

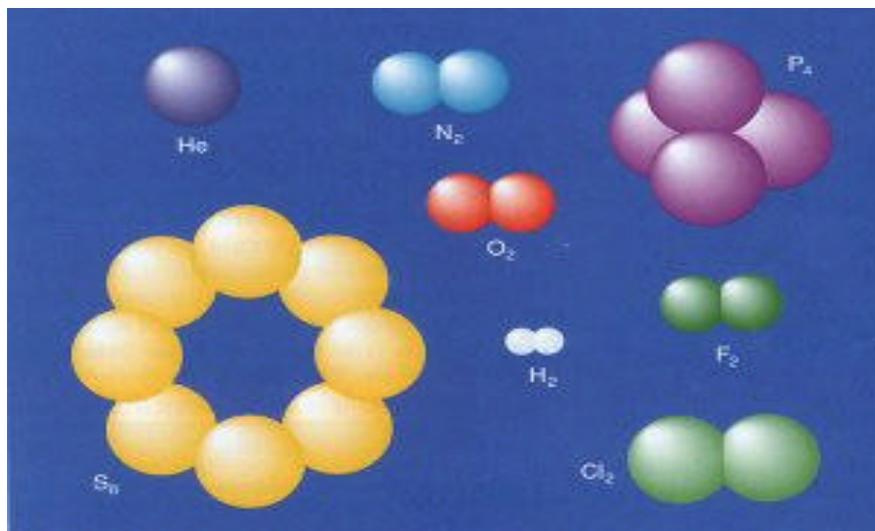
STAGE INVERNALE

Febbraio- Giugno 2003

Studenti: Albergo Giuliano, Cireddu Lanfranco, Fabbri Guido, Piscitelli Francesco

Tutors: Maurizio Chiti Adolfo Esposito

"Tecniche di radioprotezione applicate all'ambiente"



ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE "H. HERTZ"

LICEO SCIENTIFICO "VAILATI"



Introduzione

STAGE INVERNALE

Febbraio Giugno 2003

Lo stage si è svolto presso l'Unità Funzionale di Fisica Sanitaria dei Laboratori Nazionali di Frascati, il più grande complesso di laboratori dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare.

L'INFN è l'ente dedicato allo studio dei costituenti fondamentali della materia e svolge attività di ricerca, teorica e sperimentale, nucleare e astroparticellare.

La ricerca fondamentale in questi settori richiede l'uso di tecnologie e strumenti di ricerca d'avanguardia che l'INFN sviluppa nei propri laboratori e in collaborazione con il mondo dell'industria.

I LNF sono protagonisti in tutti i settori di ricerca propri dell'INFN: la fisica delle macchine acceleratrici, la fisica subnucleare e nucleare, la fisica della radiazione cosmica e la fisica con luce di sincrotrone.

L'Unità Funzionale di Fisica Sanitaria cura gli aspetti radioprotezionistici posti dall'installazione e dal funzionamento delle macchine acceleratrici e in generale degli impianti dei LNF, svolgendo attività di studio nel campo della fisica sanitaria occupandosi di tutti gli aspetti riguardanti la sicurezza radiologica.

Lo stage ha comportato l'utilizzazione di un sistema di spettrometria γ e di un sistema di rivelazione basato su dosimetri a termoluminescenza.

Indice

1. Spettrometria γ

1. Che cos'è
2. Interazioni con la materia
 - 1.2.1 Effetto Fotoelettrico
 - 1.2.2 Effetto Compton
 - 1.2.3 Produzione di coppie
3. Spettrometro γ
4. Spettro γ reale
5. Calibrazione

2. Strumentazione usata

1. Funzionamento generale
2. Scintillatori
3. Rivelatori al Ge

3. Termoluminescenza

1. Che cos'è
2. Rivelatori della TL

4. Misure e Calibrazioni fatte

1. TLD
2. Calibrazione in Energia e in Efficienza di un Rivelatore al Ge
3. Tabelle e Grafici

5. Esperienza con l'Indio¹¹⁶

1. Introduzione agli Isotopi
2. Attività e Tempo di Dimezzamento dell' Indio¹¹⁶

1. SPETTROMETRIA γ

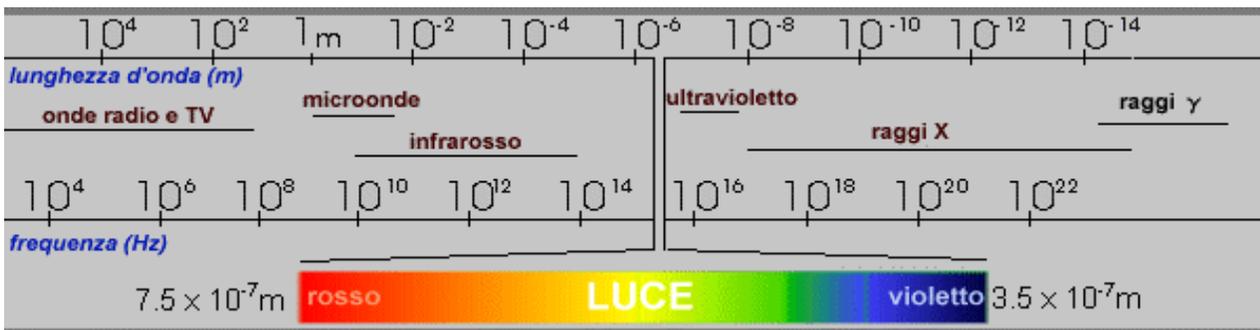
1. Che cos'è

La spettrometria gamma è un metodo di analisi che consente la determinazione qualitativa e quantitativa di nuclidi radioattivi gamma-emittenti in un materiale.

Si definisce radioattivo un nuclide che si trova in uno stato instabile e si trasforma spontaneamente in un nuclide diverso con emissione di una particella carica (α , β^+ , β^-) e/o di radiazione elettromagnetica (γ). Dopo una o più fasi di trasformazione (decadimenti), che portano alla formazione di prodotti intermedi (figli), si forma un prodotto finale stabile. I raggi gamma sono **onde elettromagnetiche**¹, quindi della stessa natura dei raggi x, ma a differenza di questi provengono da transizioni nucleari tra due diversi livelli energetici. Si possono rappresentare come quantità discrete di energia (fotoni) che si propagano nel vuoto alla velocità della luce (300.000 km/s). L'energia di un fotone è proporzionale alla frequenza della radiazione:

$$E=h\nu$$

Si tratta di radiazioni ionizzanti, cioè la loro energia è maggiore dell'energia minima richiesta per produrre, interagendo con la materia, fenomeni di **ionizzazione**² nel mezzo attraversato (12 eV³ nei sistemi biologici).



2. Interazioni con la materia

L'assorbimento delle radiazioni γ (e x) nella materia avviene in modo diverso da quello degli elettroni e delle particelle cariche, che rallentano gradualmente attraverso molte simultanee interazioni con gli atomi del mezzo, ed hanno percorsi ben definiti. I raggi γ interagiscono in modo discontinuo e la loro intensità non viene mai ridotta a zero, anche da spessori via via crescenti di materia.

L'interazione dei fotoni γ o X con la materia ha luogo principalmente a causa di tre diversi processi elettromagnetici, nei quali sono assorbiti o vengono diffusi perdendo energia:

- l'effetto fotoelettrico, che domina a bassa energia;
- l'effetto Compton;
- la produzione di coppie, che domina ad alta energia.

Le modalità di interazione sono predominanti a diverse energie della radiazione incidente e la zona in cui si sovrappongono è relativamente ristretta.

Il primo produce un parziale trasferimento dell'energia del fotone ad un elettrone del mezzo, mentre il fotone viene deviato di un certo angolo; negli altri due casi il fotone scompare, e trasferisce tutta la propria energia rispettivamente ad un elettrone o a un elettrone e a un positrone. Se però una di queste interazioni non si verifica, la radiazione può passare attraverso il materiale. La ionizzazione prodotta viene detta secondaria, cioè si ha una limitata produzione diretta di elettroni (primari), che a loro volta cedono la propria energia al mezzo, producendo la maggior parte della ionizzazione.

3. Spettrometro Gamma

Lo spettrometro gamma è un sistema in grado di determinare la distribuzione energetica dei fotoni γ . I dati ottenuti sono espressi come numero degli impulsi in funzione dell'energia delle radiazioni (spettro).

Lo spettrometro si può considerare composto di tre parti principali:

1. sistema di rivelazione, comprendente rivelatore e schermatura;
2. sistema di analisi degli impulsi composto da preamplificatore, amplificatore, convertitore analogico-digitale;
3. sistema di registrazione, visualizzazione, analisi dei dati.

Un fotone incidente, interagendo con il rivelatore, cede ad esso, totalmente o parzialmente a seconda del tipo di interazione, la propria energia. La funzione del rivelatore è quella di trasformare tale energia in una quantità di carica elettrica, ad essa proporzionale, che viene raccolta per dar luogo ad un segnale elettrico. Un rivelatore deve quindi essere costituito da un materiale opportuno e avere dimensioni adatte, in modo che esista una buona probabilità di interazione del fotone e che siano minimizzate le fughe di elettroni secondari (che invece devono andare a costituire il segnale). I rivelatori a stato solido (a scintillazione o a semiconduttore) sono i più indicati per la misura dei raggi γ , a causa della loro elevata **efficienza**⁴.

La schermatura ha invece lo scopo di ridurre al minimo possibile i conteggi di fondo. Tutti i rivelatori di radiazione producono tali conteggi di fondo, dovuti alla radioattività naturale dei materiali costituenti il rivelatore stesso e l'equipaggiamento associato, alla radioattività della superficie terrestre e dei muri del laboratorio, alla radioattività dell'aria che circonda il rivelatore e alla radiazione cosmica secondaria. Per

opportuno (quello più comunemente usato è il Piombo). L'entità dei conteggi di fondo determina la minima attività rilevabile, cioè la minima attività contenuta in un campione che dà luogo ad un numero di conteggi al secondo distinguibile dal fondo.

Gli impulsi elettrici in uscita dal rivelatore, inizialmente deboli, devono essere opportunamente amplificati e formati da preamplificatore e amplificatore in modo da renderli adatti alla successiva analisi, conservando però la proporzionalità tra la loro ampiezza e l'energia ceduta dal fotone al rivelatore. Gli impulsi amplificati vengono quindi inviati ad un Analizzatore Multicanale (MCA), che li "classifica" in predeterminati intervalli di energia in funzione della loro ampiezza. Il circuito fondamentale dell'MCA è il Convertitore Analogico – Digitale (ADC), che converte un segnale analogico (l'ampiezza dell'impulso) in un numero ad essa proporzionale. Associata all'ADC vi è una memoria costituita da tante locazioni (canali), ciascuna delle quali corrisponde ad intervallo di ampiezza compreso tra un valore e lo stesso aumentato di una piccola quantità ($H, H + \Delta H$). Dopo che il segnale in uscita dal rivelatore è stato analizzato, il contenuto della locazione di memoria corrispondente alla sua ampiezza viene incrementato di una unità.

Lo spettro delle ampiezze degli impulsi così ottenuto può venire registrato per poter essere richiamato, visualizzato sullo schermo di un computer e analizzato tramite un software opportuno.

4. Spettro Gamma Reale

FOTOPICCO

In un processo di decadimento gamma le radiazioni emesse sono monocromatiche e tutta la loro energia può essere ceduta al rivelatore, sia per mezzo di un singolo processo fotoelettrico che attraverso interazioni multiple; la distribuzione di impulsi risultante da più eventi di questo genere è detta "fotopicco" ed è rappresentativa dell'energia dei fotoni interagenti.

A causa della natura statistica dei processi che intervengono nella formazione del fotopicco, esso si presenta non più come la "riga" rappresentata nello spettro "ideale" ma come una distribuzione *gaussiana* d'impulsi centrata attorno al valore corrispondente all'energia del fotone gamma.

Si definisce "risoluzione" di uno spettrometro relativa a raggi gamma di energia E_0 , l'ampiezza a metà massimo del fotopicco espressa come percentuale di E_0 . Questo parametro è d'importanza fondamentale nella spettrometria gamma (vedi oltre).

DISTRIBUZIONE COMPTON

È rappresentata dalla parte di spettro corrispondente ad un trasferimento parziale di energia dei fotoni gamma al rivelatore. Normalmente questo è dovuto a processi d'interazione Compton singoli o multipli dopo i quali il raggio gamma diffuso sfugge dal rivelatore.

La distribuzione Compton di uno spettro gamma è caratterizzata da un massimo, che corrisponde a processi d'interazione Compton nel rivelatore con retrodiffusione a 180° del fotone gamma e massimo trasferimento

Tra il fotopicco ed il massimo della distribuzione Compton esiste una zona dello spettro detta "valle Compton". Essa e' dovuta sia all'assorbimento totale dei fotoni che hanno subito, prima del loro ingresso nel rivelatore, una piccola deflessione in un processo Compton, sia a fotoelettroni che, sfuggendo dalla superficie del rivelatore, non esauriscono la loro energia cinetica in esso, sia a processi multipli d'interazione Compton senza assorbimento totale dell'energia del fotone.

PICCHI SOMMA

Con questo termine vengono designati i picchi dovuti alle interazioni di più fotoni nel rivelatore, che avvengono in intervalli di tempo così brevi da essere rivelati come un solo evento.

L'effetto somma degli impulsi non riguarda soltanto i picchi ma anche la distribuzione continua di impulsi.

Va notato, inoltre, che anche le radiazioni non elettromagnetiche possono introdurre in uno spettro gamma delle componenti addizionali. Il caso più importante e' senza dubbio quello dovuto alla presenza nel campione di emettitori **beta**⁶ di energia abbastanza elevata.

Questo tipo di radiazione, quando interagisce con il campo elettrostatico dei nuclei atomici, può infatti causare l'emissione di uno spettro continuo di raggi X ("**bremsstrahlung**"⁷), capace di distorcere anche notevolmente lo spettro, soprattutto alle basse energie.

PICCHI DI RETRODIFFUZIONE

I raggi gamma emessi dal campione, interagendo mediante processi Compton con il materiale che circonda il rivelatore, vengono poi retrodiffusi nel rivelatore dando luogo ad un picco di retrodiffusione la cui energia massima e' uguale a circa 0.25 MeV.

PICCHI FUGA

Sono quelli dovuti ad interazione con *produzioni di coppie* e uscita dal rivelatore della conseguente radiazione di **annichilazione**⁵.

5. CALIBRAZIONE

Il sistema deve venire calibrato in energia (per trovare la corrispondenza tra canale, cioè ampiezza dell'impulso, ed energia ceduta dalla radiazione al rivelatore) e in efficienza (per quantificare la risposta del rivelatore alla radiazione in funzione dell'energia della radiazione stessa). La calibrazione viene fatta per confronto usando delle sorgenti contenenti quantità note di radionuclidi che emettono fotoni γ di opportune energie. Poiché l'efficienza dipende dalla geometria di misura (posizione reciproca del campione da analizzare e del rivelatore, forma del campione) e dall'autoassorbimento, quindi dallo stato fisico, del campione (matrice solida o liquida), la calibrazione deve venire effettuata con diversi tipi di sorgenti.

Nel laboratorio di spettrometria del Servizio di Fisica Sanitaria sono presenti due tipi di rivelatore a stato solido:

1. a semiconduttore (Germanio Iperpuro - HPGe);
2. a scintillazione (Ioduro di Sodio attivato al Tallio - NaI(Tl)).

Essi differiscono per l'efficienza e la risoluzione. Della prima è già stato detto; per quanto riguarda la risoluzione, bisogna premettere che anche avendo fotoni monoenergetici, che depositino nel rivelatore la stessa quantità di energia, si registra una fluttuazione da impulso a impulso, per cui i segnali risultanti non cadono tutti nello stesso canale, ma interessano in parte anche canali adiacenti. La larghezza di questa distribuzione determina la capacità del rivelatore di distinguere tra fotoni di energia molto vicina.

I rivelatori a NaI(Tl) hanno un'elevata efficienza, ma bassa risoluzione; i rivelatori al Ge hanno efficienza molto inferiore, ma migliore risoluzione (da cinque a otto volte superiore).

Generalmente, l'efficienza di un rivelatore al Ge viene fornita esprimendola rispetto a quella di un standard (nel caso del rivelatore al Ge che si trova nel laboratorio del SFS, l'efficienza misurata a 1.33 MeV con una sorgente di ^{60}Co è del 18 %).

Le loro diverse caratteristiche fanno sì che i rivelatori a scintillazione e quelli a semiconduttore vengano usati in condizioni e per scopi differenti: la buona risoluzione di un rivelatore al Ge permette la separazione di eventi molto vicini energeticamente, e quindi l'analisi di spettri complessi ottenuti dalla misura effettuata su campioni contenenti uno o più radionuclidi, che decadano emettendo molti fotoni anche a energie vicine tra loro (ad esempio, analisi di campioni incogniti); l'elevata efficienza di un rivelatore allo NaI(Tl) viene usata per misurare l'attività di campioni contenenti radionuclidi noti, ma di bassa intensità.

NOTE:

¹ **Onde elettromagnetiche:** perturbazioni dovute ad un campo elettrico e ad un campo magnetico variabili, che si propagano perpendicolarmente tra di loro e alla direzione di propagazione; la perturbazione, associata ad un trasporto di energia, si trasmette a velocità finita (nel vuoto = c). Tali radiazioni non possiedono carica elettrica, quindi non vengono deviate da campi elettrici o magnetici, e hanno massa = 0. Si distinguono fisicamente solo per la lunghezza d'onda λ (distanza minima tra i punti nei quali la perturbazione si ripete con identiche caratteristiche) e quindi per la frequenza ($\lambda = c/\nu$).

⁴ **Efficienza:** poiché il fotone può percorrere una grande distanza entro il materiale rivelatore prima di interagire, oppure non subire un'interazione significativa e quindi attraversarne il volume senza essere rivelato, si definisce efficienza (assoluta) di un rivelatore il rapporto tra il numero di impulsi registrati e il numero di fotoni emessi dal campione misurato. Essa dipende dal tipo di rivelatore, dall'energia della radiazione e dalla geometria di conteggio (principalmente dalla distanza tra il rivelatore e la sorgente).

⁵ **Annichilazione,** radiazione di: la coppia di fotoni gamma, emessi in direzione opposta e dell'energia di 0,51 MeV, prodotta quando un elettrone ed un positrone si uniscono, cessando di esistere come tali ed

⁶ **Beta**, particella: particella carica emessa dal nucleo dell'atomo. La sua massa e la sua carica sono eguali a quelle dell'elettrone.

⁷ **Bremsstrahlung**: radiazione fotonica secondaria prodotta dalla decelerazione di particelle cariche al loro passaggio attraverso la materia.

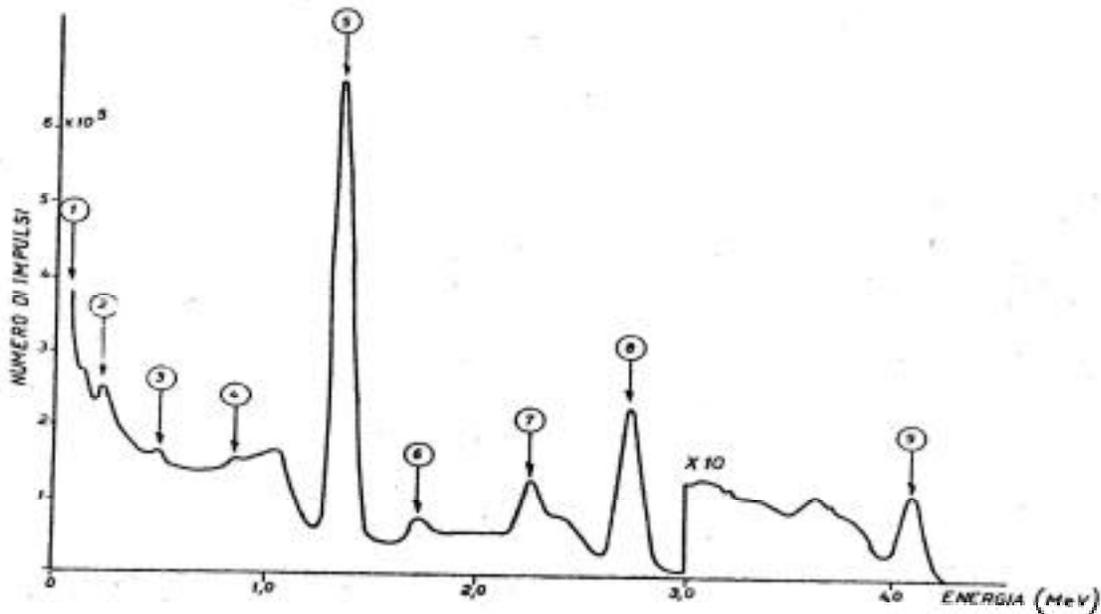
2. STRUMENTAZIONE USATA

1. Funzionamento Generale

Uno spettrometro gamma e' essenzialmente uno strumento in grado di determinare la distribuzione energetica dei fotoni gamma.

Piu' semplicemente quando una radiazione gamma attraversa il rivelatore dello strumento esso registra questa interazione associandogli una determinata energia, che e' propria della radiazione. I dati ottenuti sono visualizzati in un grafico di distribuzione;

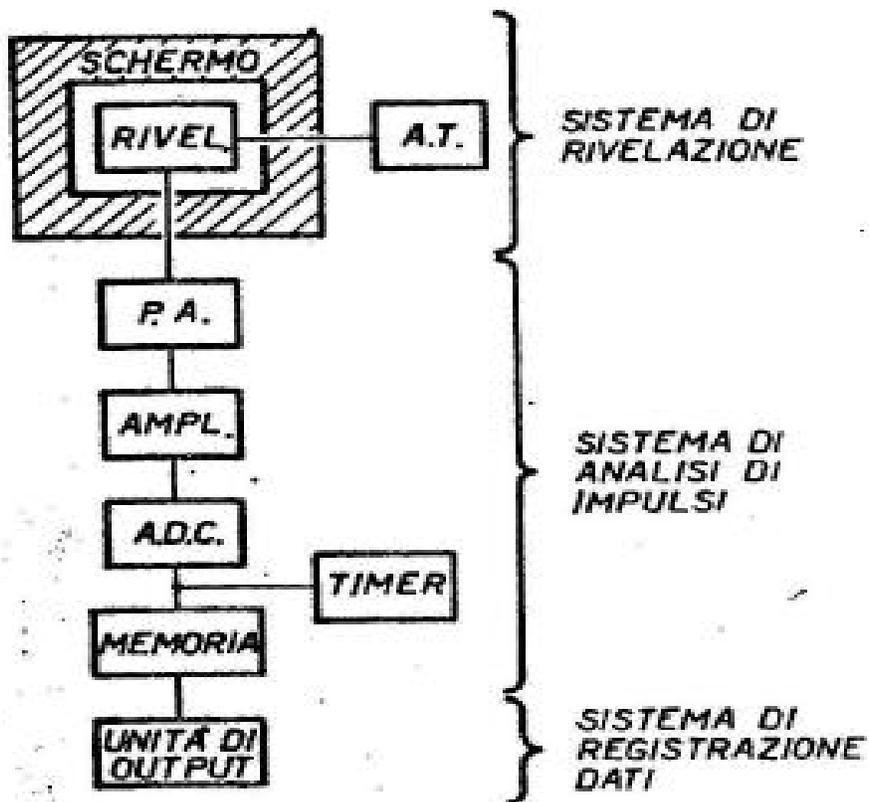
Energia e conteggi:



Dai grafici che si ottengono con uno spettrometro si puo' risalire ai radionuclidi che hanno generato la radiazione, quantificare una radiazione, e osservare il suo andamento nel tempo: insomma gli utilizzi di un rivelatore gamma sono molteplici.

Generalmente uno spettrometro gamma e' costituito da tre parti fondamentali:

- Sistema di rivelazione:
Composto da un rivelatore, che puo' essere un cristallo, e da uno schermo. Un fotone incidente cede al rivelatore energia, questa energia viene trasformata dallo stesso in un impulso elettrico proporzionale all'energia ceduta. Lo schermo protegge il rivelatore dalla luce e riduce il fondo strumentale dovuto alle imprecisioni costruttive.
- Sistema di analisi di impulsi:
Classifica gli impulsi elettrici uscenti dal rivelatore in intervalli di energia a seconda della loro ampiezza. Per fare cio' gli impulsi vengono amplificati da un preamplificatore e da un amplificatore; sempre conservando la proporzionalita' tra energia ceduta dal fotone e l'ampiezza del segnale elettrico. Gli impulsi, cosi' amplificati vengono inviati all'A.D.C. un sistema che analizza l'ampiezza del segnale elettrico e lo inserisce in un determinato intervallo di energia, quindi memorizzato, per poi dare vita a un grafico di distribuzione.
- Sistema di registrazione e trattamento dei dati:
E' un sistema che visualizza i dati, i quali possono essere anche inviati a un computer.



Il grafico ottenuto da uno spettrometro e' espresso in termini di frequenza in funzione dell'energia dei fotoni gamma.

Idealmente quando dei fotoni derivanti dalla stessa sorgente vengono rivelati essi dovrebbero creare sul grafico di distribuzione un a riga netta data la loro energia identica, ma in realta' il grafico e' una distibuzione e quindi i valori tendono ad ammassarsi lungo dei valori preferenziali. Il picco che si forma e' detto FOTOPICCO.

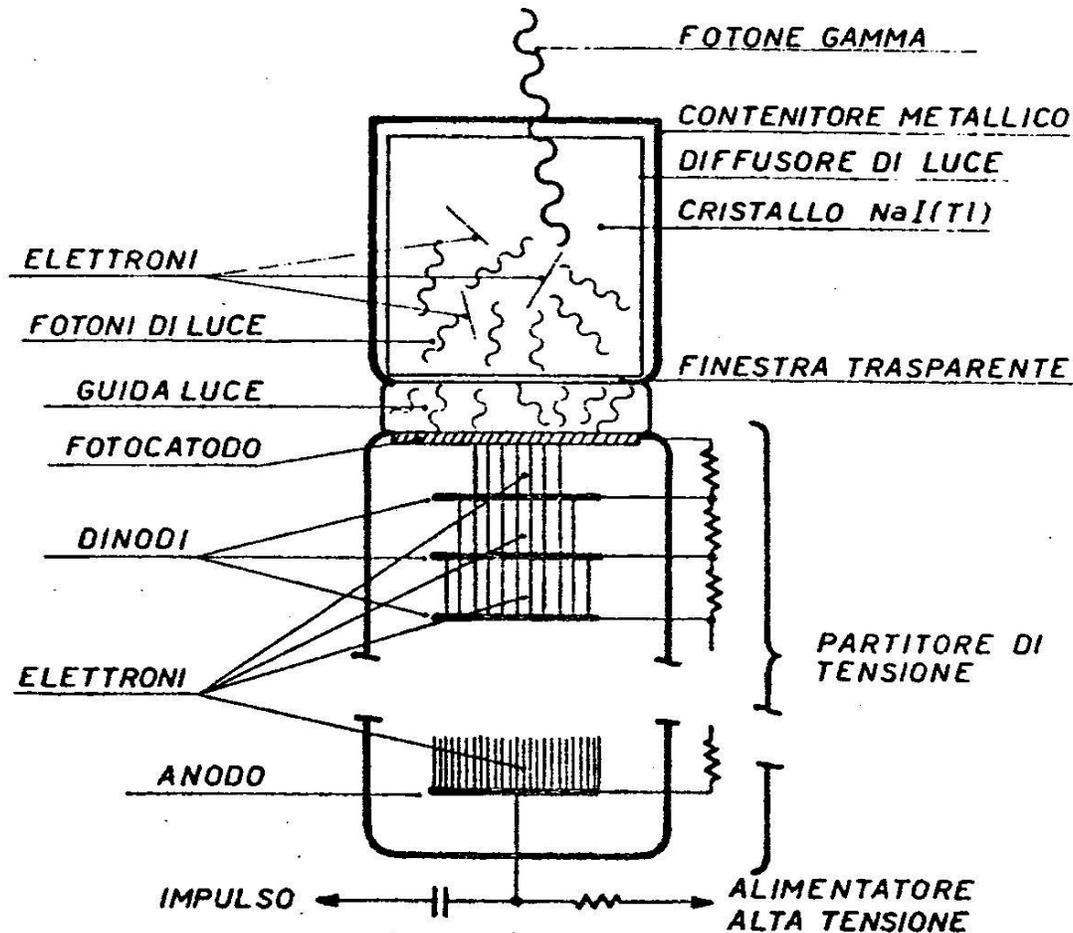
2. Scintillatori

Uno scintillatore sfrutta il principio fisico tramite il quale quando una radiazione attraversa il cristallo esso emette a sua volta fotoni ad una determinata energia.

Il cristallo generalmente è uno ioduro di Sodio (NaI), oppure un materiale plastico con equivalente funzione.

I fotoni emessi dal cristallo vengono raccolti in un fototubo che crea una corrente elettrica proporzionale alla quantità di fotoni assorbiti.

Il fotone della radiazione attraversa il cristallo, esso al suo passaggio genera elettroni che eccitano il cristallo e che producono fotoni, questi fotoni raggiungono il fotocatodo del fotomoltiplicatore che li moltiplica e che genera una corrente tramite dinodi.



L'emissione luminosa da parte del cristallo è un fattore molto importante per la costruzione di tutto l'apparato: un buon cristallo deve avere un alto rendimento luminoso, cioè di convertire molta della radiazione in luce; un elevato potere di trasmissione della luce, in modo da favorire la trasmissione della luce generata al fototubo; un tempo di decadimento molto breve della luce generata; una facile produzione del cristallo.

Il fototubo è costituito da una superficie fotosensibile (fotocatodo) e da alcuni elettrodi (dinodi e anodo) posti in una struttura a tubo in vetro.

I dinodi sono ricoperti da un sottile strato di una sostanza che permette di moltiplicare gli elettroni incidenti, così che per ogni elettrone incidente ce ne siano due o tre alla riflessione successiva. Alla fine del processo si ottiene una vera e propria corrente, raccolta dall'anodo che essendo collegato a un sistema esterno gli invia il segnale.

Il preamplificatore ha la funzione di convertire deboli impulsi ad alta impedenza, che non possono viaggiare nei

cavi per via della perdita di ampiezza del segnale e di distorsione, in impulsi a bassa impedenza che invece possono farlo. Così gli impulsi raggiungono l'amplificatore che li adatta alle necessità dell'analizzatore.

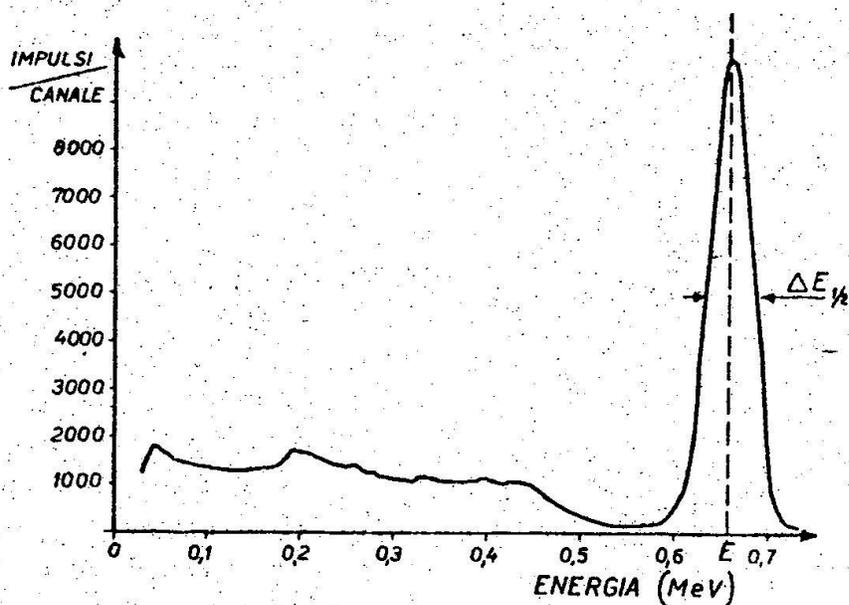
L'analizzatore, come già detto, classifica gli impulsi in ampiezze. Gli analizzatori possono essere monocanale o multicanale.

L'analizzatore monocanale è costituito da due discriminatori, regolabili, esso registra solo quei segnali che in ampiezza sono compresi nell'intervallo delimitato dai discriminatori. Invece gli analizzatori multicanale possono ripartire gli impulsi in molti intervalli. Essi lavorano con un convertitore analogico-digitale che associa un numero ad ogni intervallo. Il numero rappresenta un intervallo di tempo proporzionale all'ampiezza. Classificato l'impulso, esso viene messo in memoria.

Le informazioni registrate ora devono essere trasformate in dati facilmente utilizzabili dall'utilizzatore. Esistono due tipi di codifica:

- Analogica:
Le informazioni sono convertite in grandezze continue, come può essere una tensione. Lo spettro ottenuto è lo spettro proprio della radiazione e del radionuclide, può essere utilizzato per calibrazioni.
- Digitale:
Le informazioni sono convertite in numeri, e quindi sono in forma discontinua.

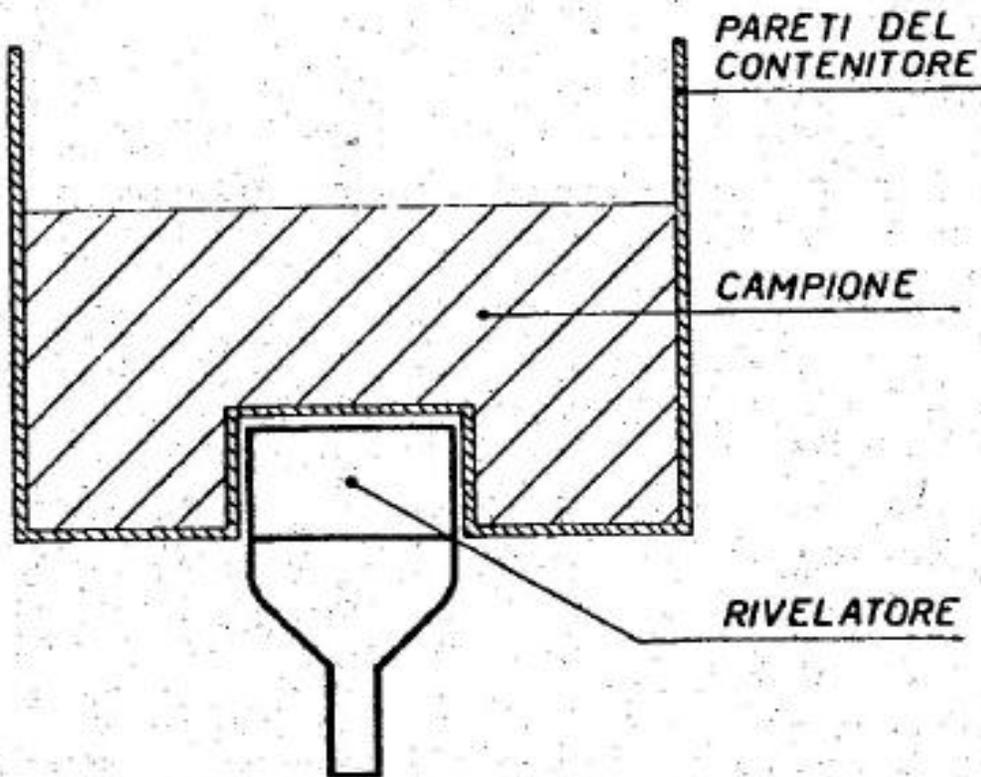
La risoluzione:



L'efficienza:

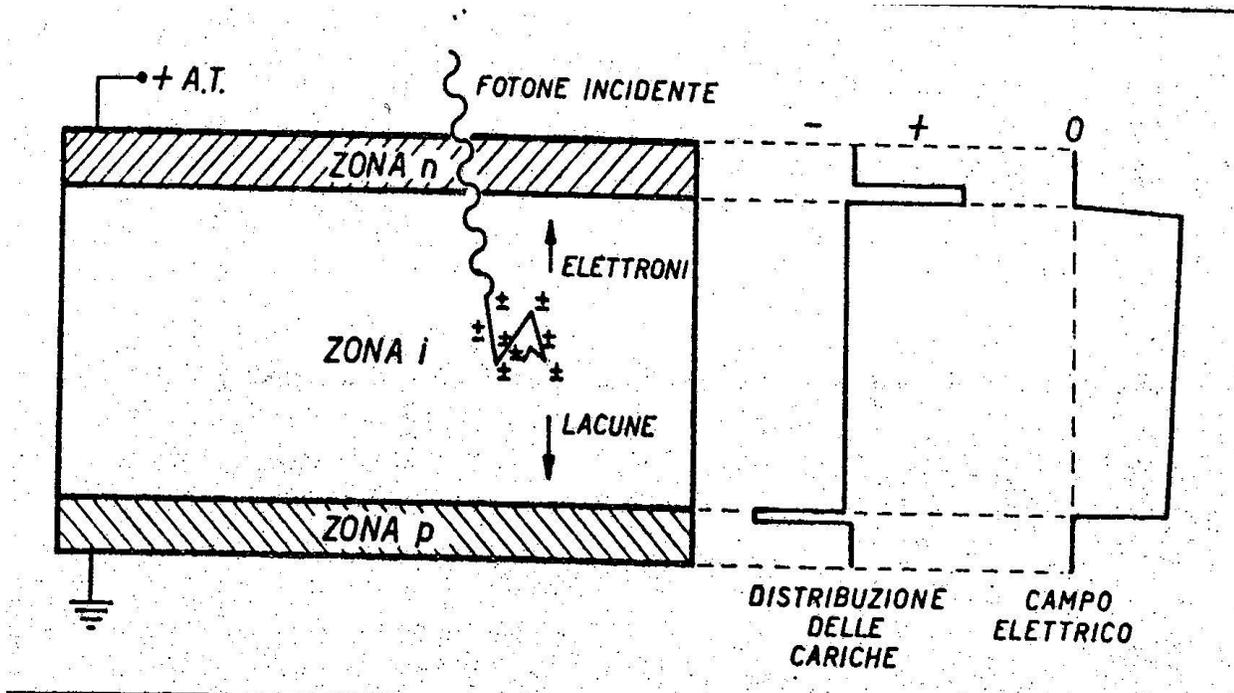
È il rapporto tra il numero di impulsi registrati dal rivelatore per un radionuclide e il numero di disintegrazioni realmente avvenute nel radionuclide. Chiaramente per calcolare l'efficienza è necessario conoscere molto bene

la natura del radionuclide. Cioe' bisogna conoscere l'attivita' del radionuclide al momento della misura per calcolare precisamente il numero delle disintegrazioni.
Incide notevolmente sull'efficienza anche la posizione in cui viene posta la sorgente rispetto al rivelatore, in quanto piu' la sorgente e' vicino al rivelatore e meno saranno le disintegrazioni registrate; oppure, se la sorgente e' puntiforme o che circonda lo strumento si avranno risposte differenti.
Per questo per effettuare misurazioni riguardo sorgenti poco radioattive si usano contenitori che pongono la sorgente tutt'intorno al rivelatore, chiamati "Beaker di Marinelli".



3. Rivelatori al Germanio

Un rivelatore al Germanio usa un cristallo molto puro di Germanio che funziona come un grosso diodo. Questi grossi cristalli vengono prodotti tramite processi molto complessi e costosi. Quando una radiazione penetra nel cristallo che reagisce producendo elettroni che migrano verso degli elettrodi che li raccolgono. La corrente che si forma e' proporzionale alla radiazione assorbita.

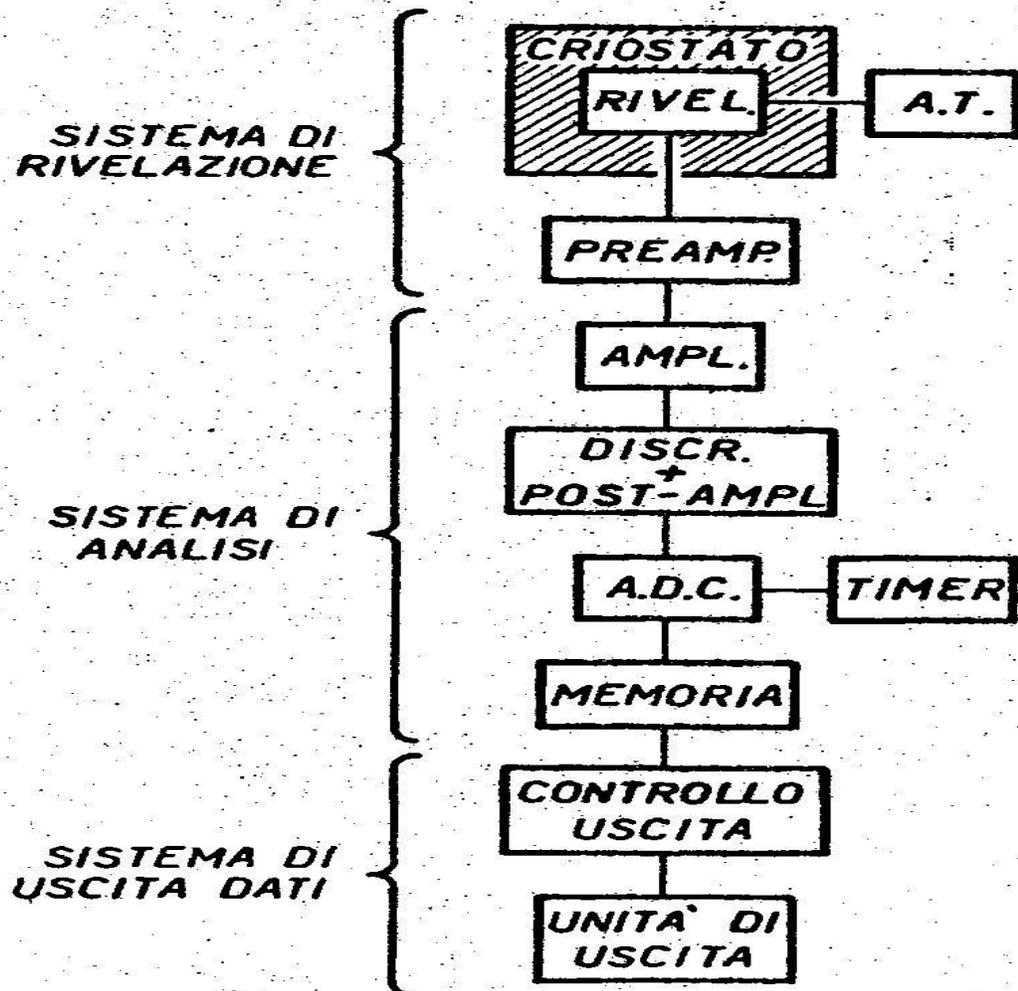


Questi rivelatori per funzionare devono lavorare a temperature molto basse, circa 73' Kelvin, e per questo vengono raffreddati con l'Azoto liquido.

Un criostato intorno al cristallo lo mantiene sempre alla temperatura desiderata. Un criostato e' una camera piena di azoto liquido che tramite una barra di rame a contatto col cristallo e immersa nel liquido, lo raffredda.

Il cristallo per poter funzionare ha bisogno di essere alimentato da un'alta tensione che genera un campo elettrico all'interno del cristallo per favorire la raccolta delle cariche.

Ci sono inoltre vicino al cristallo dei sensori che rivelano la temperatura e nel caso sia eccessiva impedisce al cristallo di essere raggiunto dalla tensione che gli permette di funzionare. Un'attivazione a una temperatura diversa da quella standard danneggia il cristallo in modo irreversibile.



Il preamplificatore nel caso di questo tipo di rivelatore e' di convertire l'impulso di carica proveniente del cristallo in un impulso di tensione ad esso proporzionale.

Tra l'amplificatore e il convertitore (A.D.C.) c'e' un post-amplificatore che serve a rendere piu' precisi gli intervalli quando essi sono molto piccoli.

Nel caso di un rivelatore al Germanio l'A.D.C. dispone di un numero superiore o uguale al numero di canali memorizzabili dall' unita' di memoria.

3. TERMOLUMINESCENZA

1. Che cos'è

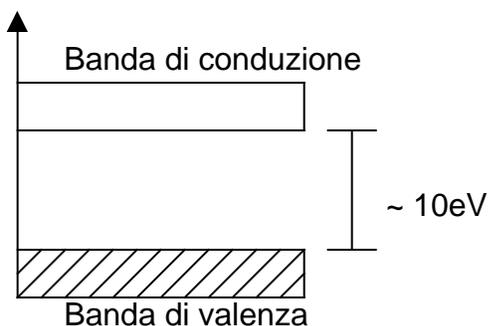
Alcuni solidi cristallini isolanti, se vengono esposti a radiazioni ionizzanti e poi riscaldati a temperature di qualche centinaio di °C, emettono, al momento del riscaldamento, radiazione elettromagnetica prevalentemente nella regione visibile dello spettro.

Questo fenomeno prende il nome di “termoluminescenza (T.L.)”.

Condizione necessaria per il prodursi della T.L. è la presenza d'imperfezioni nel cristallo. Un cristallo ideale, cioè privo d'imperfezioni, consiste nella ripetizione periodica nello spazio di una stessa unità strutturale; ne segue che gli elettroni degli atomi del reticolo cristallino risultano soggetti ad un potenziale elettrostatico periodico nello spazio.

In un cristallo isolante, la banda d'energia più alta che risulta completamente occupata è detta banda di valenza. Gli elettroni che la occupano non sono liberi di muoversi attraverso il cristallo, essendo tutti gli stati disponibili occupati.

La banda immediatamente superiore è completamente vuota e prende il nome di banda di conduzione. Gli elettroni che eventualmente la raggiungessero, sarebbero liberi di migrare attraverso il cristallo.



In realtà, tutti i cristalli presenti in natura possiedono delle imperfezioni che alterano la periodicità spaziale del potenziale. Quelle che più interessano la T.L. appartengono ai seguenti tipi o a loro combinazioni:

1. Mancanza di uno ione positivo o negativo dalla posizione che esso dovrebbe occupare secondo la struttura ideale del cristallo (denominata “vacanza da ione positivo o negativo”);
2. Presenza di uno ione positivo o negativo in una posizione interstiziale, cioè in una posizione che non dovrebbe essere occupata secondo la struttura ideale (difetto intrinseco);
3. Presenza di impurità, cioè ioni estranei alla composizione chimica del cristallo; in sostituzione di ioni propri del cristallo o in posizione interstiziale;

+ - + -
- + - +
+ - + -
- + - +

+ - + -
- + +
+ - + -
- + - +

+ - + -
- + - +
+ - -
- + - +

A – cristallo ideale;

B – vacanza da ione negativo e presenza di uno ione negativo interstiziale;

C – presenza di un'impurità divalente positiva e vacanza da ione positivo;

Come si è detto, le imperfezioni alterano localmente la periodicità spaziale del potenziale. Si può dimostrare che ciò comporta la comparsa in corrispondenza delle imperfezioni, di nuovi livelli energetici, che sarebbero altrimenti proibiti.

Ora, se il cristallo è esposto a radiazioni ionizzanti, un certo numero di elettroni riceverà energia sufficiente per passare dalla banda di valenza a quella di conduzione, lasciando altrettante lacune positive nella banda di valenza. Sia gli elettroni passati nella banda di conduzione, sia le lacune prodottesi nella banda di valenza, sono liberi di migrare attraverso il cristallo. Il moto di una lacuna è in realtà dovuto al moto, diretto in senso opposto, degli elettroni della banda di valenza.

Dopo l'irraggiamento un certo numero di elettroni liberi e di lacune si ricombinano, con emissione di radiazione elettromagnetica. Una piccola frazione invece, passando vicino a delle imperfezioni, ne viene attirata e compie una transizione ad uno dei livelli energetici da esse introdotti.

Si avranno così degli elettroni e delle lacune "intrappolati" presso imperfezioni che producono, rispettivamente, eccessi locali di carica positiva e negativa e che vengono comunemente denominate "trappole". La ragione di questa terminologia risiede nel fatto che gli elettroni e le lacune, a meno che non ricevano energia sufficiente per tornare rispettivamente nella banda di conduzione e in quella di valenza, rimangono stabilmente legati alle imperfezioni.

L'intervallo d'energia che esiste fra la banda di conduzione e il livello dell'elettrone intrappolato (o, rispettivamente, fra la banda di valenza e il livello della lacuna intrappolata) viene denominato "profondità della trappola".

Si è visto che una frazione degli elettroni liberi e delle lacune prodotte dalla radiazione viene intrappolata presso le imperfezioni del cristallo. Gli elettroni e le lacune intrappolati, se ricevono energia superiore alla profondità delle trappole, raggiungono rispettivamente la banda di conduzione o quella di valenza, ridivenendo liberi di migrare attraverso il cristallo. L'energia può essere fornita o da radiazione sufficientemente energetica o dalle vibrazioni termiche degli atomi del cristallo.

Gli elettroni e le lacune resi liberi, possono in piccola percentuale essere reintrappolati, mentre la maggior parte si ricombina emettendo radiazione elettromagnetica prevalentemente nel visibile.

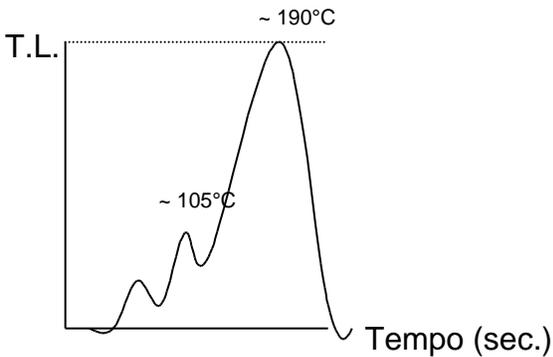
Se l'energia per liberare gli elettroni e le lacune delle trappole è fornita da radiazione luminosa il fenomeno è detto "luminescenza stimolata otticamente"; se è fornita dalle vibrazioni termiche a temperatura ambiente, si ha il fenomeno della "fosforescenza". Se infine è fornita mediante riscaldamento il fenomeno viene detto "termoluminescenza".

Se il cristallo, dopo essere stato irraggiato, viene riscaldato con continuità e se si fa il grafico dell'intensità dell'emissione luminosa in funzione della temperatura o del tempo, si ottiene una curva che viene denominata "glow curve" (curva di luminescenza).

L'andamento della glow curve è facilmente interpretabile: finché la temperatura è molto inferiore alla profondità della trappola, si avrà svuotamento di trappole. Aumentando la temperatura le trappole

cominceranno a svuotarsi a velocità via via crescente; la luminescenza crescerà fino ad un valore massimo, per poi decrescere in corrispondenza dell'esaurimento del numero delle trappole piene.

La maggior parte dei materiali termoluminescenti possiede tuttavia trappole di differenti profondità, cosicché in generale una glow curve presenta diversi picchi.



I picchi che compaiono a temperature più basse sono dovute a trappole di minore profondità, quelli che compaiono a temperature più alte dipendono da trappole di maggiore profondità.

Riassumendo: quando un cristallo isolante contenente imperfezioni è esposto a radiazioni ionizzanti, una frazione dell'energia assorbita (0.04% ÷ 2%) viene immagazzinata per il fenomeno dell'intrappolamento, e può essere in seguito riemessa, sotto forma di radiazione luminosa, quando il cristallo viene riscaldato.

Se la distribuzione delle trappole in funzione della profondità rimane costante nel tempo, l'energia immagazzinata da uno stesso campione di cristallo, è proporzionale alla dose assorbita.

2. Rivelatori della TL

I solidi cristallini che presentano il fenomeno della T.L. sono molti; tuttavia solo un ristretto numero di essi possiede le proprietà necessarie per un impiego in dosimetria.

Queste proprietà sono:

- 1- Alta concentrazione di trappole per elettroni e per lacune per avere l'immagazzinamento di una consistente quantità d'energia durante l'esposizione;
- 2- Un'alta efficienza di luminescenza nei processi di combinazione fra elettroni e lacune;
- 3- Una profondità delle trappole sufficientemente grande da avere alle temperature di impiego una buona conservazione dell'energia immagazzinata, ma non tanto elevata da richiedere temperature di riscaldamento che comporterebbero un'intensa emissione infrarossa. L'emissione infrarossa influenza, infatti, la rivelazione della luce T.L.;
- 4- Una distribuzione spettrale della luce T.L. compatibile con i rivelatori disponibili;
- 5- Un'alta stabilità della distribuzione delle trappole nei riguardi della radiazione ionizzante, per avere una risposta T.L. proporzionale alla dose assorbita;
- 6- Una scarsa tendenza a presentare fenomeni di luminescenza dovuti a combinazione con i gas atmosferici e ad effetti meccanici.

I materiali termoluminescenti vengono spesso attivati con impurità chimiche. Lo scopo degli attivatori, è quello di aumentare la sensibilità dei materiali e produrre uno spettro d'emissione della luce T.L. conosciuto. Nella seguente tabella sono riportati i materiali T.L. e le loro caratteristiche, impiegati comunemente impiegati in dosimetria

Materiale T.L.	Attivatori	Z-eff.	Picco Principale (°C)	Massimo di Emissione (nm)	Numero Dei picchi
Lif	Mg, Ti, Eu, Ca	8.3	230	400	6
CaF ₂	Mn	16.3	260	500	1
CaF ₂	Dy	16.3	215	500	3
CaF ₂	Naturale	16.3	260	380	6
BeO	?	7.1	180	350	1
Al ₂ O ₃	Cr	10.2	360	699	2
CaSO ₄	Mn	14.4	100	500	1
CaSO ₄	Sm	14.4	400	600	3
CaSO ₄	Mg	14.4	280	610	1
Li ₂ B ₄ O ₇	Mn	7.3	220	605	2
Srs	Eu, Sm	34.0	235	600	1
MgF ₂	Mn	10.4	130	590	3
2MgO.SiO	Tb	11.0	195	545	1
Vetro Al-P	Mn	12.0	270	560	1
Vetro Li-Si	Tb	10.7	260	420	1

Tabella 1. materiali T.L. ad alcune loro caratteristiche

I materiali T.L. sono comunemente disponibili sotto forma di:

- Compressa solida;
- Polvere libera;
- Polvere incorporata in una matrice;
- Polvere o campione solido incapsulati in un bulbo di vetro sotto vuoto o contenente gas inerte;

Diversi fosfori sono sensibili alla luce che può vuotare o anche riempire le trappole, alterando in ogni caso l'informazione dosimetrica. Questi fosfori devono quindi essere racchiusi in contenitori a tenuta di luce.

Alcuni tipi di contenitori contengono anche un filtro metallico per ridurre la dipendenza della risposta T.L. dall'energia della radiazione.

L'insieme del fosforo e di tutte le componenti ad esso connesse che ne permettono l'impiego costituisce il dosimetro T.L.

Oltre alle caratteristiche riportate in tabella 1, ve ne sono altre che devono essere prese in considerazione per il corretto impiego dei fosfori in dosimetria.

Queste sono:

- SENSIBILITA': la sensibilità può essere definita come la quantità di luce T.L. rilasciata da una massa unitaria di materiale T.L. per un'esposizione unitaria, ad un'energia fissata convenzionalmente.
- CURVA DI RISPOSTA AL VARIARE DELL'ESPOSIZIONE: questa curva rappresenta l'andamento della risposta T.L. in funzione dell'esposizione, per identici spettri energetici della radiazione incidente.

4. Misure e Calibrazioni fatte

1. TLD

Una delle attività di questo stage si basa sull'utilizzo dei dosimetri a termoluminescenza (TLD) per la misura della dose dovuta a radiazioni ionizzanti (R.I.).

La prima operazione consiste nell'azzeramento dei dosimetri tramite un apposito forno; stimolati termicamente, vengono privati dell'informazione in essi precedentemente contenuta. Il forno è regolato da un microprocessore ed è dotato di cicli ben precisi. Si tratta di una fase particolarmente delicata in quanto la risposta del dosimetro cambia se viene estratto dal forno a temperature diverse; è fondamentale pertanto essere riproducibili con se stessi. E' importante ricordare inoltre, che più è lento il ciclo e più è sensibile il dosimetro.

Il rivelatore della TL è costituito da:

1. una slitta porta-dosimetro
2. un circuito di riscaldamento
3. un tubo fotomoltiplicatore raffreddato termoelettricamente.

Ci sono infatti taluni elementi che bruciano ad una data temperatura, emettendo luce che interferisce con la misura. Per ovviare a questo problema si usa all'interno della camera oscura azoto liquido, un gas inerte che dissipa calore.

I dosimetri vanno collocati su di un piattello. Introdotti nella macchina, vengono stimolati termicamente e danno luogo ad una emissione luminosa. Nella camera di misura è sito un fotomoltiplicatore per la lettura della luce medesima. Il fotomoltiplicatore è un elemento sensibile alla luce che trasforma un lampo luminoso in un numero di elettroni, ossia una quantità di carica elettrica proporzionale all'intensità luminosa. Una volta amplificata, tale carica, viene inviata su di un ADC (convertitore analogico-digitale) e un software decide, sulla base delle specifiche del multicanale, dove mettere il conteggio.

L'apparato sperimentale si compone di due canali di misura per aumentare l'efficienza di lavoro; si avranno pertanto due elementi riscaldanti, due fotomoltiplicatori e due canali di conversione luce-conteggi, in parallelo.

Nel nostro caso si è lavorato sempre su uno stesso canale di misura, leggendo contemporaneamente due gruppi di TLD, poiché l'efficienza di riferimento non è uguale per entrambi.

2. Calibrazione in Energia e in Efficienza di un Rivelatore al Ge

L'obiettivo è quello di riconoscere le energie delle sostanze radioattive:

- Americio 241
- Cesio 137
- Cobalto 60
- Bario 133
- Europio 152

Per fare ciò si ritiene necessaria una calibrazione in funzione dell'energia. Occorre anche una calibrazione in efficienza in quanto non ci interessa soltanto l'energia del contaminante, ma anche la quantità in cui si presenta. Per realizzare quest'analisi quantitativa si adoperano le stesse sorgenti, di cui conosciamo:

- la quantità di fotoni emessi
- la data di produzione
- la distanza a cui la collochiamo
- le modalità di decadimento
- il numero dei fotoni incidenti
- il numero dei fotoni registrati

Per verificare la linearità dell'apparato si passa a fare una curva di taratura, del tipo canale-energia.

Dopo aver trasferito le sorgenti si imposta un intervallo di tempo di 300 secondi, sufficiente per questi nuclidi di breve intensità.

La retta ricavata passa per l'origine degli assi e risulta lineare.

Successivamente si è voluto realizzare una curva di calibrazione, che metta in relazione la misura letta con una quantità nota da noi impiegata; per costruirla si adoperano medesime sorgenti e medesime misure. E' nostra intenzione creare la curva dell'efficienza del rivelatore, che è variamente efficiente in tutte le zone dello spettro. Tale curva deve fornirci l'efficienza (geometrica) punto per punto.

L'efficienza e' ricavabile facendo il rapporto tra fotoni emessi realmente della sorgente, che conosciamo riportando tramite il tempo di dimezzamento l'attivita' al momento in cui effettuiamo la misura, e i fotoni registrati dal rivelatore.

All'atto della misura si adopera un campione puntiforme posto a una distanza ben precisa dal rivelatore. Si fanno tarature di diversa natura, con sorgenti puntiformi oppure con sorgenti introdotte nel becker di Marinelli che calza intorno al rivelatore e ne aumenta l'efficienza. Si inserisce inoltre la sorgente in una schermatura di piombo, per neutralizzare la radioattività che permea il nostro ambiente.

3. Tabelle e Grafici

MISURA DELL'ATTIVITA' DI ALCUNE SORGENTI

Elemento	A(t ₀) (Bq)	t trasc.(gg)	T _{1/2} (gg)	A(t) (Bq)	DA (Bq)
²⁴¹ Am	39886	6213	158043,7	38813,8	1072,2
¹³³ Ba	47545	6213	3835,1	15467,8	32077,2
¹³⁷ Cs	39294	6213	11012,3	26576,0	12718,0
⁶⁰ Co	39368	6213	1925,2	4204,1	35163,9
²² Na	37999	6213	950,4	409,1	37589,9

data di partenza: 01/03/1986

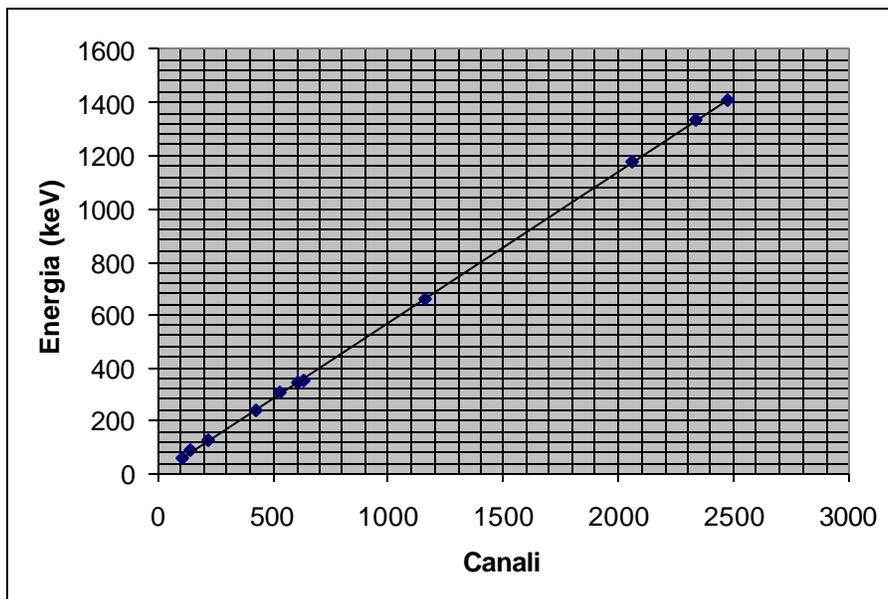
data di verifica: 05/03/2003

PICCHI E RADIONUCLIDI

Nuclide	Energia(keV)	Area Netta	EaA.N.	A.N. /3600	EaA.N. /3600
241 Am	59,54	11287	202	3,135	0,056
137 Cs	661,7	49481	248	13,745	0,069
60Co	1173,2	9192	123	2,553	0,034
60Co	1332,5	8184	96	2,273	0,027
152 Eu	121,78	172669	464	47,964	0,129
152 Eu	244,7	32706	231	9,085	0,064
152 Eu	344,28	91552	332	25,431	0,092
152 Eu	778,9	20744	176	5,762	0,049
152 Eu	964,05	19429	166	5,397	0,046
152 Eu	1085,84	10659	159	2,961	0,044
152 Eu	1112,09	16717	154	4,644	0,043
152 Eu	1408,02	20694	147	5,748	0,041

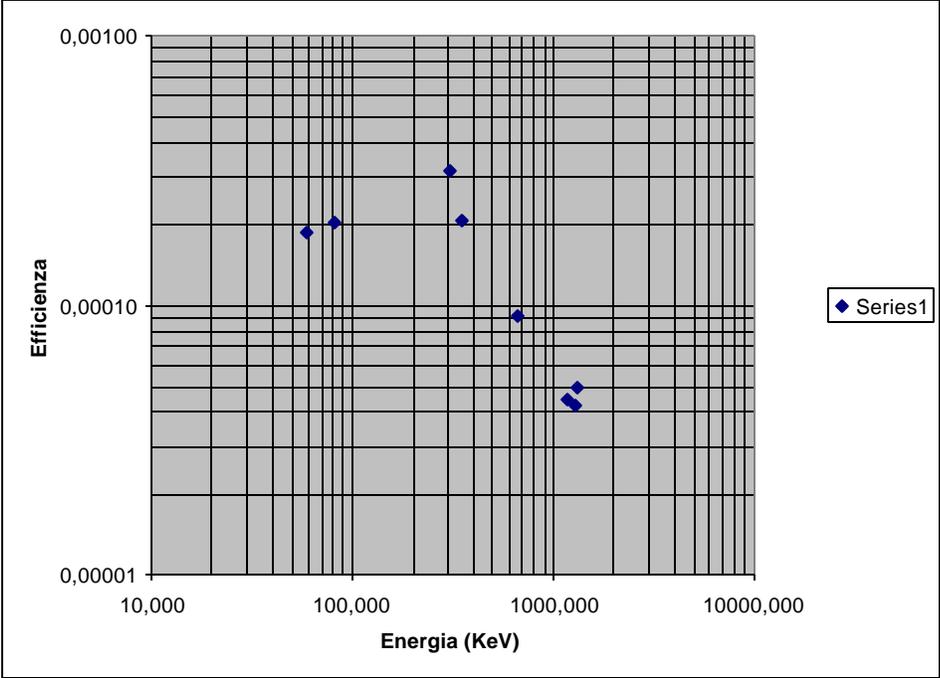
Calibrazione di un rivelatore al Germanio

Elemento	E (keV)	Ch
Am	59,54	106
Ba	90,99	143
Eu	121	215
Eu	244	430
Ba	302	532
Eu	344	604
Ba	356	626
Cs	661	1162
Co	1173	2060
Co	1332	2339
Eu	1408	2472



Curva di efficienza per alcuni materiali

elem.	A(t) (Bq)	Cps (s ⁻¹)	E _a Cps (s ⁻¹)	Abb %	Eff (Bq*s) ⁻¹	E _a (Bq*s) ⁻¹	E (KeV)
²⁴¹ Am	38813,8	263	1	35,9	0,000189	0,000001	59,54
¹³³ Ba	15467,8	57,8	0,5	18,3	0,000204	0,000002	80,99
¹³³ Ba	15467,8	166,3	0,8	34,1	0,000315	0,000001	303
¹³³ Ba	15467,8	196,8	1,0	62,0	0,000205	0,000001	356
¹³⁷ Cs	26576,0	206,8	0,8	85,2	0,0000913	0,0000004	661,66
⁶⁰ Co	4204,1	19,0	0,3	99,89	0,000045	0,000001	1173
⁶⁰ Co	4204,1	21,0	0,3	99,98	0,000050	0,000001	1332
²² Na	409,1	1,7	0,7	99,9	0,000042	0,000017	1274,5



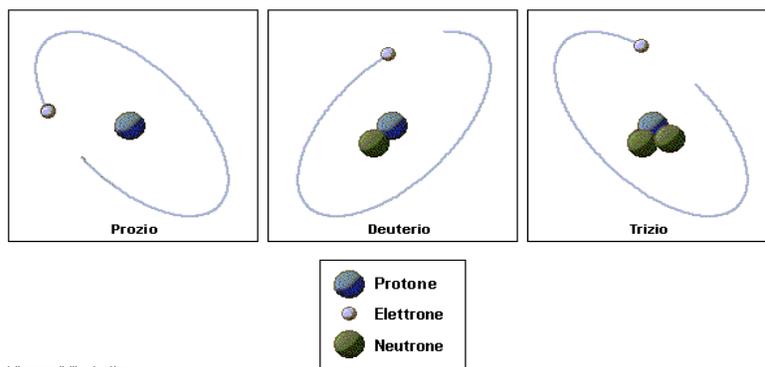
5. Esperienza con l'Indio¹¹⁶

1. Introduzione agli Isotopi

Si dicono isotopi atomi i cui nuclei sono costituiti da uno stesso numero di protoni e da un differente numero di neutroni.

Gli isotopi hanno così diverso numero di massa e uguale numero atomico. La parola isotopo deriva dal greco e significa stesso posto, perché atomi con lo stesso numero atomico appartengono ad un elemento che occupa lo stesso posto nella tabella degli elementi.

Di solito si rappresenta un determinato isotopo con il nome o simbolo dell'elemento di appartenenza e col numero di massa. Per esempio, nel caso del Radio, abbiamo: ^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{225}Ra ecc. In basso si indica il numero atomico, Z, ed in alto il numero di massa A.



Con la scoperta della radioattività, alla fine del XIX secolo, e le conseguenti ricerche sugli elementi prodotti in processi naturali di disintegrazione radioattiva, fecero giungere alla conclusione che atomi facenti parte dello stesso elemento, potessero avere differenti masse atomiche. Nel 1913, F. Soddy propose di chiamare tali atomi isotopi.

In natura sono stati riconosciuti 290 diversi isotopi variamente distribuiti tra tutti gli elementi: mentre pochi elementi sono presenti in natura con un solo isotopo, come il Fluoro, l'Oro, la maggioranza vi sono presenti con vari isotopi, fino a dieci nel caso dello Stagno. Oltre agli isotopi naturali, ci sono isotopi artificiali prodotti attraverso reazioni nucleari.

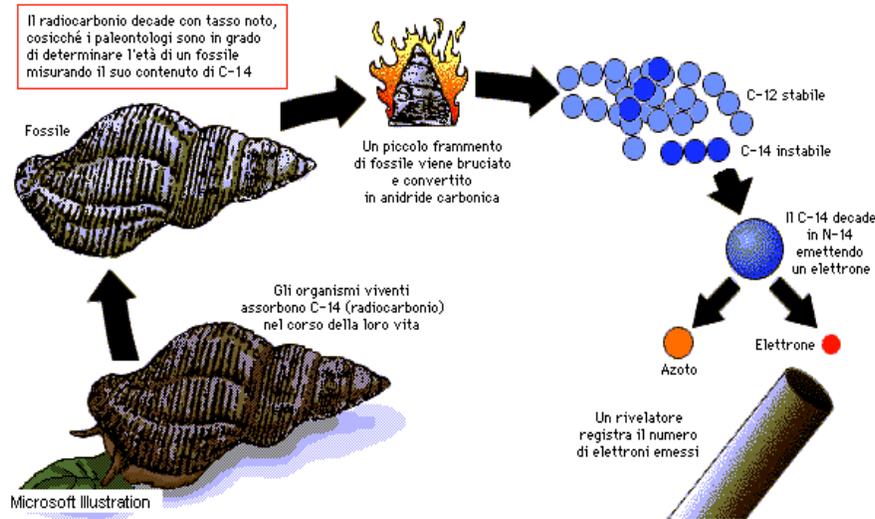
Gli isotopi di un elemento possono essere radioattivi o stabili. La massima parte degli elementi in natura è costituita da miscele di isotopi stabili.

Altri elementi infine, quali i transuranici, non individuati in quantità apprezzabili in natura, sono noti soltanto attraverso i loro isotopi artificiali radioattivi.

Tra un isotopo e l'altro, anche se appartenenti al medesimo elemento, si notano molte differenze di tipo chimico-fisiche, per esempio l'energia cinetica o le vibrazioni.

Gli isotopi radioattivi puri o in opportune miscele trovano numerose applicazioni in diversi settori della ricerca scientifica e vengono largamente impiegati nell'industria. Ricordiamo qualche applicazione pratica, come la datazione radioattiva che permette di determinare l'età delle rocce o di reperti archeologici, come i fossili (OROLOGI RADIOATTIVI) e some le sorgenti ionizzanti, o energetiche (fissione e fusione).

Nel campo della ricerca chimica e biologica, gli isotopi radioattivi sono utilizzati per rintracciare ciò che accade in sostanze diverse nei processi.



2. Attività e Tempo di Dimezzamento

L'attività rappresenta il numero di disintegrazioni al secondo della massa dell'atomo di un isotopo radioattivo. La sua unità di misura è il Becquerel (Bq); 1 Bq= 1 disintegrazione al secondo. In passato l'unità di misura dell'attività era il Curie (Cu); 1 Cu= $3.7 \cdot 10^{10}$ Bq. La formula per ricavare l'attività è la seguente:

$$A(t) = A(t_0) \cdot e^{-\ln 2 \cdot t / T_{1/2}}$$

Il Tempo di dimezzamento è il tempo necessario affinché un radionuclide, decadendo secondo una legge di tipo esponenziale, riduca a metà la propria radioattività, cioè il tempo alla fine del quale la metà degli atomi radioattivi, inizialmente presenti, si è trasformata spontaneamente.

Gli isotopi radioattivi, sono quindi dei veri e propri “indicatori di tempo”. Infatti conoscendo la loro attività iniziale e rilevando con un opportuno strumento l'attività al momento della rilevazione, possiamo calcolare di quanto è diminuita e capire quanto tempo è passato dalla precedente taratura di quell'elemento ad oggi.

Esperienza con l'Indio

Nella nostra esperienza di laboratorio, abbiamo voluto individuare il tempo di dimezzamento dell' ¹¹⁶In: considerati quattro dei suoi picchi più rilevanti, abbiamo effettuato 19 misurazioni della durata di 10 min ciascuna, osservando l'andamento dei conteggi di ciascun picco. Infine, tracciando il grafico relativo ai valori in tabella, mettendo in ascissa il tempo trascorso dall'inizio dell'esperienza e in ordinata il numero dei conteggi trovati abbiamo concluso che il tempo di dimezzamento dell' ¹¹⁶In è di circa 55min.

Curva oraria dell'Indio

	t(s)	Cont. picco1	E _a	Cont. picco 2	E _a	Cont. picco 3	E _a	Cont. picco 4	E _a
		2376-2406		4676-4714		6268-6317		7396-7436	
	0	795	31	174	25	718	35	927	32
1	600	733	28	133	22	601	35	746	32
2	1200	608	27	113	24	574	30	654	30
3	1800	604	27	137	20	498	31	583	27
4	2400	532	26	97	16	452	27	557	23
5	3000	391	26	108	15	392	25	421	24
6	3600	359	21	80	18	331	23	425	22
7	4200	332	22	77	13	319	21	329	21
8	4800	305	19	64	10	280	18	309	18
9	5400	284	19	58	14	239	21	280	17
10	6000	189	16	56	11	244	20	265	17
11	6600	176	19	58	9	166	15	235	17
12	7200	175	14	28	14	177	20	166	15
13	7800	161	14	37	11	140	17	186	13
14	8400	131	14	23	11	110	18	143	13
15	9000	145	13	19	11	105	15	119	14
16	9600	86	11	19	10	102	12	98	11
17	10200	103	13	10	10	94	9	99	9
18	10800	63	10	24	9	88	9	81	11
19	11400	75	9	20	9	68	11	64	12

E=416.6 KeV

E=618.7 KeV

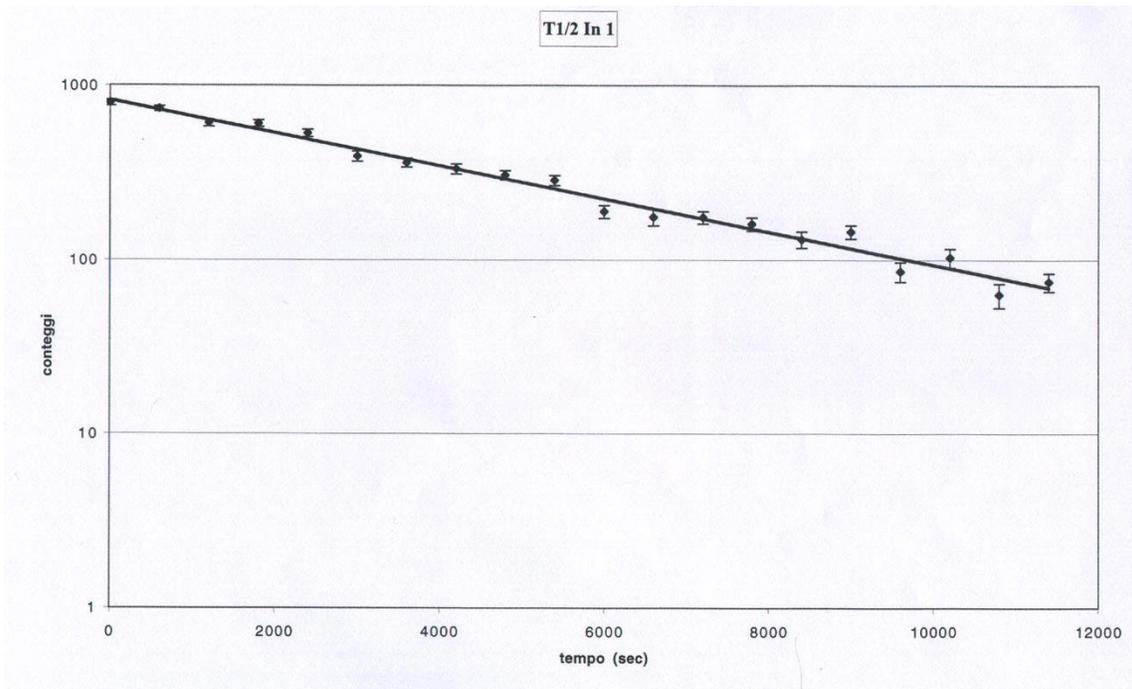
E=1097.37 KeV

E=1953.54 KeV

PICCO n°1

Canali 2376-2406

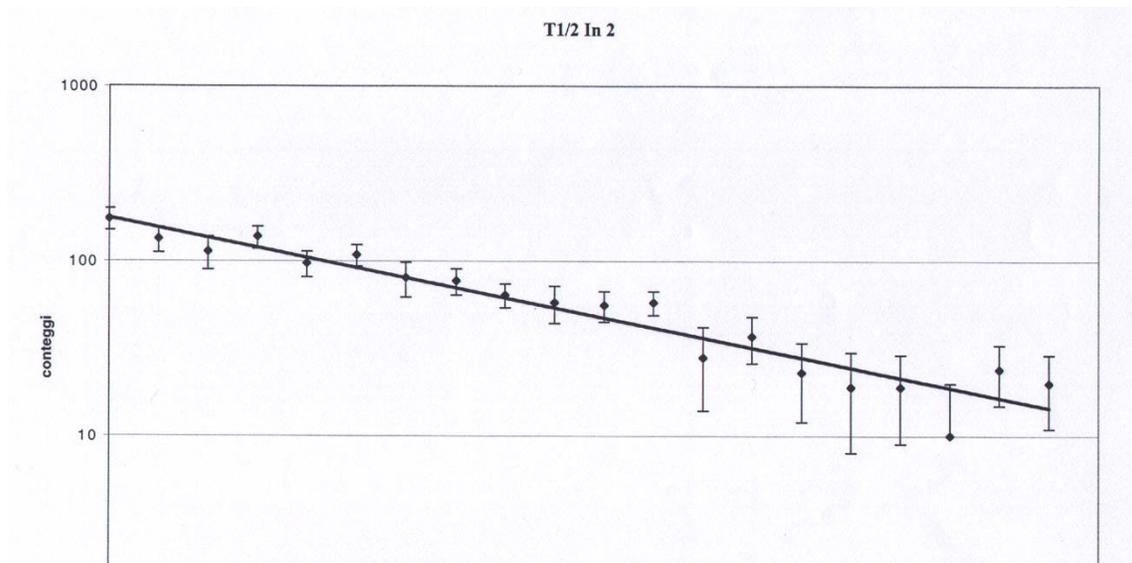
Energia 416.6 keV



PICCO n°2

Canali 4676-4714

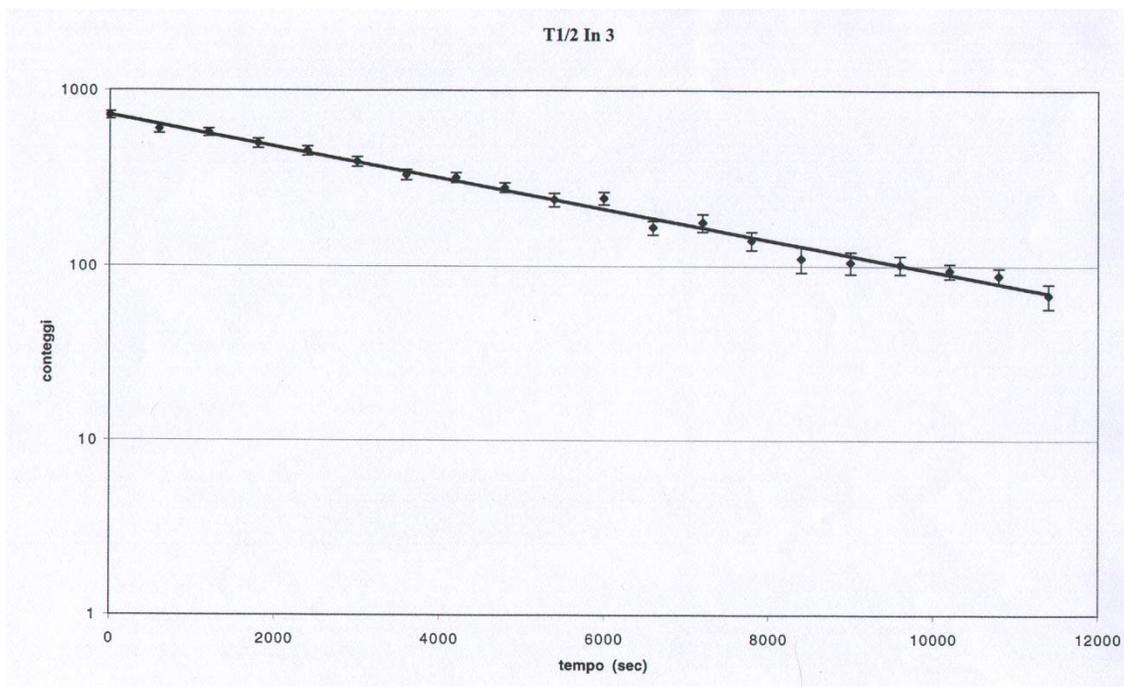
Energia 618.7 ke



PICCO n°3

Canali 6268-6317

Energia 1097.37 keV



PICCO n°4

Canali 7396-7436

Energia 1953.54 keV

