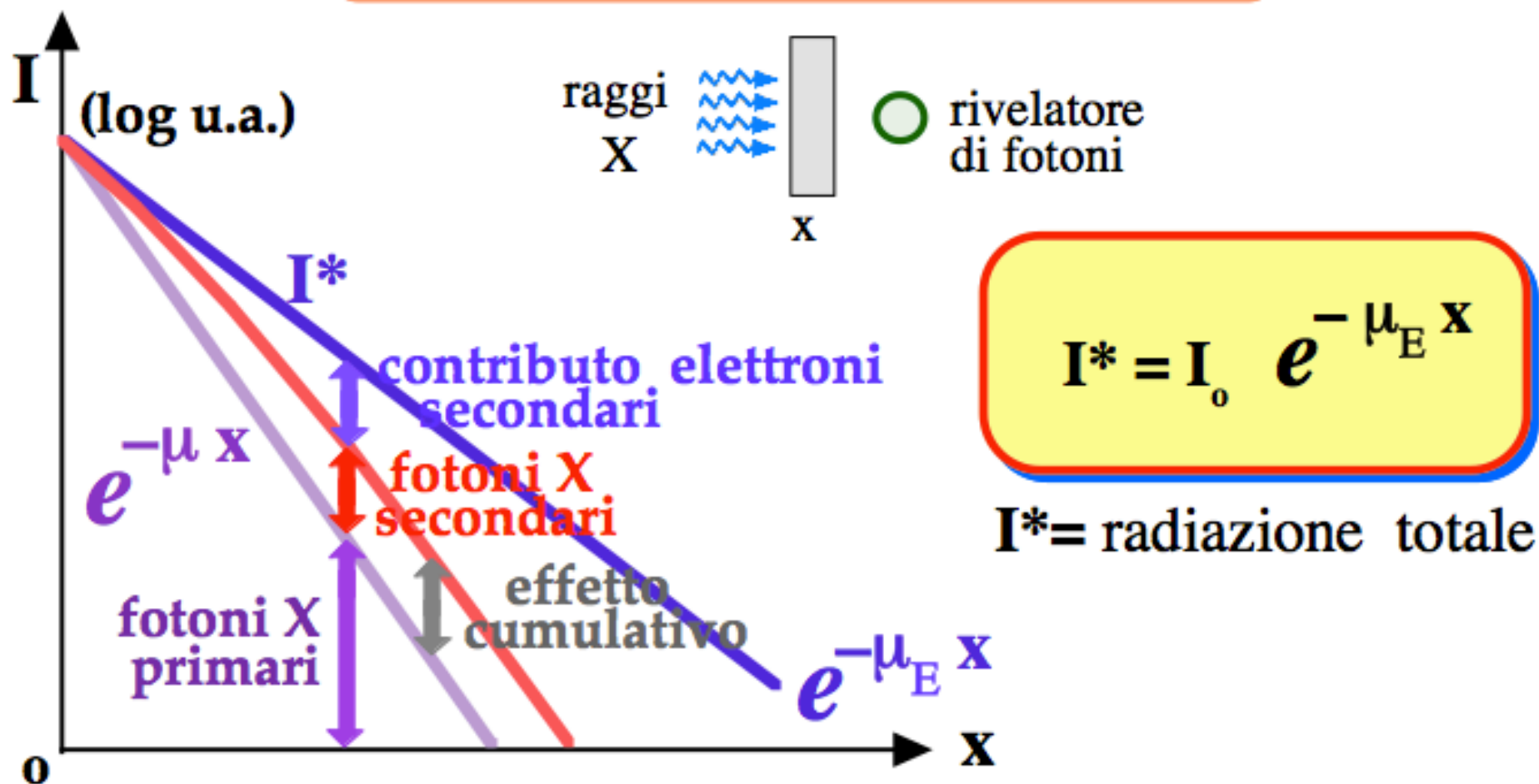
$$I^* = I_0 e^{-\mu_E x}$$

$I^*$  = radiazione totale

● effetto cumulativo (build-up) :  
aggiunta di fotoni X secondari



# EFFETTO CUMULATIVO

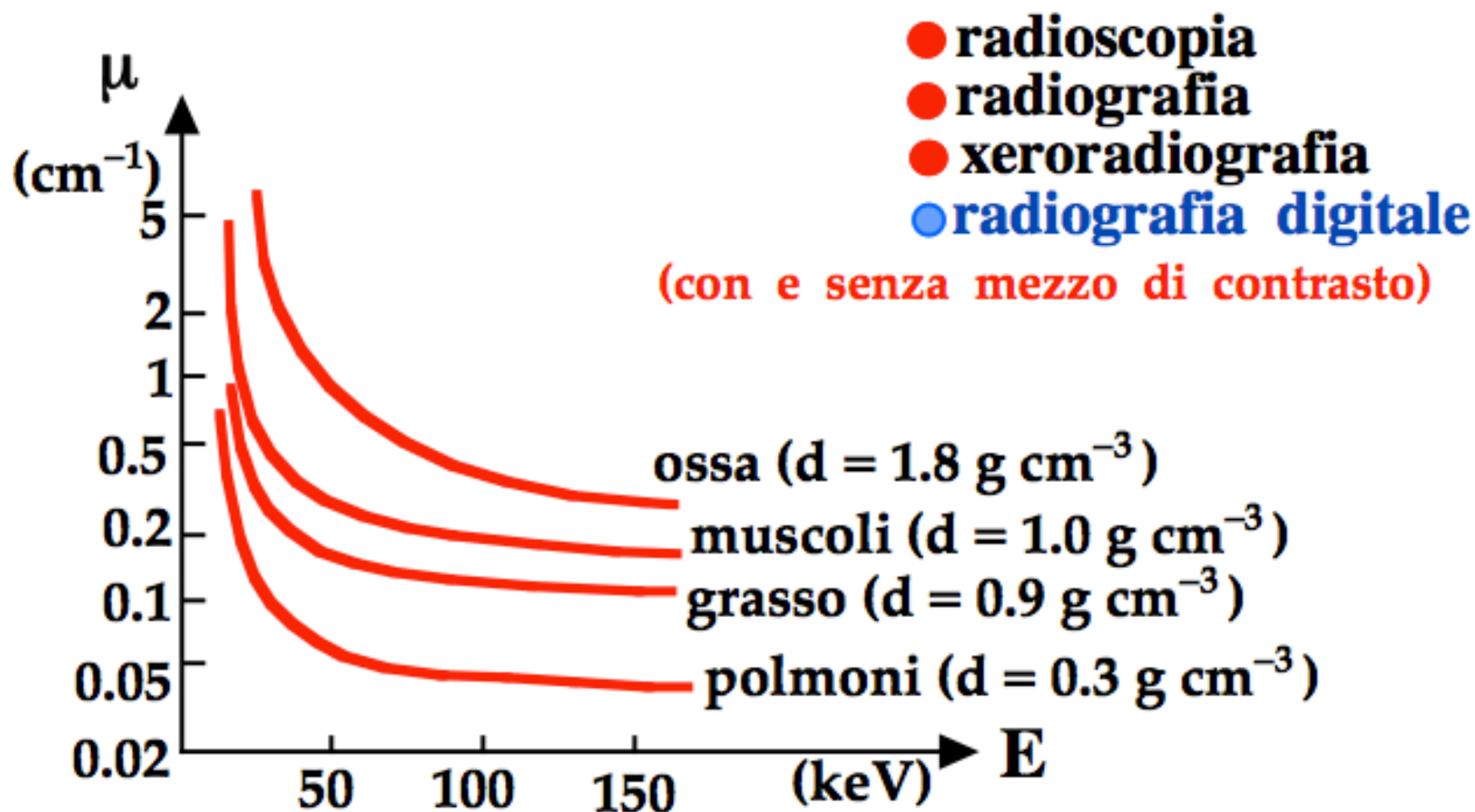


## effetto cumulativo :

- diminuzione contrasto nelle immagini radiologiche
- effetti aggiuntivi in radioterapia

# IMMAGINE RADIOLOGICA

diversa opacità delle strutture biologiche  
(diverso **coefficiente di assorbimento**)



# RADIOGRAFIA

## contrasto radiologico

- parametri :
- potenziale elettrico
  - intensità di corrente
  - tempo di esposizione

$\Delta V \longrightarrow 45 \text{ kV} \div 130 \text{ kV}$

$i \longrightarrow 3 \text{ mA} \div 50 \text{ mA}$

$\Delta t \longrightarrow 1/60'' \div 1/120''$





# RADIOGRAFIA

## aumento di contrasto

- mezzo di contrasto ( $\text{BaSO}_4$ )
- xeroradiografia (immagine positiva)
- intensificatore d'immagine
- radiografie digitali

**minimizzare dose raggi X**  
(danni da radiazioni ionizzanti)

