

# Misure di caratterizzazione e simulazione Monte Carlo di un rivelatore a scintillazione liquida

Laurea Magistrale – Dip. Di Fisica e Geologia  
30/04/2026

Relatore:

Prof. Roberto Tarducci

Correlatore:

Dott. Andrea Chiappiniello

Candidato:

Maria Letizia Bartoccini

# Sommario

- Obiettivo del lavoro di tesi.
- Processo di scintillazione e rivelatori a scintillazione liquida.
- Metodo Monte Carlo e Geant4.
- Misure di caratterizzazione.
- Simulazione Monte Carlo.
- Discussioni finali.

# Obiettivo

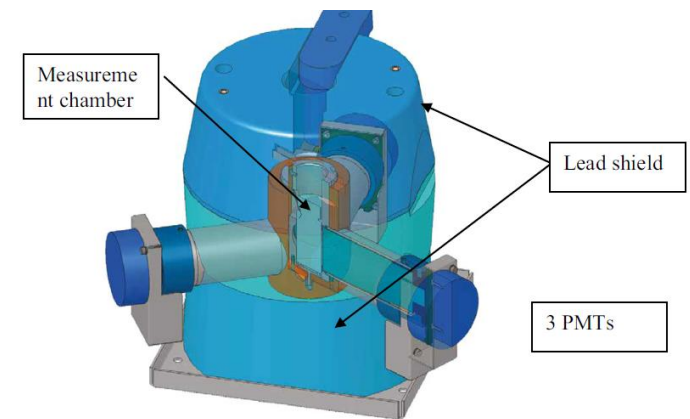
L'obiettivo di questa tesi è stato quello di caratterizzare il rivelatore a scintillazione liquida Hidex 300 SL attraverso una serie di misure e una simulazione Monte Carlo.

La caratterizzazione era volta ad approfondire due caratteristiche del rivelatore:

- Possibilità di determinare l'attività utilizzando il parametro TDCR (Triple to Double Coincidence Ratio).
- Capacità di misurare simultaneamente attività alfa e beta tramite discriminazione degli impulsi.



*Rivelatore Hidex 300 SL*



*Schema rivelatore*

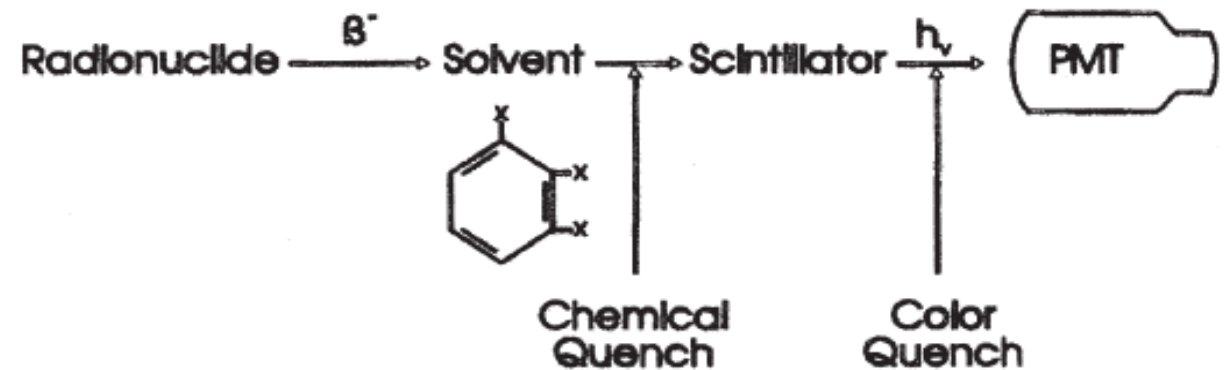
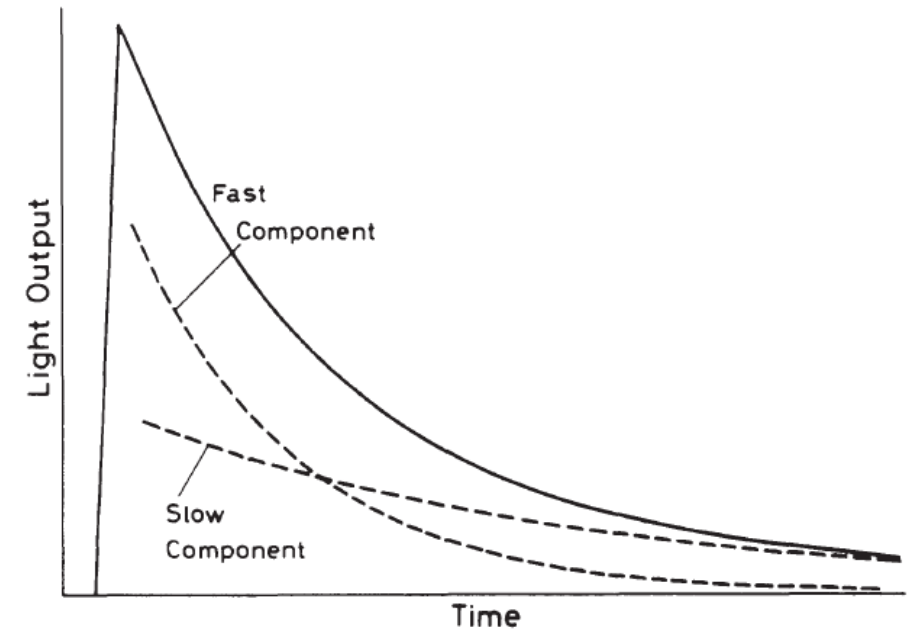
# Processo di scintillazione

Processi di emissione radiativa:

- Fluorescenza,
- Fosforescenza,
- Fluorescenza ritardata.

Il fenomeno del quenching racchiude tutti i processi che diminuiscono il numero di fotoni emessi per scintillazione.

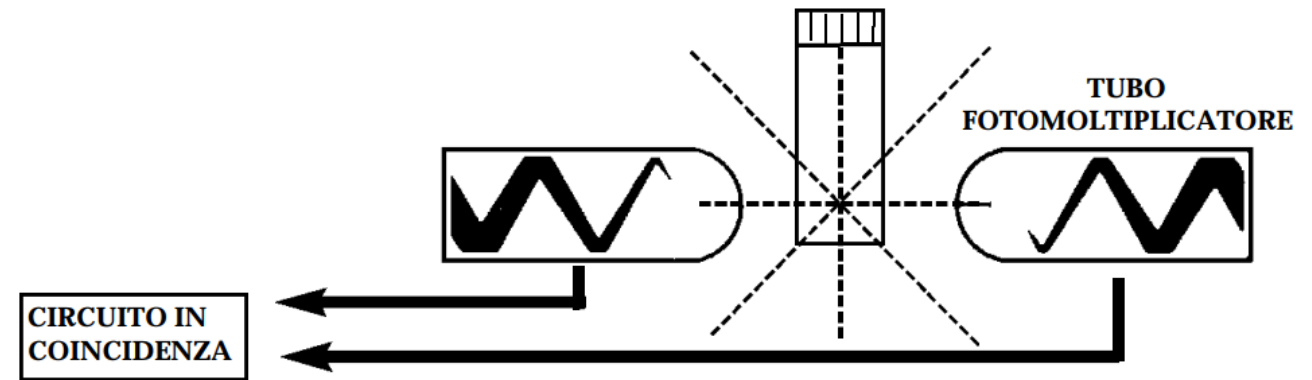
*Decadimento esponenziale luce di scintillazione a due componenti*



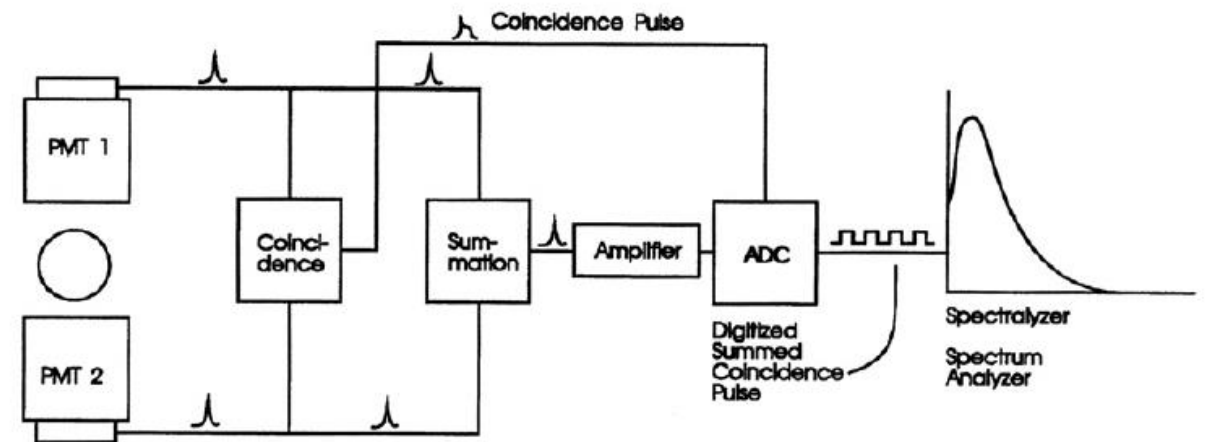
*Fenomeno del quenching.*

# Rivelatori a scintillazione liquida

- Sorgente radioattiva diluita all'interno del cocktail di scintillazione, costituito da solvente, scintillatore primario e scintillatore secondario.
- La luce di scintillazione è rivelata dai fotomoltiplicatori.
- Il sistema è molto sensibile a fonti di rumore quindi vengono utilizzate tecniche di coincidenza.
- I principali utilizzi dei rivelatori a scintillazione liquida sono per il monitoraggio ambientale.



*Schema rivelatore.*



*Diagramma di un rivelatore a scintillazione liquida.*

# Metodo Monte Carlo e Geant4

- Il metodo Monte Carlo è una tecnica numerica che sfrutta il campionamento di numeri casuali per risolvere problemi.
- Può essere applicato a problemi deterministici o per simulare processi fisici, in questo caso può essere visto come un esperimento virtuale.
- Geant4 è un toolkit per la simulazione del passaggio di particelle attraverso la materia, basato su modelli fisici e database di dati costantemente aggiornati. Permette di sviluppare una simulazione descrivendo tutti gli aspetti dell'esperimento a partire dalla geometria fino alla risposta dei rivelatori.

# Triple to Double Coincidence Ratio (TDCR)

$$TDCR = \frac{T}{D} = \frac{T}{C + T}$$

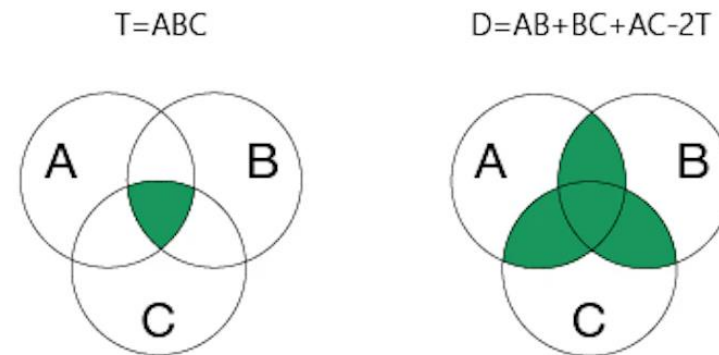
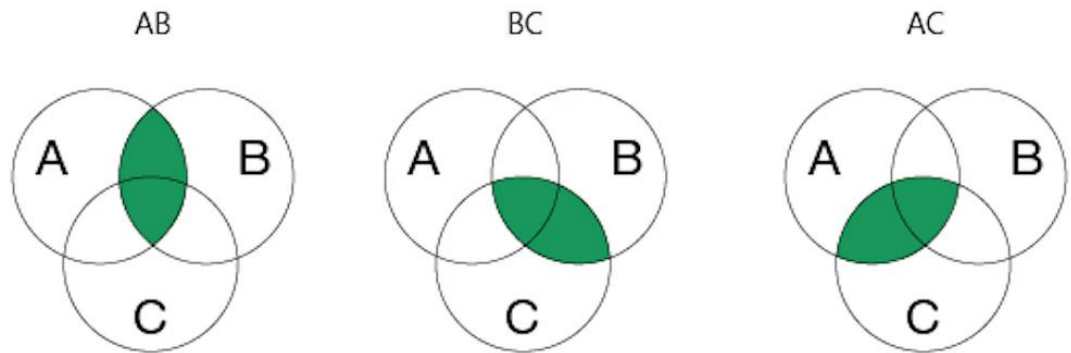
$T$  = coincidenze triple

$D$  = coincidenze doppie

$C$  = coincidenze doppie pure

Utilizzi:

- Metodo classico TDCR basato sul modello del parametro libero.
- Indicatore di Quench.
- Approssimazione  $\epsilon \cong TDCR$ .



*Coincidenze fra tre fotomoltiplicatori.*

# Punti della caratterizzazione

1. Costruzione di una curva di quench.
2. Misura di due campioni standard di  $^3\text{H}$  e  $^{14}\text{C}$ .
3. Calibrazione discriminazione alfa-beta.
4. Misura campioni con emettitori alfa e beta.
5. Confronto con simulazione Monte Carlo.



# Costruzione curva di Quench e misura campioni standard

La curva di quench correla il valore del TDCR e il valore dell'efficienza e viene utilizzata per determinare l'efficienza a seconda del livello di quench del campione misurato.

L'attività dei campioni standard è stata determinata in due modi:

- Efficienza approssimata dal TDCR,
- Efficienza determinata con la curva di quench.

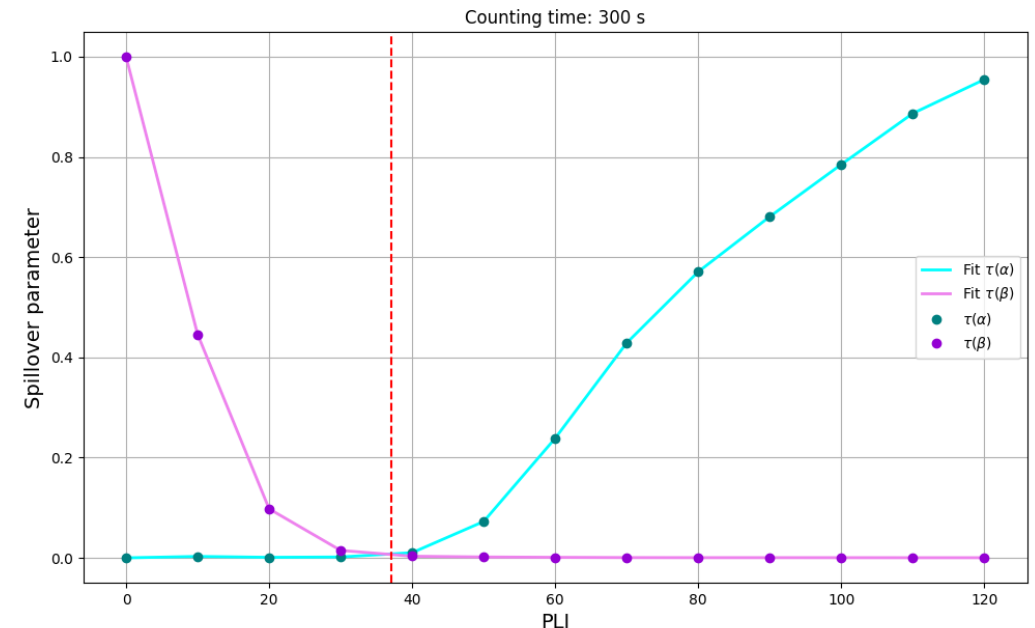
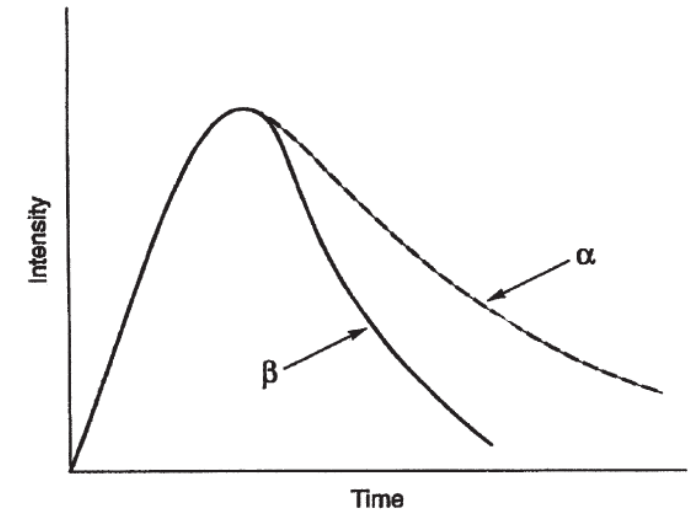
	Certificato	Metodo TDCR		Metodo curva di quench	
	Attività (Bq)	Attività (Bq)	Bias %	Attività (Bq)	Bias %
$^3\text{H}$	$2545 \pm 115$	$2586 \pm 4$	-1.6	$2506 \pm 4$	1.5
$^{14}\text{C}$	$1172 \pm 55$	$1157 \pm 2$	1.2	$1155 \pm 2$	1.4

# Calibrazione alfa-beta

- La discriminazione si basa sulla differenza temporale degli impulsi quantificata dal Pulse Length Index (PLI).
- Il PLI di ogni impulso viene confrontato con un valore discriminatore e classificato come alfa o beta.
- La calibrazione consiste nel determinare il valore ottimale del PLI da utilizzare come discriminatore.

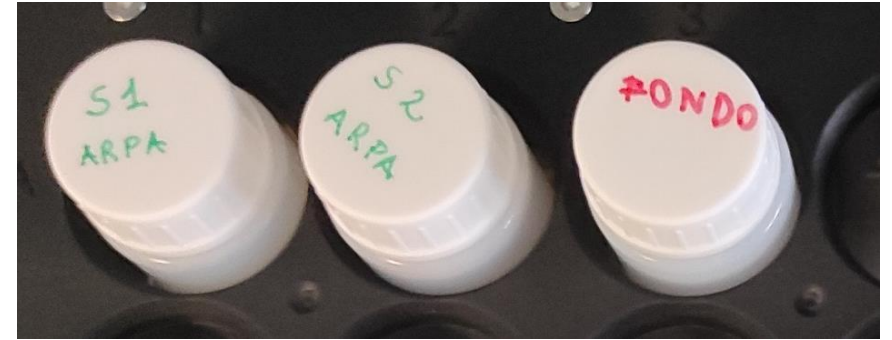
*Grafico parametri di interferenza per determinare valore ottimale del discriminatore.*

*Differenza temporale impulsi alfa e beta.*



# Misura campioni alfa-beta

- I due campioni consistono in una miscela di diversi radionuclidi.
- I risultati delle misure sono stati confrontati con valori target teorici e con le misure del laboratorio di ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale).
- Le misure sono risultate in generali discrepanze, evidenziando limiti e suggerendo strategie di miglioramento.



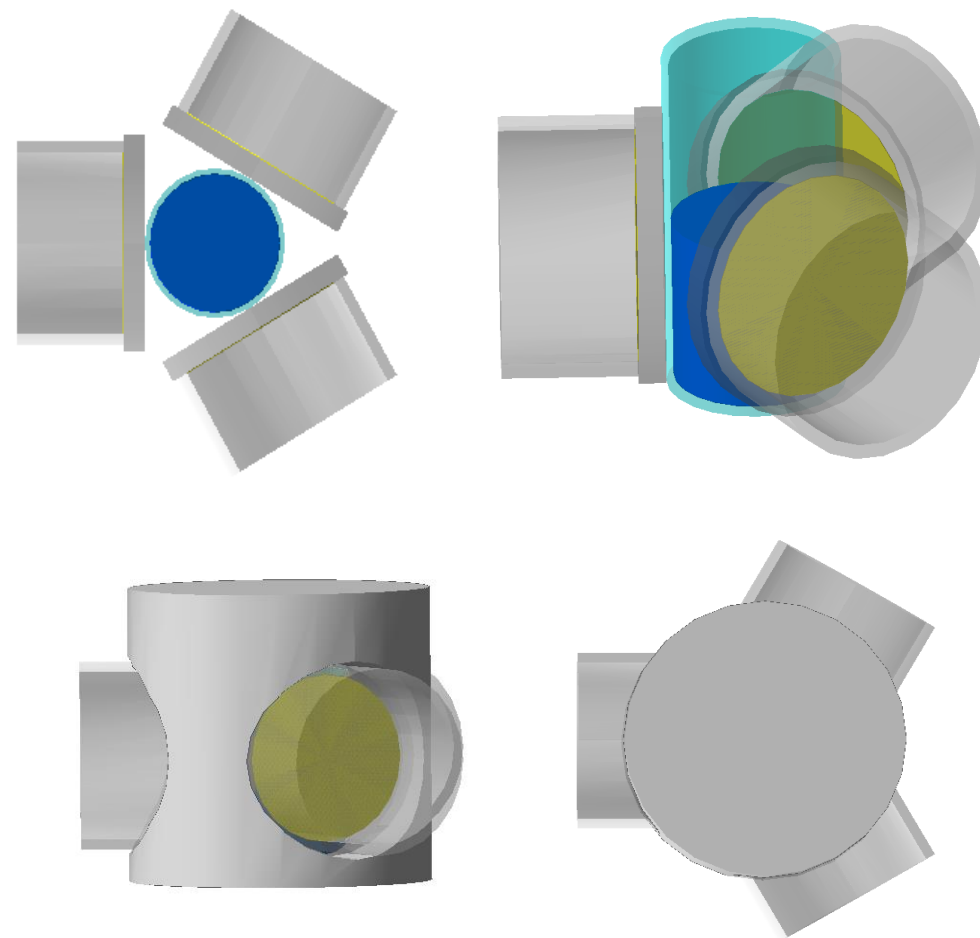
*Campioni e fondo nel carrello del rivelatore*



*Preparazione campioni.*

# Simulazione Monte Carlo

- Il modello simula il decadimento dei radionuclidi, generati in modo casuale nel volume dello scintillatore, il processo di scintillazione e la rivelazione dei fotoni dai fotocatodi.
- La geometria consiste in tre elementi: fiala, sistema di fotomoltiplicatori e camera ottica.
- Il confronto con le misure sperimentali di  $^3\text{H}$  e  $^{14}\text{C}$  ha permesso di calibrare la simulazione, successivamente è stata valutata l'approssimazione TDCR-efficienza determinando differenze relative di 5-6 % per  $^3\text{H}$  e 2-3%  $^{14}\text{C}$ .



*Geometria simulata*

# Discussioni finali

Caratterizzazione	Risultati
Costruzione curva di quench	Validità TDCR come indicatore di Quench.
Misure campioni standard	Approssimazione TDCR-efficienza con basso livello di quench.
Calibrazione discriminazione alfa-beta	Determinazione PLI ottimale.
Misura campioni alfa-beta	Discrepanze generali con valori target e misure ARPA.
Confronto con simulazione Monte Carlo	Calibrazione parametro resa di scintillazione, verifica approssimazione TDCR-efficienza.

## Sviluppi futuri

Verifica approssimazione TDCR-efficienza con diversi livelli di quench, misure alfa-beta con campioni meno complessi.

Grazie per l'attenzione



# Metodo classico TDCR

Il modello del parametro libero è basato sulla descrizione statistica dei fenomeni che avvengono all'interno del rivelatore e permette di determinare l'efficienza in funzione di un parametro libero  $\lambda$  :

$$\epsilon(\lambda) = \int_0^{E_{max}} S(E) \cdot P(E, \lambda) dE$$

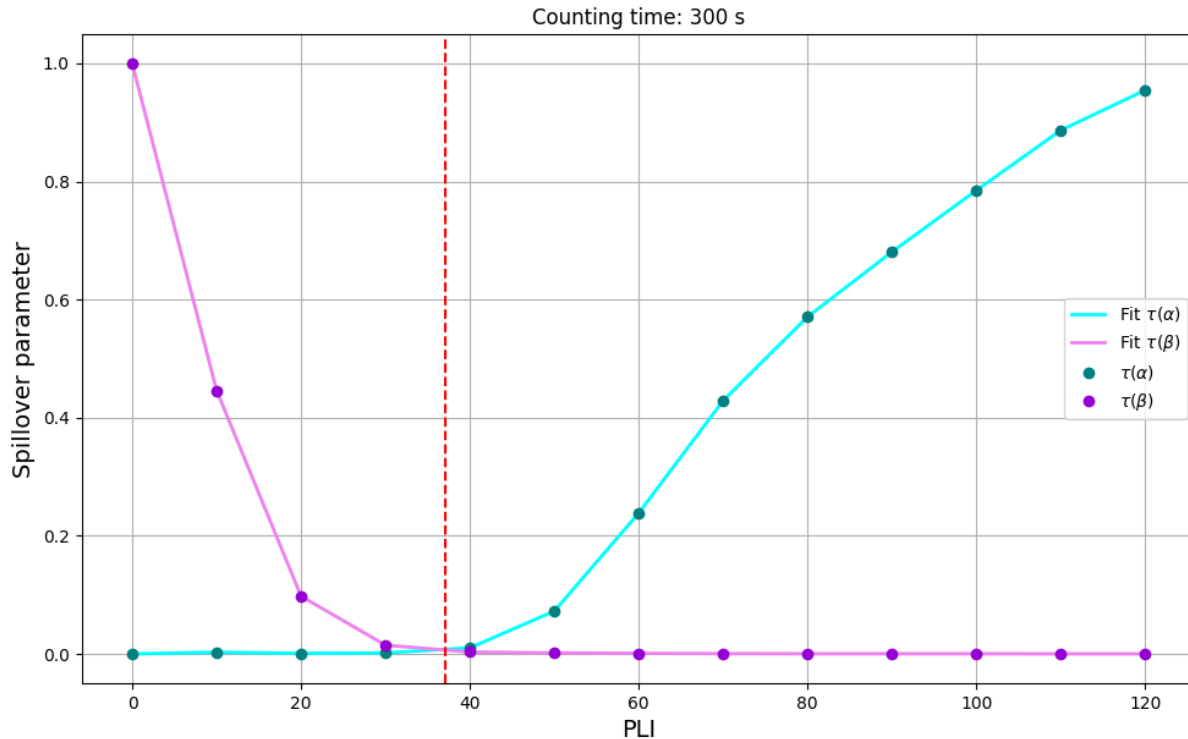
$S(E)$  è lo spettro di energia trasferito dalla particella allo scintillatore,  $P(E, \lambda)$  è la probabilità di ottenere un determinato impulso e  $\lambda$  è definito come l'energia media richiesta per produrre un fotoelettrone nel fotocatodo.

Il rapporto tra le efficienze, per un grande numero di eventi, è approssimato dal valore del TDCR:

$$TDCR = \frac{T}{D} \approx \frac{\epsilon_T}{\epsilon_D}$$

Dal valore sperimentale del TDCR si ricava il parametro libero e successivamente l'efficienza.

# Calibrazione



*Esempio grafico dei parametri di interferenza in funzione del PLI, la linea rossa tratteggiata corrisponde all'intersezione delle curve.*

- La calibrazione consiste nel determinare il PLI ottimale da utilizzare come discriminatore. Il procedimento prevede la misura di un emettitore alfa puro ( $^{241}\text{Am}$ ) e un emettitore beta puro ( $^{90}\text{Sr}$ ).
- Al variare del PLI vengono determinati, e riportati nello stesso grafico, i parametri di interferenza:

$$\tau(\alpha) = \frac{N_{\beta}}{N_{\alpha} + N_{\beta}}$$

$$\tau(\beta) = \frac{N_{\alpha}}{N_{\alpha} + N_{\beta}}$$

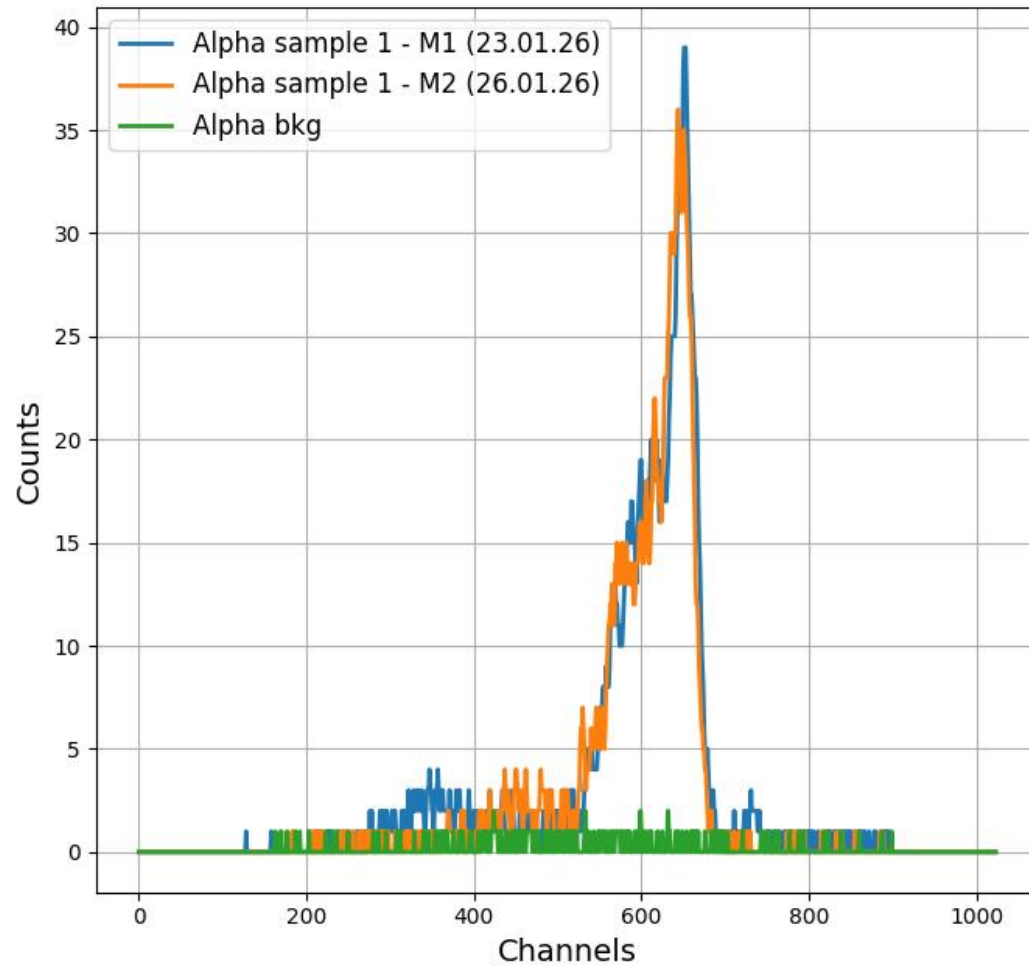
- Il PLI ottimale corrisponde all'intersezione delle due curve



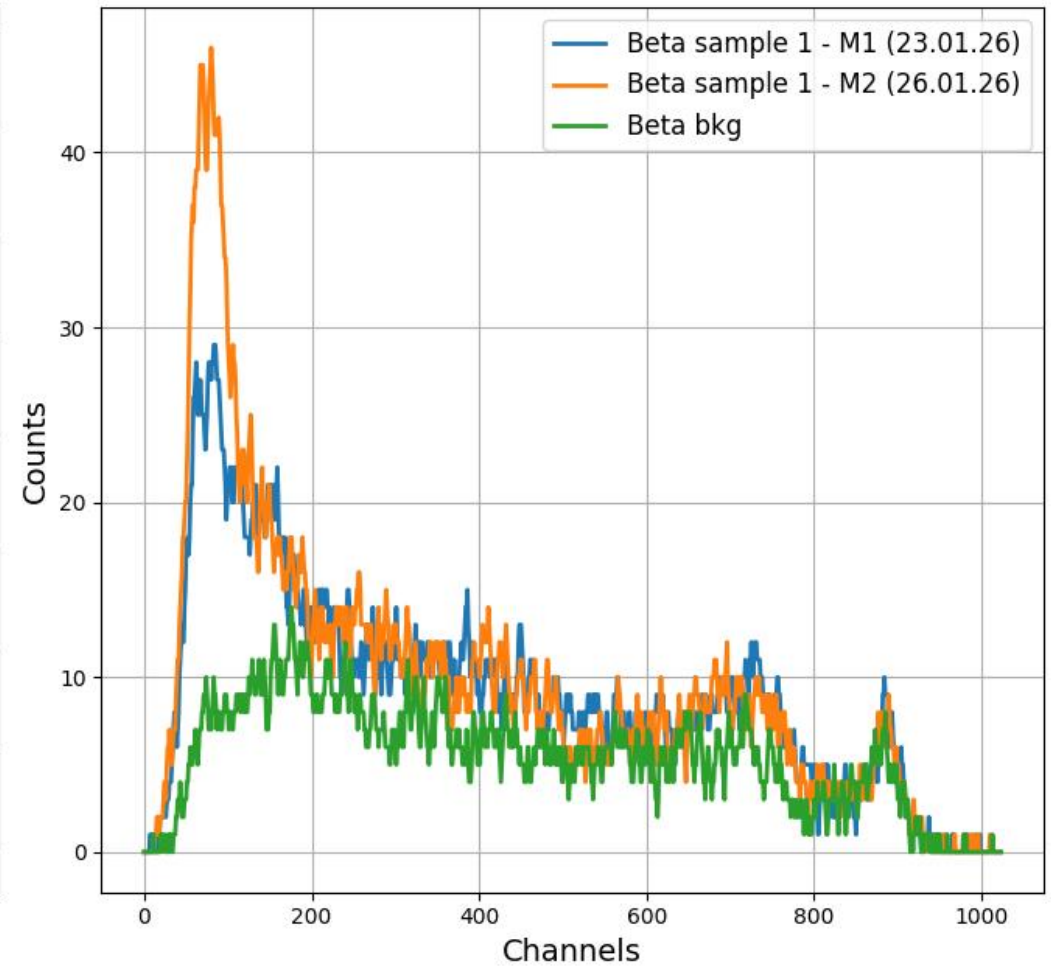
# Concentrazioni di attività

Campione 1		
Radionuclide	Attività specifica 23.01.2026 ( Bq / kg )	Particelle emesse
$^3\text{H}$	$26.9 \pm 1.4$	1 $\beta$
$^{60}\text{Co}$	$12.3 \pm 0.6$	1 $\beta$
$^{234}\text{U}$	$5.44 \pm 0.27$	1 $\alpha$
$^{235}\text{U}$	$0.26 \pm 0.01$	1 $\alpha$ + 1 $\beta$
$^{238}\text{U}$	$5.60 \pm 0.28$	1 $\alpha$ + 2 $\beta$
$^{241}\text{Am}$	$22.3 \pm 1.1$	1 $\alpha$

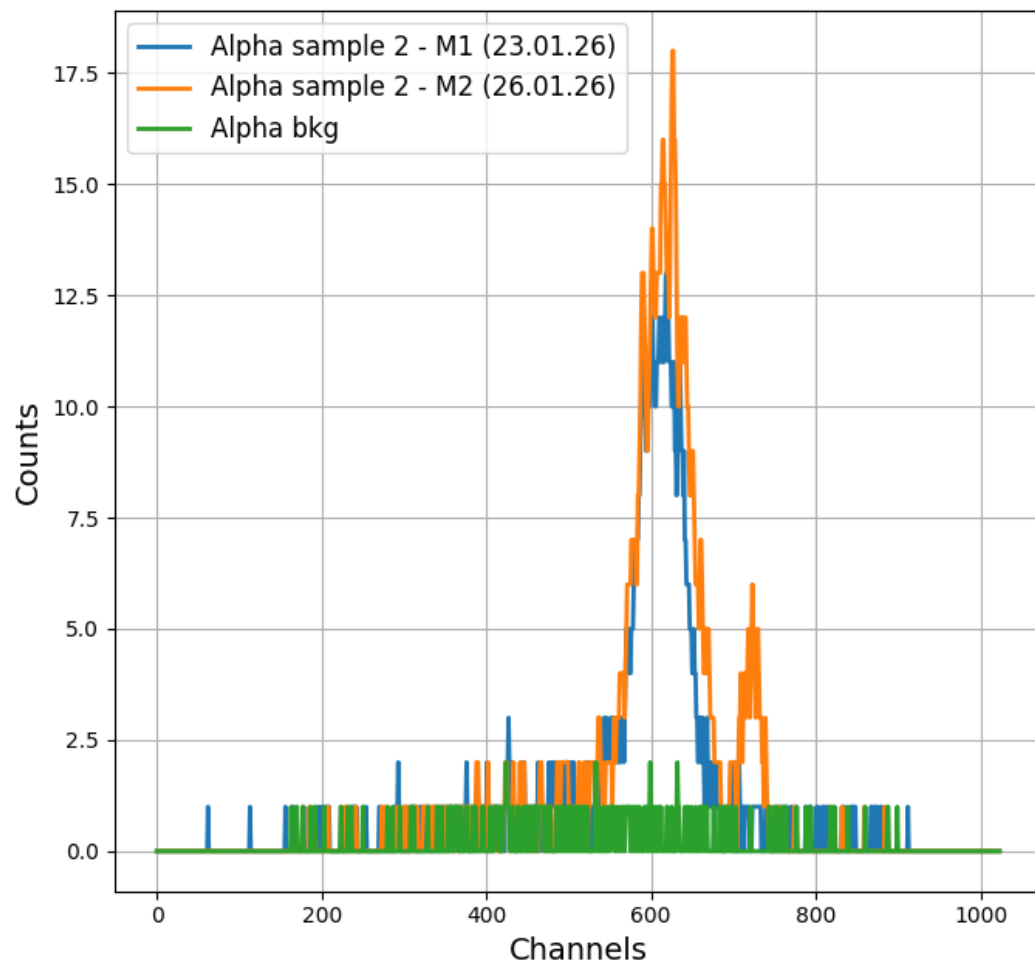
Campione 2		
Radionuclide	Attività specifica 23.01.2026 ( Bq / kg )	Particelle emesse
$^{90}\text{Sr}$	$13.8 \pm 0.7$	2 $\beta$
$^{125}\text{Sb}$	$51.9 \pm 2.6$	1 $\beta$
$^{134}\text{Cs}$	$26 \pm 1$	1 $\beta$
$^{137}\text{Cs}$	$42.8 \pm 2.1$	1 $\beta$
$^{210}\text{Pb}$	$5.02 \pm 0.25$	1 $\alpha$ + 2 $\beta$
$^{210}\text{Po}$	$0.455 \pm 0.022$	1 $\alpha$
$^{226}\text{Ra}$	$6.32 \pm 0.32$	4 $\alpha$ + 2 $\beta$



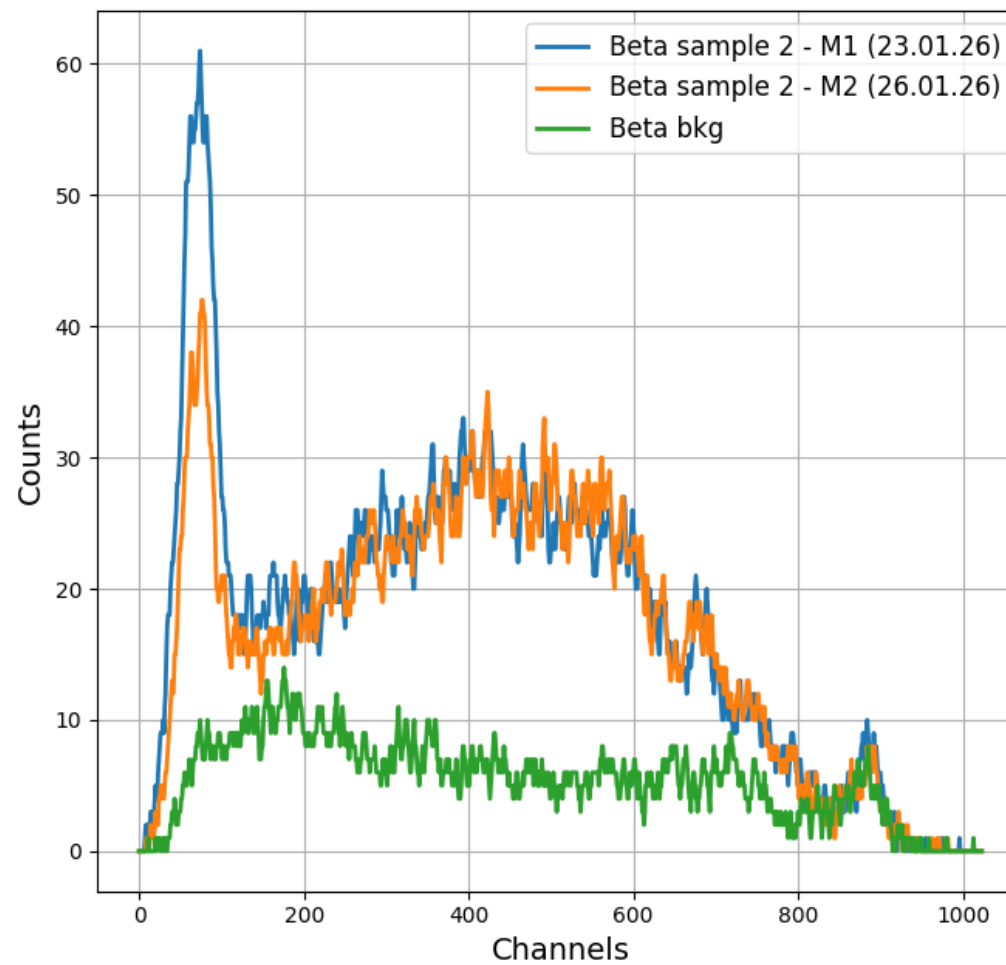
*Spettro alfa campione 1*



*Spettro beta campione 1*



*Spettro alfa campione 2*



*Spettro beta campione 2*