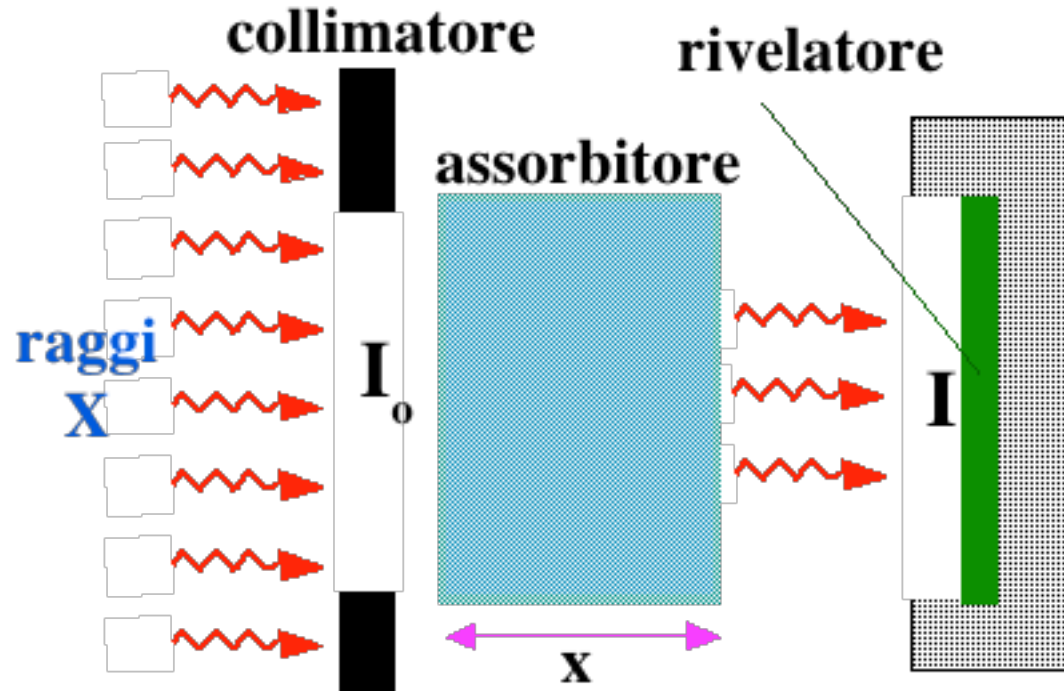


RAGGI X : assorbimento

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

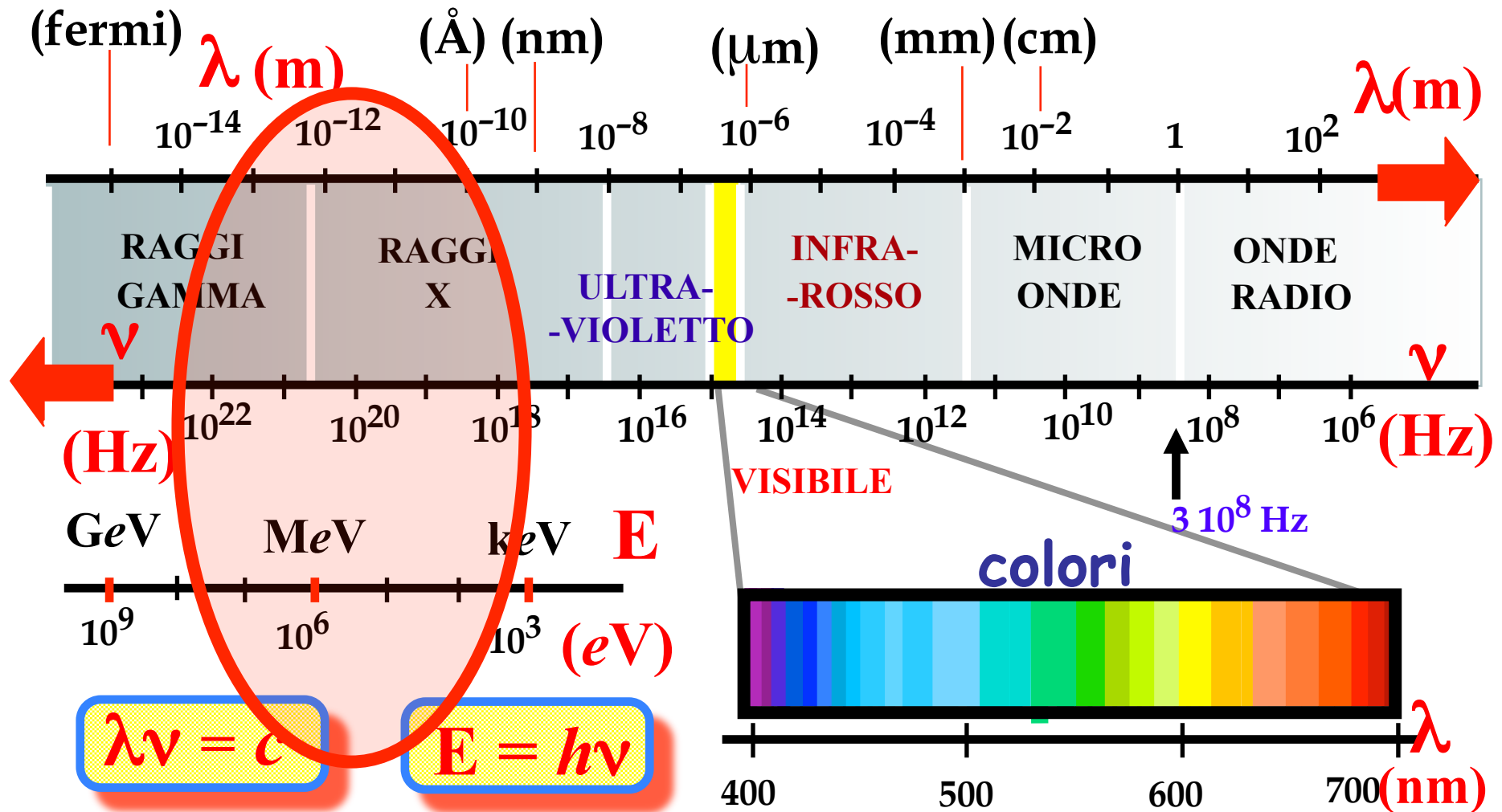
ASSORBIMENTO RAGGI X (monocromatici)



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

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

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



ASSORBIMENTO RAGGI X (monocromatici)

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

- μ = coefficiente lineare di attenuazione totale

dimensioni $[\mu] = [L]^{-1}$

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

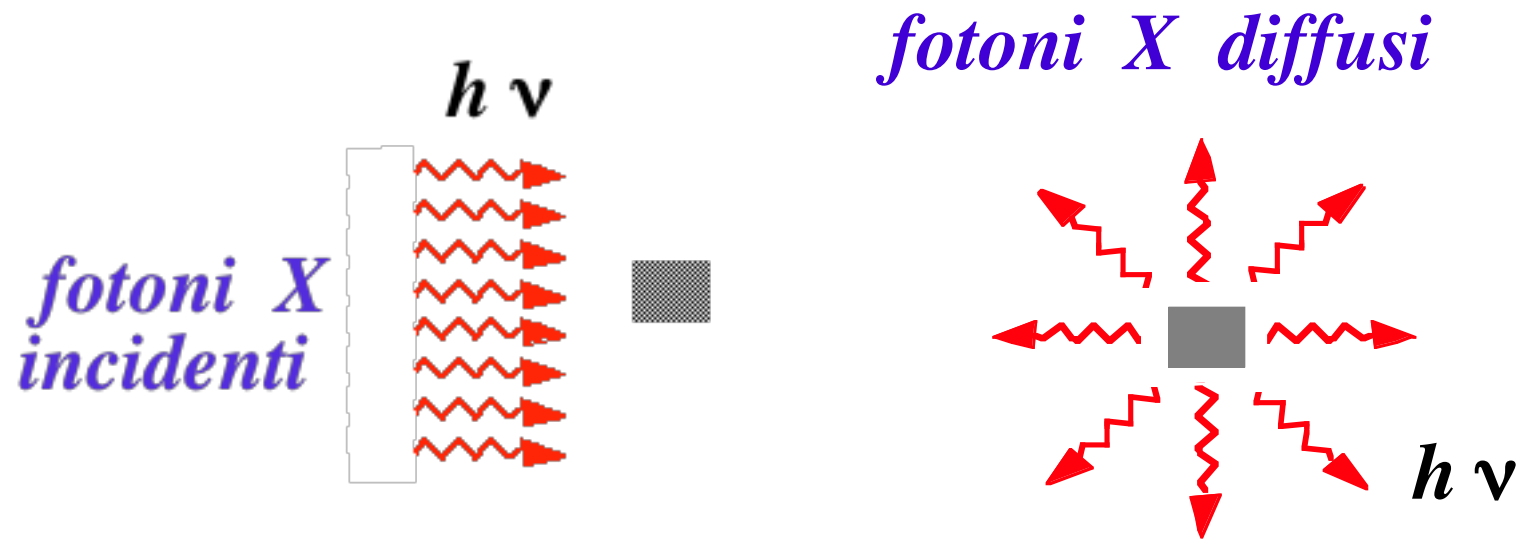
ASSORBIMENTO RAGGI X (monocromatici)

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

- **diffusione**
- **effetto fotoelettrico** $\longrightarrow \mu_{\tau}$
- **effetto Compton** $\longrightarrow \mu_{\sigma}$
- **produzione di coppie** $\longrightarrow \mu_{\pi}$

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

DIFFUSIONE

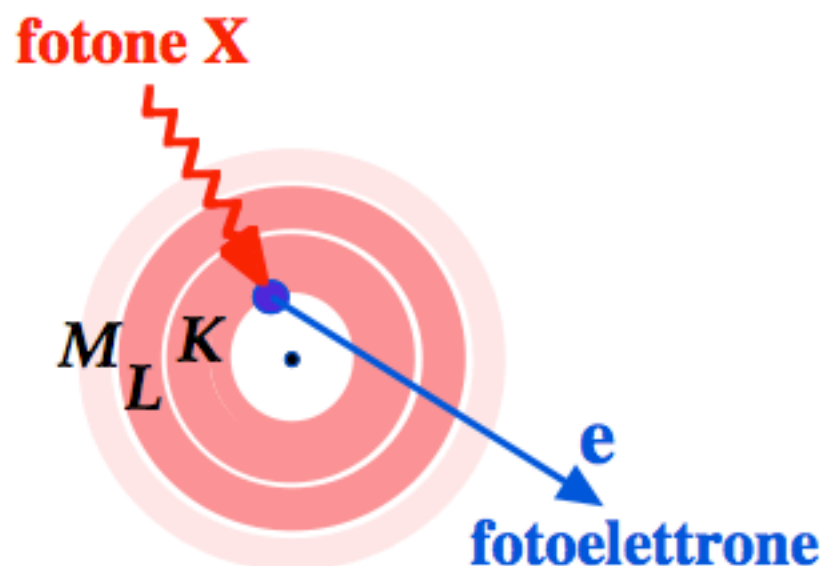


effetto velatura sulle radiografie



EFFETTO FOTOELETTRICO

μ_{τ} → **coefficiente di assorbimento per
effetto fotoelettrico**



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

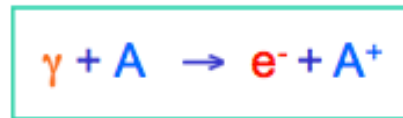
C_n = costante
(funzione dell' orbitale)

* orbitale K

Fotoni

1. Effetto Fotoelettrico

assorbimento completo del fotone da parte di un elettrone atomico → espulsione elettrone di energia $E = h\nu - E_b$



energia di legame dell'elettrone

emissione e^- → creazione di uno ione con “vacanza” in una delle shell → riempimento della vacanza da parte di un e^- libero e/o tramite riarrangiamento degli e^- atomici → emissione di raggi X

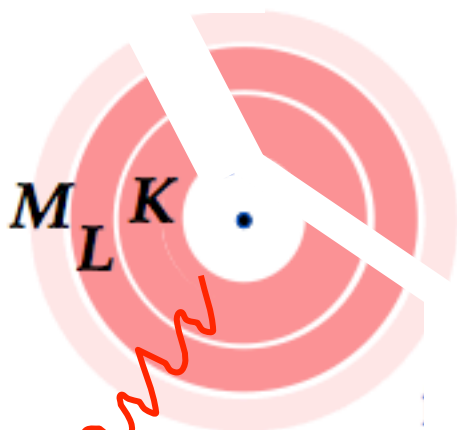
N.B. - processo dominante per $E_\gamma = h\nu < 100$ keV

EFFETTO FOTOELETTRICO

μ_{τ}

→ **coefficiente di assorbimento per
effetto fotoelettrico**

atomo eccitato



fotone X
con energia inferiore

*** orbitale K**

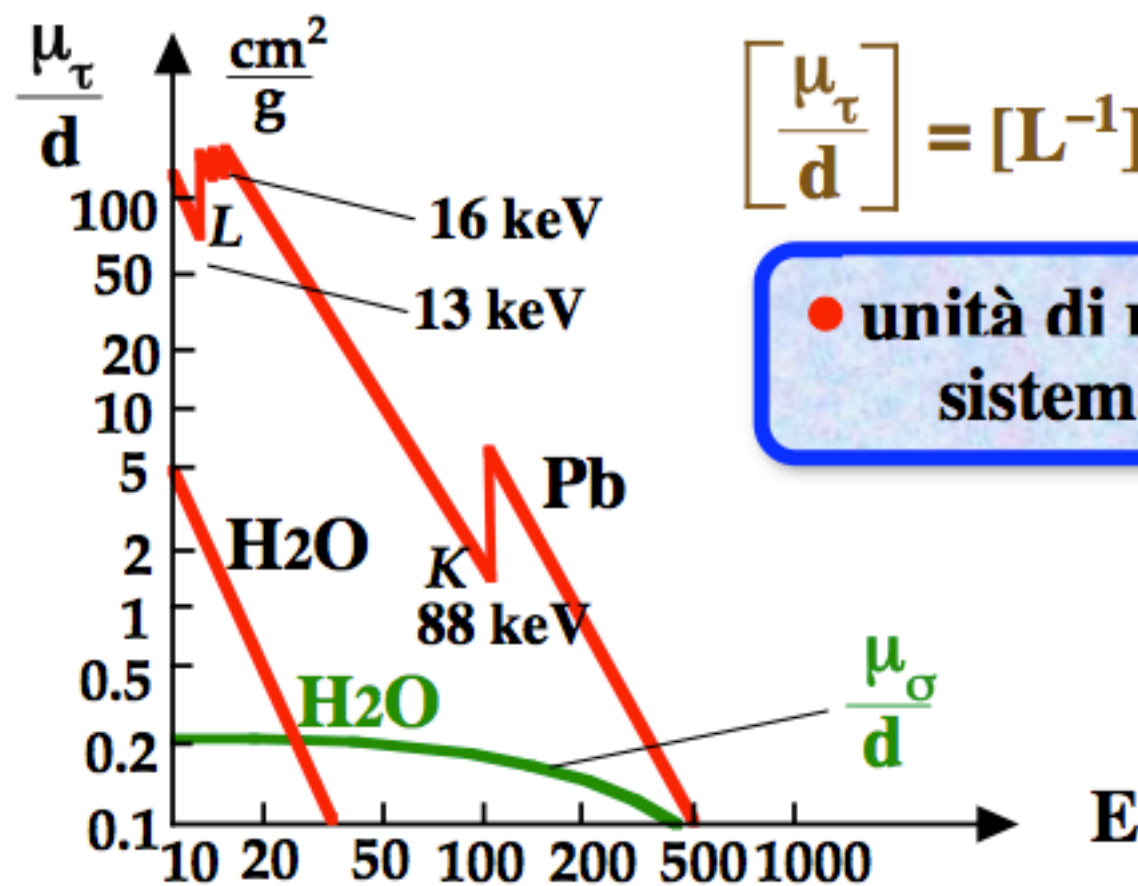
$$\mu_{\tau} \approx C_n d \frac{Z^5}{E^3} *$$

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

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



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

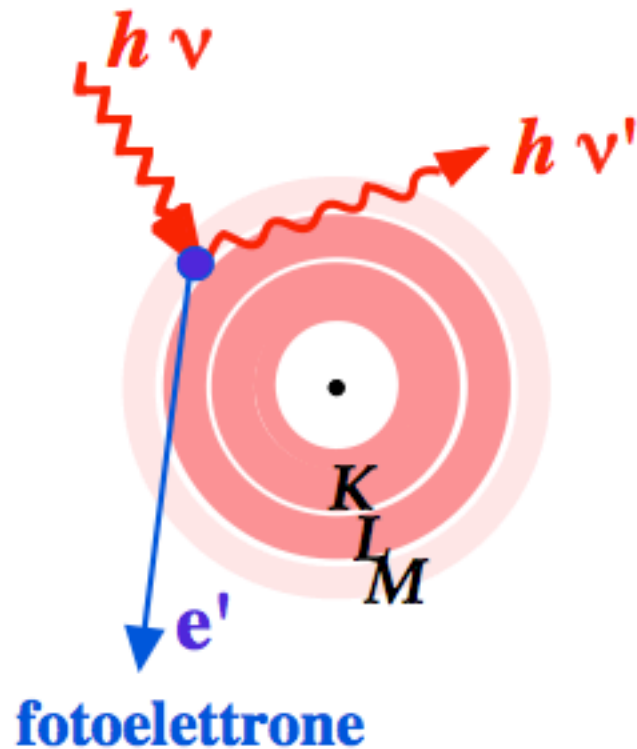
• unità di misura:
sistema pratico cm^2g^{-1}

EFFETTO COMPTON

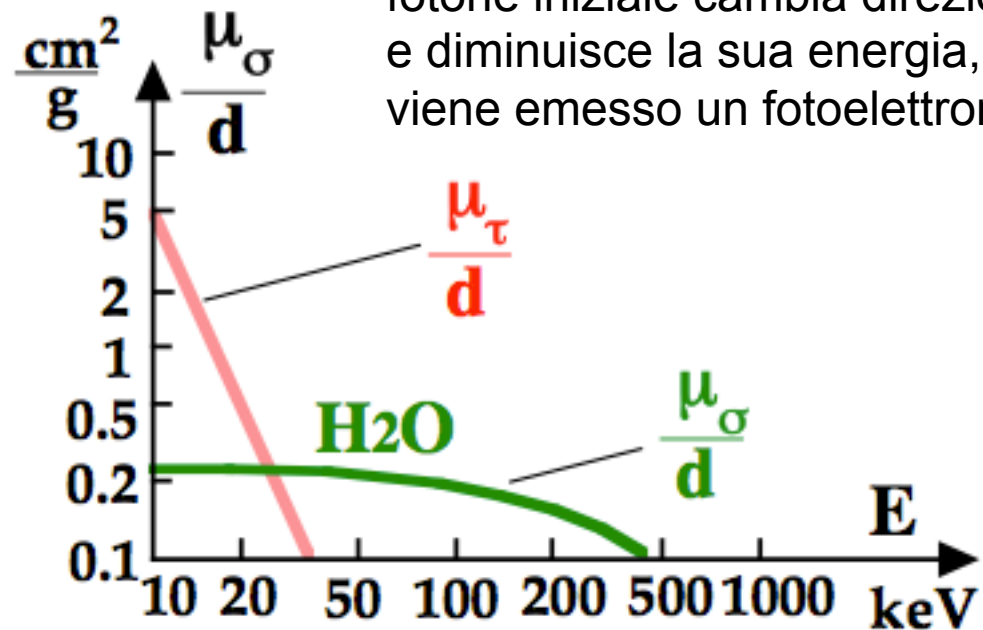
μ_{σ} → coefficiente di assorbimento per **effetto Compton**

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

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

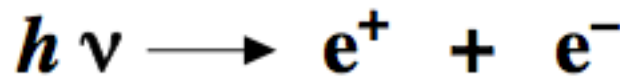
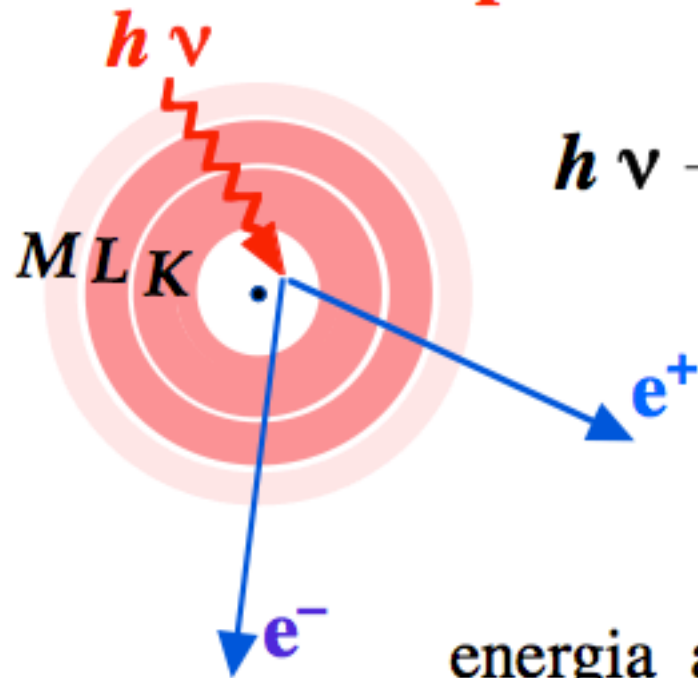


Effetto netto finale:
fotone iniziale cambia direzione
e diminuisce la sua energia,
viene emesso un fotoelettrone



PRODUZIONE DI COPPIE

μ_{π} → **coefficiente di assorbimento per produzione di coppie di elettroni positivi e negativi**



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

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

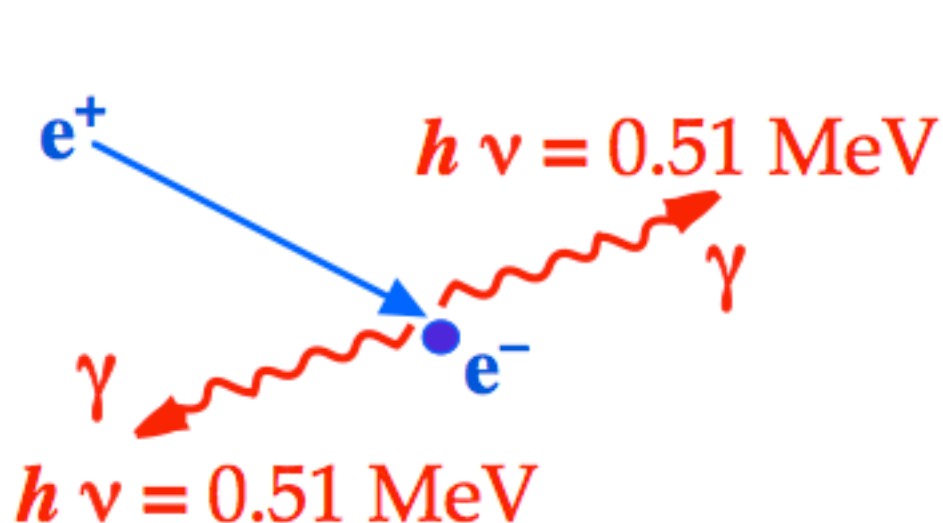
energia associata alla massa dell'elettrone

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

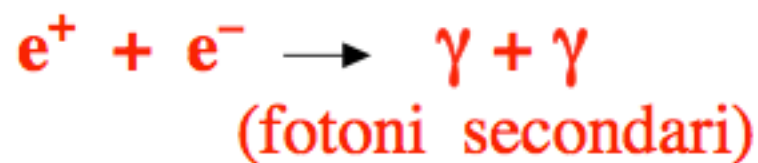
$$h\nu \geq 2 \cdot 0.51 = 1.02 \text{ MeV} \text{ (soglia del processo)}$$

ANNICILAZIONE

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



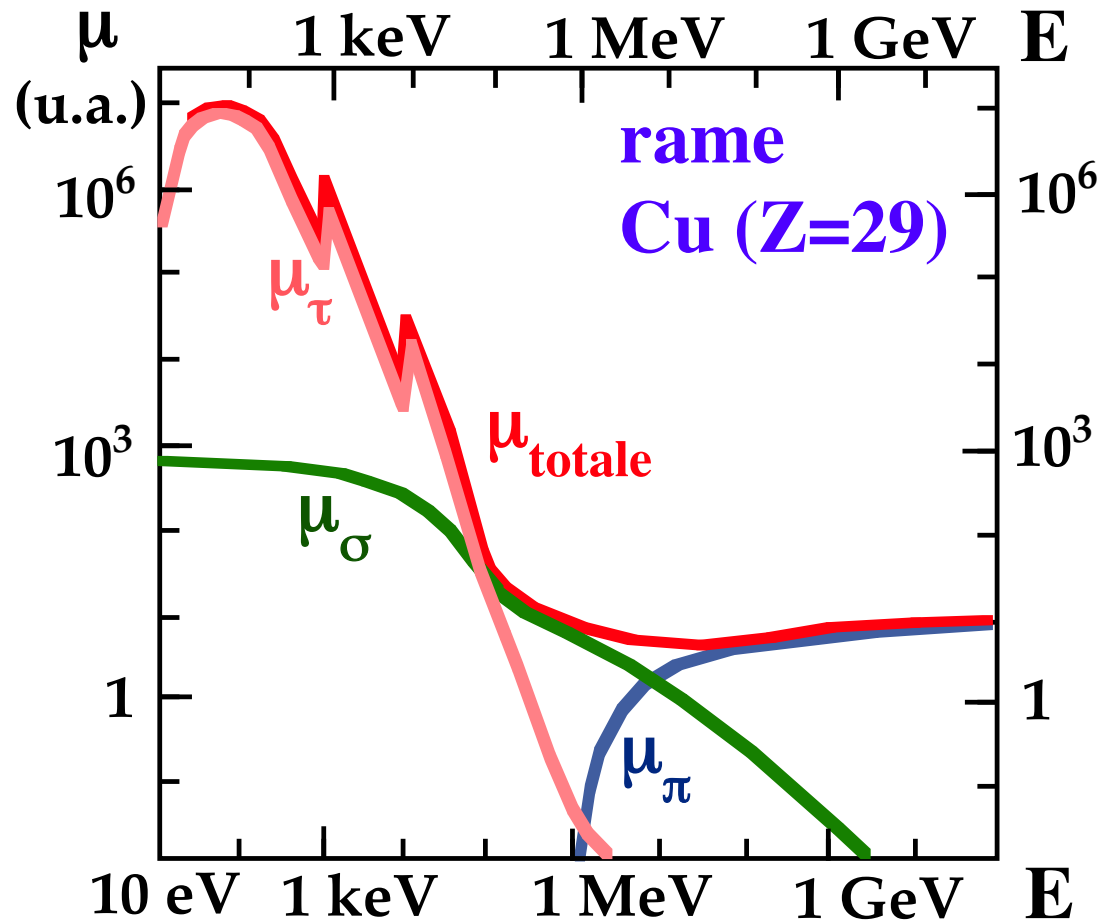
annichilazione con e^- :



- 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 O₂ (1 atm)

oppure

0.12 mm Cu

oppure

32 μm Pb

ASSORBIMENTO COMPLESSIVO

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

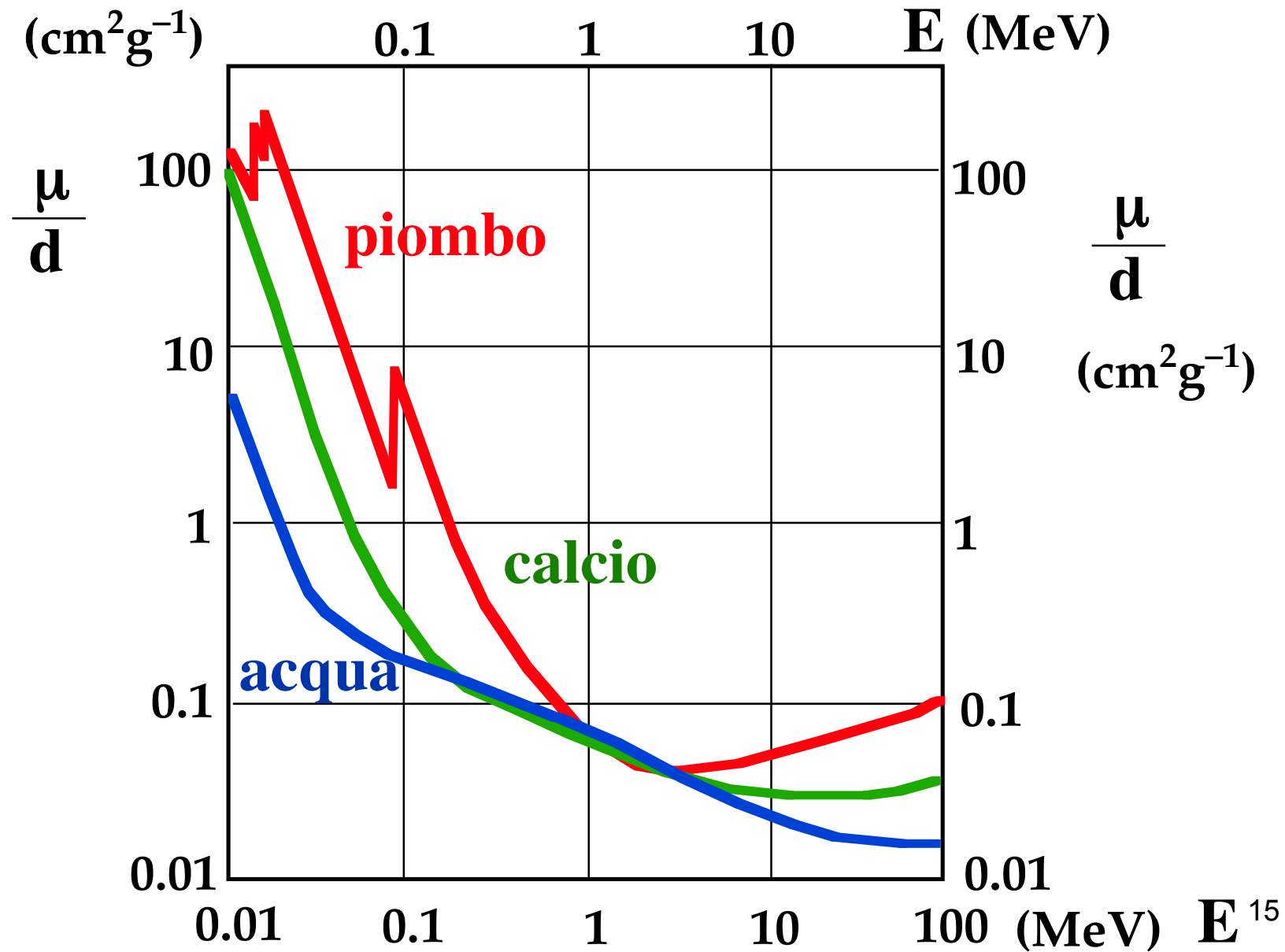
$\frac{\mu}{d}$ = coefficiente di assorbimento di massa

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

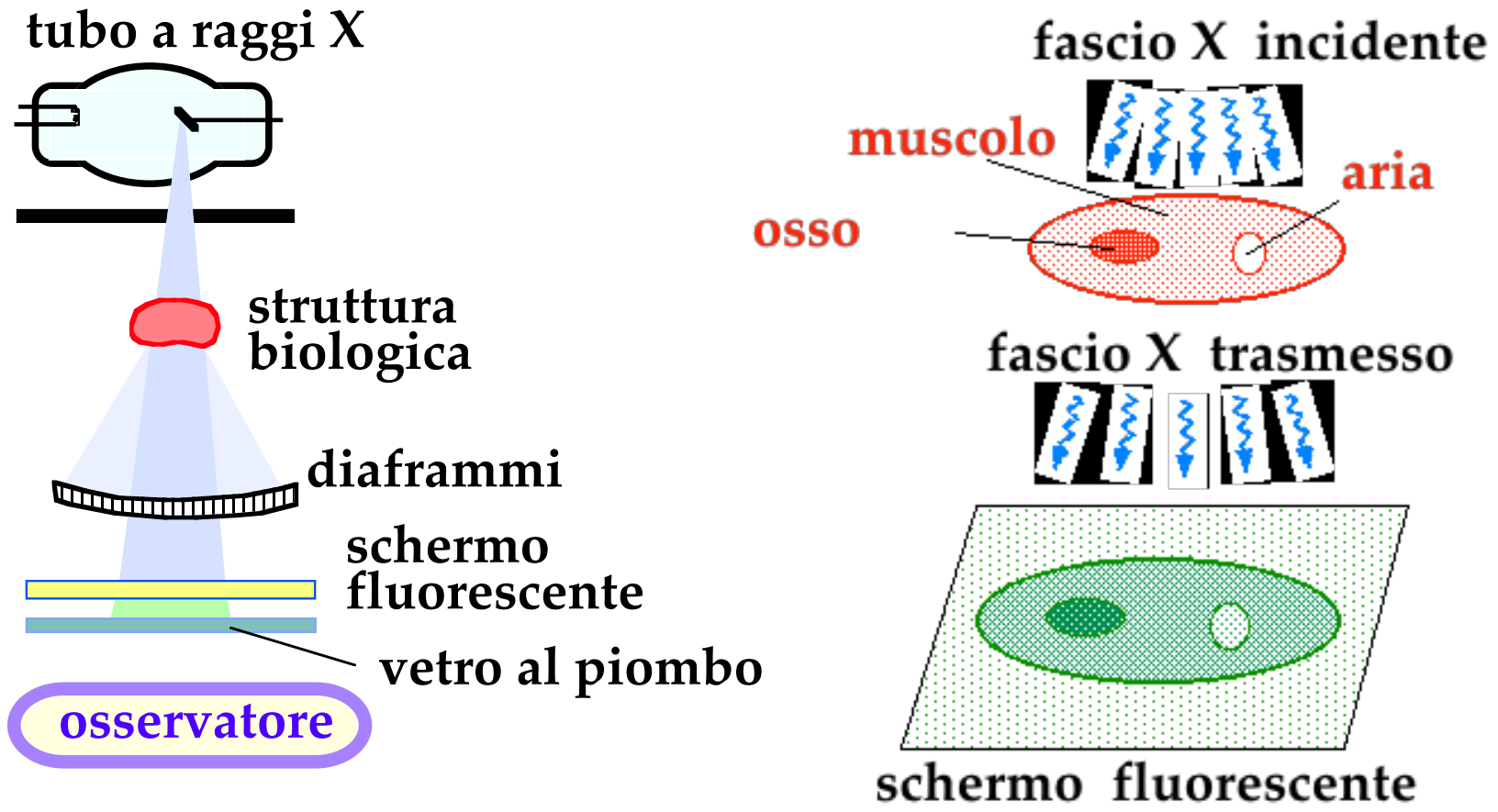
- unita' di misura: sistema pratico cm^2g^{-1}



ASSORBIMENTO COMPLESSIVO



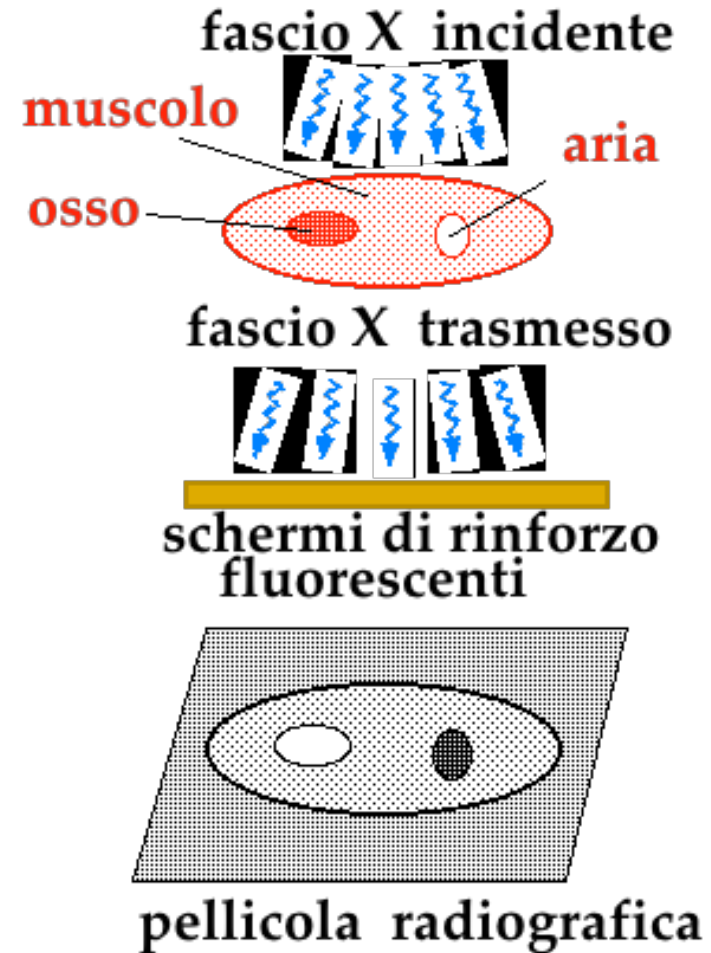
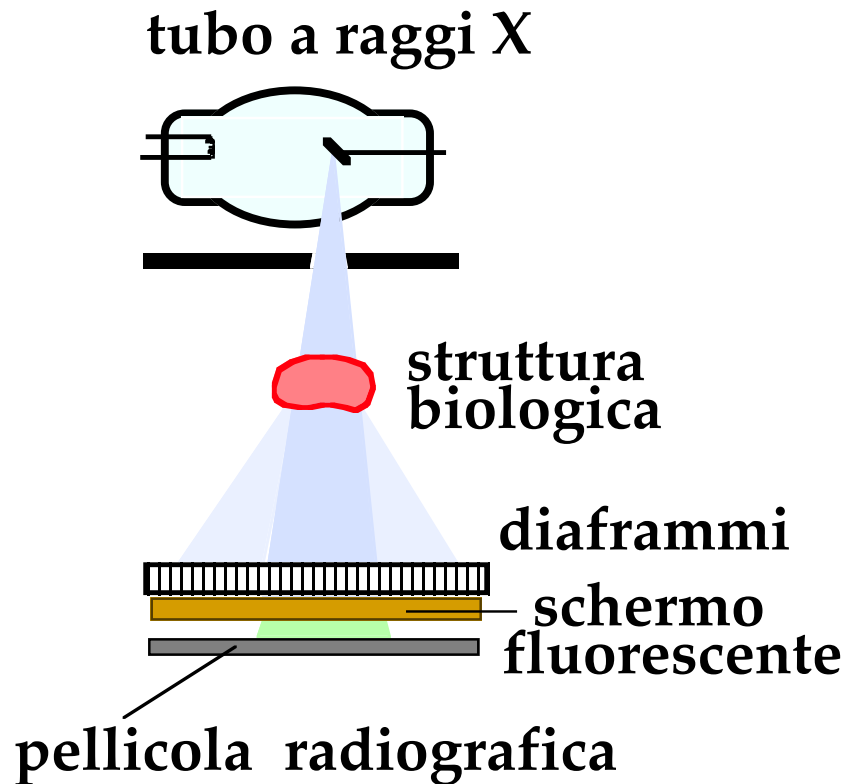
RADIOSCOPIA



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



RADIOGRAFIA

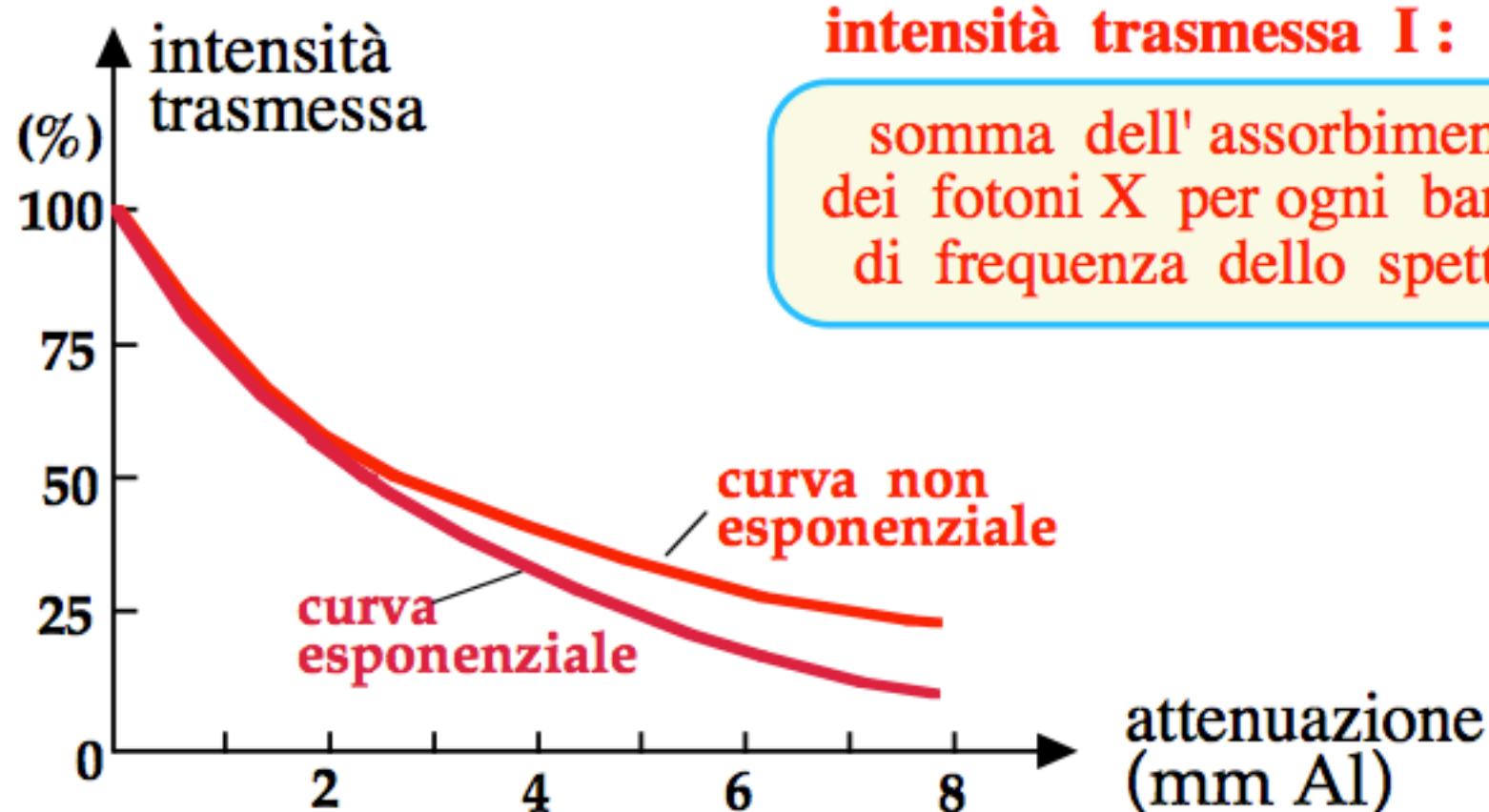


- immagine **negativa**
- sviluppo della pellicola
- **radiografia digitale**

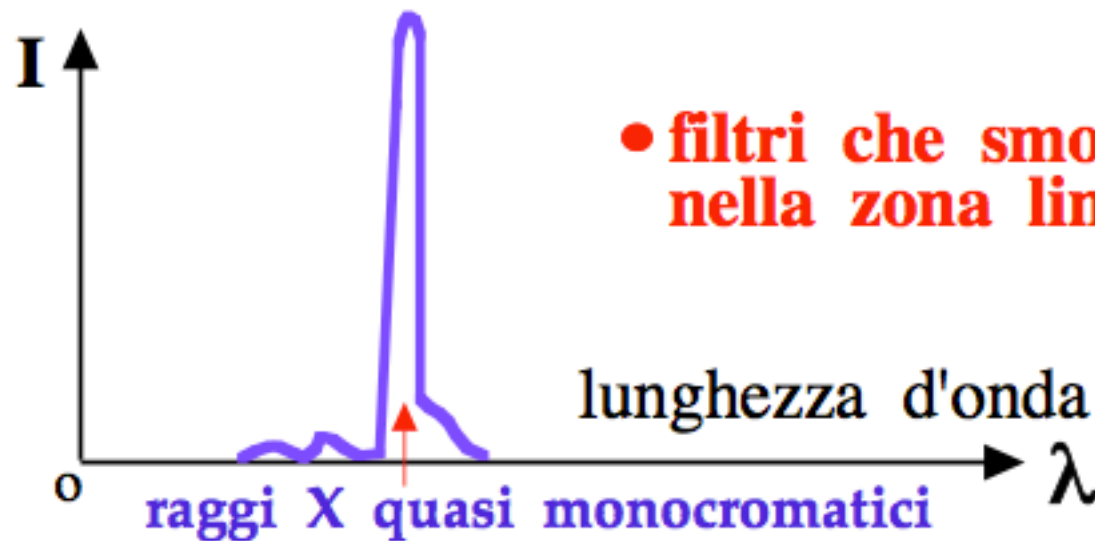
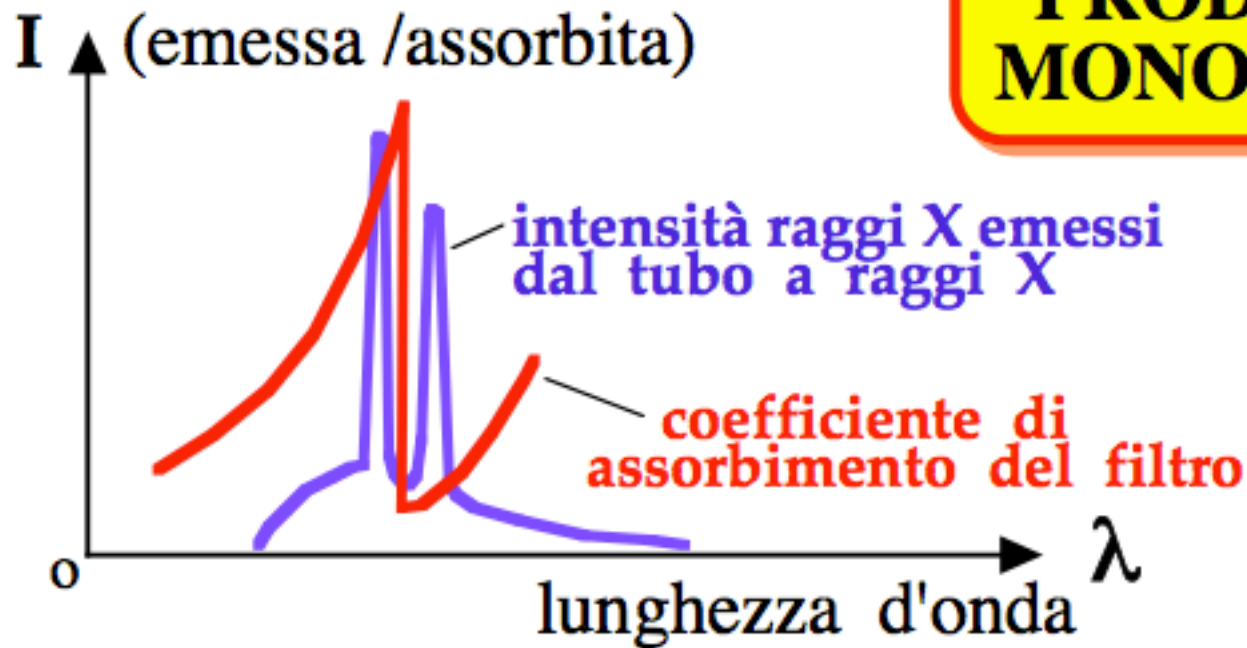


ASSORBIMENTO SPETTRO EMISSIONE X

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



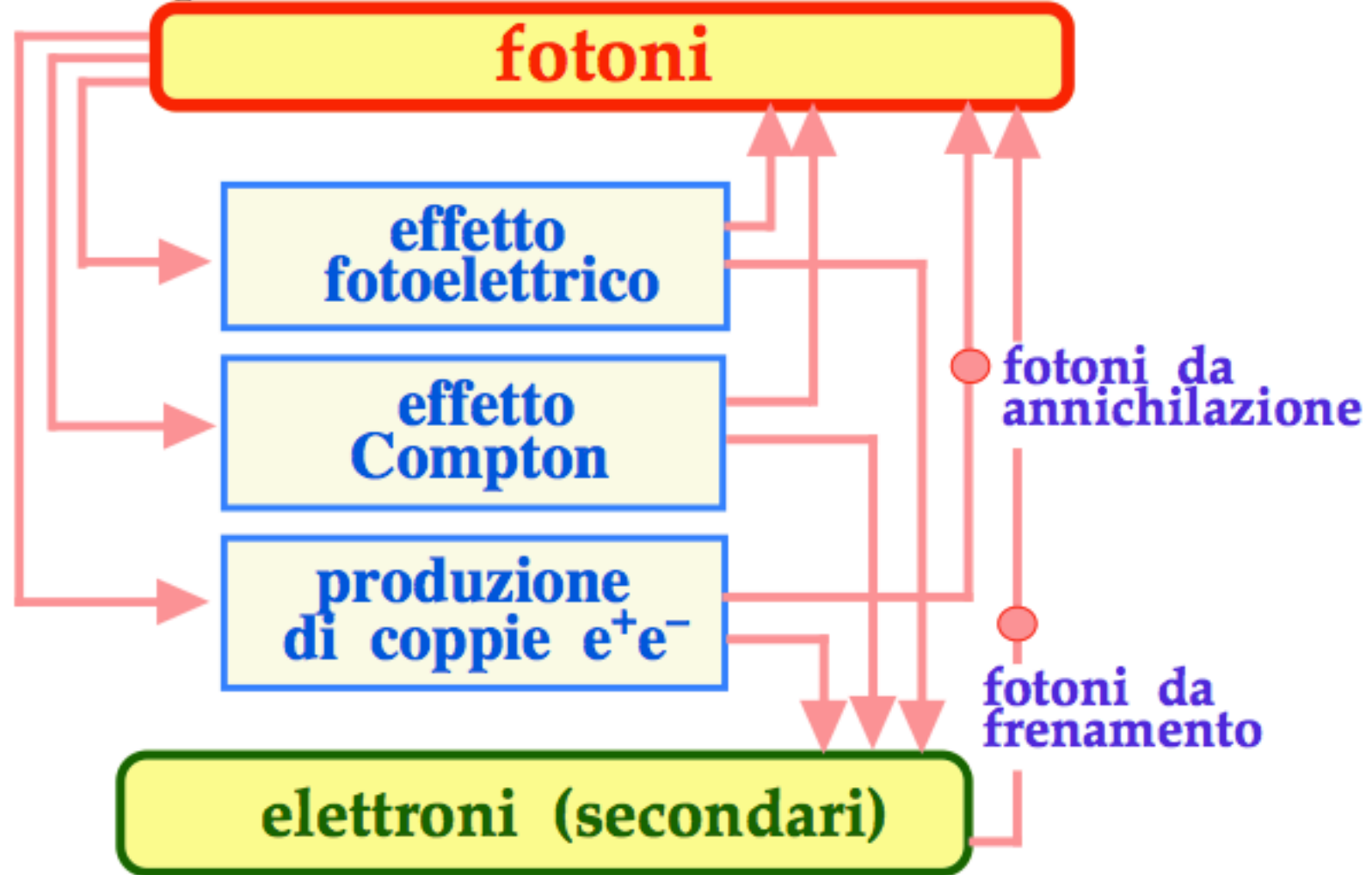
PRODUZIONE X MONOCROMATICI



EFFETTO CUMULATIVO

radiazione primaria
(fotoni X frequenza ν)


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



EFFETTO CUMULATIVO

spessore x :

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



μ_E coefficiente di assorbimento di energia

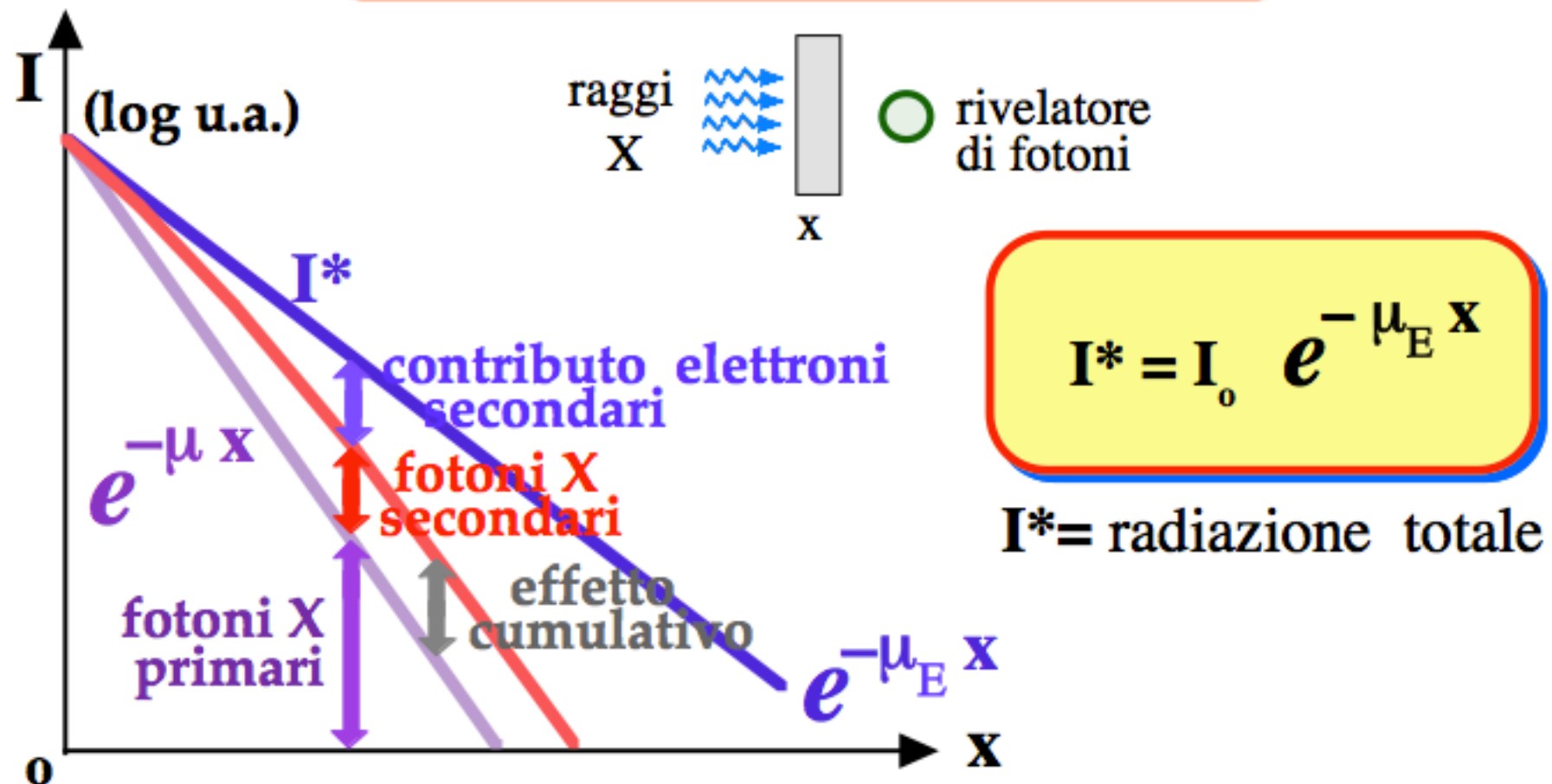
$$I^* = I_0 e^{-\mu_E x}$$

I^* = radiazione totale

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



EFFETTO CUMULATIVO

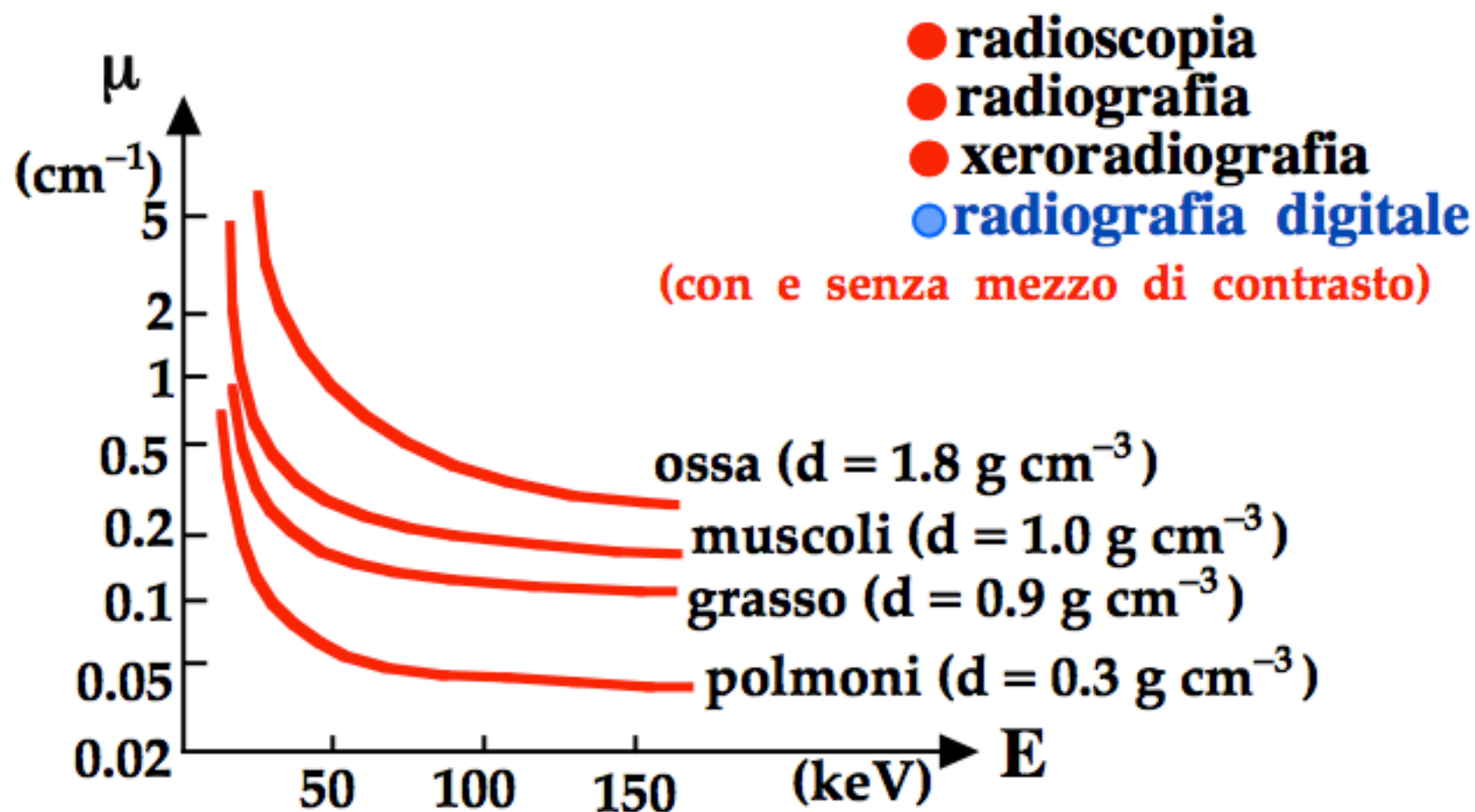


effetto cumulativo :

- 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 (BaSO_4)
- xeroradiografia (immagine positiva)
- intensificatore d'immagine
- radiografie digitali

minimizzare dose raggi X
(danni da radiazioni ionizzanti)

