



VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Ing. Antonio Cucchiaro

Ist. Cesare Battisti, via dei Lauri 1, Velletri

Sabato 16 Dicembre 2023, ore 16:00



VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Ormai in fisica non
c'è più nulla di
nuovo da scoprire.

Tutto ciò che
rimane da realizzare
sono misure sempre
più precise.

Ritratto di Lord Kelvin – Hubert von Herkomer



Lord Kelvin il 27 Aprile 1900 presso la Royal Institution, parlava di "due nubi" che oscuravano la Fisica, una riguardante la **propagazione delle onde elettromagnetiche** attraverso l'etere, e l'altra il teorema di **equipartizione dell'energia**.



Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

VELLETRI 2030

Prima Fila: **Irving Langmuir, Max Planck, Marie Curie, Hendrik Lorentz, Albert Einstein, Paul Langevin, Charles-Eugène Guye, CTR Wilson, Owen Richardson.**

Fila di Mezzo: **Peter Debye, Martin Knudsen, William Lawrence Bragg, Hendrik Anthony Kramers, Paul Dirac, Arthur Compton, Louis de Broglie, Max Born, Niels Bohr.**

Dietro: Auguste Piccard, Émile Henriot, Paul Ehrenfest, Édouard Herzen, Théophile de Donder, **Erwin Schrödinger, JE Verschaffelt, Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg, Ralph Fowler, Léon Brillouin.**



3

Congresso Solvay del 1927-Bruxelles-Electrons et photons (29 partecipanti, 18 Nobel)



VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

L'uomo ha da sempre desiderato di conoscere "come sia fatto all'interno" un essere vivente: motivi religiosi, previsione del futuro.

Sviluppo delle apparecchiature di diagnostica:

- i primi sessanta anni del 1900 sono stati dominati dalla presenza dei **raggi X**;
- negli anni '60 si sono affermate le tecniche ad **ultrasuoni**;
- negli anni '70 vi è stato lo sviluppo della tomografia ad assorbimento di raggi X (**TAC**);
- negli anni '80 e '90 hanno avuto successo le apparecchiature a **risonanza magnetica**;
- nel decennio 2000-2010 è nato il crescente interesse per la tomografia ad emissione di positroni (**PET**).



Raggi X-Tubo di Coolidge, 1913



PET/RM integrato ad acquisizione simultanea

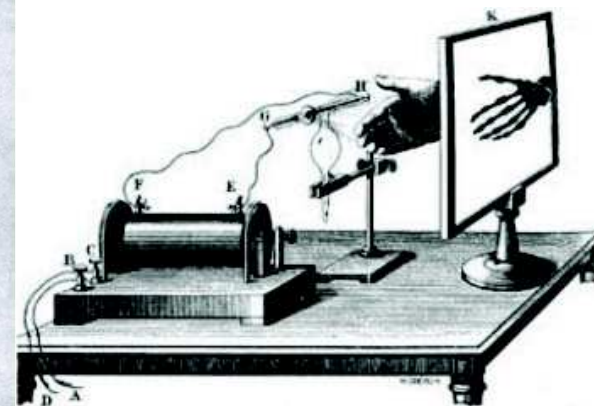
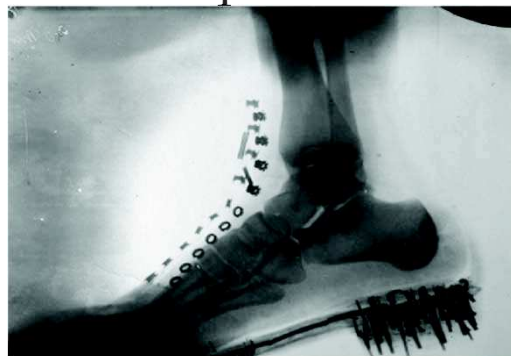
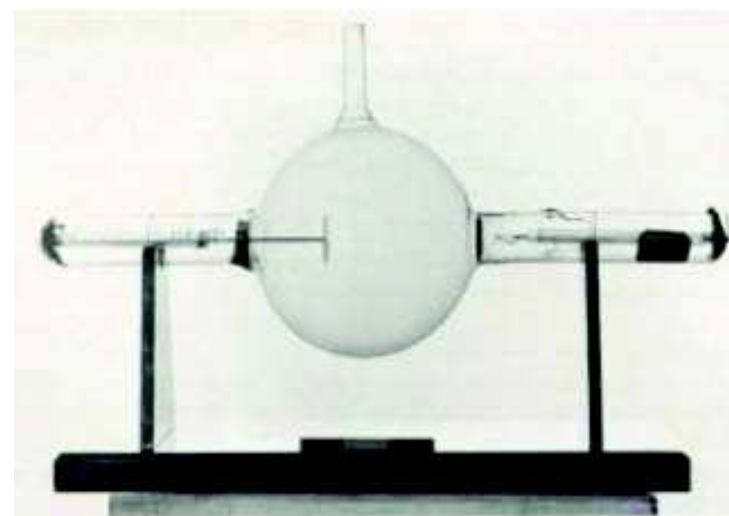


Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

VELLETRI 2030

Raggi X

- Scoperti nel 1895 da **Röntgen** mentre studiava le proprietà dei raggi catodici prodotti in un tubo sotto vuoto, avvolto da cartone scuro. La luce emessa dal tubo provocava bagliori su uno schermo fluorescente (*solfuro di zinco, cianuro di platino-bario*)
- La radiazione fu chiamata da Rontgen Raggi X (**Nobel 1901**). Roentgen non brevettò la sua scoperta. L'uso dei raggi X per scopi medici si diffuse rapidamente dall'Inghilterra.



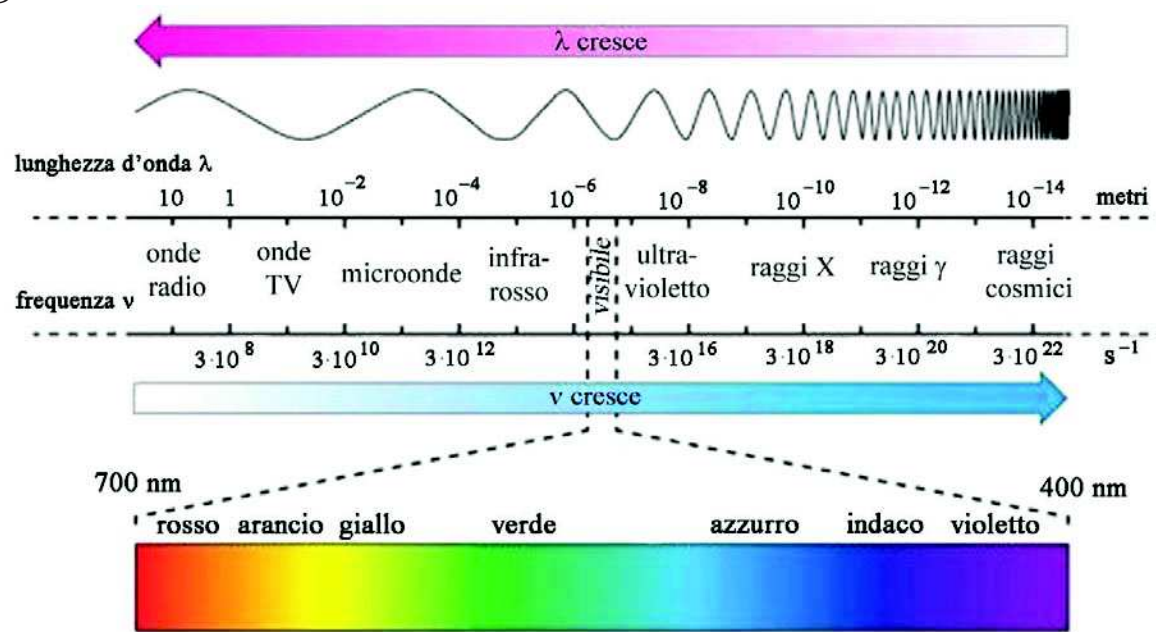
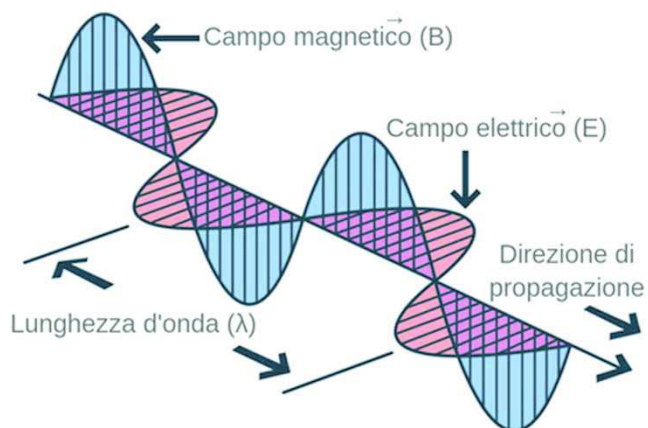


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Natura dei raggi X

- I raggi X sono radiazioni elettromagnetiche ionizzanti di lunghezza d'onda tra 10 nm e 10^{-3} nm, prodotte dall'urto di elettroni ad alta velocità con un bersaglio solido. Si dicono raggi duri, quelli compresi tra 10^{-3} nm e 10^{-1} nm e raggi molli, quelli compresi tra 10^{-1} nm e 10 nm. A questo intervallo corrispondono energie, da qualche decimo di keV a migliaia di keV.



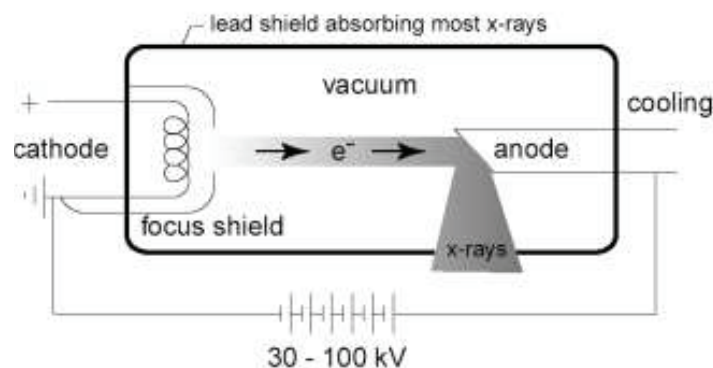
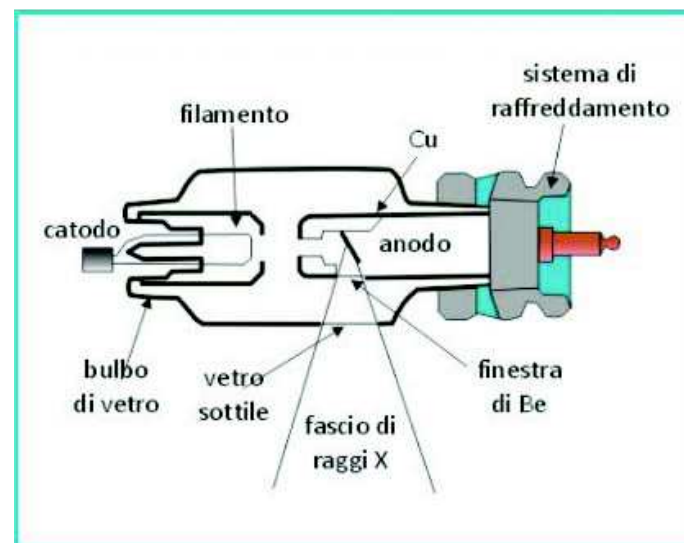


Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

VELLETRI 2030

Produzione di raggi X

- ❑ I raggi X sono generati in un tubo radiogeno costituito da un'ampolla di vetro sotto vuoto, rivestita da un involucro di piombo. L'emissione avviene solo da una piccola zona non schermata.
- ❑ All'interno dell'ampolla si trovano un catodo ed un anodo ad alta tensione, cioè il polo negativo e positivo del tubo. Una corrente (mA) attraversa il filamento che rilascia elettroni (**emissione termoionica**), i quali vengono accelerati verso l'anodo (**tungsteno o molibdeno**) da una ddp (kV).
- ❑ Circa l'**1%** dell'energia degli elettroni è utilizzata per la produzione dei raggi X, il resto viene convertita in calore



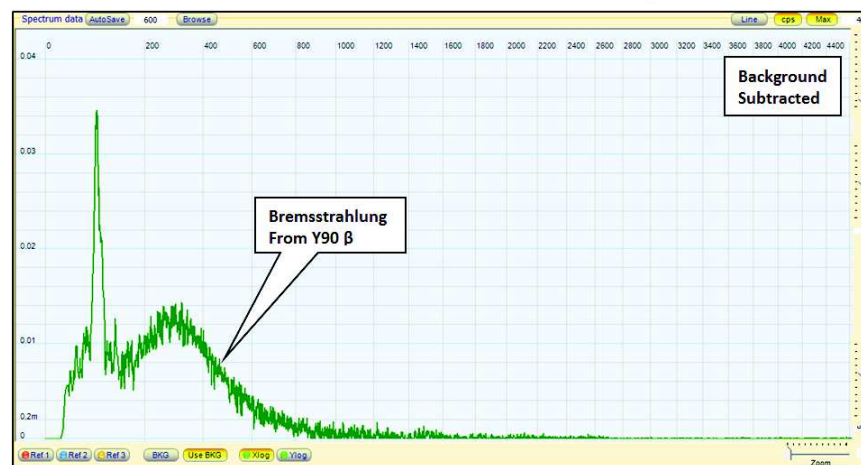
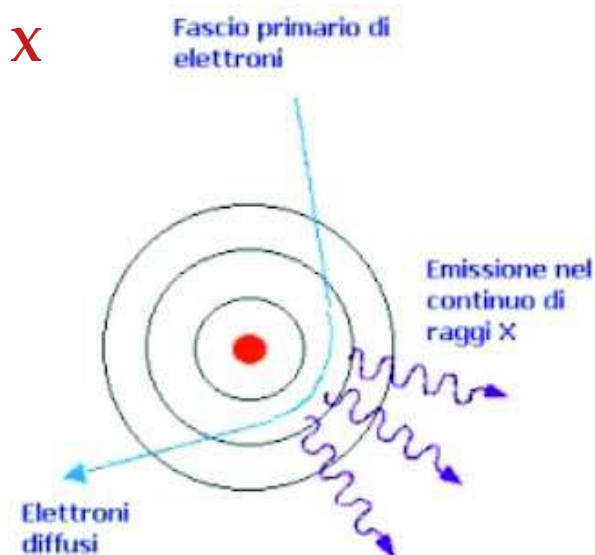


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Lo spettro dei raggi X

- Lo spettro, cioè la distribuzione in energia dell'intensità della radiazione elettromagnetica emessa da un tubo a raggi X, ha due componenti:
 - ✓ la radiazione continua di frenamento (20%);
 - ✓ la radiazione caratteristica (80%);
- La radiazione di frenamento (radiazione di bremsstrahlung) viene emessa quando un elettrone in moto, interagendo con il campo elettrico del nucleo di un atomo, subisce una brusca decelerazione perdendo energia sotto forma di radiazione X. Lo spettro energetico della radiazione emessa è di tipo continuo.



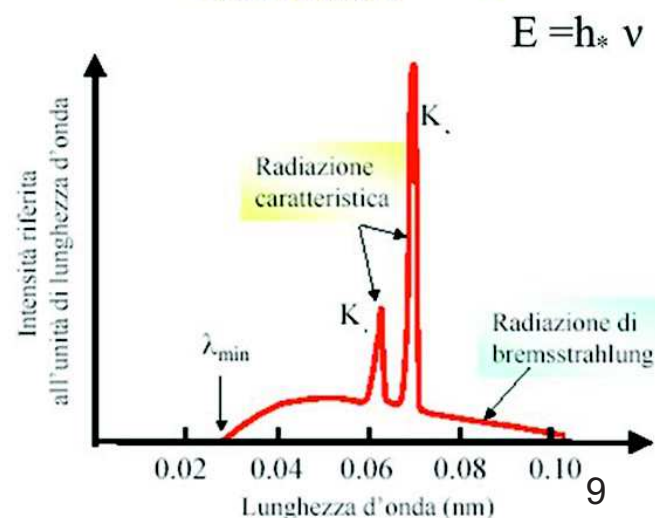
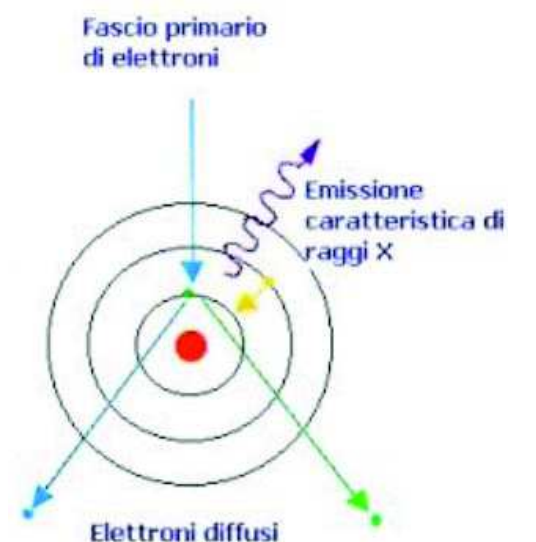


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Lo spettro dei raggi X

- Un elettrone può espellere elettroni dagli strati atomici più interni del bersaglio, e il rapido riempimento di queste lacune da parte di elettroni degli strati superiori produce **raggi X caratteristici** per ogni atomo.
- I fotoni sono emessi con energia pari alla differenza fra le energie di legame dei due livelli. In questo caso lo spettro è a righe ed è caratteristico per ogni elemento.
- Lo spettro dei raggi X risulta dalla sovrapposizione della componente continua e dello spettro a righe.





VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Principi radiografici

- Una radiografia è una mappa bidimensionale dell'assorbimento subito dai raggi X nell'interazione con il campione. La radiazione di intensità I_0 inviata sul campione, si ridurrà secondo la legge esponenziale:

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

con x lo spessore dell'oggetto e μ è il coefficiente di assorbimento lineare

- Il fascio è attenuato tanto più quanto più alto è il numero atomico, quanto più bassa sarà l'energia e maggiore lo spessore attraversato. Nelle radiografie gli oggetti a densità maggiore sono chiari e gli oggetti a densità minore scuri.



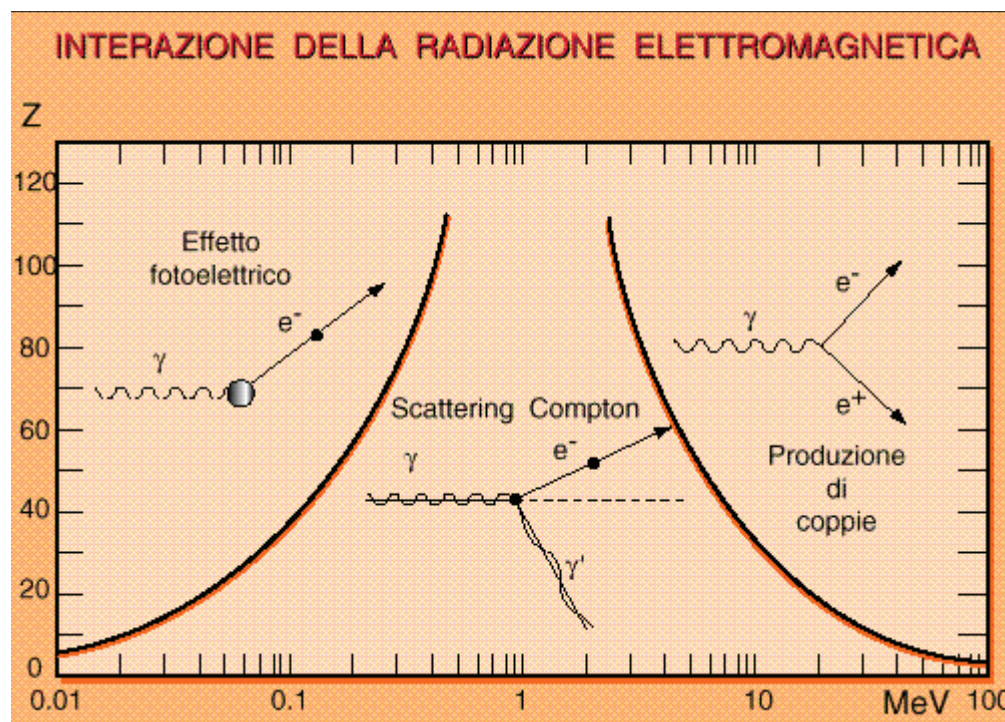


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Interazione dei raggi X con la materia

- Nell'attraversare uno spessore di materiale, un singolo fotone del fascio di raggi X può essere assorbito, dando luogo alle seguenti interazioni: **l'effetto fotoelettrico, l'effetto Compton, creazione di coppie.**
- La probabilità che avvenga un tipo di interazione dipende dal numero atomico degli atomi urtati, dall'energia dei fotoni e dalla natura del materiale bersaglio.



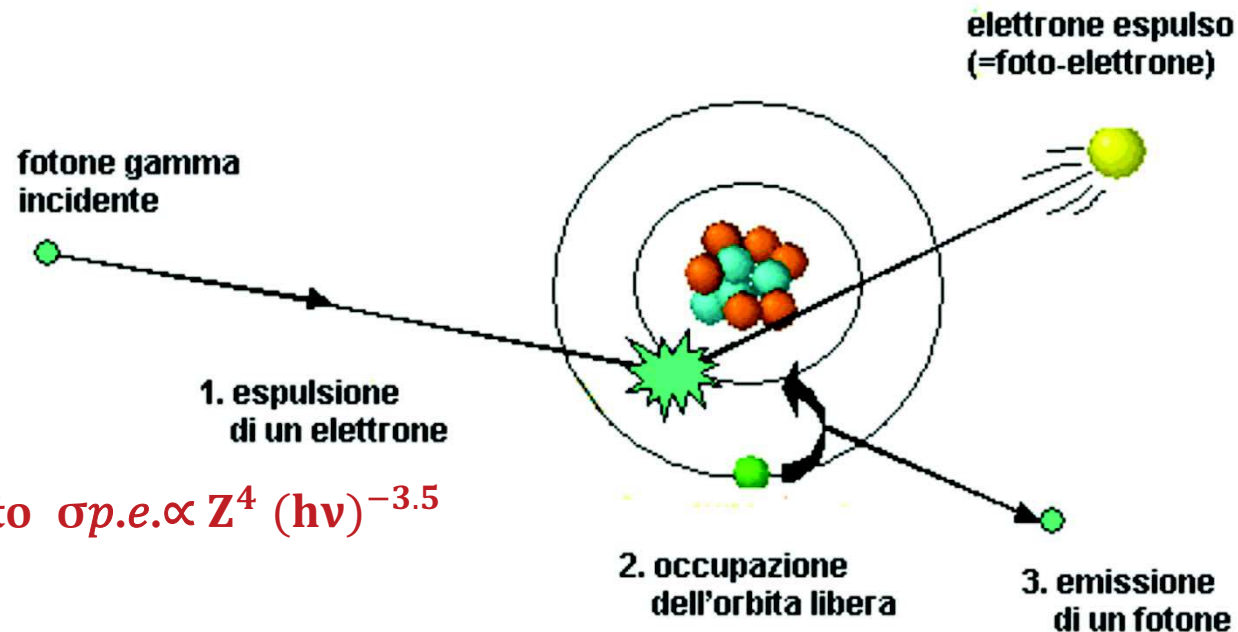


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

L'effetto fotoelettrico

- Un fotone interagisce con un elettrone delle orbite più interne di un atomo del campione. Nell'urto il fotone viene assorbito con l'emissione di un elettrone con energia cinetica pari alla differenza tra l'energia del fotone e quella di legame dell'elettrone. L'effetto fotoelettrico produce uno ione positivo, un elettrone, e un fotone di radiazione caratteristica. **Einstein 1905, Premio Nobel 1921.**



Sezione d'urto $\sigma_{p.e.} \propto Z^4 (h\nu)^{-3.5}$

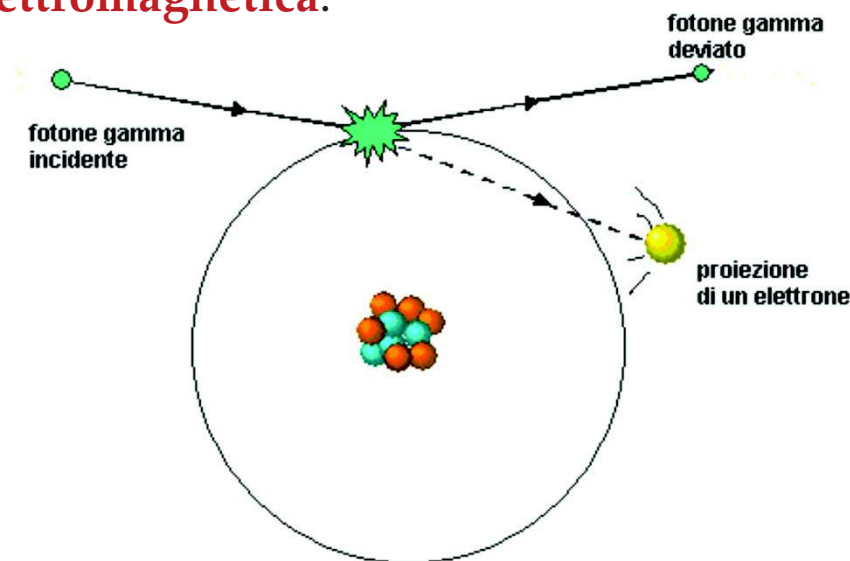
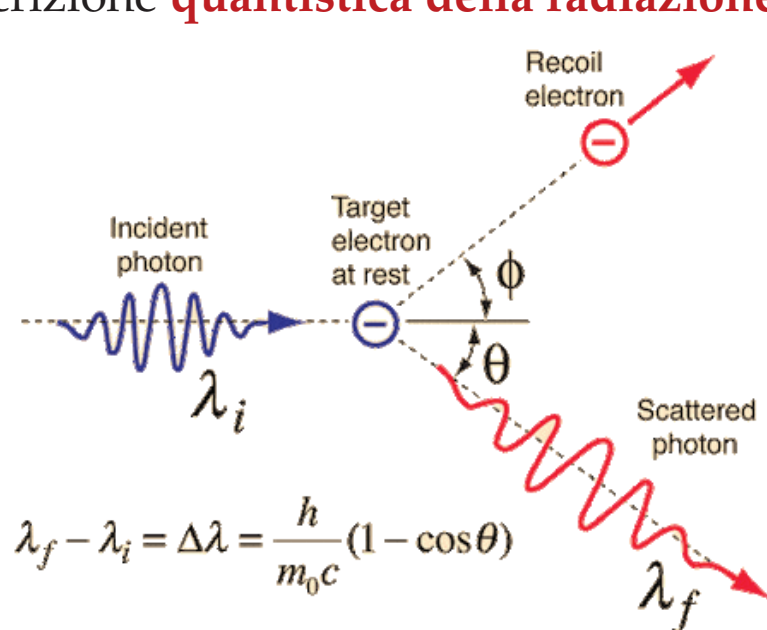


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Effetto Compton

- L'effetto Compton (**Premio Nobel nel 1927**) consiste nell'urto tra un **fotone** (inteso come particella) e un **elettrone** di un orbitale esterno di un atomo del campione. Il fotone viene diffuso in una direzione diversa da quella di incidenza e con una lunghezza d'onda maggiore, l'elettrone viene proiettato con l'energia cinetica risultante. Il fenomeno è uno dei risultati sperimentali decisivi in favore della descrizione **quantistica della radiazione elettromagnetica**.



La sezione d'urto $\sigma_{CO} \propto Z^{13}$

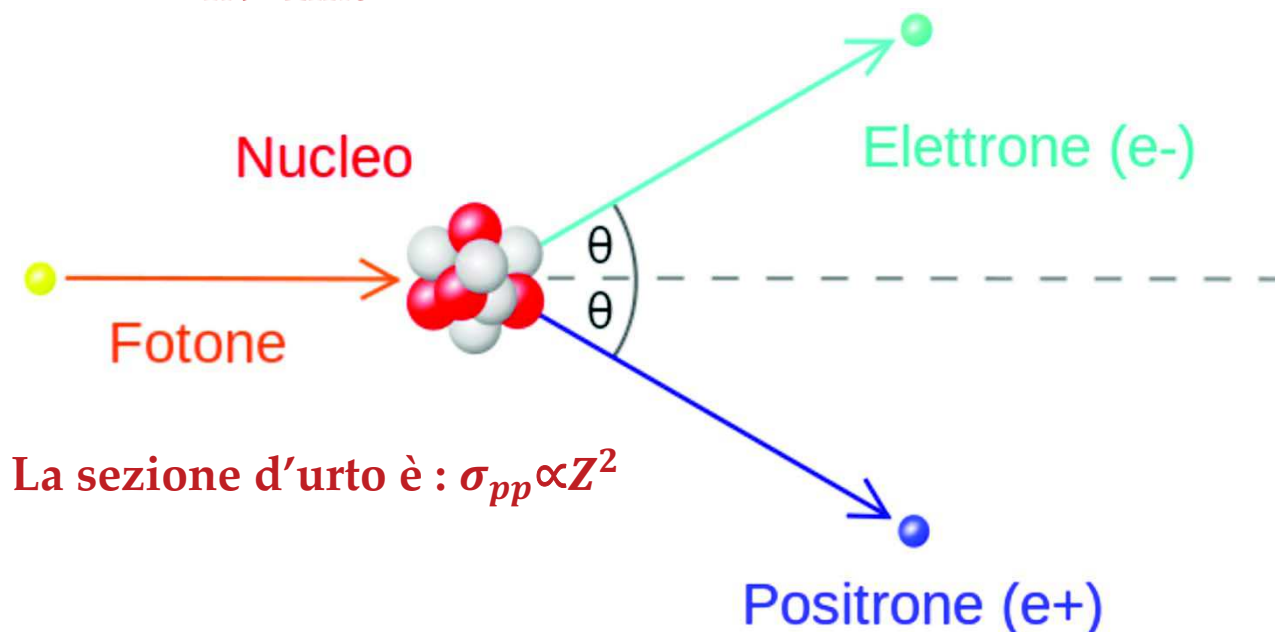


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Produzione di coppie

- Nella produzione di coppie un fotone interagisce con la materia convertendo la sua energia in un elettrone (**materia**) e un positrone (**antimateria**). L'energia del fotone incidente deve essere almeno pari alla somma delle energie a riposo di un elettrone e un positrone, cioè $2mc^2=1.022 \text{ MeV}$. L'energia del fotone viene in parte trasferita in massa in quiete della coppia e in parte trasformata in energia cinetica delle due particelle: $E^+ + E^- = h\nu - 2mc^2$.



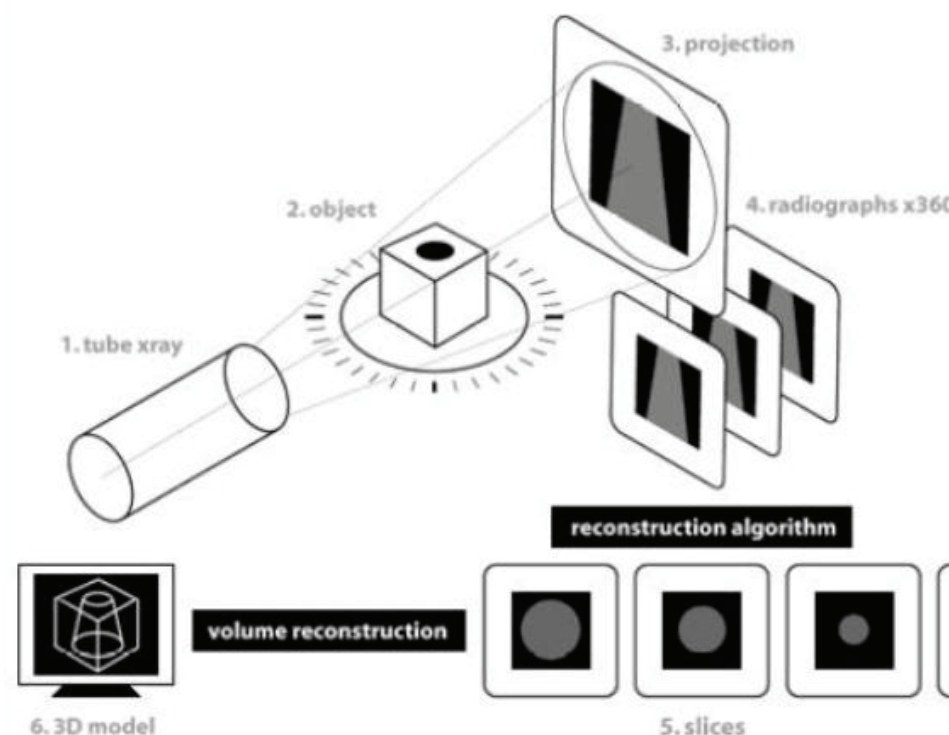


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Tomografia Assiale Computerizzata

- La radiografia, essendo una proiezione bidimensionale di un oggetto tridimensionale, si compone di più strati sovrapposti in un'unica immagine. Informazioni sulla tridimensionalità si ottengono radiografando l'oggetto da più angolazioni.
- La **TAC** fornisce informazioni su composizione interna del campione in esame, struttura e morfologia mediante sezioni trasversali (Slice).



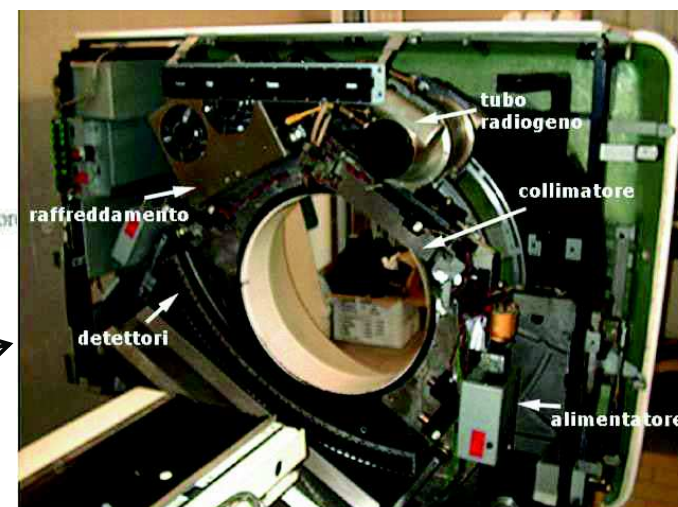
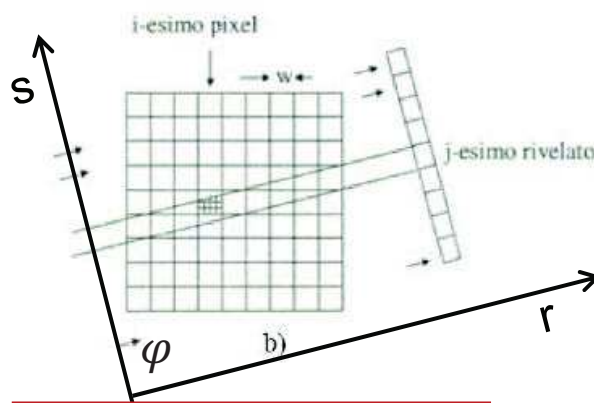
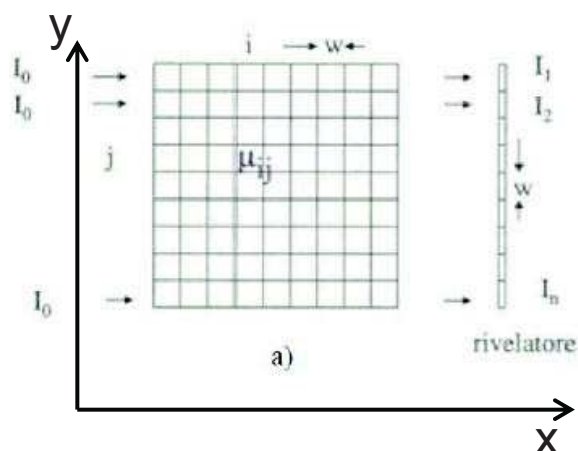


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Tomografia Assiale Computerizzata

- Un fascio di raggi X, attraversa un singolo piano dell'oggetto fino ad un rivelatore formato da n elementi. Ogni slice viene suddivisa in una griglia pixel, ciascuno con coefficiente di attenuazione " μ_{ij} " e dimensione pari a quelle di un singolo rivelatore. Per ricostruire una singola slice sono pertanto necessarie acquisizioni a diversi angoli φ di rotazione equispaziati. La ricostruzione, infine, si effettua applicando un opportuno algoritmo.



$$I_j = I_0 e^{-|\mu_{1j} + \mu_{2j} + \dots + \mu_{nj}|w}$$



VELLETRI 2030

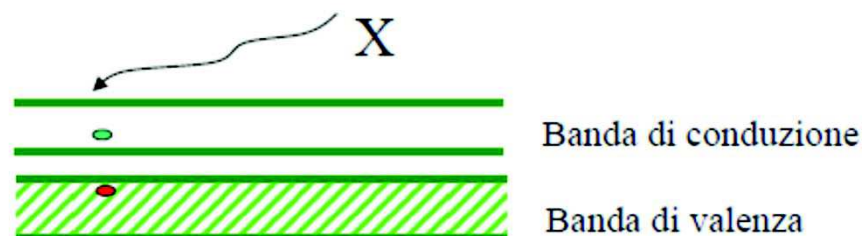
Rivelatori

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

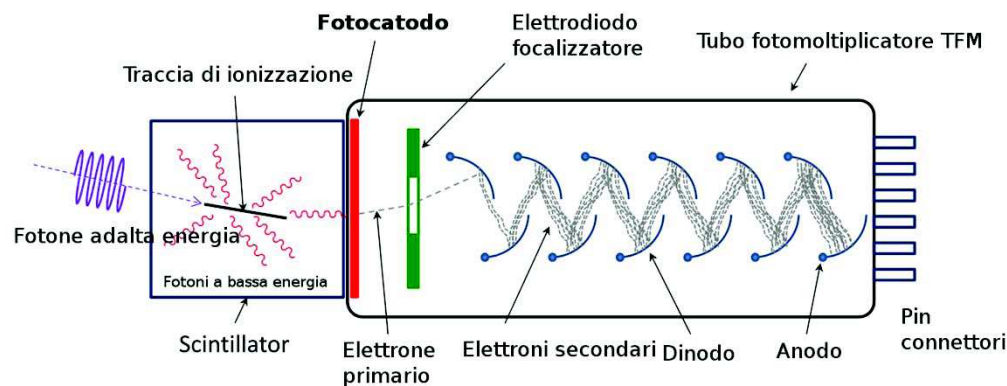
- ❑ I rivelatori dei raggi X si distinguono per il metodo di rivelazione che può essere diretta o indiretta.
- ❑ Nella rivelazione diretta, la radiazione X crea direttamente in un opportuno materiale un segnale elettrico proporzionale all'intensità del fascio incidente.
- ❑ Nel caso di rivelazione indiretta, la radiazione X viene prima "convertita" in luce visibile per mezzo di uno scintillatore e successivamente viene letta da un rivelatore digitale.

RX rilasciano energia nel cristallo

- Elettrone dalla banda di valenza passa alla banda di conduzione
- Produzione di una lacuna in banda di valenza



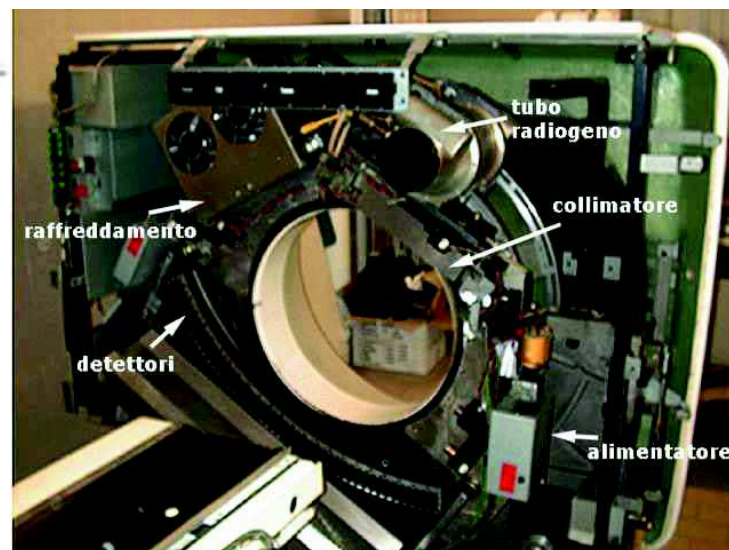
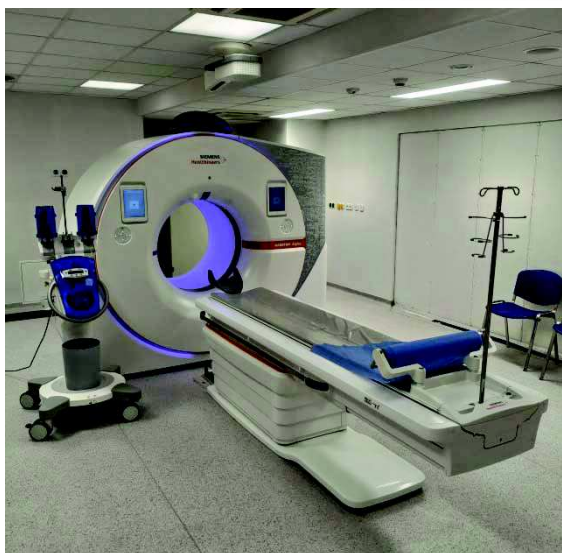
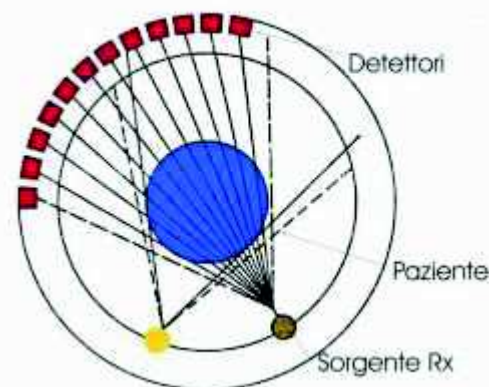
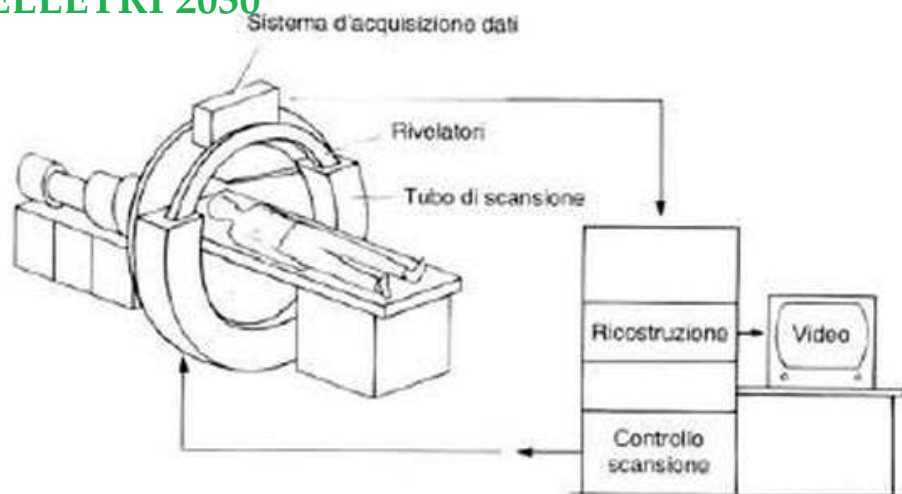
Il sensore (ioduro di Cesio attivato Tallio e fosforo) converte raggi X-luce. Il fotone viene poi raccolto da una matrice di fotodiodi che trasmette il segnale elettrico.





VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica





VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Risonanza magnetica nucleare

Risonanza

Per trasferire la massima energia alla frequenza di risonanza del sistema

Magnete

Per generare il campo statico

Gradienti di campo

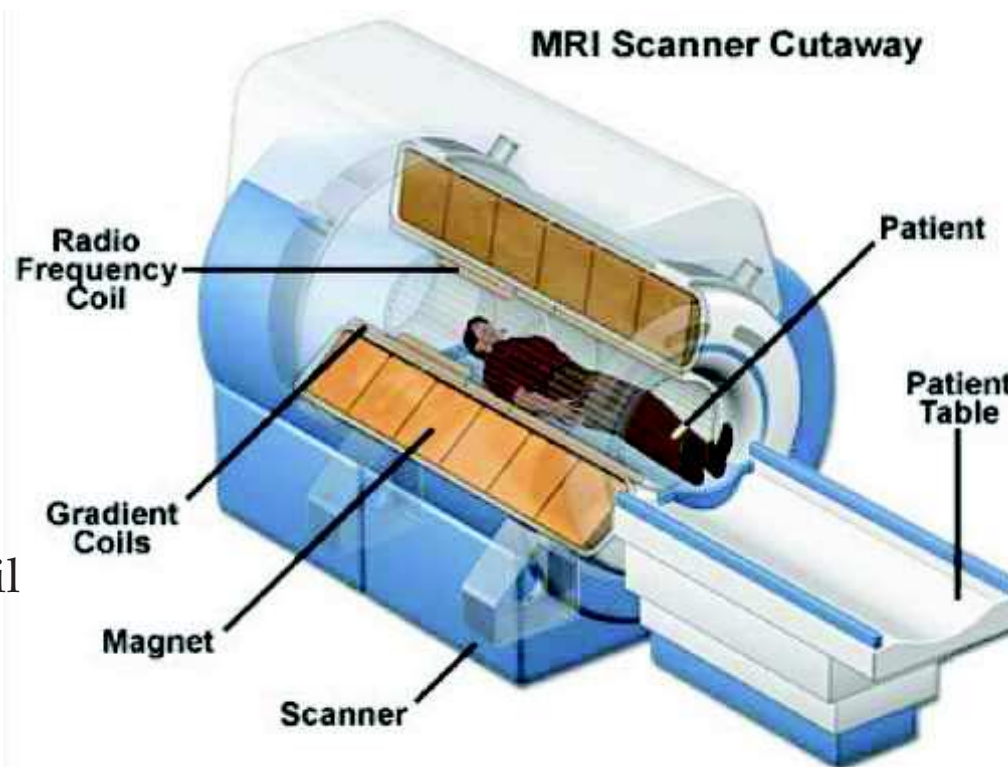
Per variare il campo nello spazio

Bobine RF

Per produrre l'onda e.m. che realizza il fenomeno fisico

Nucleare

Perché il fenomeno è determinato dai protoni dell'idrogeno dei nostri tessuti



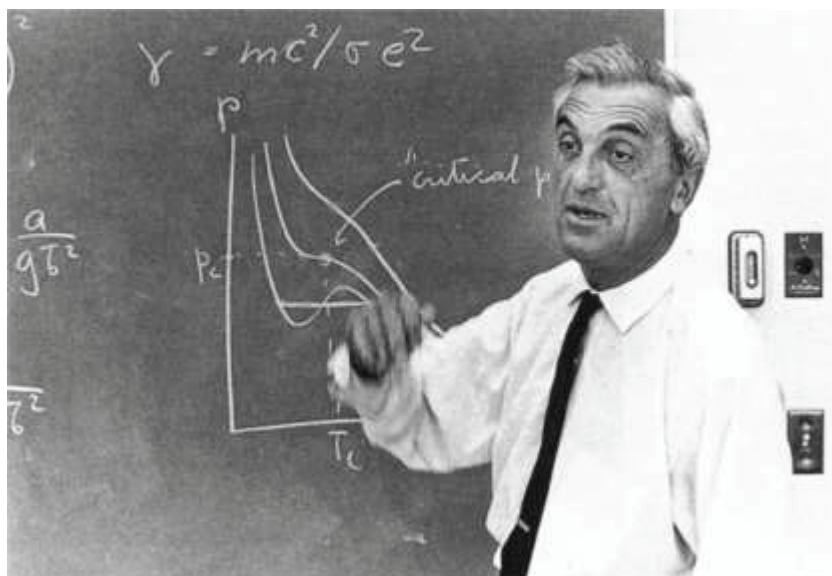


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

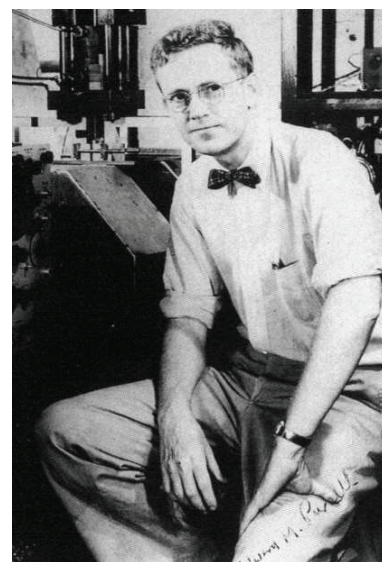
Risonanza magnetica nucleare

I principi fisici della risonanza magnetica, scoperti in modo indipendente da F. Bloch e W. Purcell negli anni '50, vennero utilizzati per studi chimici.



Bloch F., Hanson W.W., Packard M. :
Nuclear induction. Phys. Rev. 70 (1946)

Premio Nobel per la Fisica 1952



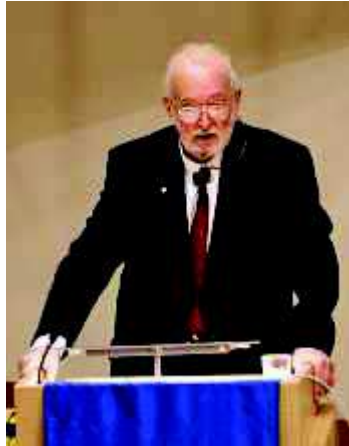
Purcell E.M., Torrey H.C., Pound R.V. :
Resonance absorption by nuclear magnetic resonance in a solid. Phys. Rev. 69 (1946)



VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Premio Nobel per la Medicina 2003



Lauterbur P.C.:
Image formation by induced local interactions; examples employing magnetic resonance
Nature 242 (1973)

- gradienti



Mansfield P.

- analisi matematica del segnale



VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Prototipo di TRM (1979)

CM resistivo 0.15 T





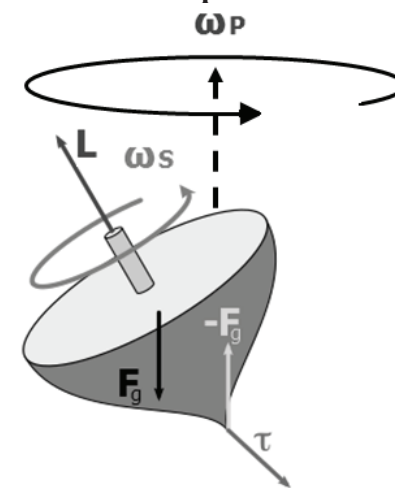
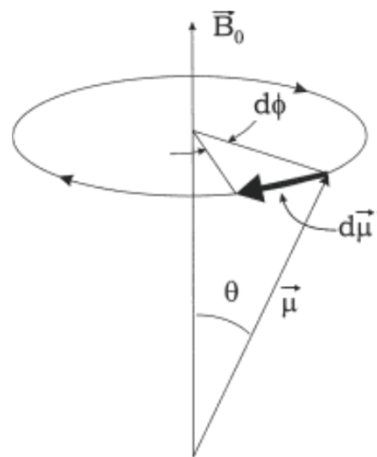
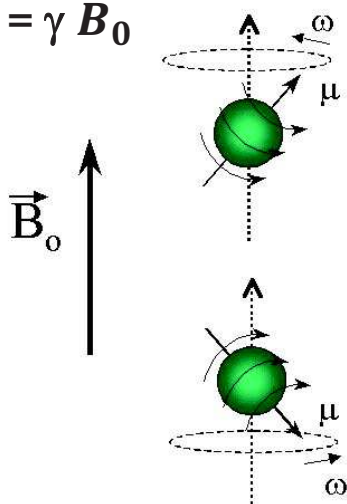
VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Risonanza magnetica nucleare

- I nostri tessuti sono ricchi di acqua e i protoni degli atomi di idrogeno generano dei segnali di risonanza molto più forti di altri elementi all'interno del corpo.
- L'idea base è di utilizzare un segnale indotto dall'applicazione di impulsi di radiofrequenza su nuclei di H immersi in un campo magnetico statico.
- I protoni dell'idrogeno ruotano intorno al proprio asse e sono caratterizzati da dipoli magnetici μ . In assenza di campo magnetico, la direzione di μ è casuale e non si osserva nessun campo magnetico. Sotto un campo magnetico costante, il dipolo si orienta lungo le linee di flusso con un moto di precessione con frequenza di Larmor

$$\omega_L = \gamma B_0$$



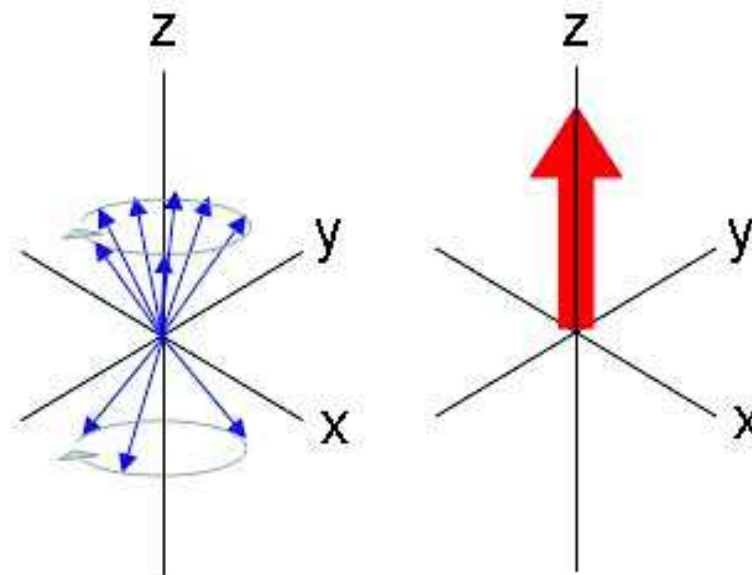


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Risonanza magnetica nucleare

- Un gruppo di spin soggetti allo stesso campo magnetico si orienta in modo parallelo o antiparallelo rispetto alla direzione del campo secondo una statistica che predilige il verso cui corrisponde il livello energetico più basso.
- La somma vettoriale dei vettori di magnetizzazione di tutti gli spin è la magnetizzazione risultante M . La differenza di popolazione tra i due possibili stati assicura che la magnetizzazione netta risultante sia non nulla.



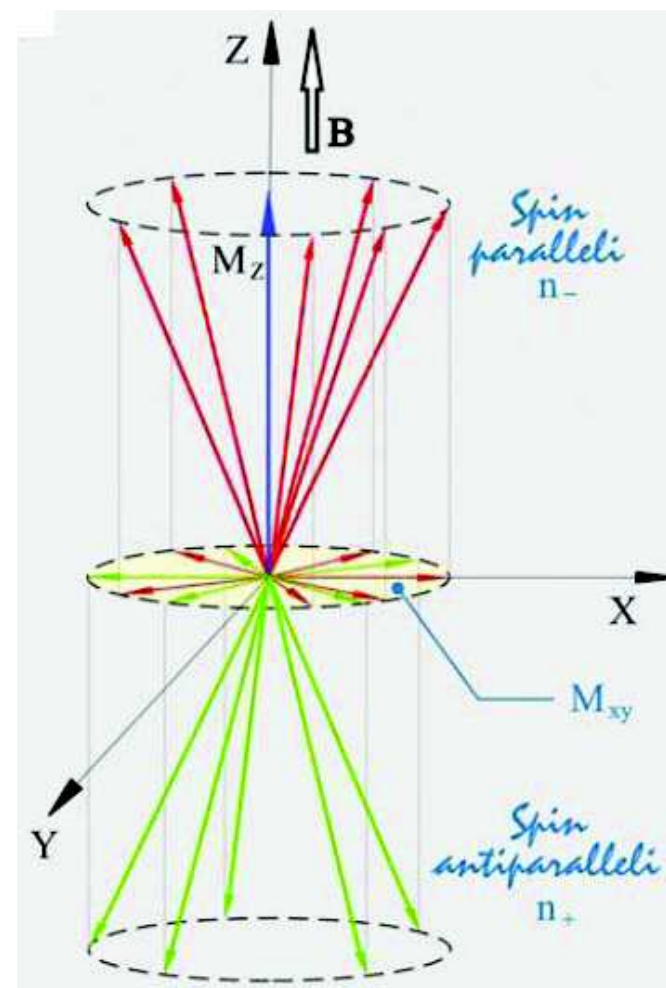
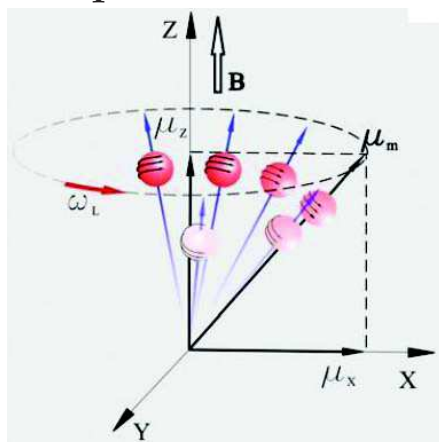


Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

VELLETRI 2030

Risonanza magnetica nucleare

- Il rapporto tra protoni allineati antiparallelemente /parallelemente, per $T=37\text{ }^{\circ}\text{C}$, è 0,999993, cioè per ogni milione di protoni al livello energetico alto ve ne sono un milione più circa 7 al livello basso.
- **Il momento magnetico longitudinale netto M è alla base del funzionamento della RMN.** La magnetizzazione trasversale è nulla poiché i diversi momenti magnetici procedono in modo casuale.



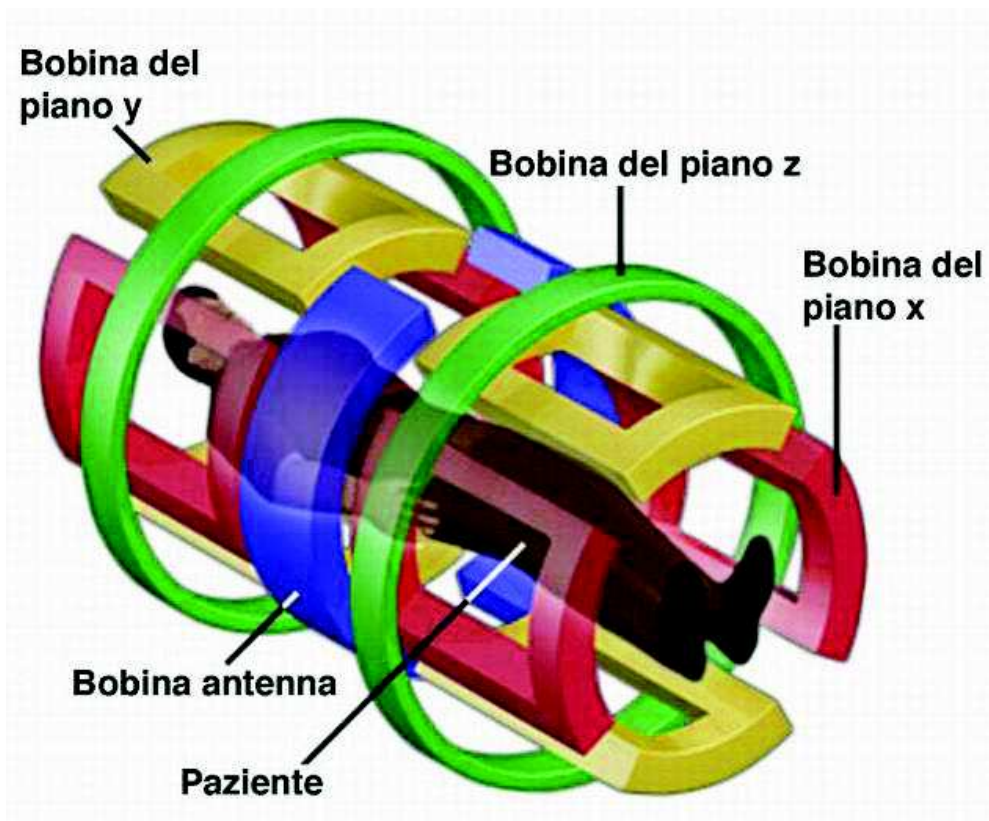


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Gradiente di campo

- La possibilità di ottenere immagini da spettri di RMN si basa sull'utilizzazione in una regione dello spazio di un campo magnetico variabile, in modo noto, la cui frequenza di risonanza è diversa da punto a punto. Quindi, nello spettro RM è codificata l'informazione della distribuzione nello spazio dei nuclei risonanti.
- Le variazioni del campo statico sono generate da tre bobine, una per ognuna delle tre dimensioni dello spazio, ognuna con un gradiente lineare lungo l'asse a cui è applicato e uniforme rispetto agli altri due.





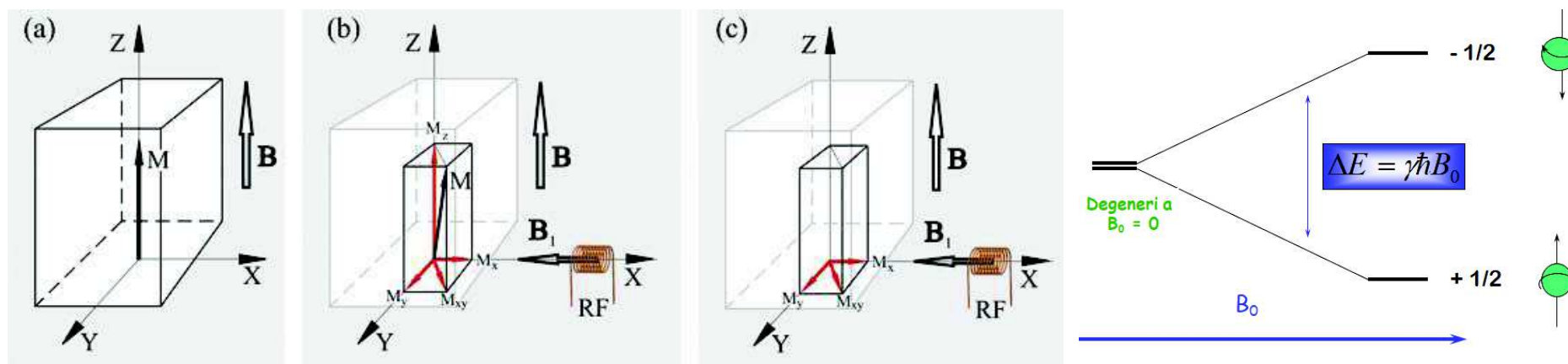
Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

VELLETRI 2030

Risonanza magnetica nucleare

- Un impulso a radio frequenza avente una frequenza pari a quella di Larmor perpendicolare al vettore di magnetizzazione M , lo deflette verso il piano XY . Un impulso a 90 gradi è tale da ribaltare il vettore. Il vettore di magnetizzazione che ruota induce un segnale su una bobina esterna in accordo alla legge di Faraday (il segnale RMN).

$$\omega_L = \gamma B_0$$



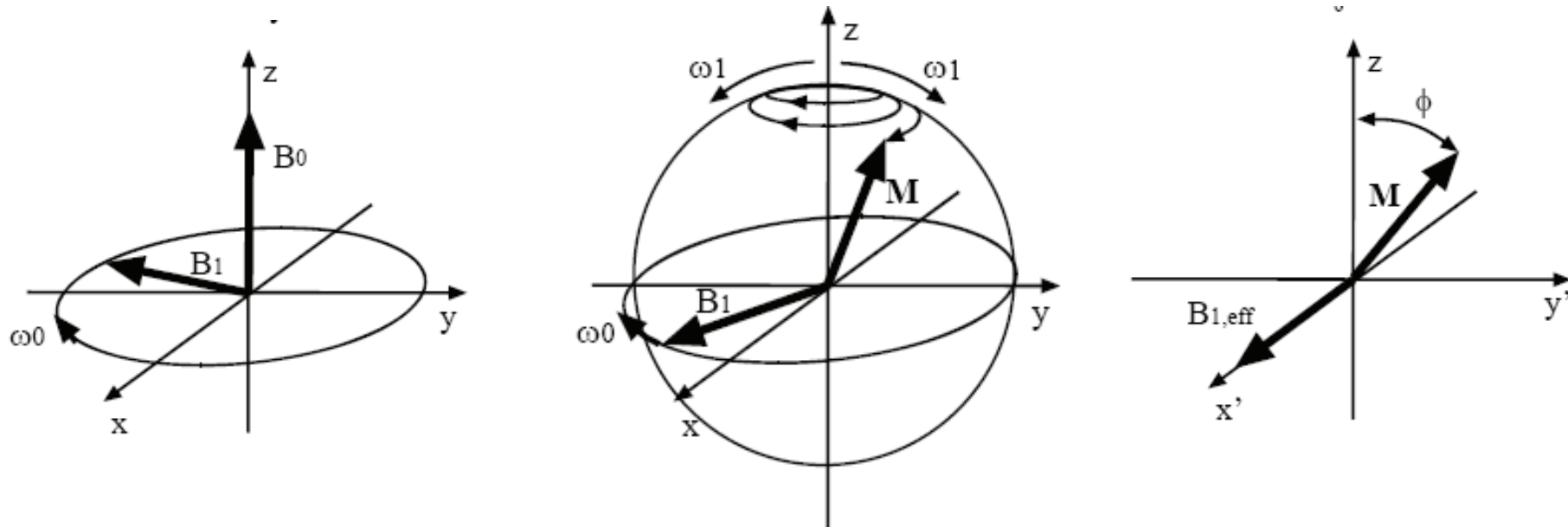


Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

VELLETRI 2030

Risonanza magnetica nucleare

- Il vettore di magnetizzazione precessa simultaneamente intorno a B_0 con frequenza ω_0 e intorno a B_1 con frequenza ω_1 . L'angolo ϕ (flip angle) di rotazione dipende dalla durata ed intensità dell'impulso.



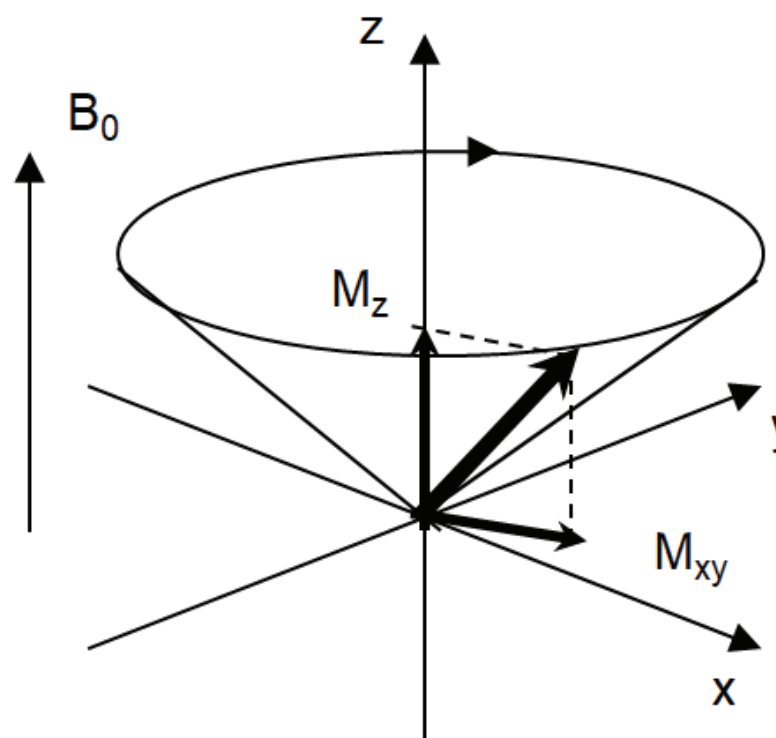


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Risonanza magnetica nucleare

- La RMN perturba il sistema per studiarne la risposta durante la rimozione dello stimolo. Il rilassamento è il processo con cui i protoni restituiscono l'energia assorbita dall'impulso RF. Il vettore magnetizzazione M ritorna nella posizione di equilibrio seguendo un moto di precessione attorno alla direzione del campo statico alla frequenza di Larmor.
- Questo moto coinvolge due fenomeni: il rilassamento trasversale, o annullamento della componente trasversale M_{xy} ed il rilassamento longitudinale, o recupero della magnetizzazione longitudinale M_z .



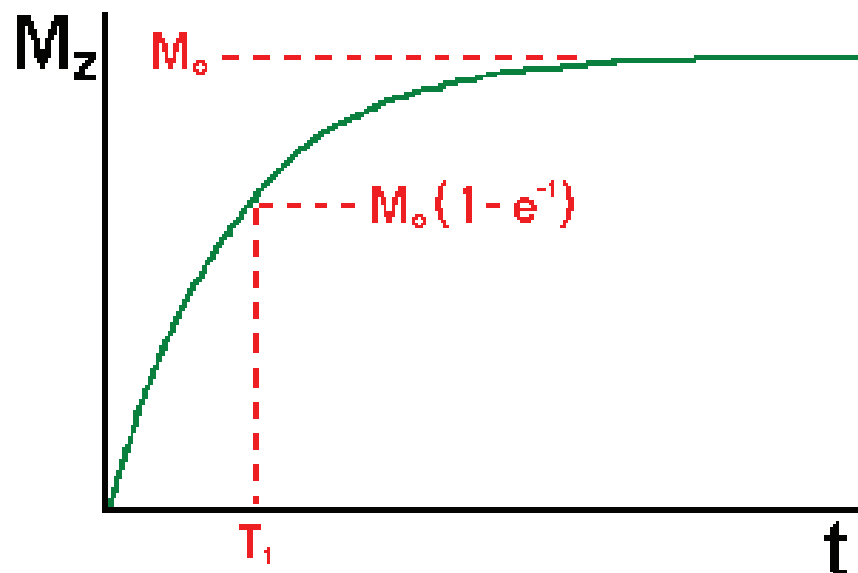


Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

VELLETRI 2030

Tempi caratteristici – T1

- Il “tempo di rilassamento spin-reticolo” T1 è la costante di tempo che descrive il ritorno all’equilibrio della magnetizzazione longitudinale, Mz
- T1 è rappresentativa della rapidità dello scambio d’energia all’interno del sistema, funzione del tipo di tessuto in cui avviene tale fenomeno e del suo stato (sano o patologico)
- L'equazione che descrive questo fenomeno in funzione del tempo t a partire dal suo abbattimento e':



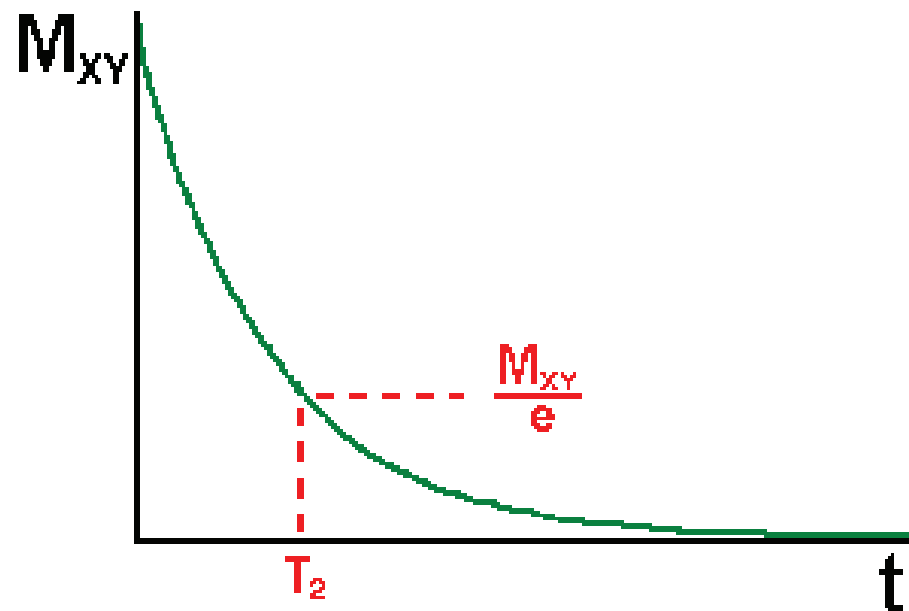


Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

VELLETRI 2030

Tempi caratteristici – T2

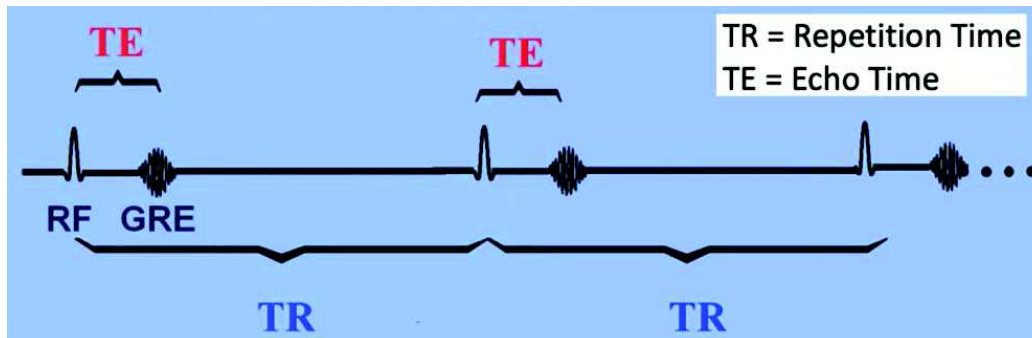
- Se il vettore di magnetizzazione ha una componente non nulla nel piano x-y, esso ruoterà attorno all'asse Z ad una frequenza uguale alla frequenza di Larmor.
- La costante di tempo che descrive il ritorno all'equilibrio della magnetizzazione trasversale, M_{xy} è chiamata tempo di rilassamento spin-spin (T2):





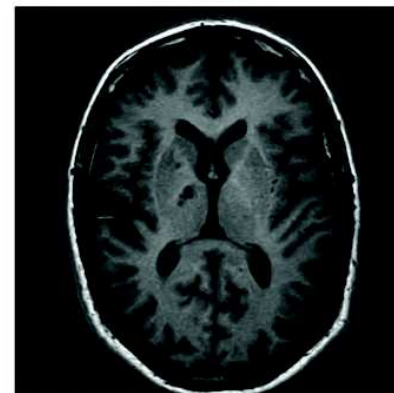
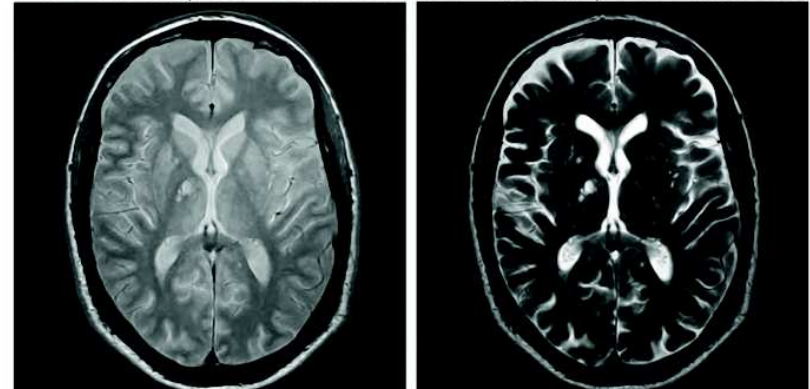
VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

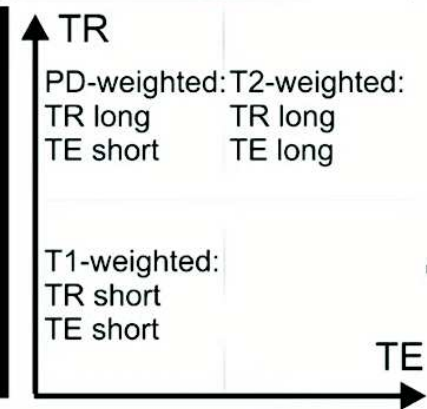


Pesata in T2

TE~10 ms, TR~2500 ms TE~100 ms, TR~2500 ms



TE~10 ms, TR~500 ms



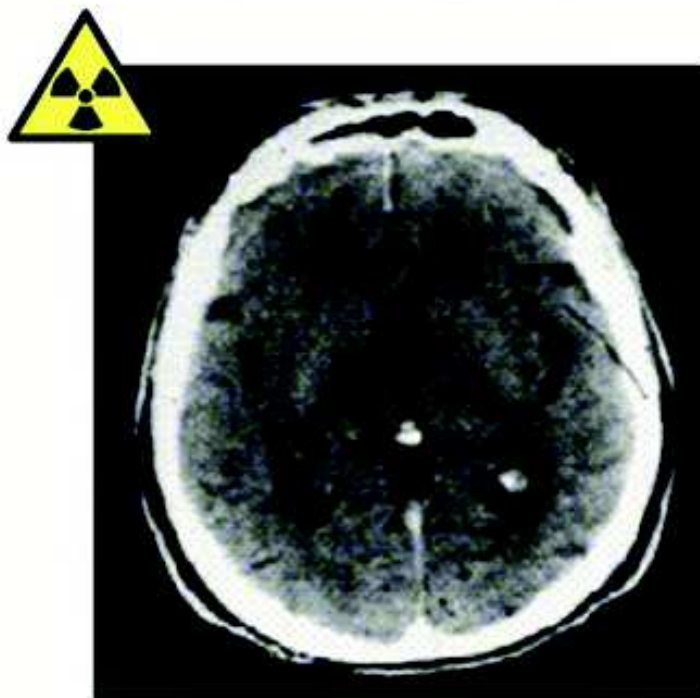
Pesata in T1



VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Computed Tomography (CT)



Radiazione ionizzante raggi X

Magnetic resonance imaging (MRI)

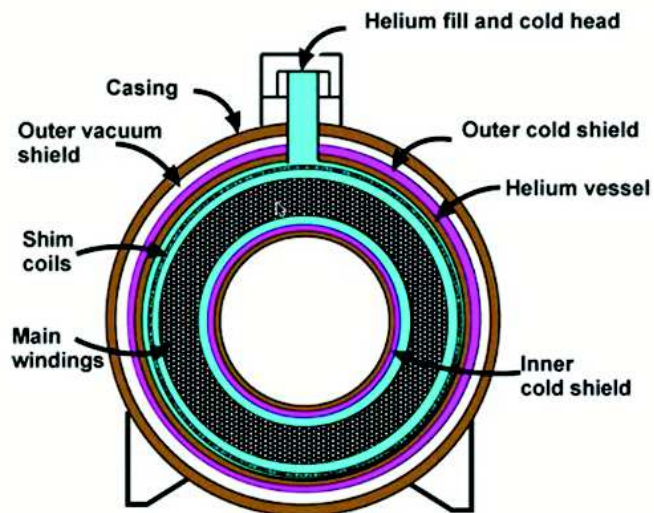


Radioazione non ionizzante:
Radiofrequenza+campi magnetici
Migliore per i tessuti molli



VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica





VELLETRI 2030

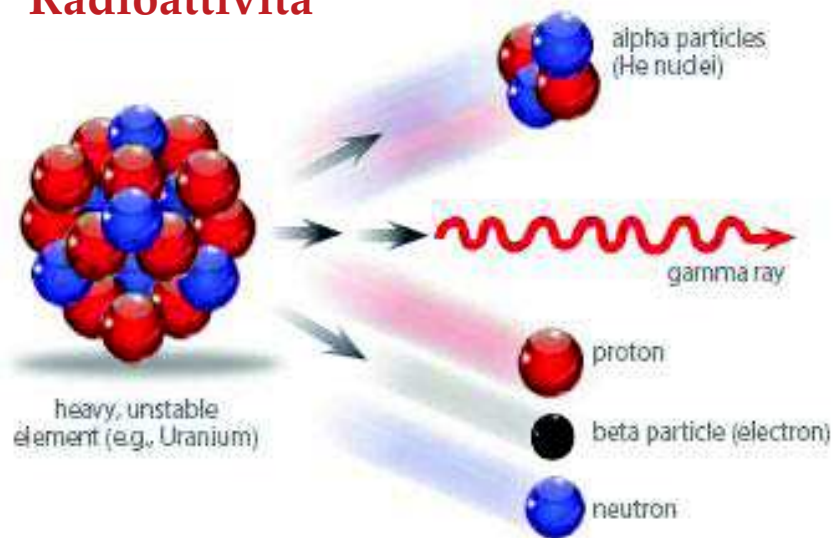
Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica





VELLETRI 2030

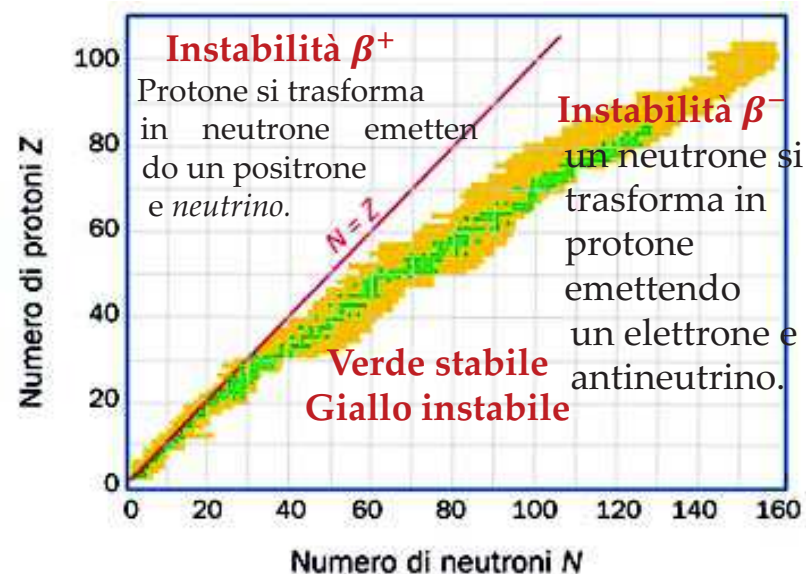
Radioattività



- Un protone respinge gli altri protoni, poiché la forza elettrostatica ha raggio di azione molto grande. Un nucleone attrae, mediante la forza nucleare, con raggio di azione corto, soltanto i nucleoni più vicini. Perciò, al crescere del numero Z di protoni nel nucleo, il numero N di neutroni deve crescere ancor più rapidamente.

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

- Nei nuclei pesanti è favorevole, l'emissione spontanea di nuclei di elio. In un nucleo in cui $B = 8 \text{ MeV}$ ($A = 180$), l'energia di legame totale di due protoni e due neutroni (32 MeV) è più grande di quella complessiva di un nucleo He_2 (28 MeV) di soli 4 MeV .
- L'energia di legame si riduce al crescere di A , l'energia richiesta per l'emissione di una α può ridursi a zero con emissione spontanea.





VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Storia della PET

- ❑ La tecnologia PET (Positron Emission Tomography) si sviluppa con la scoperta dell'antiparticella dell'elettrone, il positrone, (anni 30 in USA) da parte di Carl Anderson (**Nobel 1936**). Nel 1952 Gordon Brownell e i suoi collaboratori applicano queste scoperte all'imaging cerebrale. La prima "Positron camera" nasce nel 1953, ma ci sarebbero voluti altri venti anni per risolvere vari e complessi problemi tecnologici.
- ❑ La TAC e la RMN mostrano le alterazioni morfologiche degli organi. La PET può rilevare alterazioni funzionali, e quindi anche molto precoci, di organi e apparati.





VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

I radionuclidi

- ❑ I radionuclidi usati in PET hanno un tempo di dimezzamento breve (minuti) e sono isotopi di elementi costituenti la materia biologica (ossigeno, fluoro, carbonio...).
- ❑ Il breve tempo di dimezzamento richiede di disporre di un ciclotrone nelle vicinanze del centro. I radionuclidi saranno incorporati in determinate molecole per produrre i radio-farmaci. Uno dei traccianti più utilizzati è il fluoro-deossi-glucosio. Esso viene marcato con il radionuclide Fluoro-18 (^{18}F); con una emivita di circa 109 minuti.
- ❑ La PET deve essere attentamente programmata per rispettare i tempi di decadimento.

<i>Radionuclide</i>	<i>Reazione</i>	$T_{1/2}$	E_{max}
^{11}C	$^{11}\text{C} \longrightarrow ^{11}\text{B} + e^+ + \nu_e$	20.4min	0.96MeV
^{13}N	$^{13}\text{N} \longrightarrow ^{13}\text{C} + e^+ + \nu_e$	9.97min	1.20MeV
^{15}O	$^{15}\text{O} \longrightarrow ^{15}\text{N} + e^+ + \nu_e$	122s	1.73MeV
^{18}F	$^{18}\text{F} \longrightarrow ^{18}\text{O} + e^+ + \nu_e$	109.8min	0.63MeV
^{22}Na	$^{22}\text{Na} \longrightarrow ^{22}\text{Ne} + e^+ + \nu_e$	2.60anni	0.55MeV
^{62}Cu	$^{62}\text{Cu} \longrightarrow ^{62}\text{Ni} + e^+ + \nu_e$	9.74min	2.93MeV
^{64}Cu	$^{64}\text{Cu} \longrightarrow ^{64}\text{Ni} + e^+ + \nu_e$	12.7h	0.65MeV
^{68}Ga	$^{68}\text{Ga} \longrightarrow ^{68}\text{Zn} + e^+ + \nu_e$	67.6min	1.89MeV
^{76}Br	$^{76}\text{Br} \longrightarrow ^{76}\text{Se} + e^+ + \nu_e$	16.2h	Varie
^{82}Rb	$^{82}\text{Rb} \longrightarrow ^{82}\text{Kr} + e^+ + \nu_e$	1.27min	2.60 - 3.38MeV
^{124}I	$^{124}\text{I} \longrightarrow ^{124}\text{Te} + e^+ + \nu_e$	4.17gg	1.53 - 2.14MeV

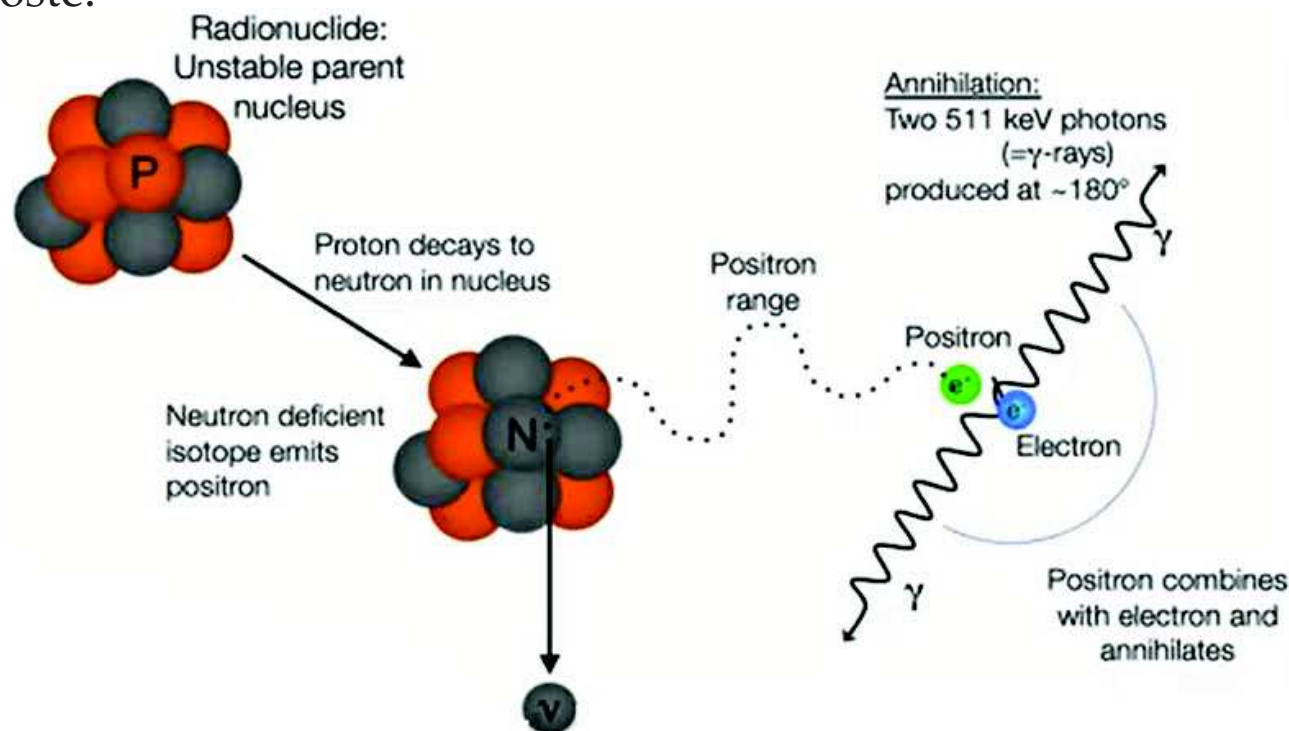


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Fisica PET

- La PET utilizza radioisotopi che emettono positroni, cioè un elettrone di carica positiva (**radiazione β^+**). Il positrone percorre nel tessuto non più di **1-2 mm** prima di essere catturato per attrazione coulombiana da un elettrone negativo e annichilirsi emettendo due **fotoni γ** , ciascuno dell'energia di 511 keV (massa dell'elettrone), in direzioni opposte.



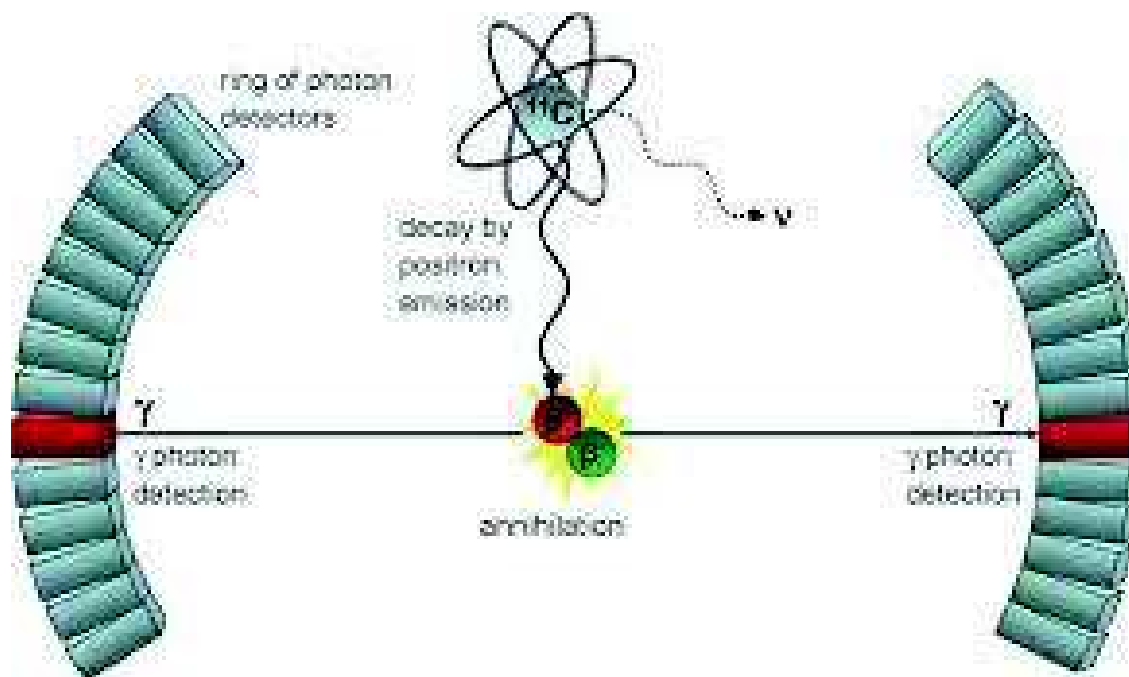
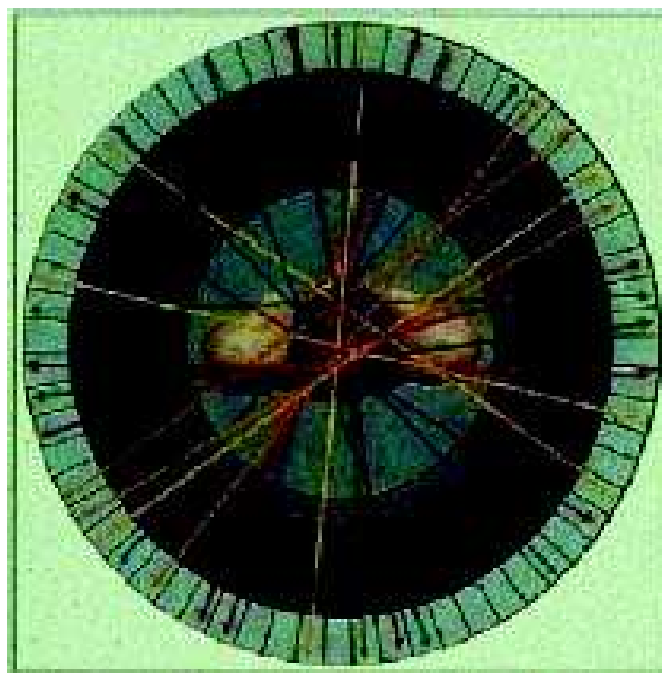


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Tomografo PET

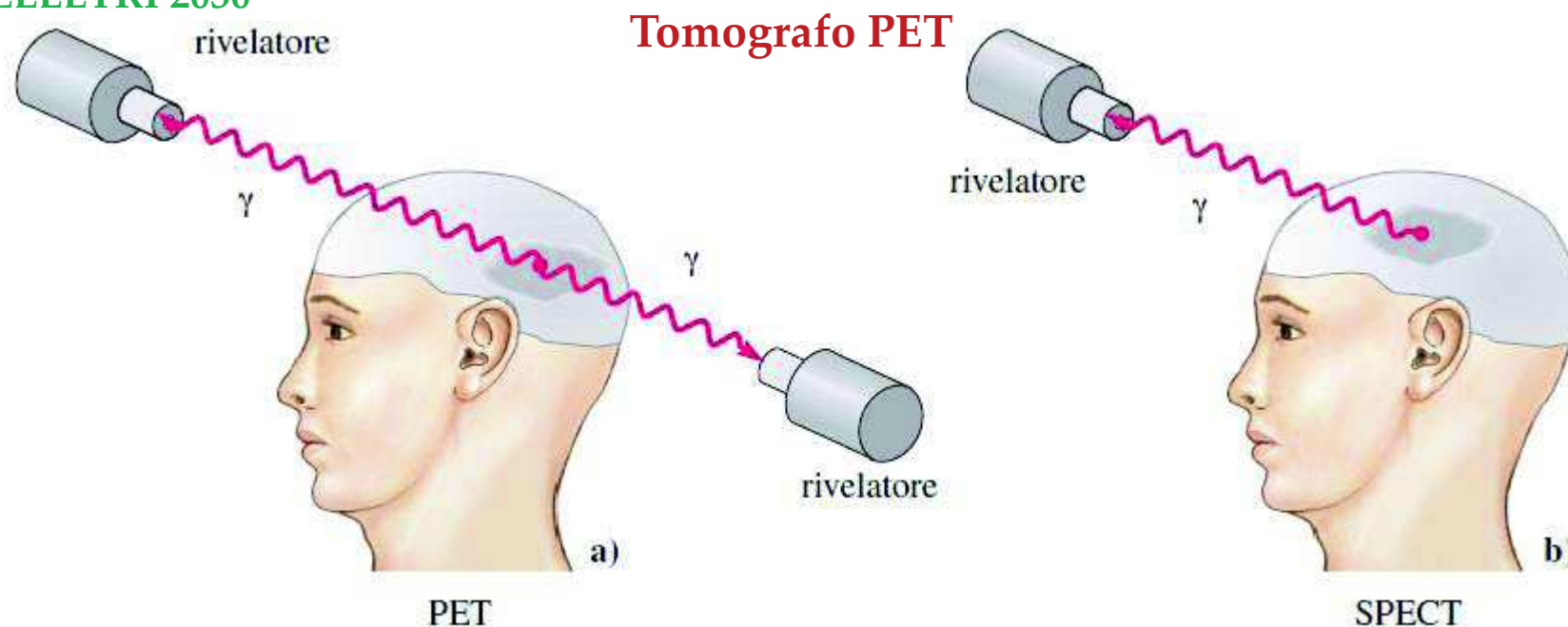
La coppia di fotoni da 511 keV che viene a formarsi dopo l'annichelazione $\beta^+ \beta^-$ viene rivelata mediante il circuito di coincidenza, costituito da 2 rivelatori contrapposti di 180°, che li rivelano simultaneamente





VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica



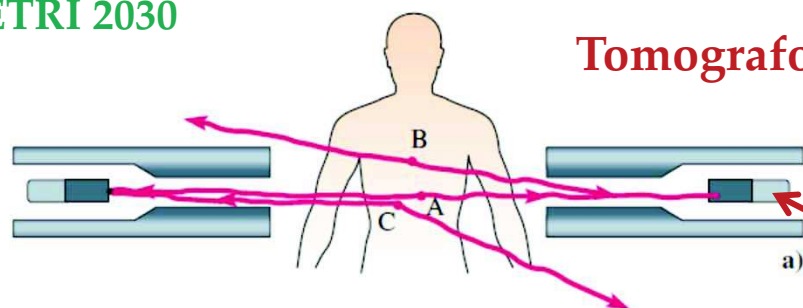
- I due fotoni γ di annichilazione del positrone, possono essere rivelati singolarmente oppure in coincidenza temporale, in un intervallo di tempo $10 \div 20$ ns. La rivelazione in coincidenza temporale fornisce una migliore risoluzione spaziale. I contatori a scintillazione a stato solido comportano attualmente una risoluzione dell'ordine di circa $3 \div 4$ mm. Una risoluzione spaziale di circa $2 \div 3$ mm è considerata il limite pratico per i dispositivi PET.



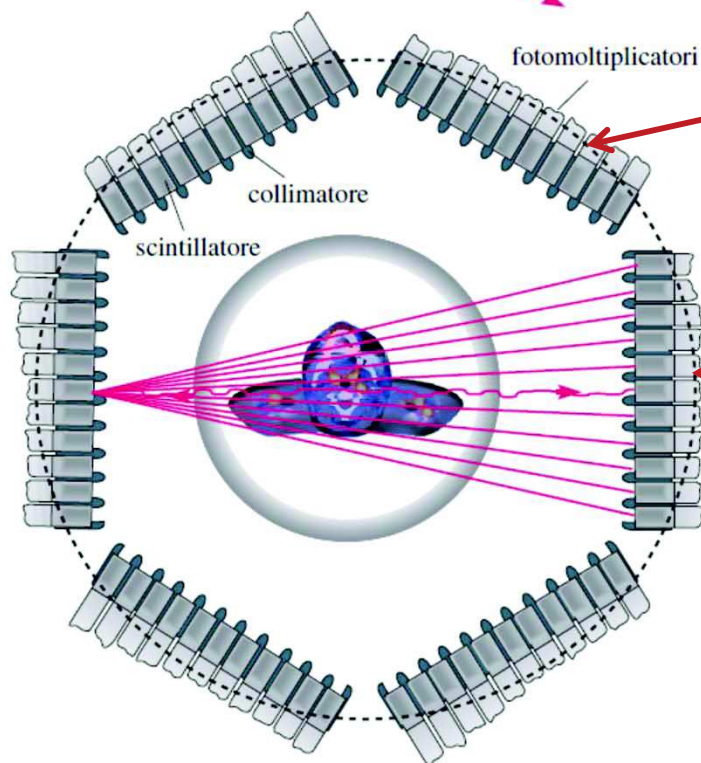
VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Tomografo PET



I rivelatori in coincidenza possono osservare un evento coincidente con ciascuno degli 11 rivelatori frontali



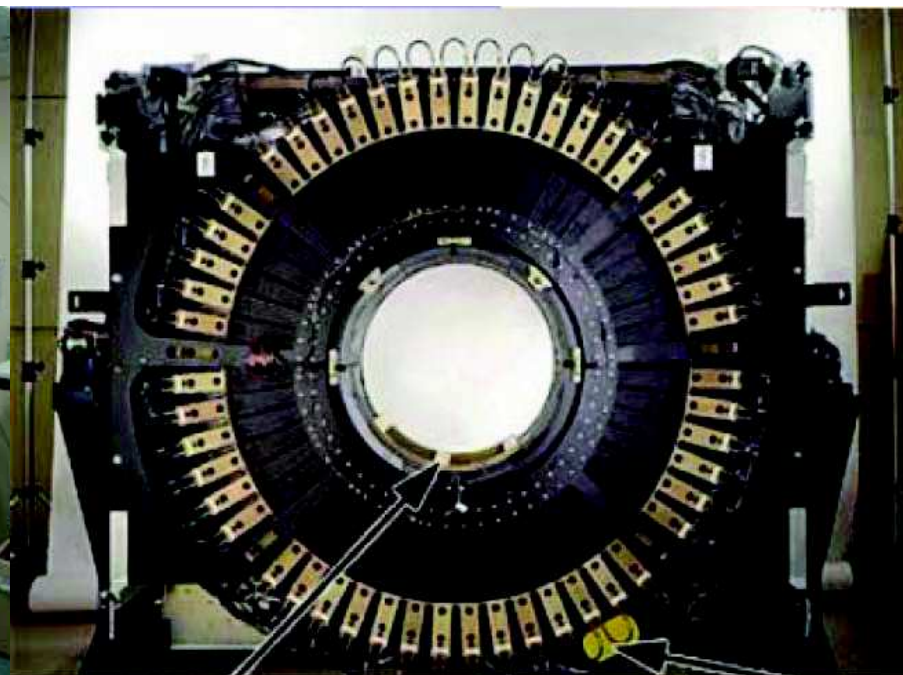
La disposizione esagonale è ruotata di 60° con un passo di 5°



VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Tomografo PET



Source Drive that rotates Transmission Source

The "pig" is a protective container that houses the Transmission Source

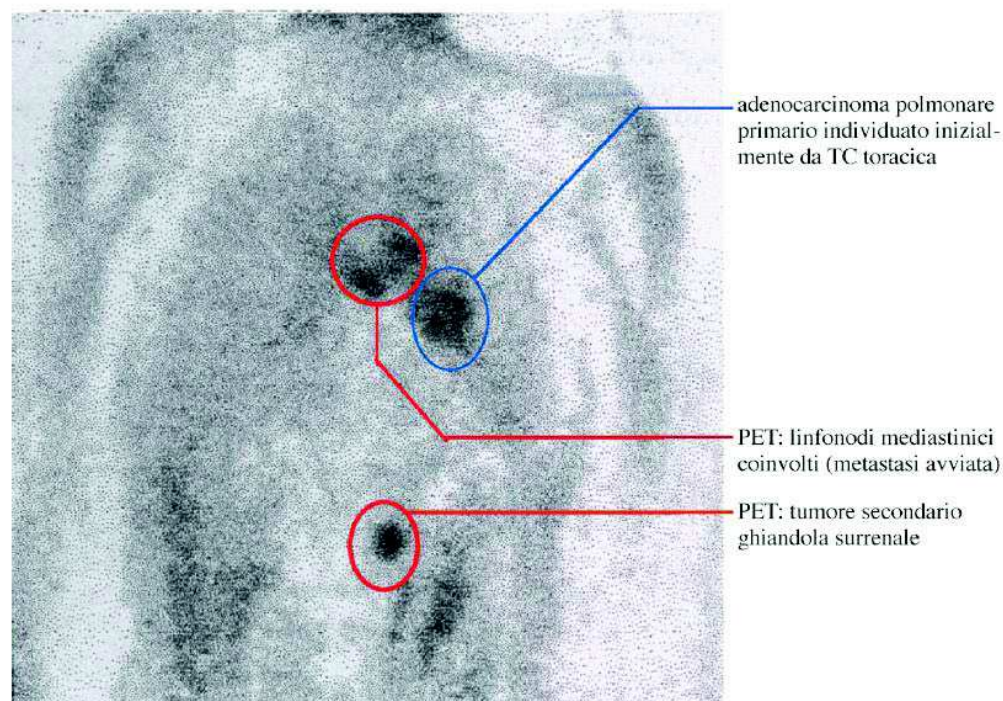


VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Immagini PET

- La PET può rilevare alterazioni funzionali, e quindi anche molto precoci, di organi e apparati. La funzione degli organi si altera e subisce modificazioni molto prima della forma, per questo la PET è un valido aiuto per la diagnosi precoce di alcune malattie, come i tumori. La PET è in grado di valutare come avviene la distribuzione nell'organismo di molecole come lo zucchero. Alcune cellule cancerogene hanno un consumo di zucchero superiore rispetto a quello dei tessuti sani.





VELLETRI 2030

Utilizzo delle tecnologie Nucleari per la diagnostica medica

Conclusioni

- ❑ Lo sviluppo teorico dei principi fisici, unitamente ai prodigiosi risultati nello sviluppo dell'elettronica e dell'informatica, ha consentito la realizzazione di diagnostiche con elevata capacità di descrivere la costituzione interna dell'uomo.
- ❑ La TAC è forse l'esame più rapido e frequente. Attraverso l'uso di raggi X permette di osservare differenze in termini di densità e di forma degli organi. La RMN fornisce un'idea di come si distribuiscono le molecole di acqua nel nostro corpo e le modalità di interazione delle nostre cellule. Le immagini generate da TAC e RMN sono statiche e forniscono informazioni sulla struttura del corpo.
- ❑ La PET si avvale di specifiche sostanze, dette radiofarmaci, che permettono di osservare alcune strutture od organi particolari e riesce a riconoscere alcuni processi metabolici. Le immagini PET forniscono una visione dinamica e informazioni sulle funzionalità del corpo.
- ❑ Interessanti prospettive sono legate alle modalità di diagnostiche ibride come la PET/RMN, che consente un'integrazione fra immagine morfologica RMN e immagine funzionale PET. La RMN evidenzia i tessuti molli, oltre alle ossa, e permette di conoscere l'ambiente fisiologico nel quale il radiofarmaco si muove; informazioni che migliorano l'esame PET.