

**PID@LNS Programma INFN Docenti
ai Laboratori Nazionali del Sud (Catania) 6–10 Nov 2023**

Laboratorio di Misure di Radioattività

Giuseppe Gabriele Rapisarda (DFA-UNICT & LNS-INFN)

Renata Leanza (LNS-INFN)

Laboratorio di Misure di Radioattività

- Misurare la costante di decadimento e l'attività di un radionuclide in spettrometria-gamma
- Descrizione di alcuni rivelatori per la misura della concentrazione di radon in aria

Rivelazione di particelle

Dalla rivelazione al risultato sperimentale



Spettrometria Gamma

Cosa serve per effettuare una misura in spettrometria –Gamma

- Rivelatore
- Sistema di Acquisizione
- Procedura di calibrazione del rivelatore in:
energia e efficienza
- Contare le particelle emesse dalla sorgente
- Analizzare lo spettro
- Calcolare le grandezze fisiche di interesse

"Detective X" - ORTEC

Rivelatore HPGe P-type coassiale (diametro 65 mm, lunghezza 50 mm)

Risoluzione: 2.0 keV;

Efficienza del 40% per i raggi gamma da 1.332 MeV del ^{60}Co ;

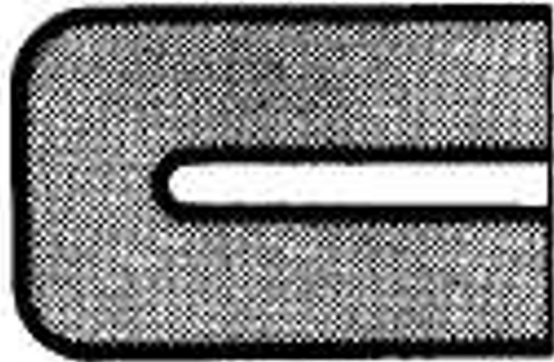
- É usato per l'identificazione dei radionuclidi e per determinare l'attivazione dei materiali dovuta all'esposizione ai raggi gamma.
- Si auto calibra usando il ^{40}K che produce un picco gamma a 1460.75 keV.

Il Detective X può essere usato sia come rivelatore fisso che come rivelatore portatile per misure di tipo outdoor/in situ.

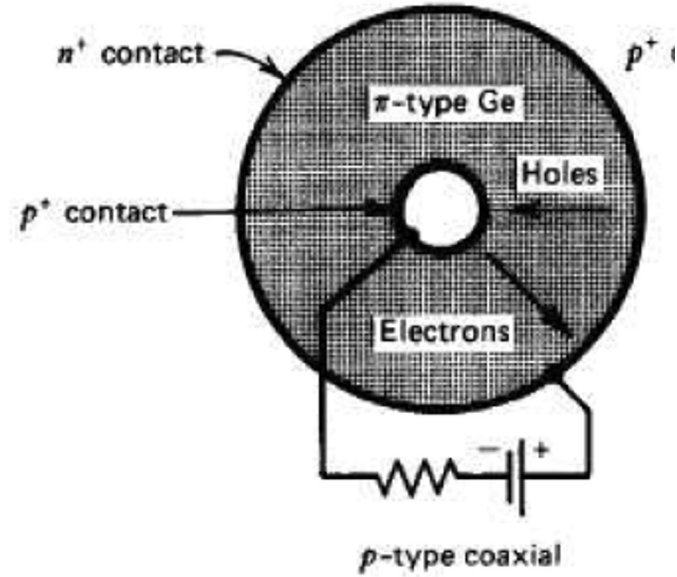
La temperatura a cui lavora (77K) è raggiunta grazie ad un sistema di raffreddamento "low-power Stirling cooler"



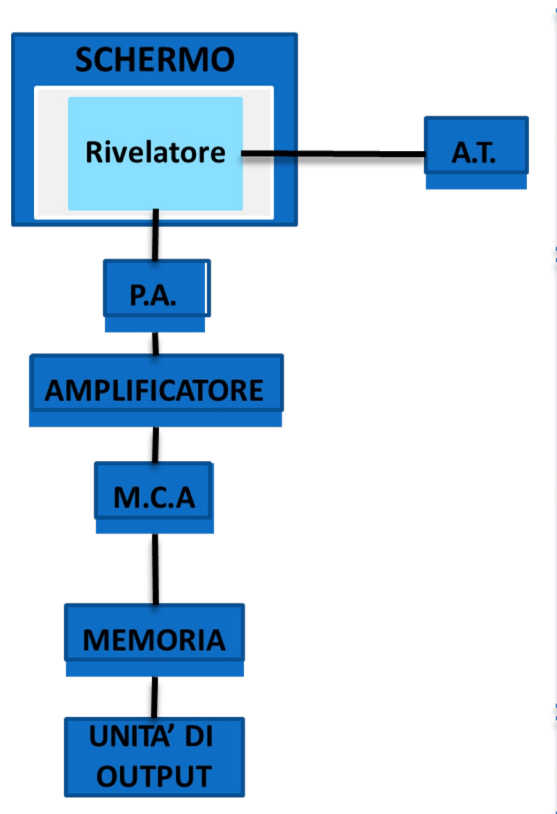
P-type HPGe



Closed-ended coaxial
(bulletized)



SCHEMA A BLOCCHI



SISTEMADI RIVELAZIONE

Sistemi a stato solido (HPGe germanio iperpuro) **risoluzione in energia molto più elevata.**

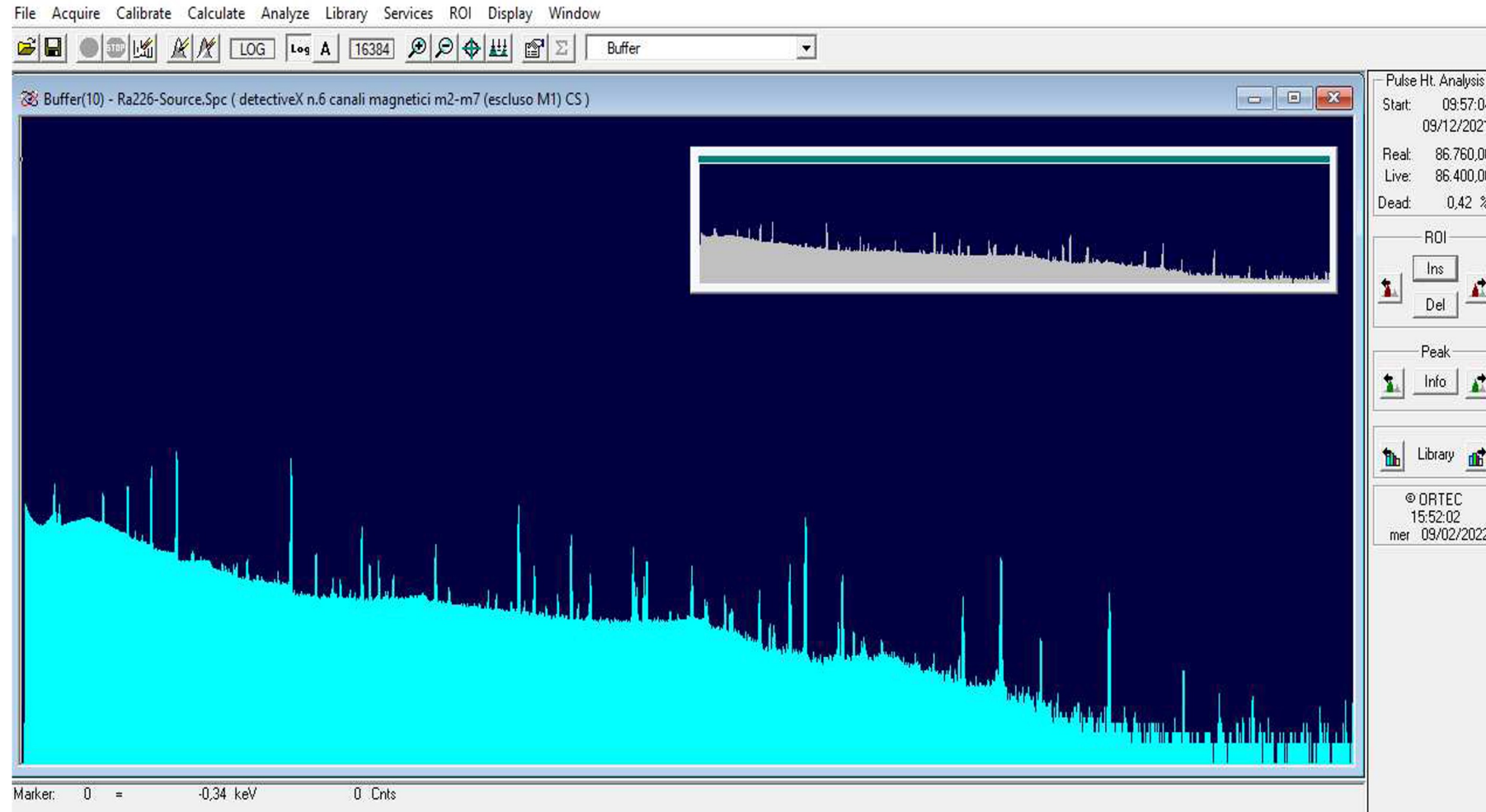
SISTEMADI ANALISI DI IMPULSI

SISTEMADI REGISTRAZIONE DATI

- Quando una radiazione gamma è assorbita dal rivelatore si genera un segnale piccolo (impulso).
- Il segnale generato è amplificato e filtrato per ridurre il rumore.
- Le dimensioni del segnale sono proporzionali all'energia del fotone.
- Un "Analog To Digital Converter" (ADC) converte ogni impulso in un numero corrispondente ad un canale che viene registrato come conteggio tramite un "Multichannel Analyzer" (MCA).
- Il risultato è un istogramma dell'impulso (chiamato spettro) che viene visualizzato attraverso il MCA.

Software di Acquisizione e Analisi Dati

GammaVision-32 V5.2 è un software integrato per l'acquisizione dati e l'analisi spettrale.



Cosa osserviamo nello spettro ?

Meccanismi di interazione gamma-materia

- Effetto fotoelettrico
- Effetto Compton
- Produzione di coppia

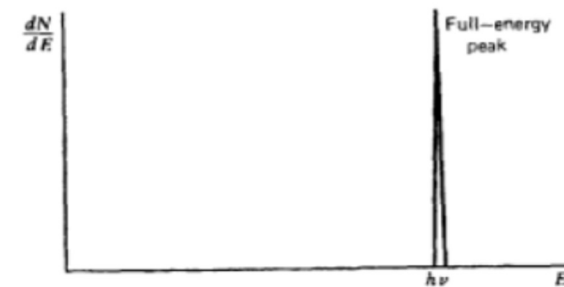
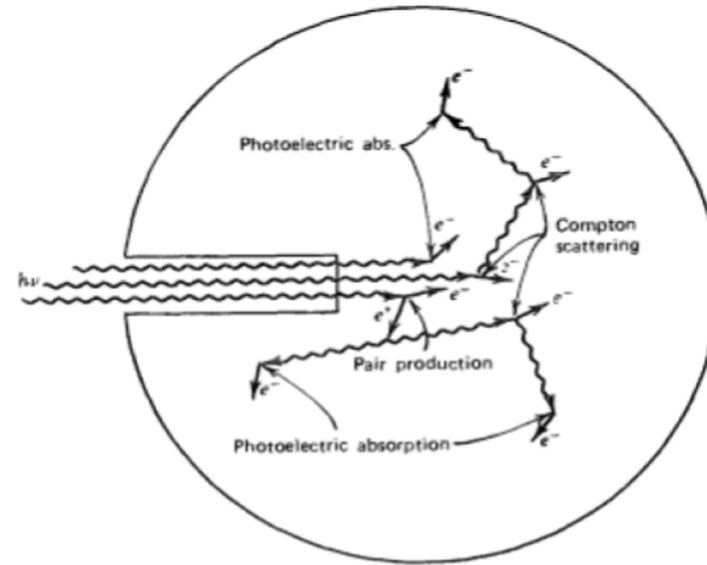


Figure 10.3 The “large detector” extreme in gamma-ray spectroscopy. All gamma-ray photons, no matter how complex their mode of interaction, ultimately deposit all their energy in the detector. Some representative histories are shown at the top.

Cosa osserviamo nello spettro ?

Meccanismi di interazione gamma-materia

- Effetto fotoelettrico
- Effetto Compton
- Produzione di coppia

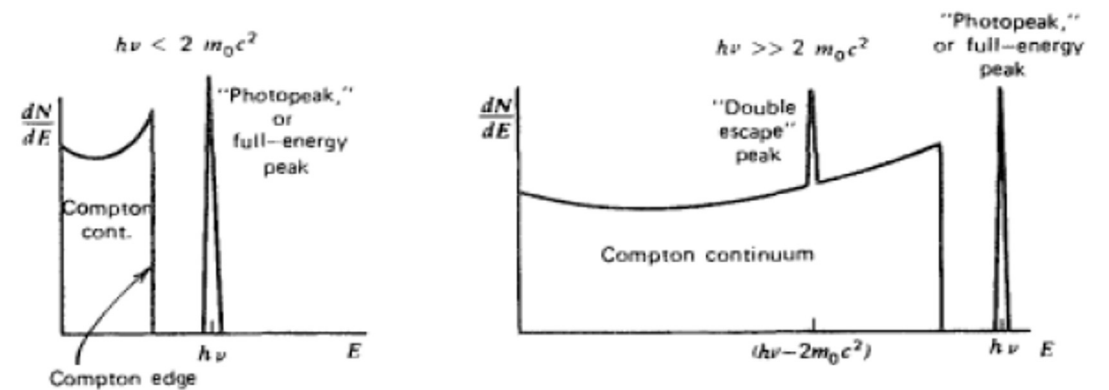
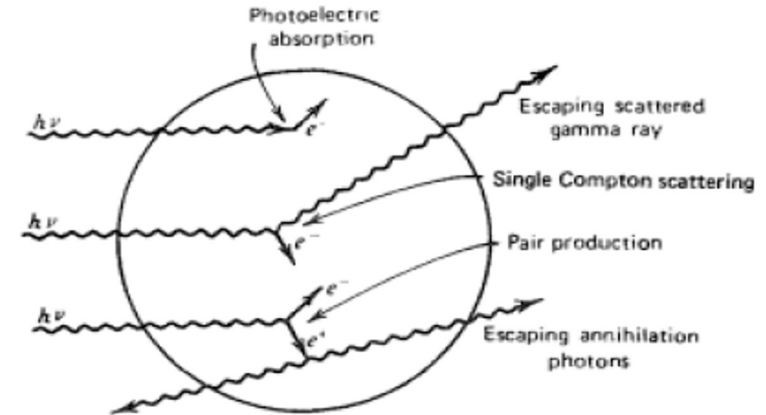


Figure 10.2 The "small detector" extreme in gamma-ray spectroscopy. The processes of photoelectric absorption and single Compton scattering give rise to the low-energy spectrum at the left. At higher energies, the pair production process adds a double escape peak shown in the spectrum at the right.

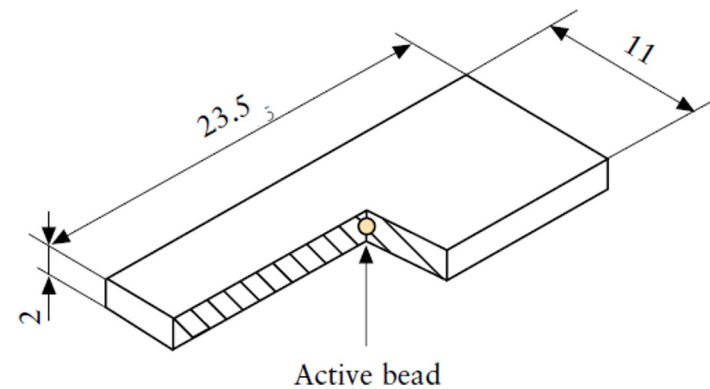
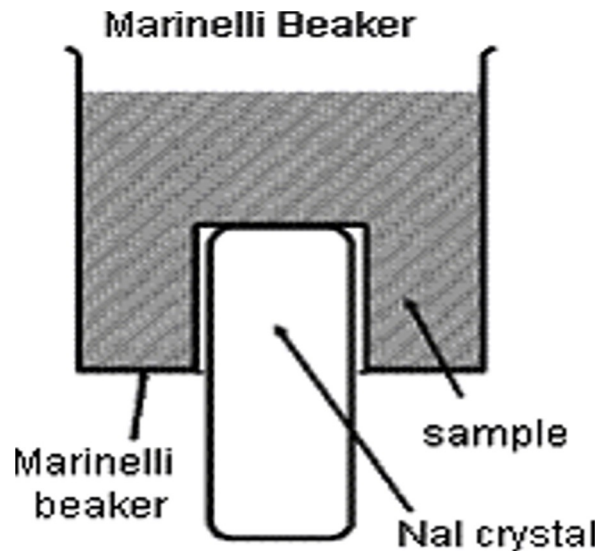
Calibrazione del Sistema

La calibrazione del rivelatore viene eseguita utilizzando i fotoricchi di una fonte nota, come il cesio-137 o il cobalto-60.

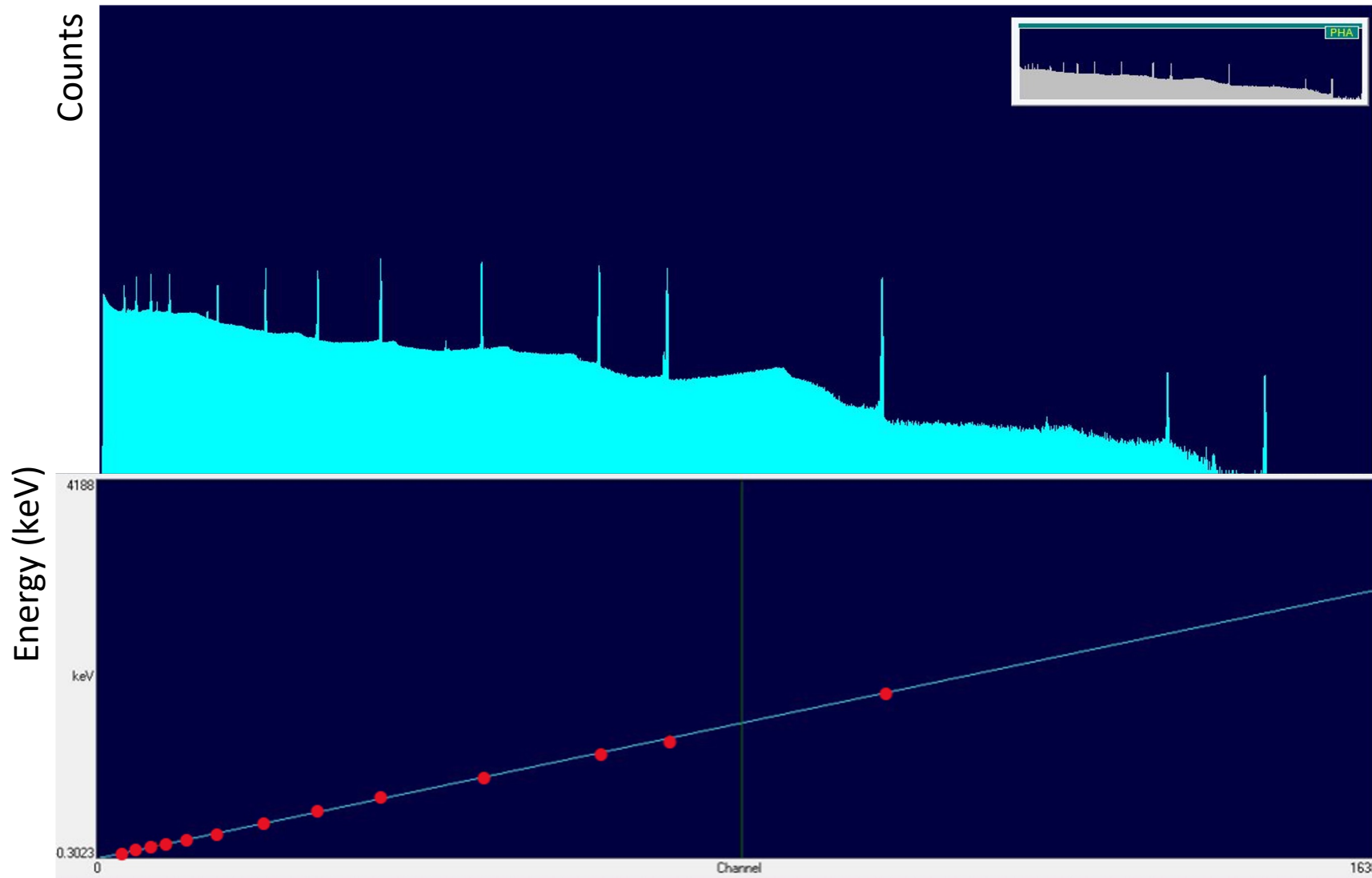
Calibrazione in ENERGIA: la scala dei canali può poi essere convertita in una scala di energie.

Calibrazione in efficienza: le intensità di una sorgente sconosciuta possono essere misurate.

Si fa uso di sorgenti di calibrazione: sorgenti certificate di cui si conosce l'attività



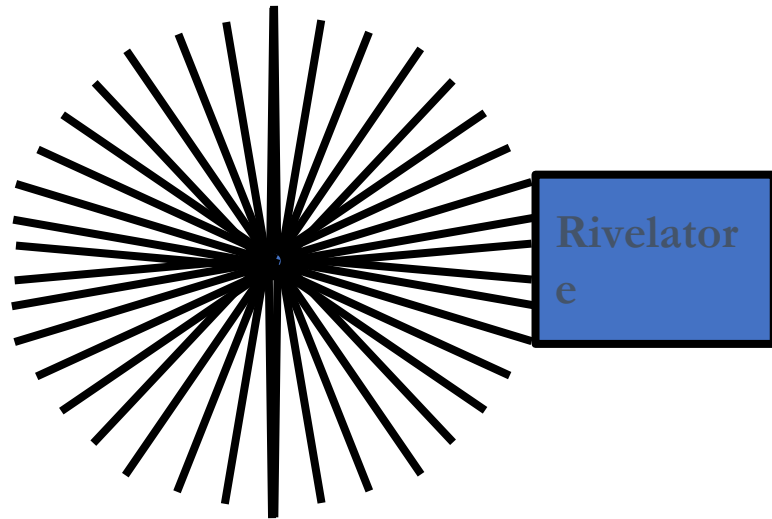
Calibrazione in energia



Nuclide	Gamma-ray Energy (keV)
^{241}Am	60
^{109}Cd	88
^{57}Co	122
^{139}Ce	166
^{203}Hg	279
^{113}Sn	392
^{85}Sr	514
^{137}Cs	662
^{88}Y	898
^{60}Co	1173
^{60}Co	1333
^{88}Y	1836

Energy (channel)

Calibrazione in efficienza



Sorgente puntiforme

$$\epsilon_{geo} = \frac{\Omega}{4\pi} \quad \Omega \cong \frac{A}{d^2}$$

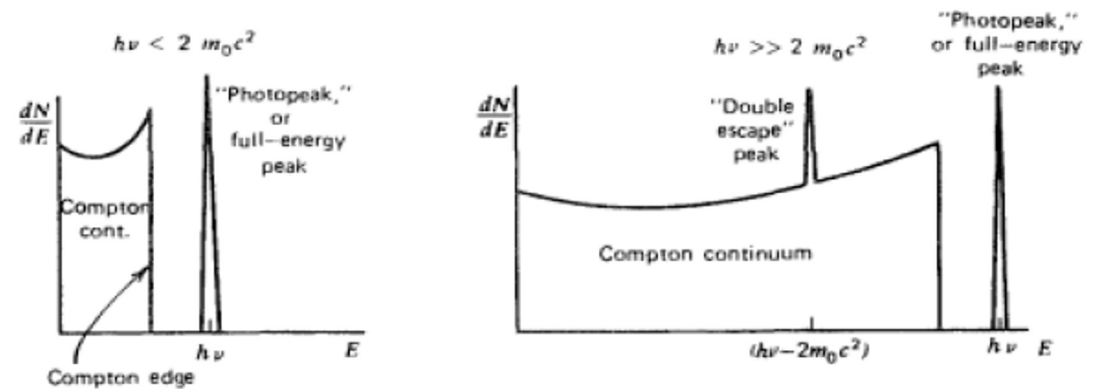
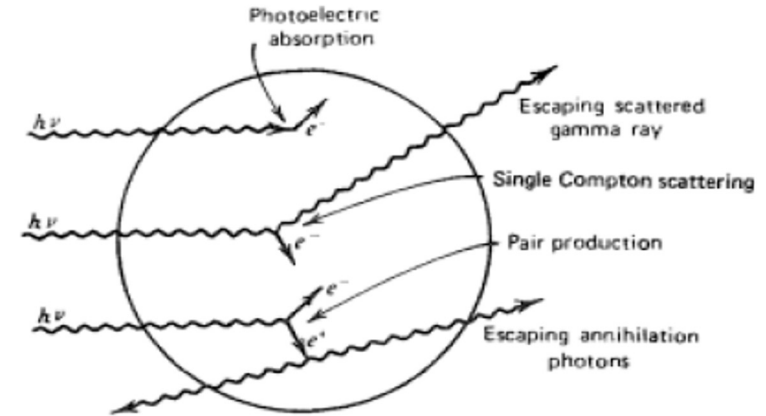


Figure 10.2 The “small detector” extreme in gamma-ray spectroscopy. The processes of photoelectric absorption and single Compton scattering give rise to the low-energy spectrum at the left. At higher energies, the pair production process adds a double escape peak shown in the spectrum at the right.

Calibrazione in efficienza

L'efficienza totale, \mathcal{E}_{tot} , è definita come:

$$\mathcal{E}_{tot} = \frac{\text{eventi registrati}}{\text{eventi emessi dalla sorgente}} \simeq \mathcal{E}_{geom} \cdot \mathcal{E}_{int}$$

L'efficienza intrinseca è la frazione di radiazione emessa dalla sorgente che effettivamente colpisce il rivelatore e dipende solo dal **tipo di radiazione**, dalla sua **energia** e dal **materiale del rivelatore**.

L'efficienza geometrica è la frazione della radiazione emessa intercettata dal volume del rivelatore e dipende completamente dalla sua **configurazione geometrica** e dalla **distribuzione angolare della radiazione**.

$$\mathcal{E} = \frac{C}{t A b}$$

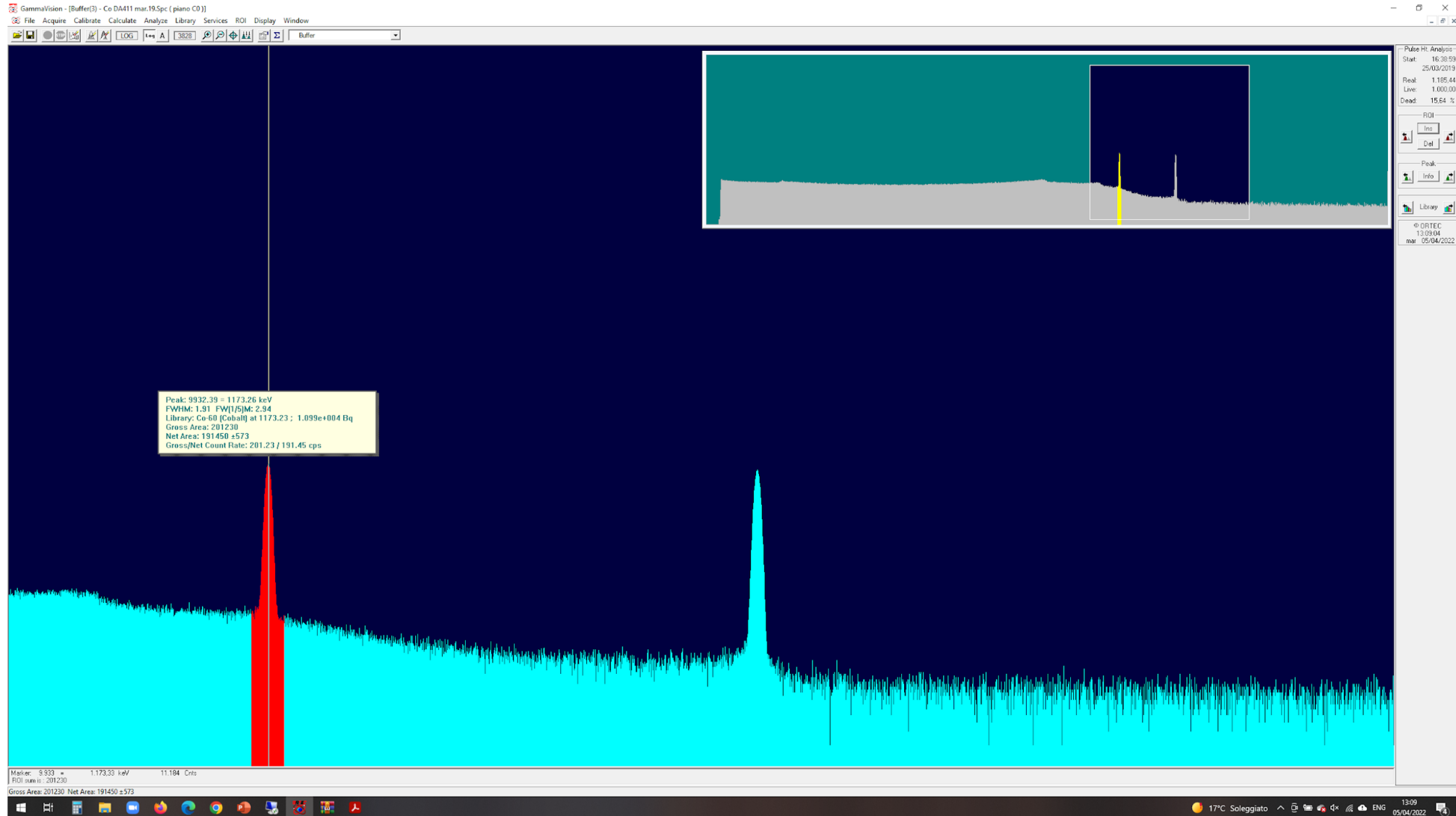
C Numero di conteggi
A Attività della sorgente nota
t Tempo di acquisizione
b branching ratio.

Bisogna sempre specificare: **forma** della sorgente, il suo **stato fisico**, la sua **distanza**, la sua **conformazione rispetto al rivelatore** e tutto ciò che possa modificare il numero di fotoni incidenti sul rivelatore dello spettrometro a parità di attività della sorgente.

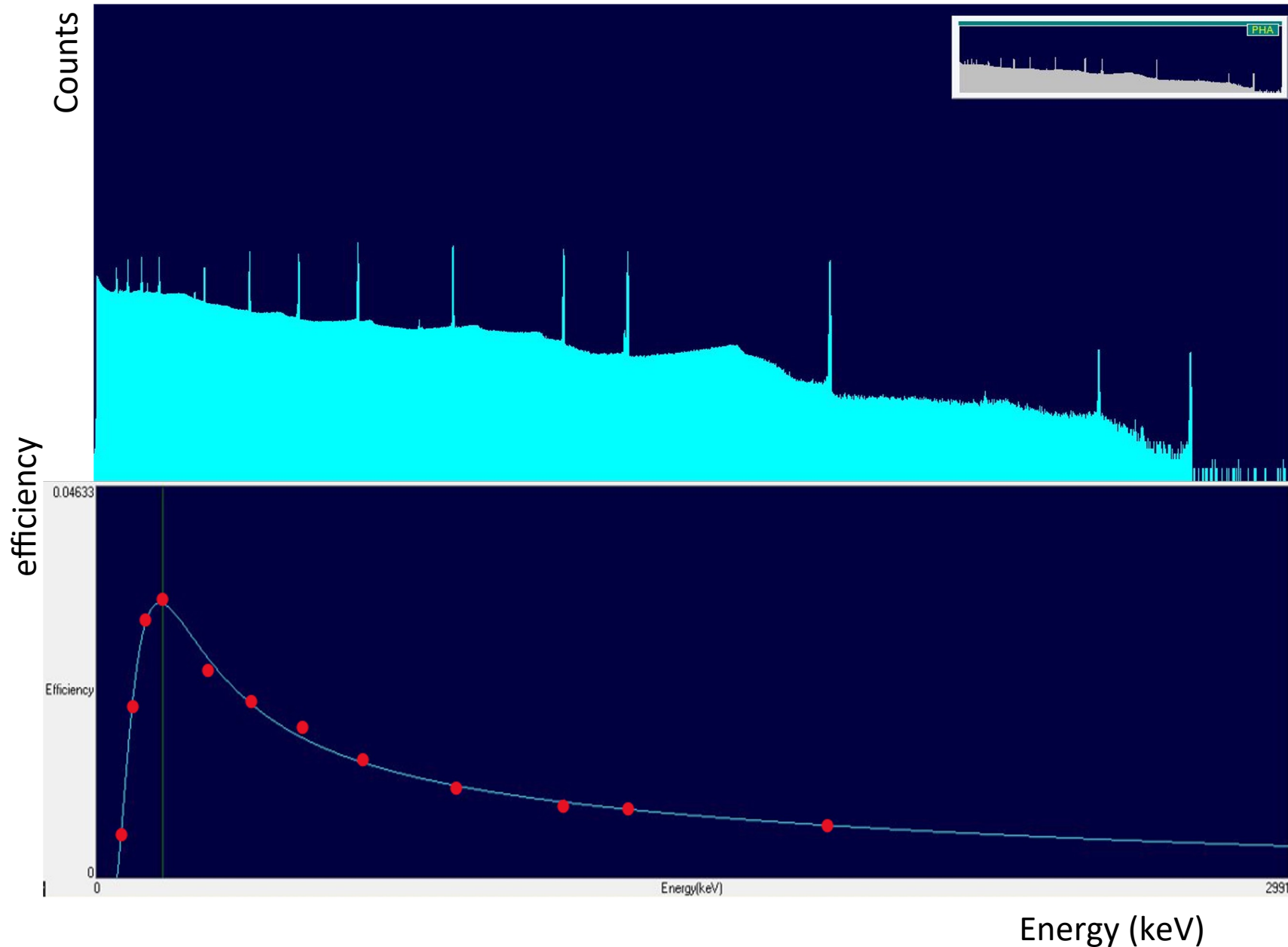
L'efficienza si determina dopo aver effettuato la taratura canale-energia dell'analizzatore multicanale e richiede la disponibilità di diverse sorgenti di radiazione gamma con attività nota.

Calibrazione in efficienza

I singoli valori ε in corrispondenza di ciascun valore di E_γ variabile fra $E_{\gamma min}$ e $E_{\gamma max}$, possono essere interpolati ottenendo in tal modo una curva che costituisce la curva di taratura dello spettrometro, necessaria per effettuare misure entro l'intervallo di energia compreso fra $E_{\gamma min}$ e $E_{\gamma max}$



Calibrazione in efficienza



L'efficienza varia se cambia la distanza della sorgente dal rivelatore, se la sostanza in cui è contenuto il materiale radioattivo ha una densità diversa e quindi un diverso potere di attenuazione della radiazione, se variano forma e dimensioni del contenitore in cui è posta la sostanza radioattiva da misurare.

Calcolo dell'attività

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N = N_0 - N_0 e^{-\lambda T} = N_0 (1 - e^{-\lambda T})$$

Dato un certo radioisotopo con costante di decadimento λ
 N è il numero di decadimenti al tempo T (tempo di acquisizione)
 N_0 numero di nuclei al tempo $t = 0$

Se il tempo di acquisizione è molto più piccolo del tempo di vita media $T \ll \tau = \frac{1}{\lambda} \longrightarrow N \sim \frac{N_0 \cdot T}{\tau}$

Dalla misura di $N = \frac{C}{\varepsilon \cdot b}$ con
con

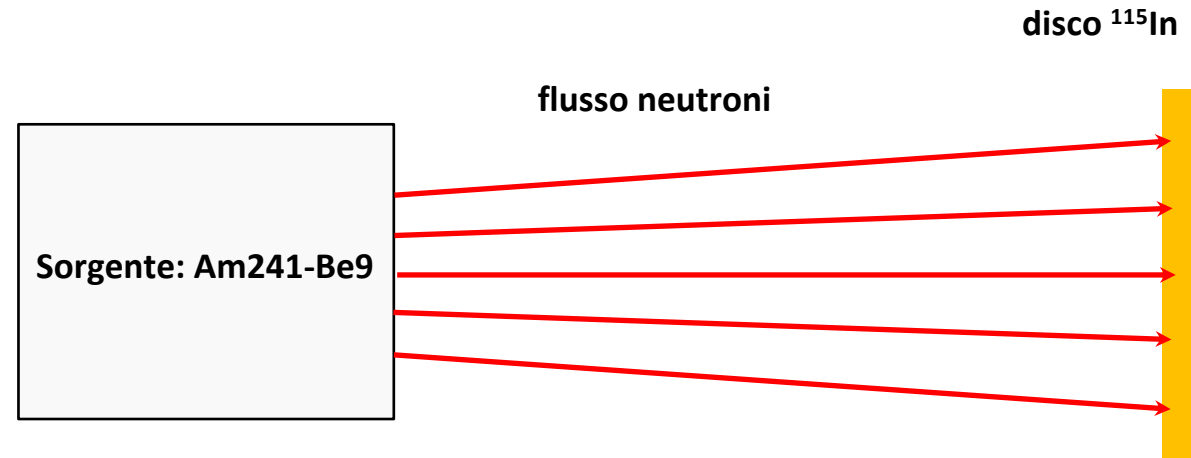
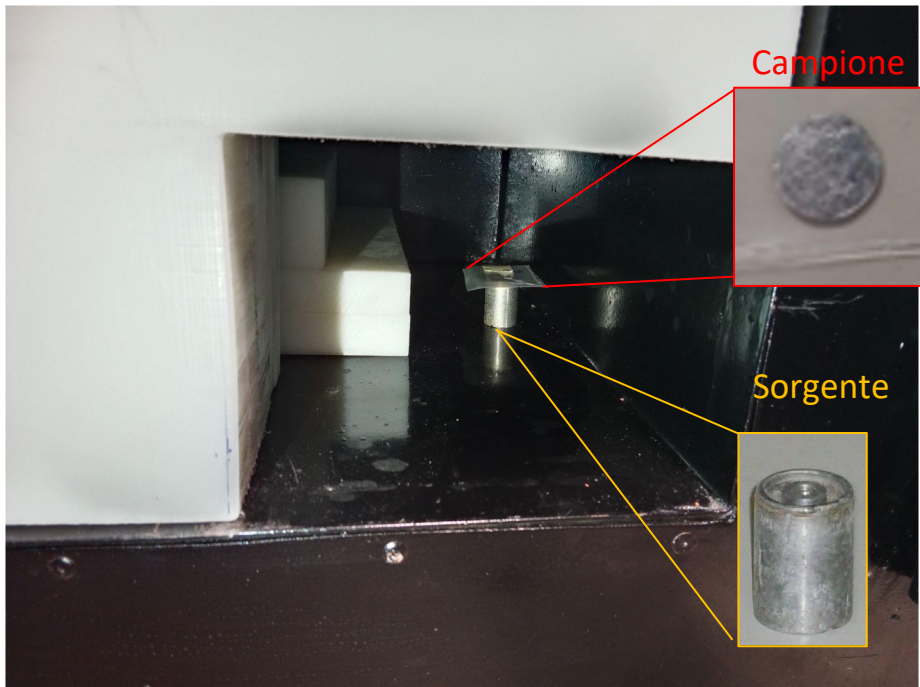
$\left. \begin{array}{l} C \text{ numero di conteggi del picco;} \\ \varepsilon \text{ efficienza;} \\ b \text{ branching ratio.} \end{array} \right\}$

Si ricava: $N_0 = \frac{C \cdot \tau}{\varepsilon \cdot b \cdot T}$ dove \longrightarrow

$$A = \frac{C}{\varepsilon b T}$$

Cosa osserviamo nello spettro in acquisizione?

Il campione contiene ^{116}In da reazione $^{115}\text{In}(n, \gamma) ^{116}\text{In}$

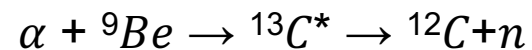


Sorgente: Am241-Be9

Am241

Tempo di dimezzamento: 433 anni

Attività al 07/11/2023: 33GBq



Campione: INDIO

In Natura si presenta come:

iso	NA	TD	DM	DE	DP
^{113}In	4,3%	In è stabile con 64 neutroni			
^{115}In	95,7%	$4,41 \times 10^{14}$ anni	β^-	0,495	^{115}Sn

Ground and isomeric state information for $^{116}_{49}\text{In}$

E(level) (MeV)	J π	Mass Excess (keV)	T _{1/2}	Decay Modes
0.0	1+	-88249.76 22	14.10 s 3	$\beta^- = 99.98\%$ $\epsilon = 0.02\%$
0.1273	5+	-88122.46 22	54.29 min 17	$\beta^- = 100.00\%$
0.2897	8-	-87960.06 22	2.18 s 4	IT = 100.00%

The following are available

[List of levels](#) || [Interactive Level Scheme \(Beta\)](#) || [Level Scheme](#) || [J vs. E* plot](#) || [J vs. E\(\$\gamma\$ \) plot](#) ||
[Decay radiation information](#)

5+ $^{116}_{49}\text{In}_{67}$ 127.267 54.29 M 17

Q(gs)=3278 keV 4
 β^- : 100 %

I(%) Logft

2.82 4.956

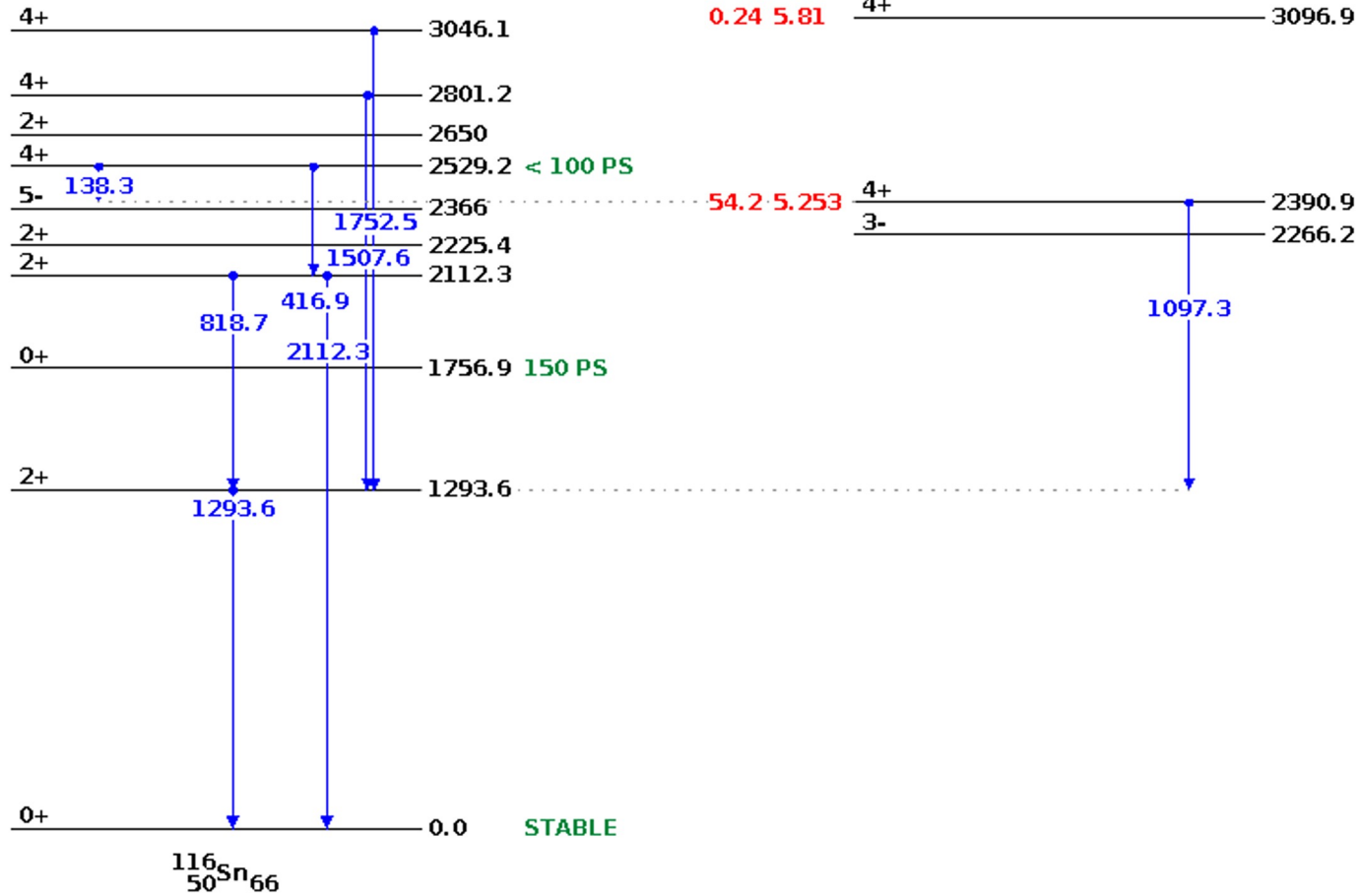
10.30 5.164

32.5 5.241

I(%) Logft

0.24 5.81

54.2 5.253



Parent Nucleus	Parent E(level)	Parent J π	Parent T $_{1/2}$	Decay Mode	GS-GS Q-value (keV)	Daughter Nucleus	Decay Scheme	ENSDF file
$^{116}_{49}\text{In}$	127.2676	5+	54.29 m 17	β^- : 100 %	3278 4	$^{116}_{50}\text{Sn}$		

Beta-:

Parent E(level)	Parent J π	Parent T $_{1/2}$	Decay Mode	GS-GS Q-value (keV)	Daughter Nucleus	Decay Scheme	ENSDF file
779.12 22				0.247 % 5			0.00192 4
818.68 2				12.13 % 14			0.0993 12
830.68 10				0.029 % 5			2.4E-4 4
931.83 4				0.090 % 4			8.4E-4 4
972.60 2				0.496 % 7			0.00482 7
1072.50 20				0.016 % 5			1.7E-4 5
416.90 2				27.2 % 4			0.1135 15
435.18 6				0.023 % 3			1.00E-4 11
463.21 2				0.725 % 11			0.00336 5
517.23 10				0.0127 % 17			6.6E-5 9
1293.56 2				84.8 % 12			1.097 15
1356.36 23				0.0079 % 11			1.07E-4 15
1507.59 2				9.92 % 13			0.1496 19
1752.50 2				2.36 % 3			0.0413 6
1803.43 23				0.0089 % 17			1.6E-4 3
2112.29 2				15.09 % 22			0.319 5
2225.39 3				0.0466 % 18			0.00104 4

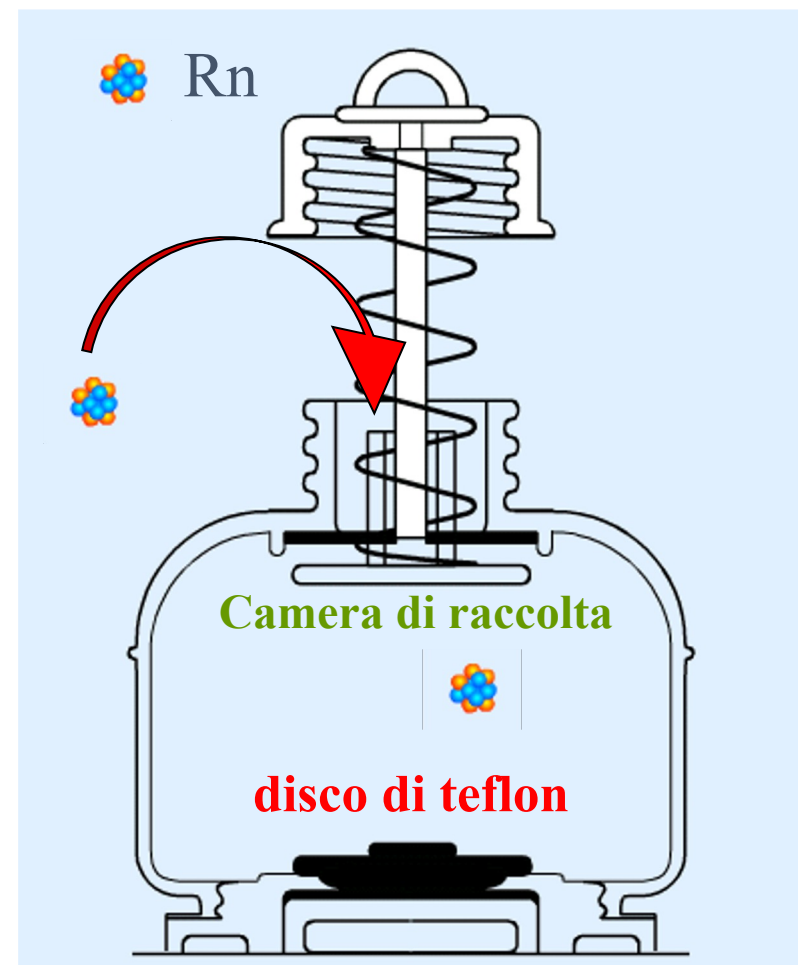
Elettreti



L'elettrete è un disco di Teflon che mantiene un potenziale elettrostatico stabile.

Raccoglie gli ioni prodotti dalle emissioni del Radon e dei suoi discendenti, per cui il suo potenziale si riduce in modo proporzionale all'attività presente nella camera.

La variazione di carica complessiva del disco dopo l'esposizione ci dà informazioni sul valore di concentrazione di Radon.



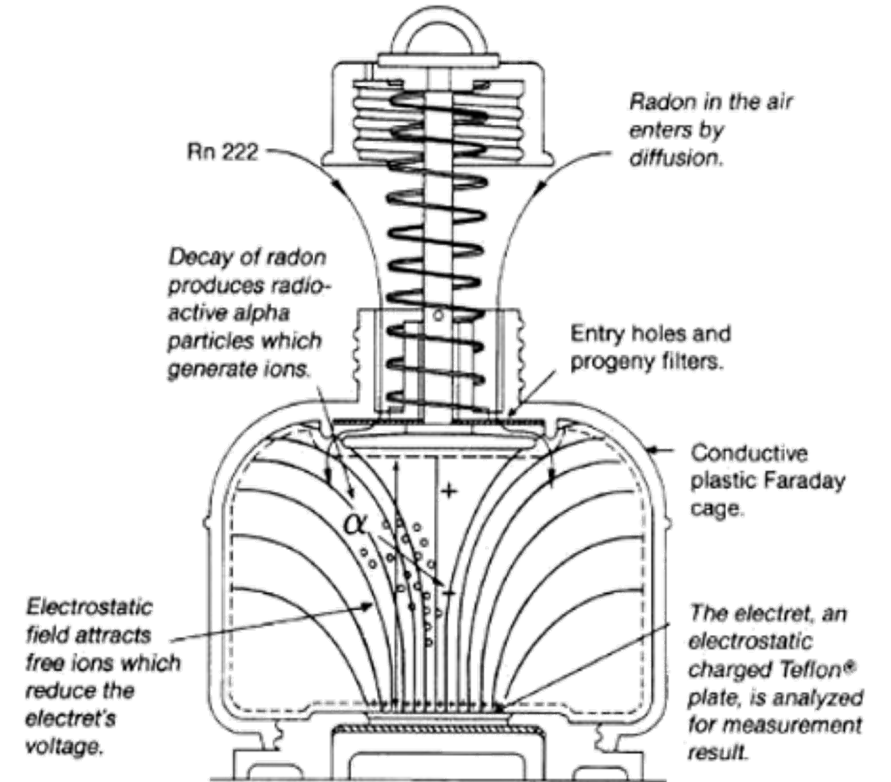
Elettreti

IL PRINCIPIO DI MISURA

Solo il gas radon (figli presenti in aria nell'ambiente vengono filtrati) diffonde nella camera fino a che la concentrazione interna è la stessa che nell'ambiente. Le radiazioni emesse dal radon e dai figli generati all'interno della camera ionizzano l'aria.

L'elettrete, carico positivamente, attira gli ioni negativi (elettroni) e questo produce una diminuzione della carica netta e quindi del potenziale superficiale dell'elettrete. Gli ioni positivi si neutralizzano sulla superficie della camera. La variazione di tensione dell'elettrete è proporzionale alla concentrazione radon e al tempo di esposizione.

La misura richiede quindi due letture di voltaggio: una lettura iniziale (I) prima dell'esposizione e una lettura finale (F) dopo l'esposizione. La differenza di voltaggio (I-F) e il tempo di esposizione (D), tramite fattori di calibrazione determinati sperimentalmente, permettono di calcolare la concentrazione radon per una data combinazione camera-elettrete.



Electret monitors



S - Chamber



L - Chamber



ST - Electret



Configuration	Exposition time
SST (S-chamber S + ST - electret)	from 2 to 7 days
SLT (S-chamber + LT - electret)	from 30 to 90 days
LST (L-chamber + ST - electret)	from 15 to 30 days
LLT (L-chamber + LT - electret)	from 3 to 12 months

Elettreti

Il disco di teflon è sensibile a tutte le radiazioni ionizzanti. Poiché la concentrazione di Radon presente nell'aria è responsabile di una parte della differenza di potenziale totale, è necessario effettuare una stima della radiazione cosmica e della radiazione gamma ambientale per ricavare la concentrazione di Radon.

$$RnC(Bqm^{-3}) = \left(\frac{I - F}{CF \times D} - BG \right) \times H$$

- dove
- RnC è la concentrazione radon in Bq/m³
 - I e F sono il voltaggio iniziale e finale dell'elettrete
 - D è il periodo di esposizione in giorni
 - CF è il fattore di calibrazione
 - H è un fattore correttivo per l'altitudine
 - BG è la concentrazione radon equivalente dovuta al fondo gamma ambientale