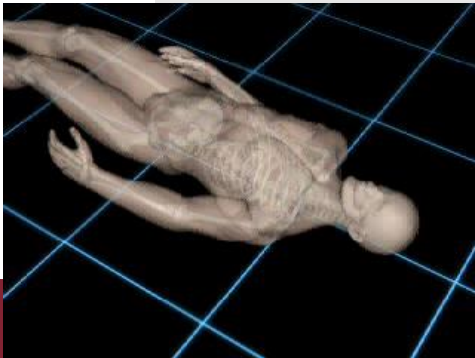


COSA E' LA DIAGNOSTICA PER IMMAGINI?

VIAGGIO ALL'INTERNO DEL CORPO UMANO

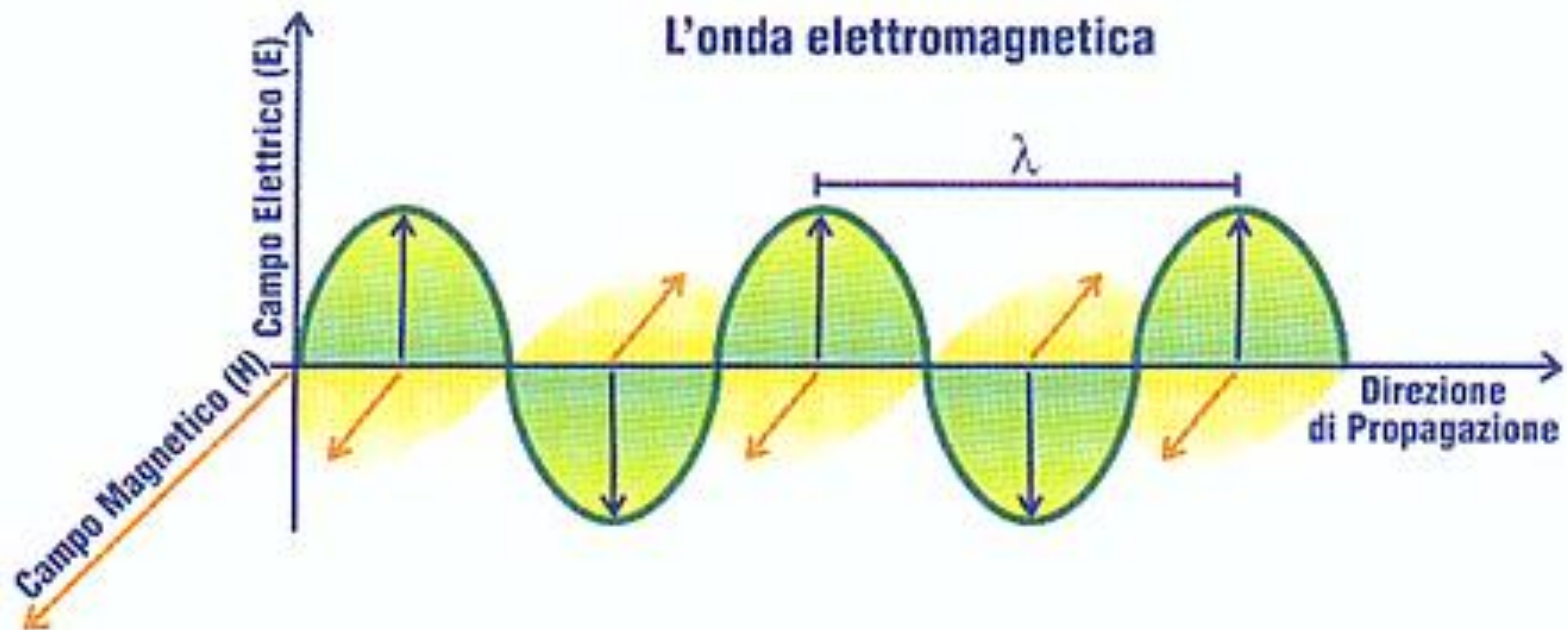


Radiological imaging systems

	Digital subtraction angiography	Computed tomography	Nuclear magnetic resonance	Positron computed tomography	Ultrasound
What is detected	transmitted x rays	transmitted x rays	rf radiation from induced emfs	511 keV annihilation photons	acoustic echoes
What is imaged	electron density of object	electron density of object	induced nuclear magnetization	<i>in vivo</i> positron emitters	discontinuities in speed of sound
What causes structure	variation of electron density with composition and density	variation of electron density with composition and density	variation of strength and decay of magnetization with composition	differential uptake of labelled compounds	variation of density and elasticity of tissues
What is inferred	location of tissues filled with absorbing material	sizes and shapes of organs	physical and chemical variations among tissues	flow and metabolism of tracer material	sizes and shapes of organs; acoustical properties
Typical application	examination of arterial narrowing	detection of brain tumors	imaging of brain tumors	mapping of glucose metabolism in brain	fetal growth; tumor detection; cardiology
Signal source	x-ray tube	x-ray tube	precession of nuclei	ingested labelled compounds	piezoelectric transducer
Signal detector	image intensifier	x-ray detector	rf pickup coil	scintillation detectors	piezoelectric transducer
Image plane	longitudinal	transverse	any	transverse	any
Spatial resolution	1/2 mm	1 mm	2 mm	10 mm	2 mm
Temporal resolution	10 ⁻² sec	1 sec	10 ⁻¹ sec to 10 ² sec	10 ¹ sec to 10 ³ sec	10 ⁻² sec
Typical radiation dose	2 rad (imaged field)	1 rad (imaged slice)	(not applicable)	10 ⁻² rad (whole body)	(not applicable)
Cost (approximate)	\$0.2 million	\$1-2 million	\$1-2 million	\$1 million	\$0.1 million
Chief use	clinical diagnosis	clinical diagnosis	physiological and clinical research	physiological research	clinical diagnosis

FONDAMENTI: RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE

- CAMPO ELETTROMAGNETICO



Quali proprietà fisiche caratterizzano un'onda ?

Lunghezza d'onda λ : è la distanza tra due punti nello spazio che racchiudono, ad un dato istante di tempo, un'oscillazione completa.

La lunghezza d'onda si misura in metri.

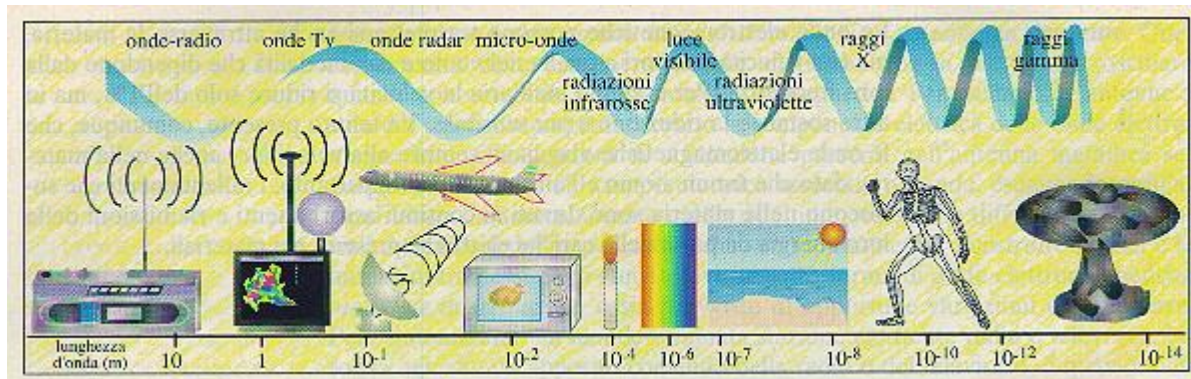
Periodo T: è l'intervallo di tempo impiegato da un'onda a compiere un'oscillazione completa in un punto fisso dello spazio.

Il periodo si misura in secondi.

Frequenza f : conta il numero di oscillazioni compiute nell'unità di tempo.

E' l'inverso del periodo T: $f=1/T$.

La frequenza si misura in hertz (Hz): 1Hz = 1 oscillazione al secondo



Velocità di propagazione v : è lo spazio percorso da un fronte d'onda nell'unità di tempo.

La velocità dipende dal mezzo in cui si propagano le onde.

Nel vuoto, le onde elettromagnetiche di qualsiasi lunghezza d'onda hanno la stessa velocità, la "velocità della luce nel vuoto" che si indica con la lettera c e vale

$c = 3 \cdot 10^8$ m/s (300 milioni di metri al secondo)

Fotoni X e Gamma

Derivano dalla diseccitazione energetica di nuclei instabili che liberano l'energia in eccesso sotto forma di radiazioni gamma. I fotoni gamma come i fotoni X sono radiazioni elettromagnetiche: non hanno massa né carica e viaggiano alla velocità della luce (300000 km/sec).

L'unica differenza tra i fotoni gamma e i fotoni X è la loro origine: i gamma sono prodotti a seguito di riequilibri energetici del nucleo, mentre gli X originano da riequilibri energetici del mantello elettronico dell'atomo.

Tra le varie possibili interazioni dei fotoni gamma con la materia, solo alcune possono essere di qualche interesse in medicina nucleare:

- [Effetto Fotoelettrico](#)
- [Effetto Compton](#)
- [Produzione di coppie](#)
- [Conversione Interna](#)
- [Produzione di elettroni Auger](#)

- **RADIOATTIVITA'**

- Processo naturale attraverso il quale gli atomi instabili di un elemento emettono energia da parte dei nuclei trasformandosi in atomi di un diverso elemento o in stati energetici di minor energia dello stesso elemento.

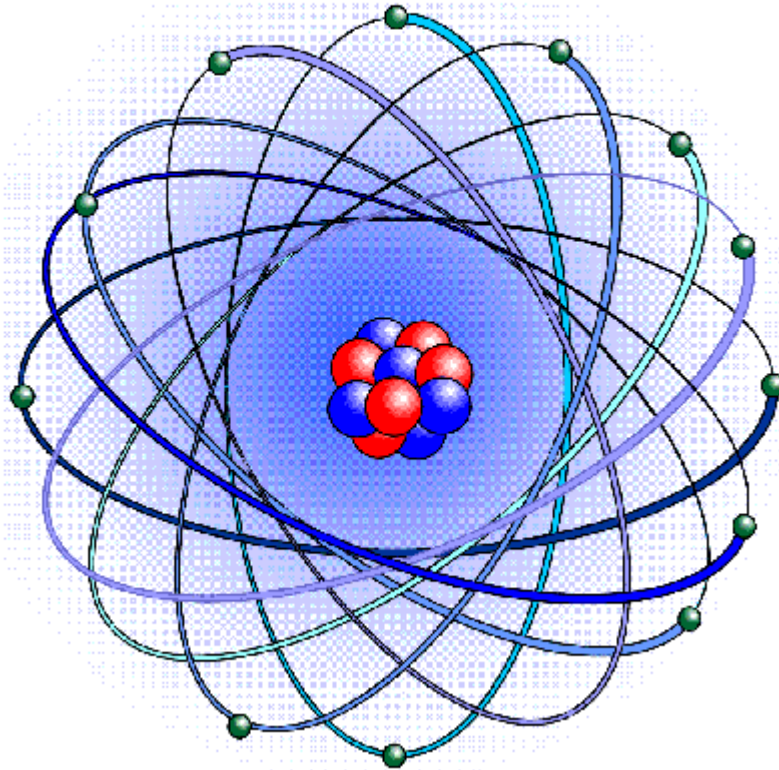
- **ATTIVITA'**

- Numero di trasformazioni nucleari spontanee di un radionuclide che si producono nell'unità di tempo. Si esprime in Becquerel.

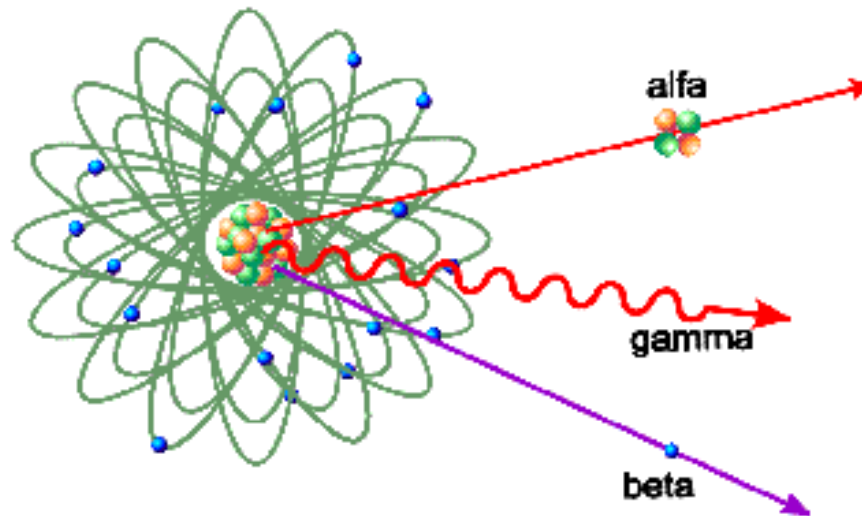
FONDAMENTI: RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE

L'ATOMO

● NEUTRONE ● PROTONE ● ELETTRONE



Decadimenti nucleari



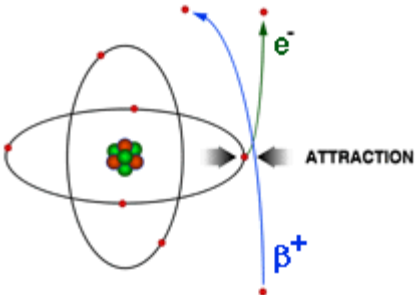
Decadimento Beta

Una particella beta è un elettrone ad alta velocità che fuoriesce da un nucleo in disintegrazione.

Tale particella può avere carica negativa unitaria (β^- , decadimento beta negativo), o carica positiva unitaria (β^+ , decadimento beta positivo). In ogni caso la massa è identica a quella dell'elettrone.

Le particelle β^+ possono **ionizzare** il mezzo attraversato provocando l'allontanamento di elettroni dalla sfera di influenza nucleare per **attrazione** elettrostatica, a spese della loro energia cinetica (in media 34 eV per ogni evento di ionizzazione in aria). Il potere penetrante è uguale a quello delle particelle β^- .

IONIZZAZIONE BETA+



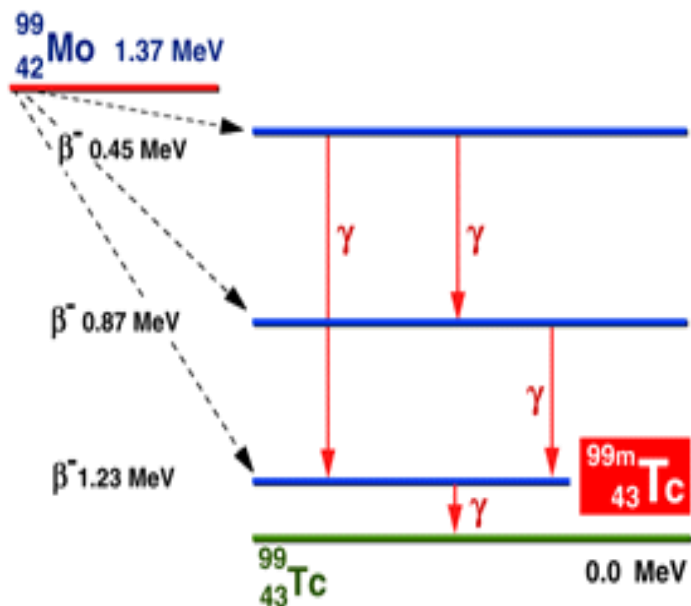
Le particelle β^+ (**POSITRONI**) dopo circa **10E-9 secondi** vanno incontro ad **ANNICHILAZIONE**, interagendo con un elettrone. **Le due particelle scompaiono** e la loro massa è trasformata in **2 fotoni gamma di 0.511 MeV**, emessi in **direzioni contrapposte**.



•Transizione Isomerica

- E' il passaggio di un isomero, in stato metastabile, alla sua forma più stabile, con liberazione dell'energia nucleare in eccesso mediante l'emissione di un fotone gamma.
- Rappresenta un cambiamento nello stato energetico del nucleo, senza una modificazione dei componenti dello stesso.
- Si può considerare come la conclusione, leggermente ritardata nel tempo, di un processo di decadimento che abbia lasciato il nucleo in condizione di **eccesso di energia**.
- L'ampio uso di radionuclidi metastabili in medicina nucleare è motivato dalla quasi totale assenza di radiazione corpuscolata associata al loro decadimento e dalla loro emivita relativamente breve. Queste caratteristiche sono radiobiologicamente favorevoli e permettono somministrazioni di quantità relativamente elevate con bassa dose di esposizione.

• Esempio di transizione isomerica è il decadimento del **^{99m}Tc** , il **radionuclide attualmente più usato in medicina nucleare**. Il ^{99m}Tc deriva dal ^{99}Mo che decade a ^{99m}Tc per emissione β^- , con tempo di dimezzamento di 2.7 giorni. Il ^{99m}Tc decade a sua volta, per transizione isomerica, a ^{99}Tc , con un'emivita di 6 ore. Sono disponibili in commercio piccoli **generatori** $^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99m}\text{Tc}$ che ne permettono l'impiego in tutti i centri di medicina nucleare.

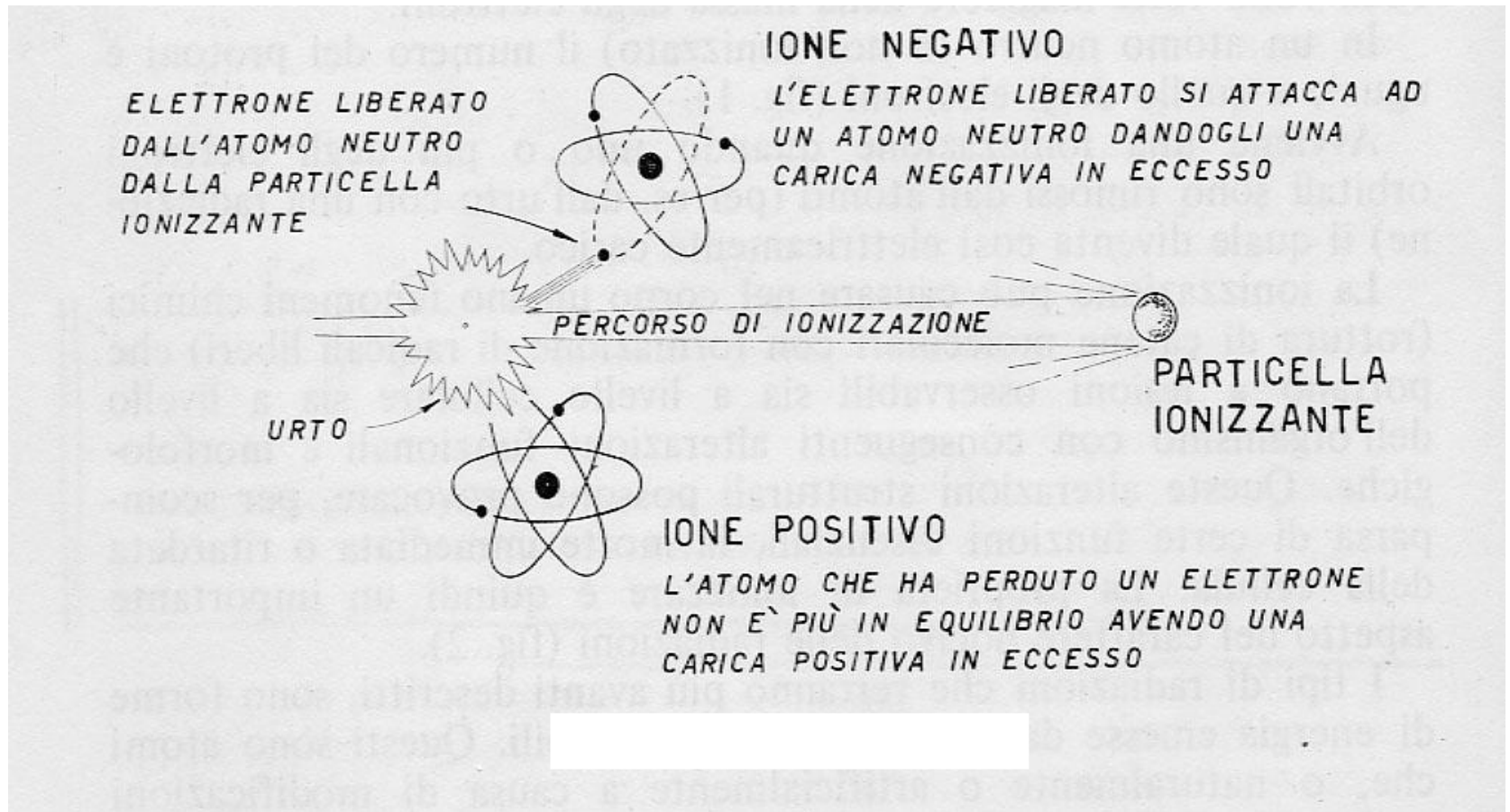


DECADIMENTO $^{99}\text{Mo} \rightarrow$
 ^{99}Tc

CON TRANSIZIONE
ISOMERICA

$^{99m}\text{Tc} \rightarrow ^{99}\text{Tc}$

La ionizzazione (l'atomo come bersaglio)

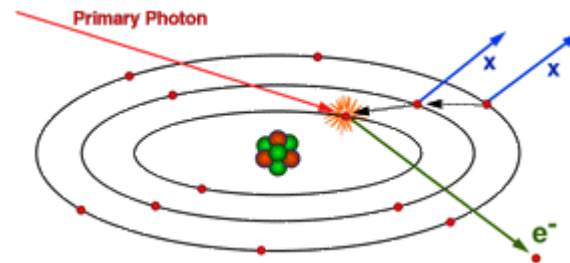


Una particella ionizzante colpisce l'elettrone e lo espelle dalla sua orbita. L'atomo perde il suo equilibrio di cariche e diventa positivo.

Effetto Fotoelettrico

- Accade quando un *fotone interagisce con un elettrone delle orbite più interne* (in genere dello strato K) cedendo **tutta** la sua energia.

Il fotone scompare e l'elettrone acquista energia cinetica pari alla differenza dell'energia del fotone incidente **[E_{fi}]** con quella di legame dell'elettrone. La ionizzazione provoca riassetto degli altri elettroni con emissione di radiazioni X caratteristiche o con l'emissione di un elettrone di Auger (più probabile per elementi a basso Z).



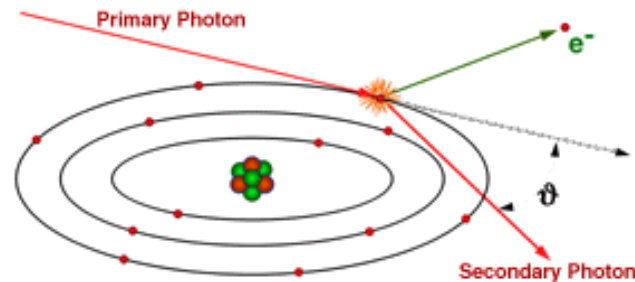
- L'effetto fotoelettrico è più probabile per mezzi ad alto Z e per fotoni a bassa energia secondo la formula:

$$\text{Probabilità di Effetto Fotoelettrico} = Z^4 / E_{fi}^3$$

Effetto Compton

- Chiamato anche **scattering incoerente**, accade quando un fotone 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 **[Ec]** e di un fotone gamma secondario (gamma Compton) di energia **[EfC]** che si propaga in direzione diversa rispetto a quella del gamma originario 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'energia che viene dissipata è uguale all'energia necessaria per ionizzare l'atomo (corrispondente all'energia di legame **[EI]** dell'elettrone espulso) più l'energia cinetica **[Ec]** che acquista l'elettrone (proporzionale alla velocità che gli viene impressa). L'energia del fotone Compton è uguale alla differenza tra l'energia del fotone incidente **[Efi]** e l'energia dissipata:

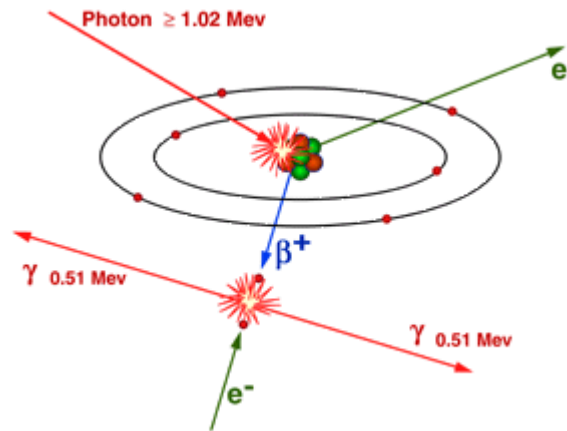
$$E_{fC} = E_{fi} - (EI + E_c)$$



- L'effetto Compton ha importanti risvolti in medicina nucleare e in radiologia perché, tra l'altro, è causa di degradazione della qualità dell'immagine.

Produzione di coppie

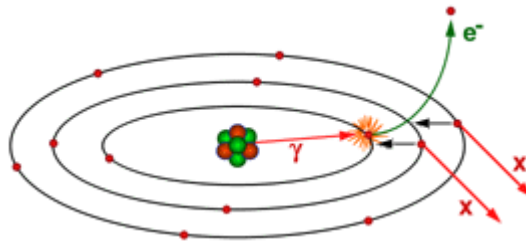
- Detto anche effetto fotonucleare, accade per **fotoni di energia superiore a 1.022 MeV**, corrispondente alla massa delle due particelle che vengono generate dal fenomeno.
- Il fotone, interagendo col campo di forza del nucleo, scompare con la contemporanea creazione di **2 particelle**: un **elettrone** 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.



Questo fenomeno riveste poca rilevanza per le applicazioni diagnostiche perchè radionuclidi di così alta energia non sono comunemente utilizzati in questa disciplina.

Conversione interna

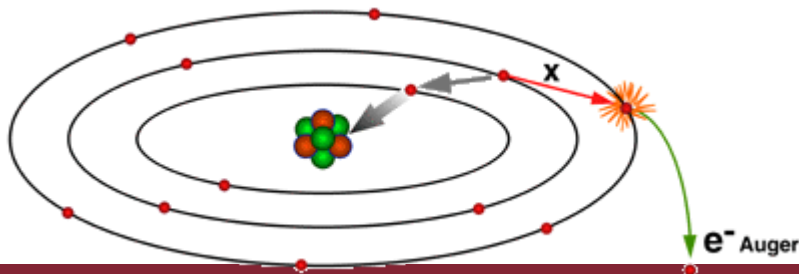
- Accade quando un raggio gamma prodotto dalla diseccitazione nucleare, uscendo dal nucleo, interagisce con un elettrone degli strati più interni (di solito K), trasferendo tutta la sua energia a quest'ultimo e provocando la ionizzazione dell'atomo. L'elettrone acquista energia cinetica e può provocare altre ionizzazioni. Il cambiamento della configurazione elettronica con il riassetto degli elettroni che si portano verso lo spazio rimasto vacante, provoca l'emissione di radiazioni X "caratteristiche".
- La reazione accade più frequentemente con materiali ad alto Z.
- Ha rilevanza in medicina nucleare e in radiobiologia per il calcolo della dose assorbita.



Produzione di elettroni di Auger

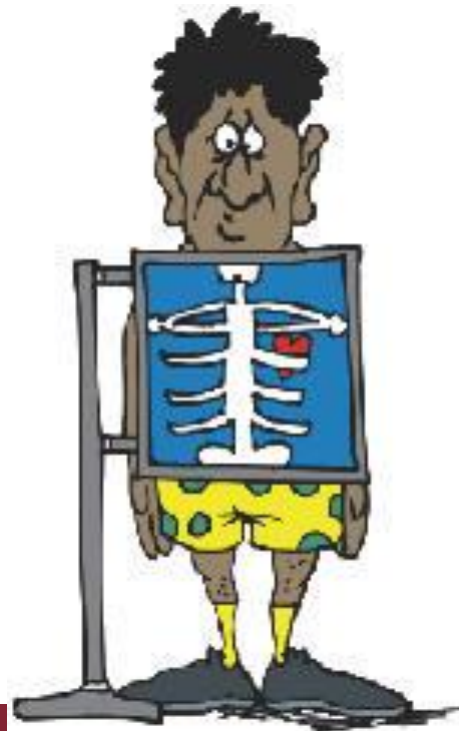
•E' un altro processo derivante da cambiamenti nello stato energetico e nella configurazione degli orbitali atomici. Si può verificare quando un si crea un "vuoto" elettronico in un orbitale interno: un elettrone esterno per riempire il "vuoto" scende ad un livello energetico inferiore, cedendo energia sotto forma di radiazione X "caratteristica" che, attraversando gli orbitali più esterni, può interagire con un elettrone espellendolo dalla sua orbita (elettrone Auger). Questo fenomeno è più probabile per elementi di basso numero atomico (Z).

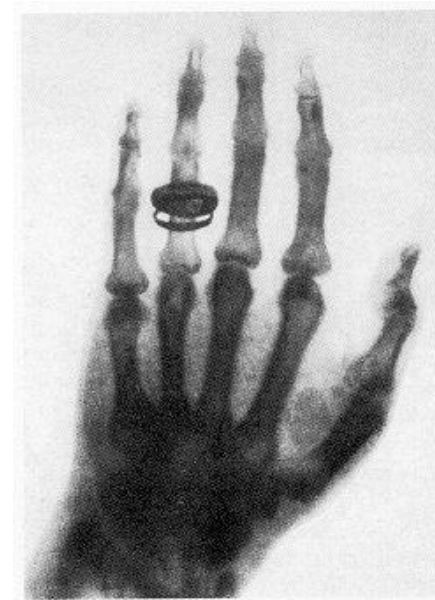
•Ha rilevanza in medicina nucleare e in radiobiologia per il calcolo della dose assorbita.



Diagnostica con i raggi X

Le potenzialità dei raggi X per esplorare la struttura interna del corpo umano furono subito evidenti; le prime applicazioni risalgono ancora al 1896





Una delle prime radiografie della mano, realizzata da Röntgen nel gennaio del 1896

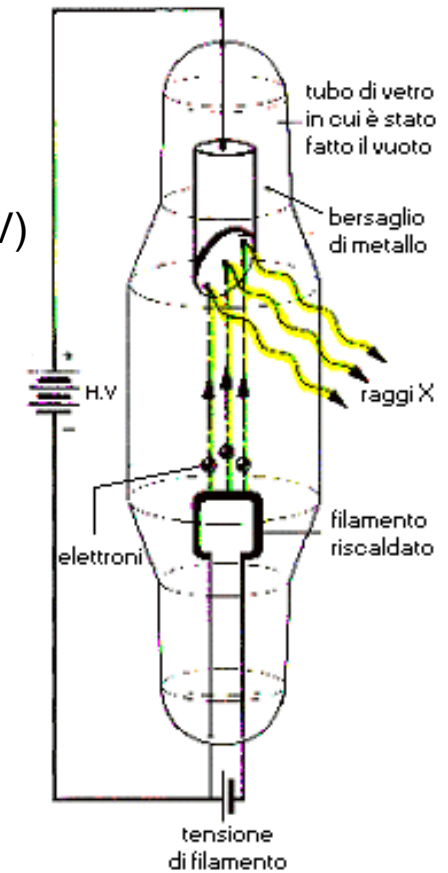
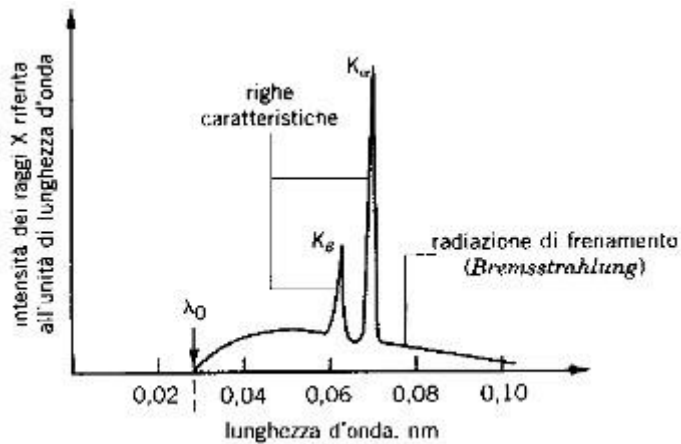
IL MECCANISMO

- 1 - Elevato potere di penetrazione dei raggi X il potere di penetrazione dei raggi X nella materia cresce (l'assorbimento diminuisce) con la loro energia le tensioni di accelerazione impiegate in radiologia vanno da 25 a 150 KV
- 2 - Diverso assorbimento dei raggi X nei tessuti del corpo umano (osso, polmone, muscolo) l'assorbimento aumenta al crescere del numero atomico della sostanza irradiata il calcio presente nelle ossa ($Z=20$) assorbe più dell'acqua l'assorbimento cresce al crescere della densità l'acqua liquida assorbe più del vapor d'acqua Risultato: i raggi X, attraversando organi di diversa composizione e/o densità, formano l'immagine visibile su un rivelatore.

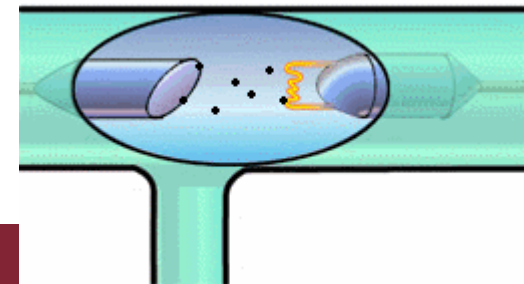
Principio di funzionamento:

emissione di elettroni dal catodo per effetto termoelettronico
accelerazione degli elettroni tra catodo ed anodo (qualche decina di kV)
emissione di raggi X dal catodo

- spettro continuo di frenamento
- righe caratteristiche, dipendenti dal materiale dell'anodo



Schema e principio di funzionamento di un tubo per raggi X.



l'evoluzione della radiologia

- 1895 Wilhelm Conrad Roentgen scopre i raggi X
- 1930 stratigrafia (Vallebona)
- 1950 radioscopia con amplificatore di brillantezza
- 1972 nasce la TC (Tomografia Computerizzata)
- 1981 nasce la RM (Risonanza Magnetica)



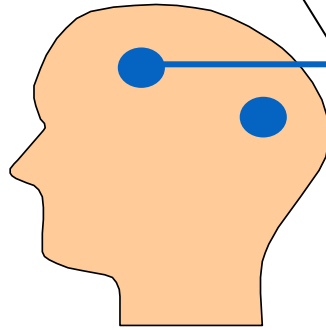
Medicina Nucleare

gamma camera

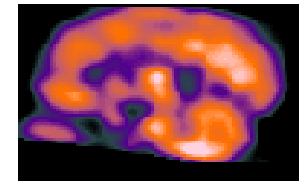
Iniezione



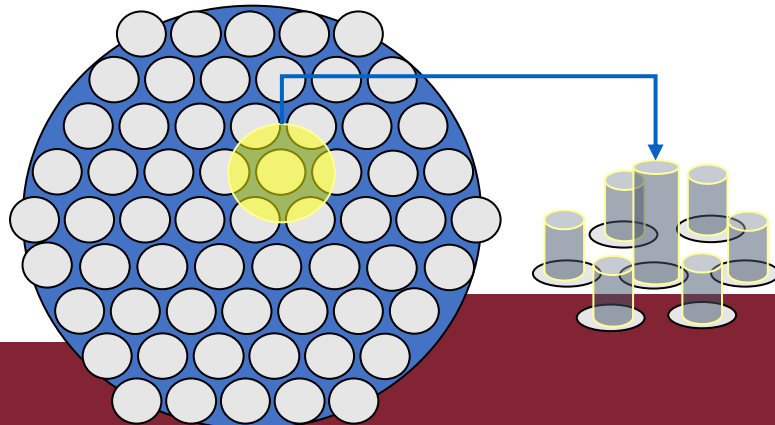
emissione fotone γ



elaborazione e visualizzazione



principio di funzionamento di una gamma camera



PMT elettronica

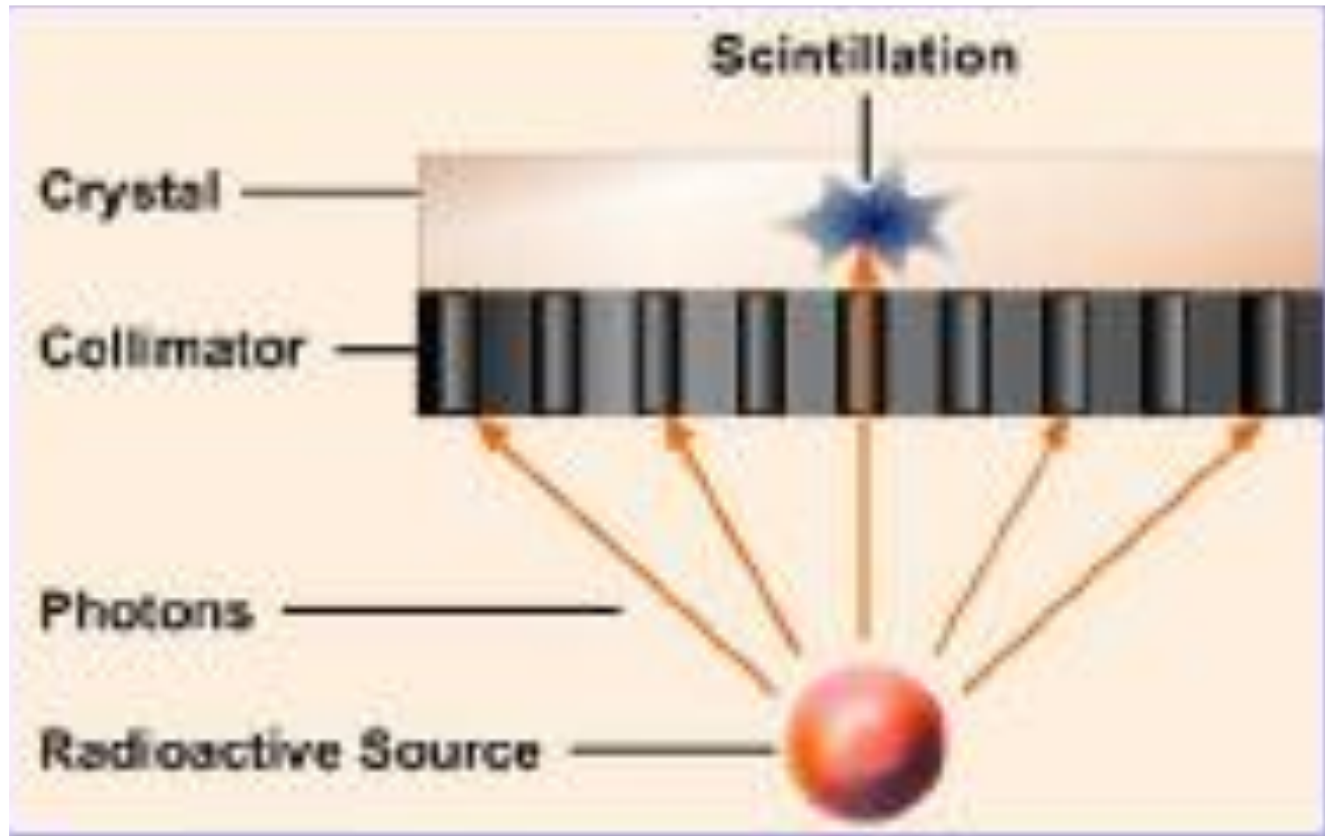
cristallo

collimatore

la posizione (x,y) è ottenuta come il baricentro delle intensità luminose viste dai fototubi

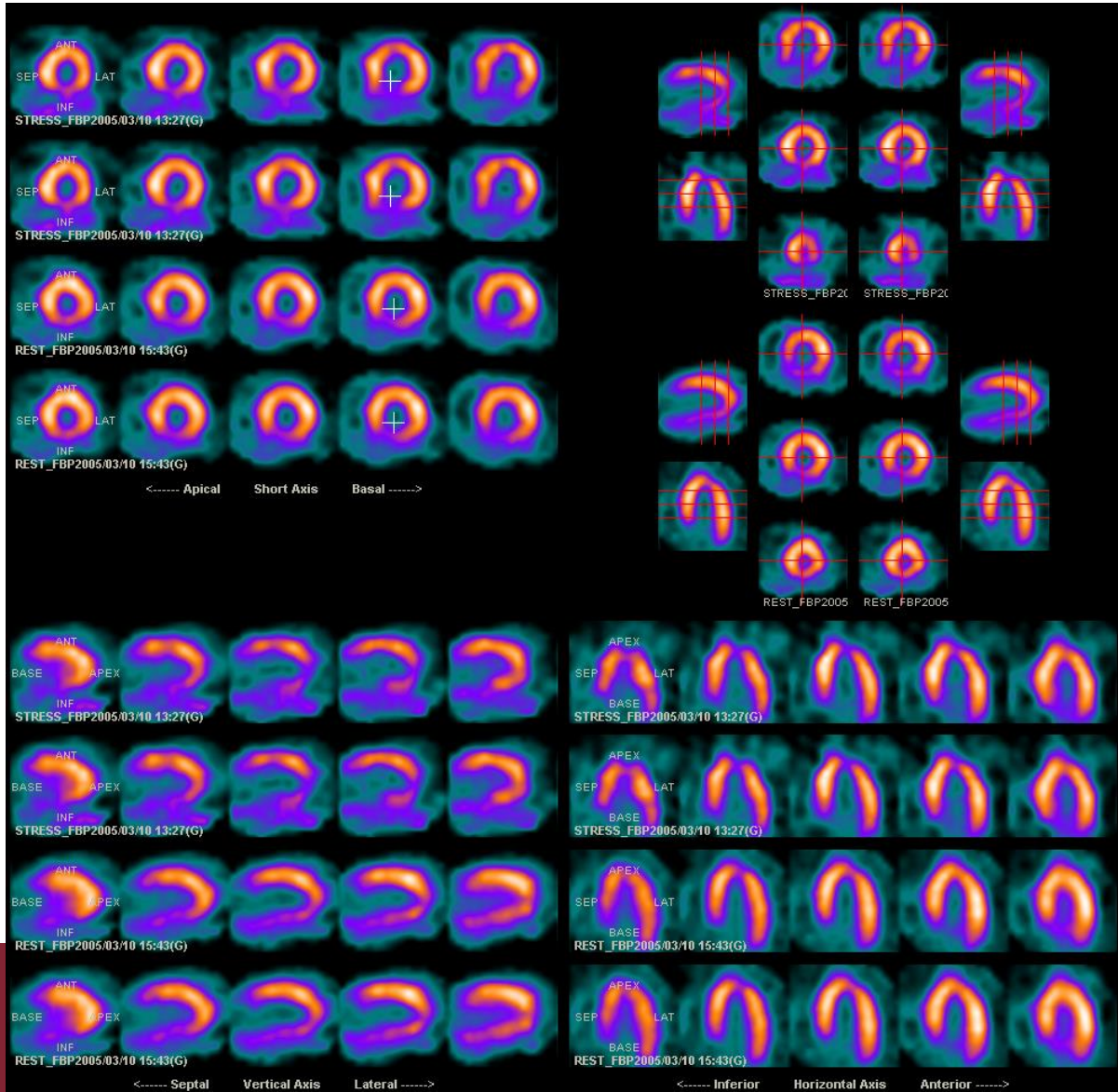
Medicina Nucleare

La Gamma Camera



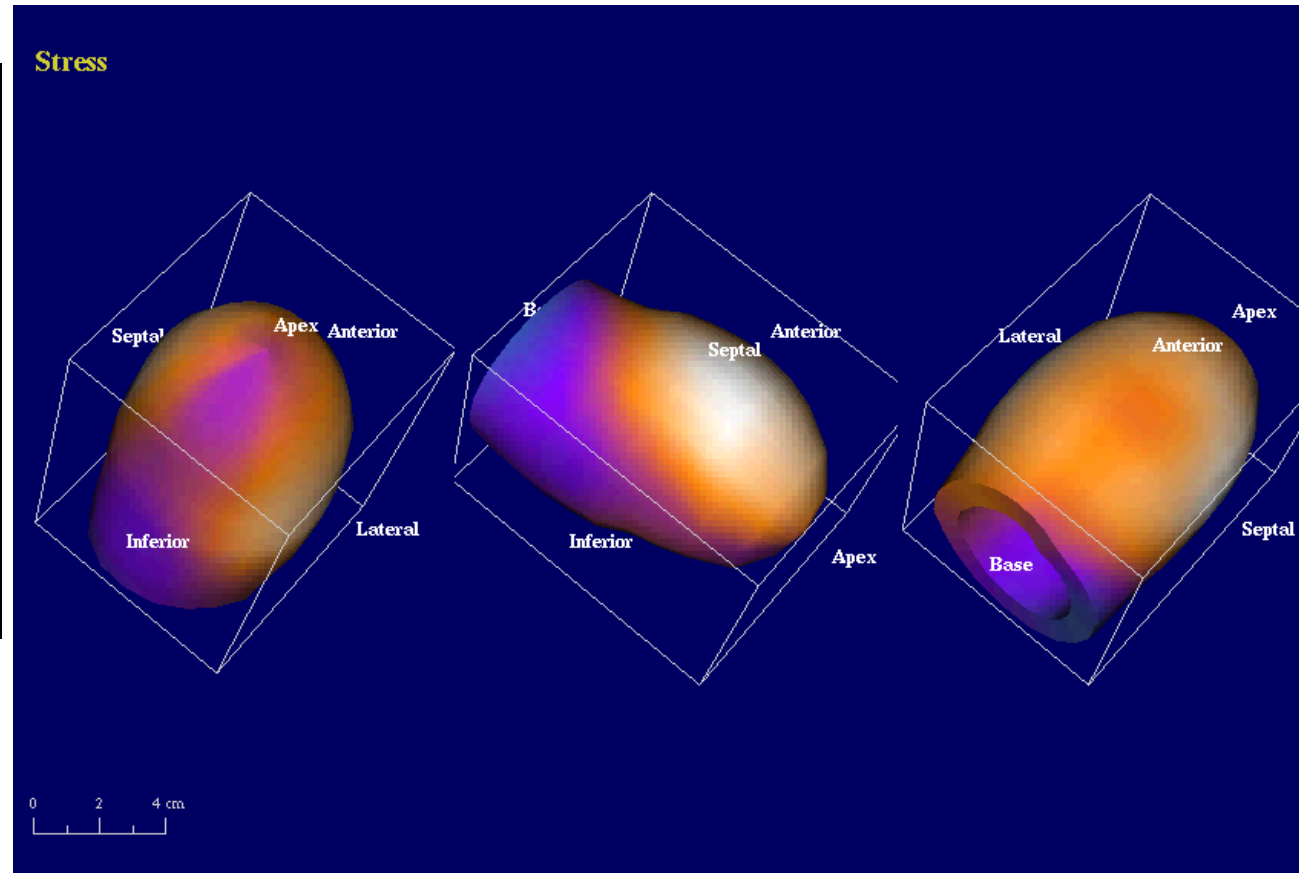
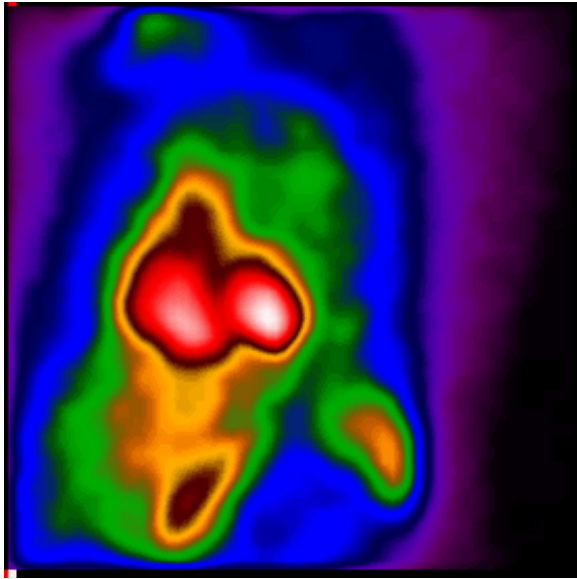
Medicina Nucleare SPECT

Diagnostica Funzionale



Medicina Nucleare

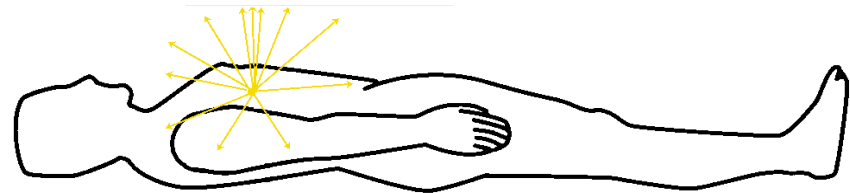
Diagnostica Funzionale



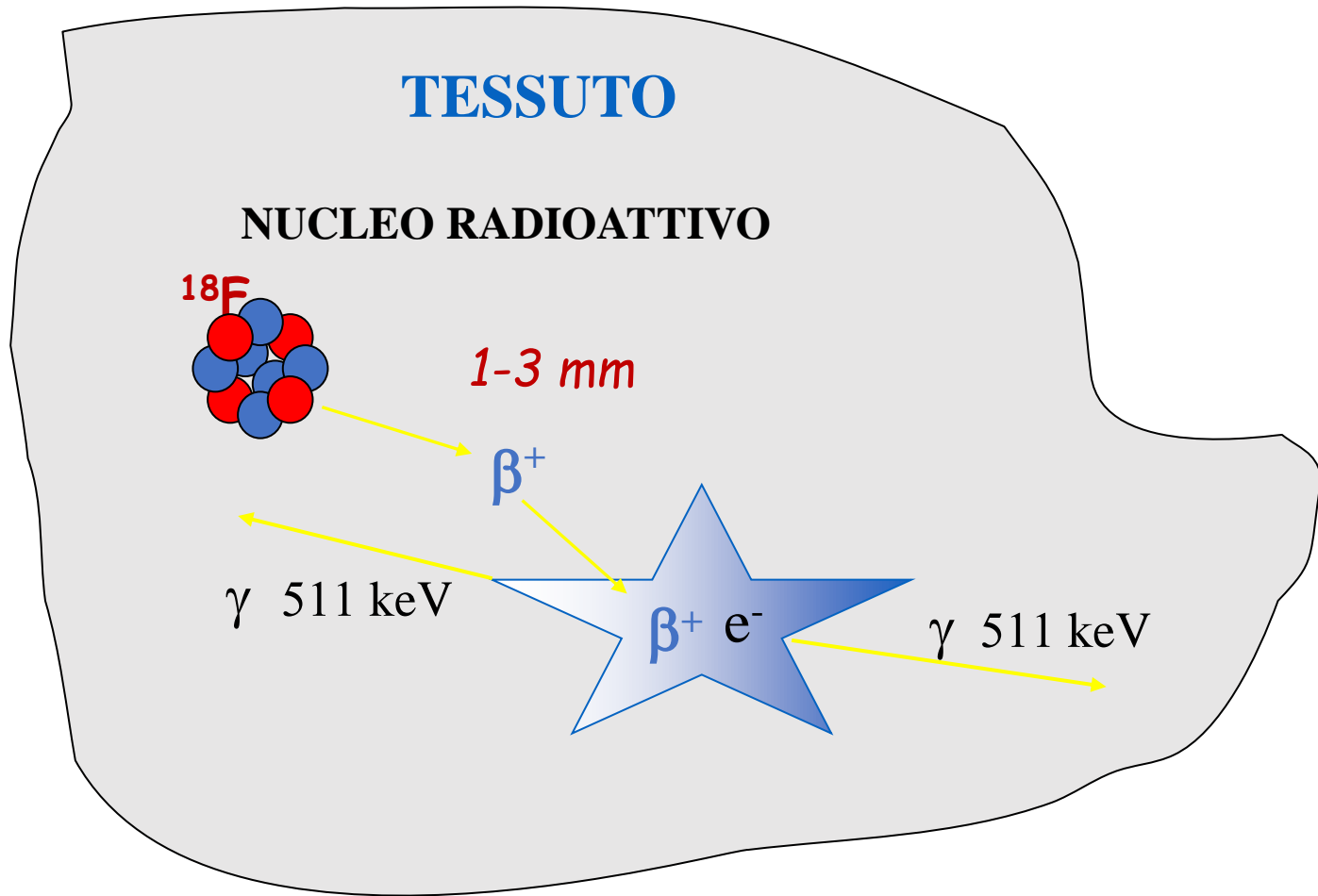
Cos' è la PET?

È una tecnica diagnostica che studia l'attività funzionale/metabolica relativa ai distretti corporei in esame.

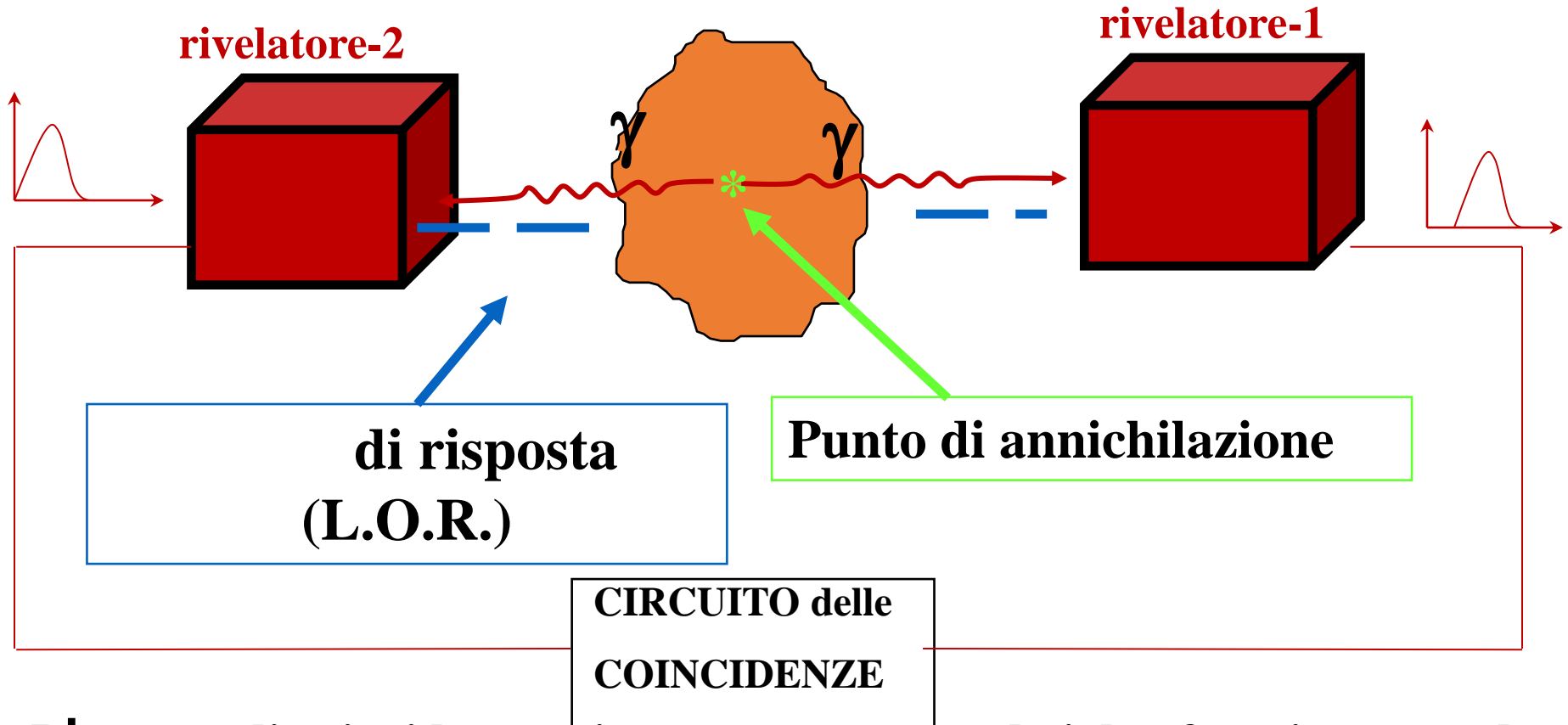
Tale metodica si basa sull'impiego di radiocomposti marcati con β^+ emettitori e quindi su tecniche di rivelazione in coincidenza



L'annichilazione del positrone (β^+)



Rivelazione in coincidenza



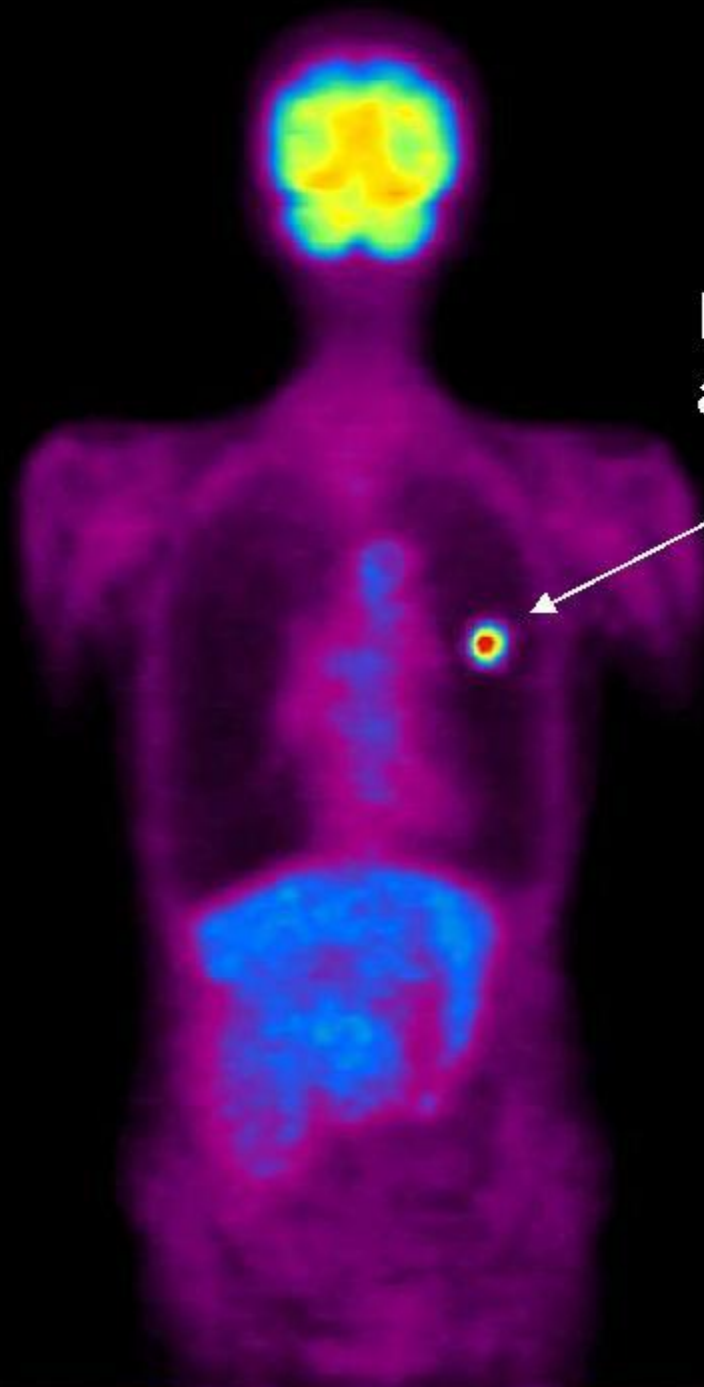
L' evento di coincidenza viene generato quando i due fotoni gamma da 511 keV vengono rivelati dai due rivelatori contrapposti in un intervallo temporale τ (finestra temporale delle coincidenze 5-12 ns).

Il numero di LOR è proporzionale al numero di annichilazioni.

18F-FDG PET



lesione neoplastica
al polmone sinistro





Separable scanners

La fusione delle immagini