14 settembre 2022

108° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica

Stefano Carsi

Università degli Studi dell'Insubria

INFN - sezione Milano Bicocca

Characterization of a compact and cost-effective readout system for germanium detectors

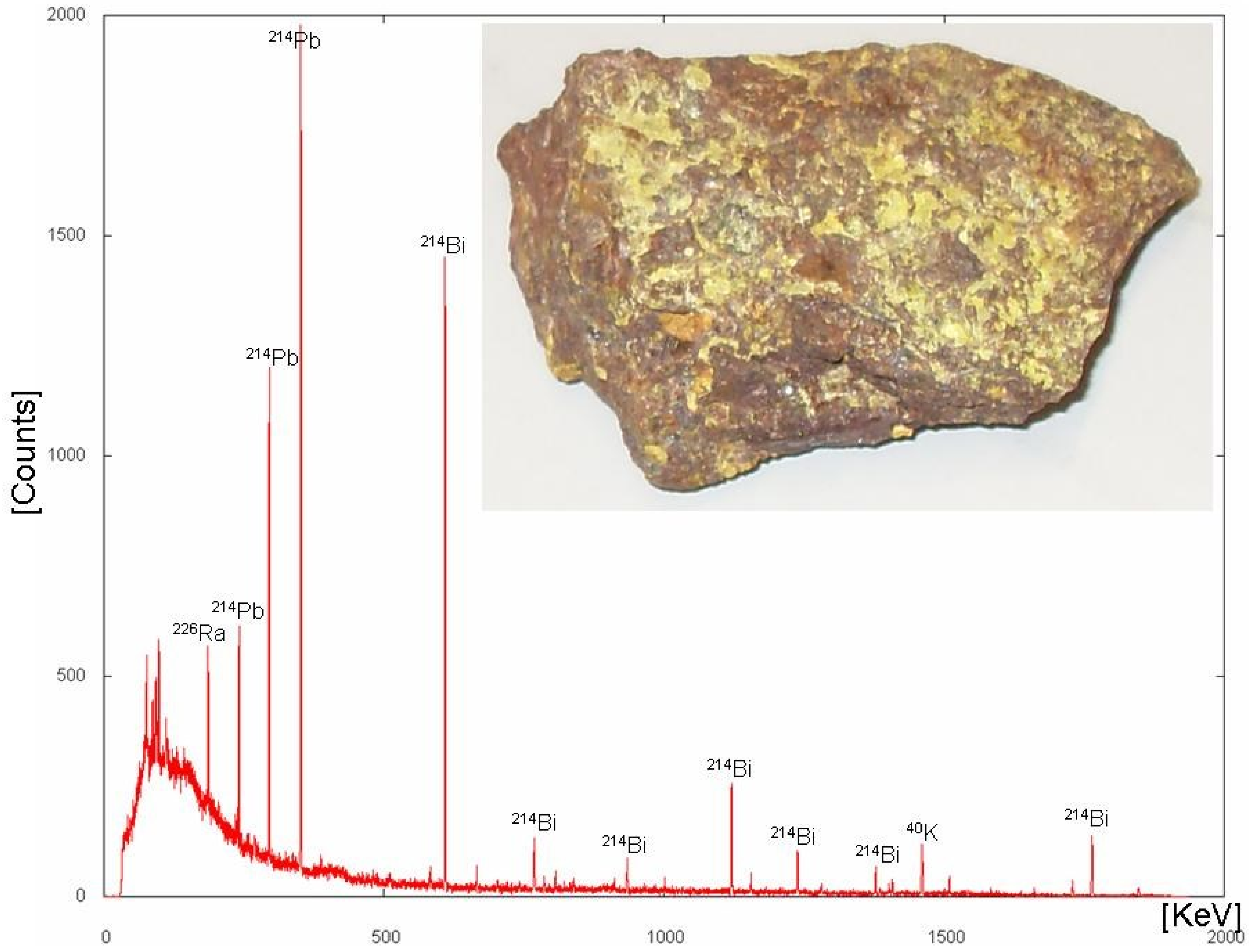
scarsi@studenti.uninsubria.it

Sommario

- Introduzione alla **spettroscopia gamma**
- Cenno al **sistema tradizionale** di acquisizione
- Descrizione del nuovo sistema
  - **Hardware**: scheda Red Pitaya STEMlab 125-14
  - **Software**: abcd framework
- Presentazione di **alcuni spettri**
- Calcolo della **risoluzione energetica**
- **Conclusioni**

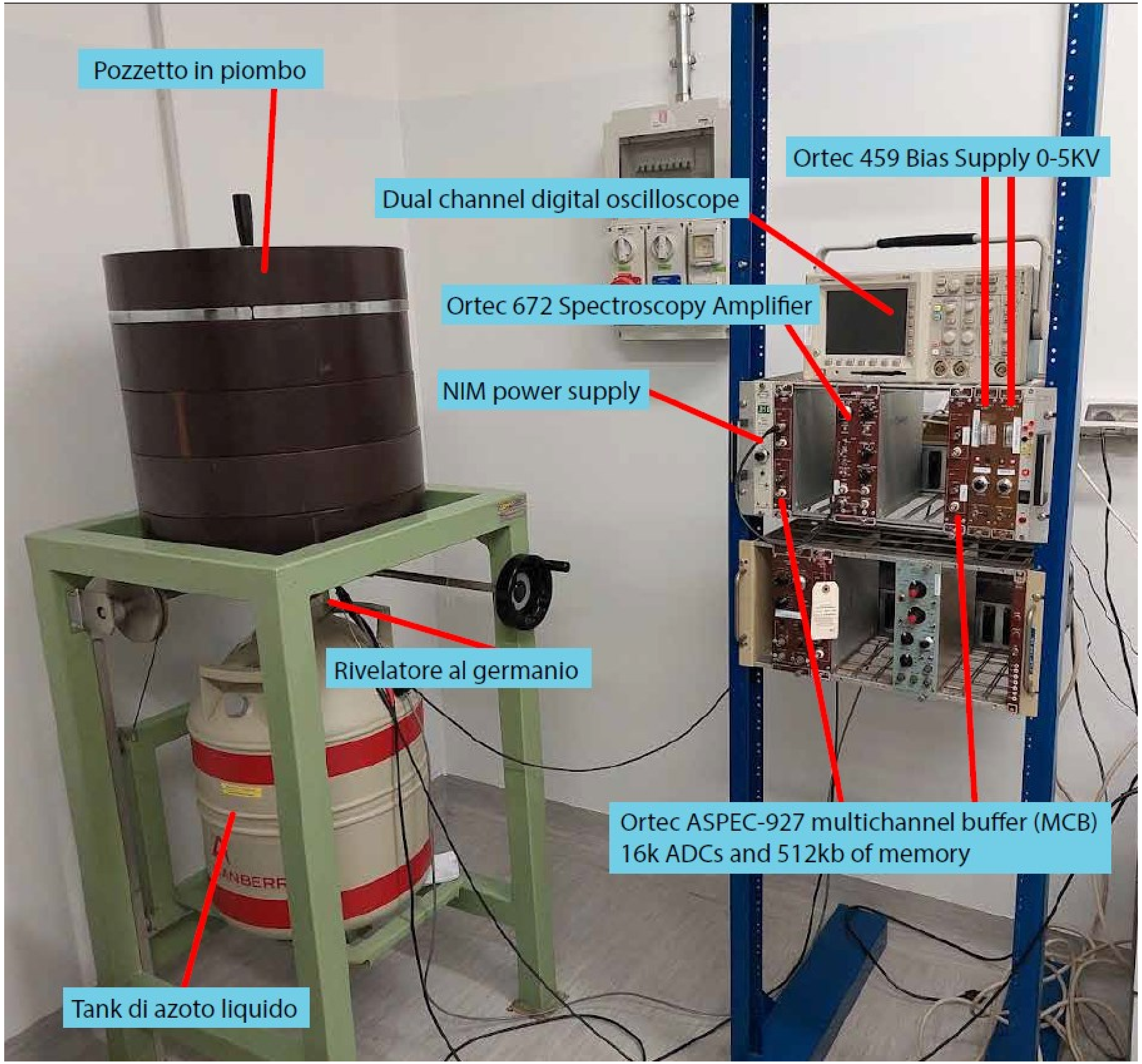
Spettroscopia gamma

- **Spettroscopia gamma**: misurare l'energia di fotoni emessi da varie sorgenti radioattive
- Due tipologie
  - Bassa risoluzione: con **scintillatori inorganici** (più diffuso NaI:Tl)
  - Alta risoluzione**: rivelatori a semiconduttori**
- Rivelatori al **germanio ad alta purezza** (HPGe): eccellente risoluzione energetica MA **devono essere raffreddati** con azoto liquido



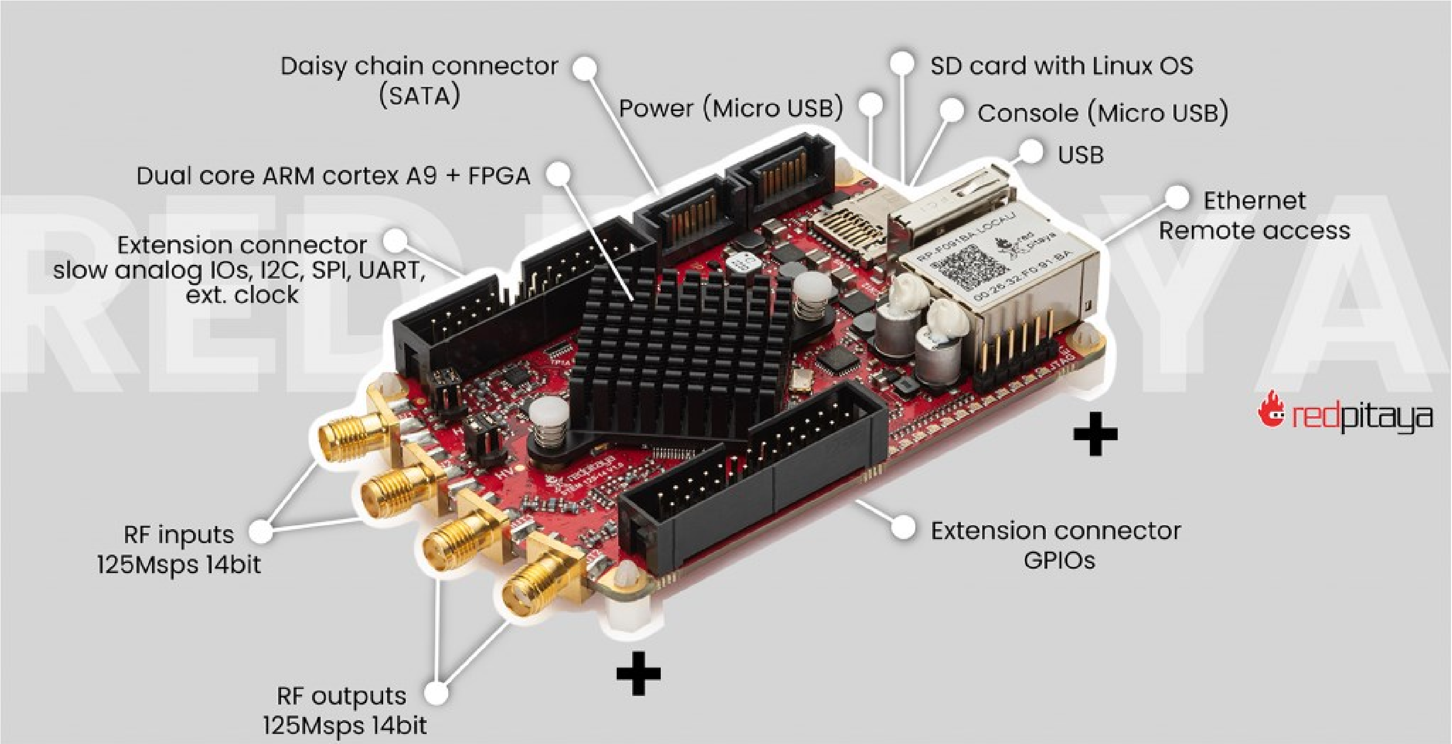
Il sistema tradizionale di acquisizione

Il **segnale** proveniente dal **preamplificatore** del rivelatore al germanio viene **formato** (Ortec 672) e **digitalizzato** da moduli NIM (Ortec 927 connesso a **PC via USB**, compatibile con il software MAESTRO)



La scheda Red Pitaya STEMlab 125-14

- **FPGA** e **CPU** (con Linux OS)
- Porta di rete per **controllo remoto**
- Alimentazione **USB**
- Due **ingressi veloci** (125 MS/S) ad **alta risoluzione** (14 bit)
- **Dimensioni compatte** e **costo ridotto**

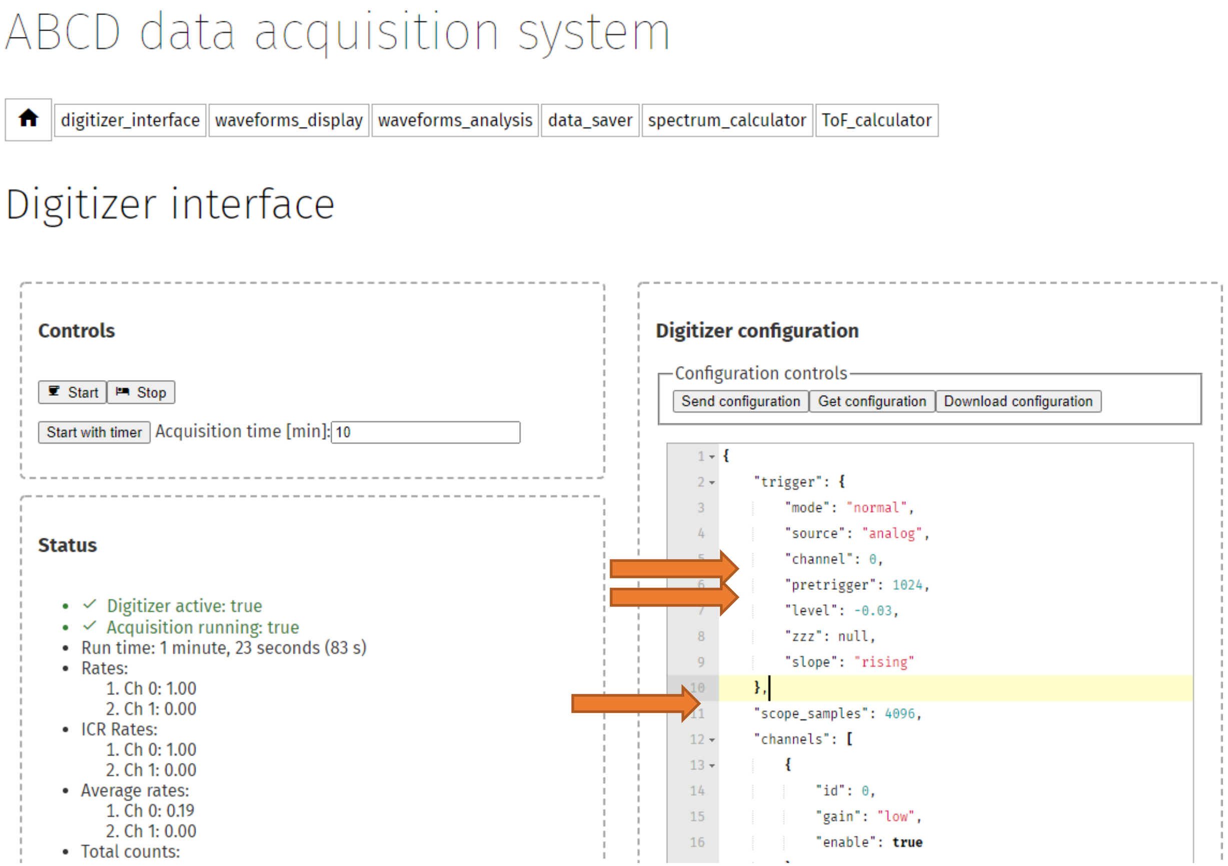


Il sistema di acquisizione ABCD

Sistema di acquisizione modulare, che comprende

- Modulo per **comunicazioni hardware**, dove **impostare trigger** e **finestra di acquisizione**
- Modulo per **filtraggio del segnale** ed **analisi online**
- Modulo per il **salvataggio dei dati**
- Modulo per **visualizzare** in tempo reale **forme d'onda** e **spettri**

https://github.com/ec-jrc/abcd/

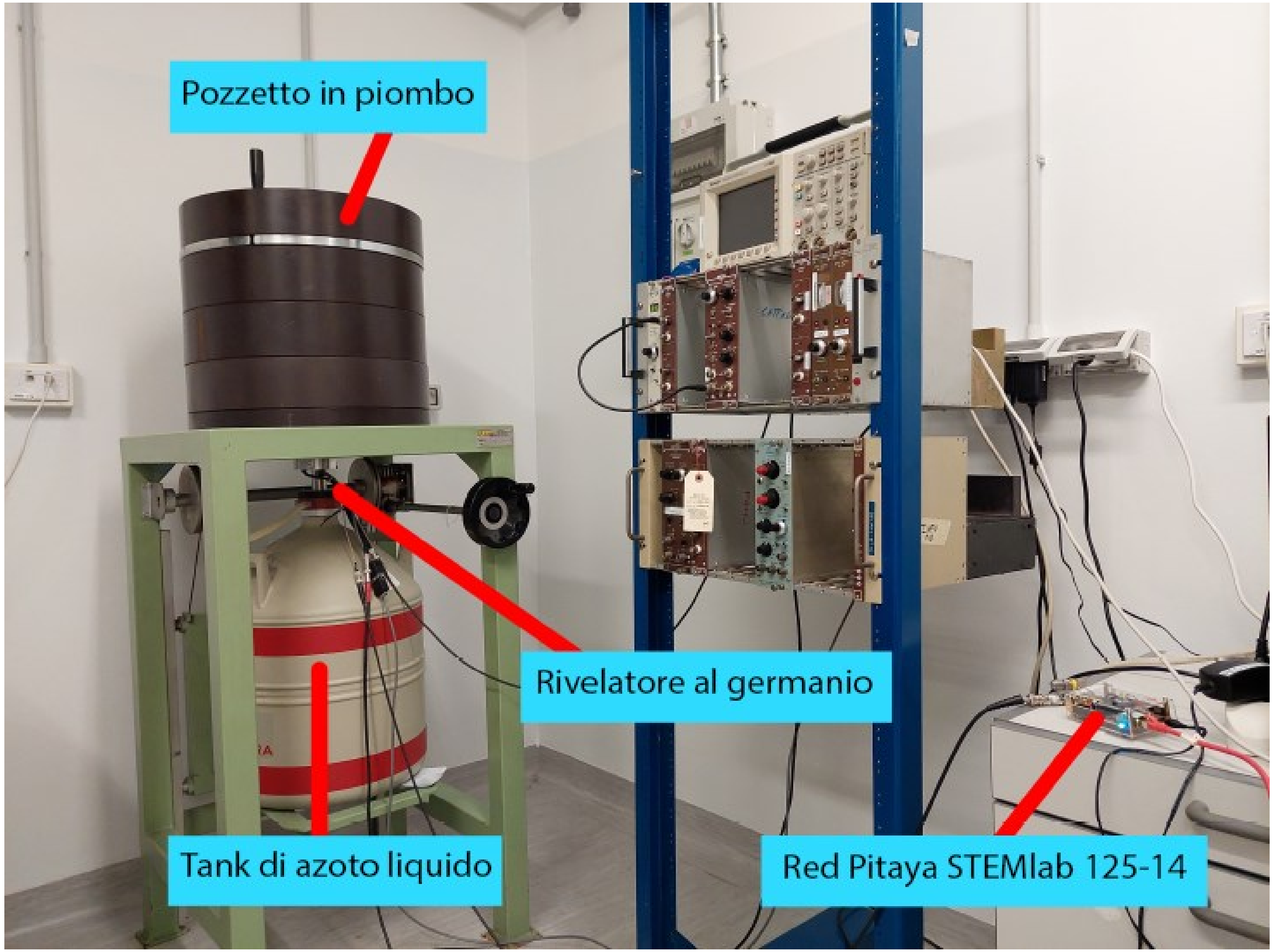


Sorgente radioattiva

- Elettrodi da saldatura, con un **2% di ossido di ^{232}Th**
- Dal punto di vista delle emissioni gamma hanno **un'intensità adeguata** per acquisire uno **spettro di calibrazione**
- Dal punto di vista radioprotezionistico, **non sono** nemmeno **classificati come sorgente**. Sono dunque assolutamente **sicuri e facilmente trasportabili** ed usabili in una **scuola** o in un **laboratorio portatile**

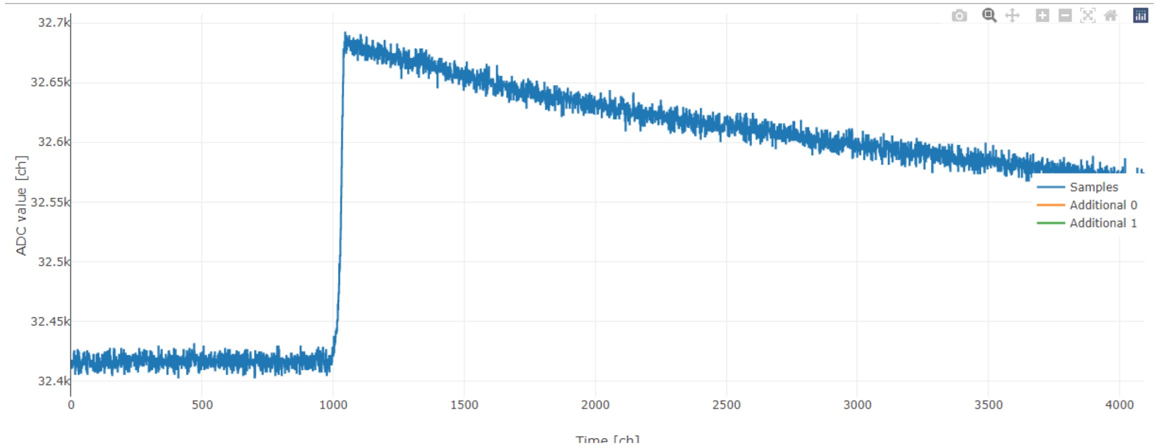
Setup sperimentale @ Bicocca

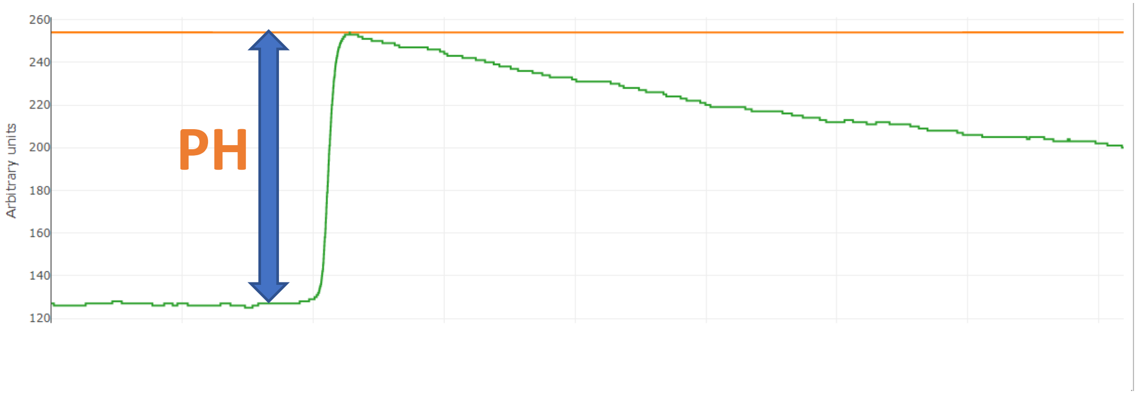
- Sinistra: rivelatore al germanio ad alta purezza (HPGe) con **schermatura in piombo** e tank di **azoto liquido** per raffreddare
- Il **segnale** proveniente dal preamplificatore viene **inserito direttamente nella scheda** Red Pitaya STEMlab 125-14



Acquisizione della forma d’onda

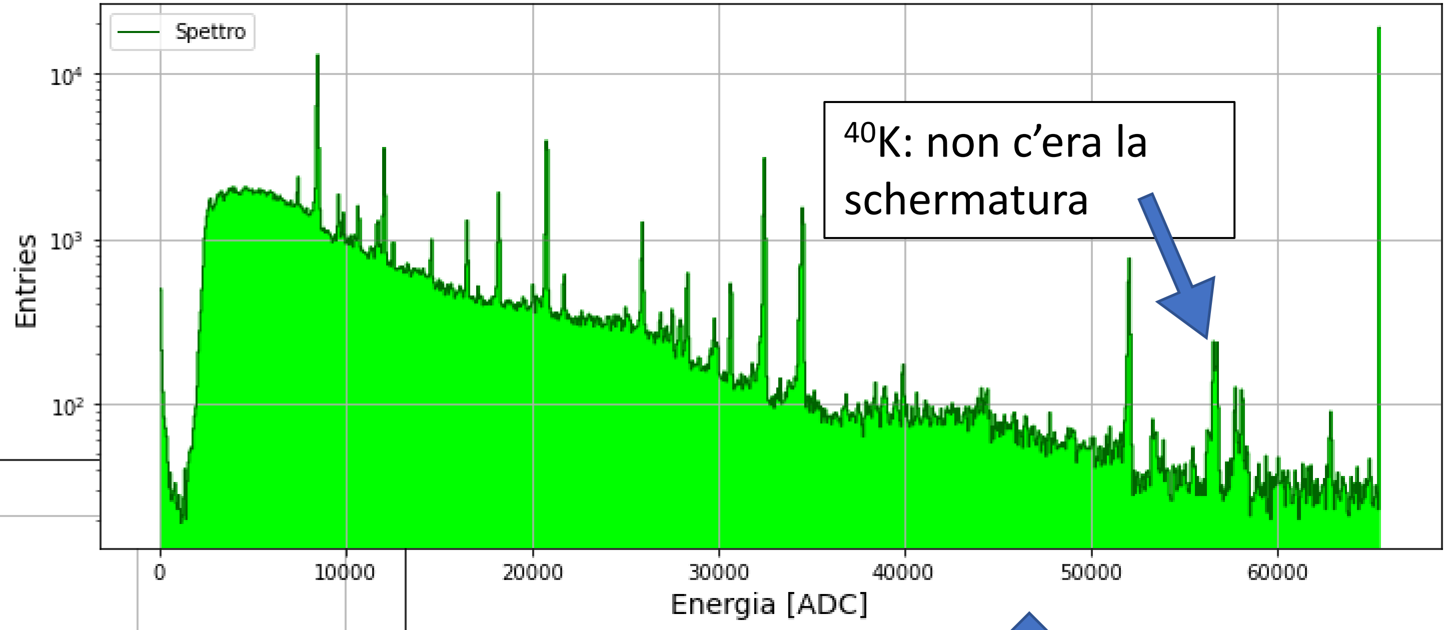
- La forma d’onda viene acquisita con un **pre-trigger** sufficiente a stimare la **baseline**
- La **pulse height**, valore proporzionale all’energia depositata, viene calcolata come **differenza** tra il **massimo del segnale** e la **baseline**, dopo aver aver applicato **algoritmi di filtraggio**

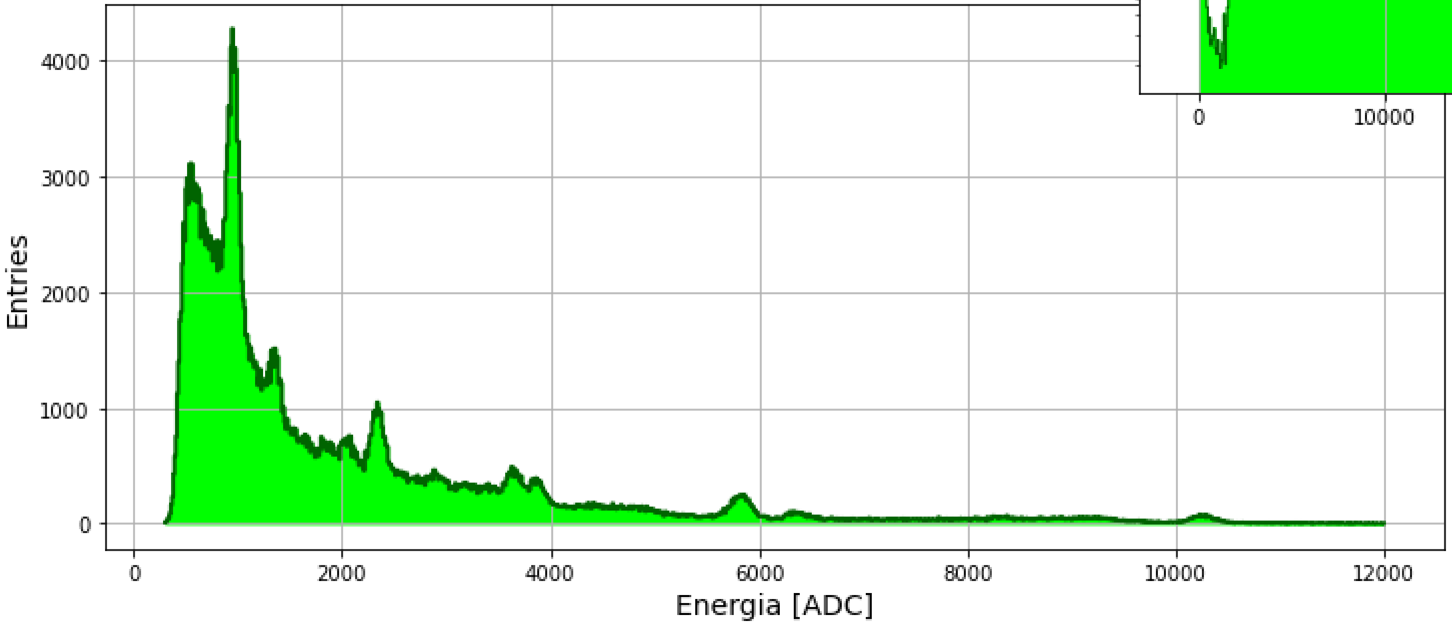




Stessa sorgente – diverso rivelatore

Spettro acquisito con un **bromuro di lantanio** $LaBr_3$ (**Scintillatore inorganico**)

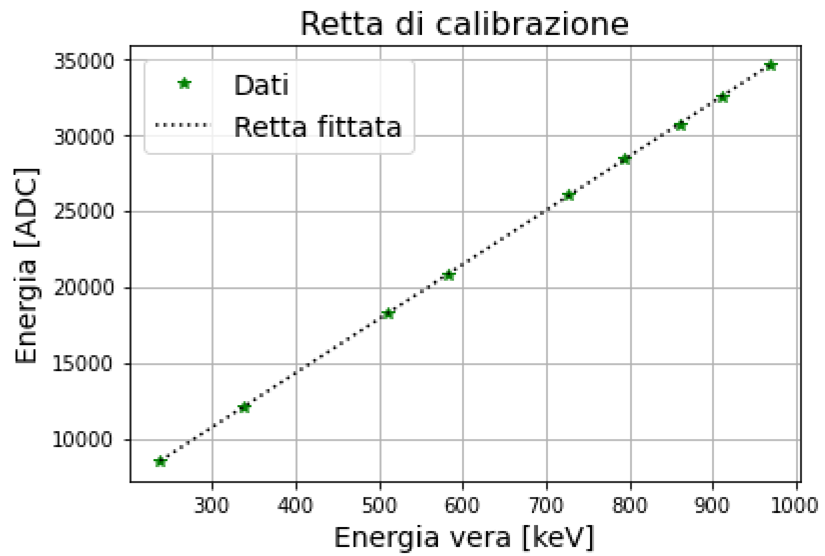


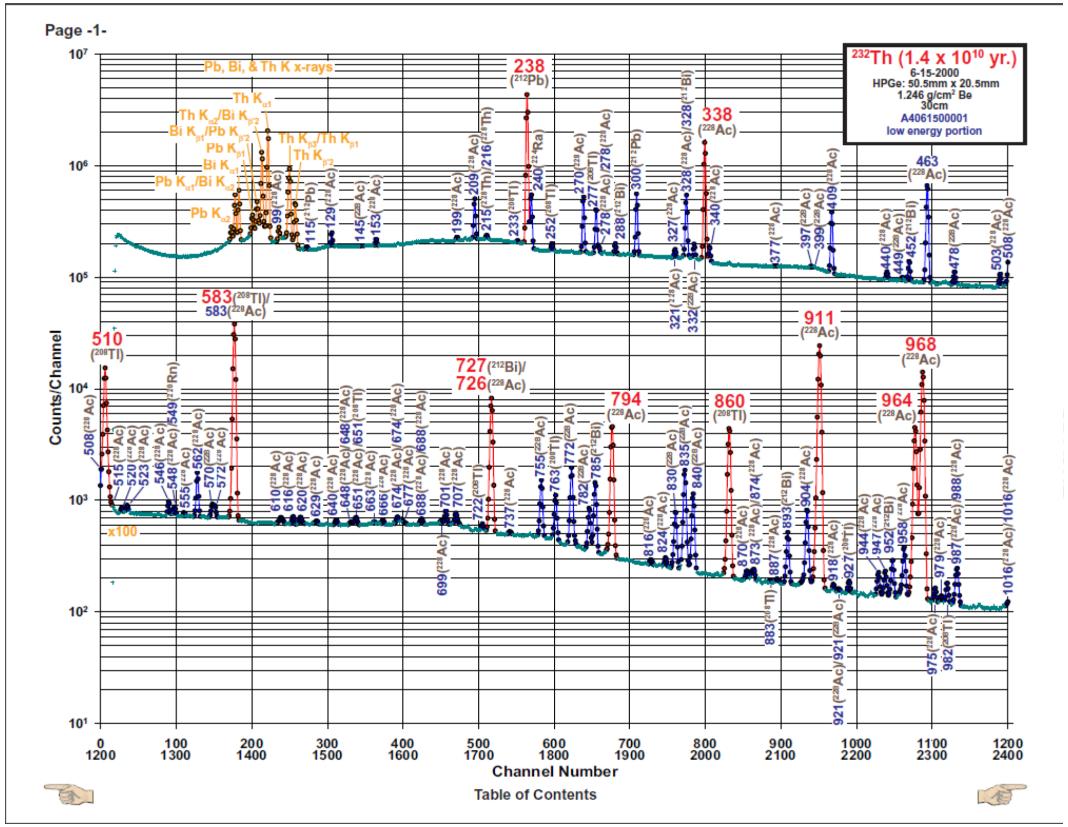


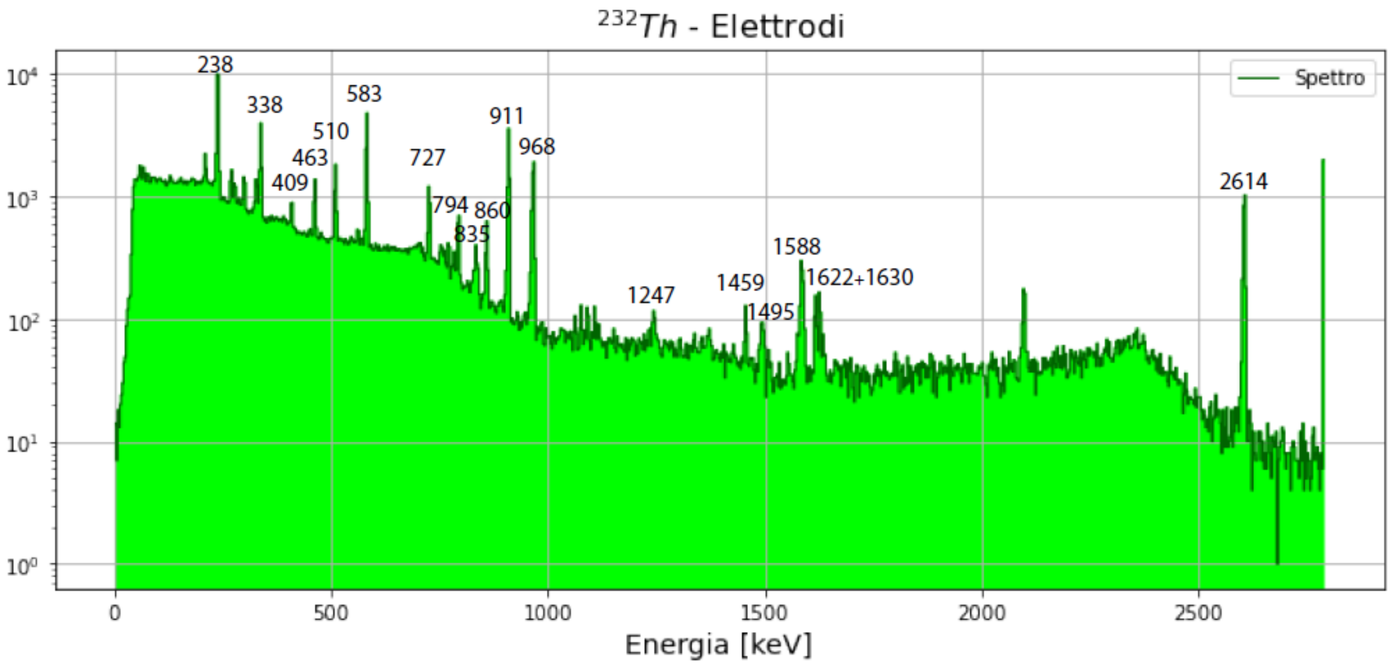
Spettro acquisito con un **germanio ad alta purezza** HPGe (**semiconduttore**)

Calibrazione dello spettro

- Si **associa ad ogni picco** individuabile nel proprio spettro l'energia ottenuta consultando uno **spettro di riferimento**
- Si trova la funzione (**retta di calibrazione**) che permette di passare da energia in unità di ADC ad un'energia in keV

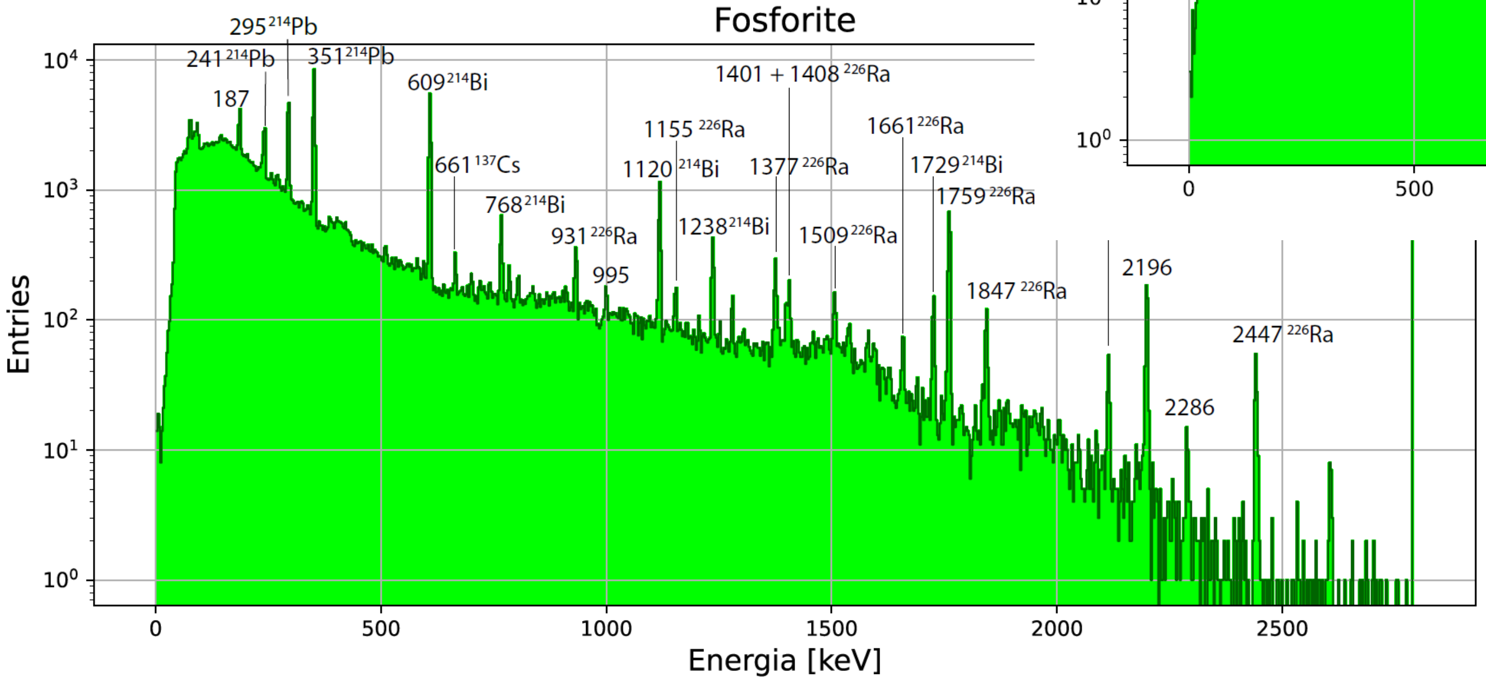


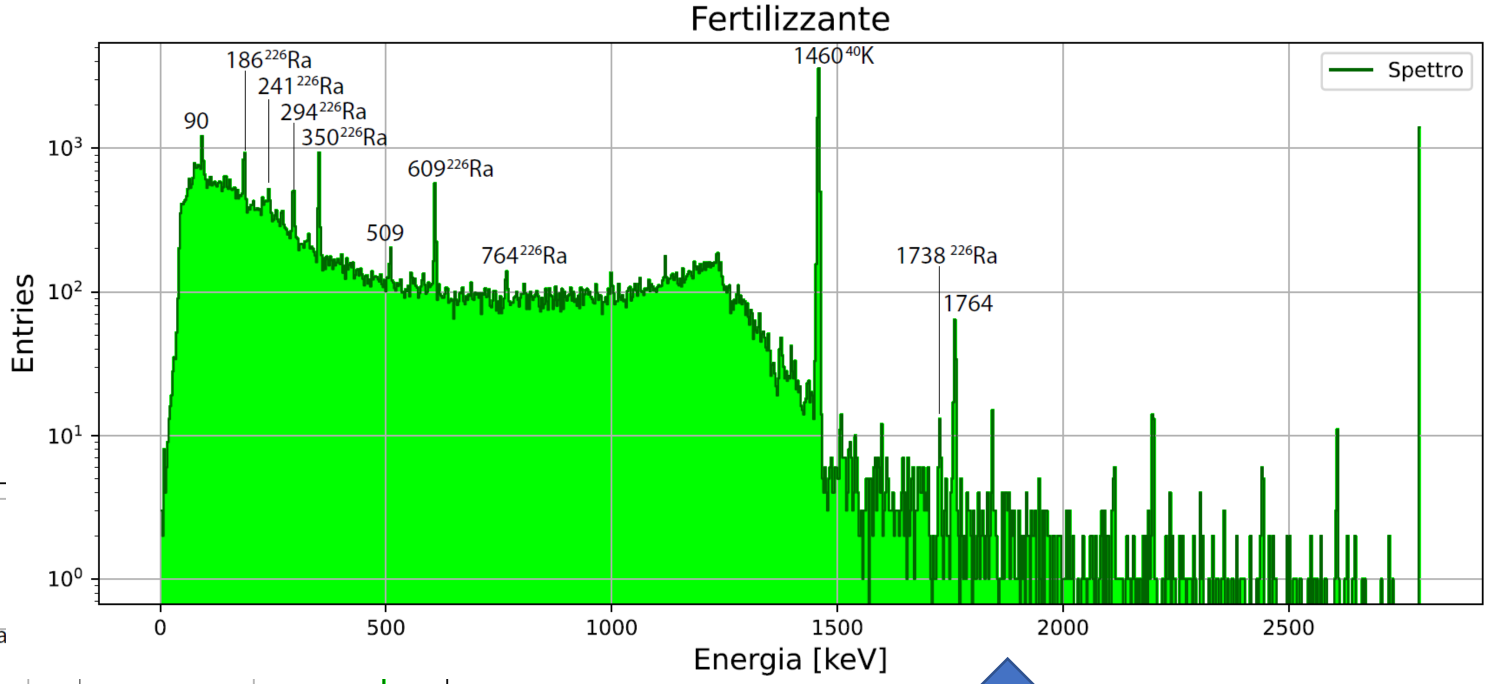




Stesso rivelatore – differenti campioni

Fosforite: si possono notare picchi degli isotopi di ^{214}Pb e ^{214}Bi appartenenti alla **catena naturale del ^{226}Ra**

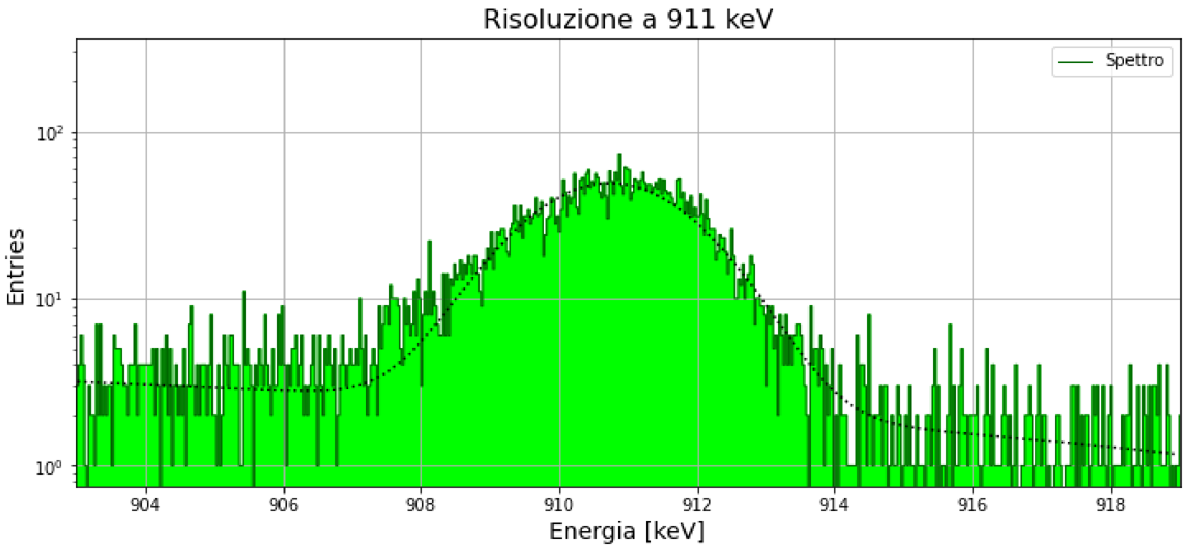




Fertilizzante in granuli: si notano, oltre ad alcuni picchi relativi al ^{226}Ra, il picco a 1460 keV del **^{40}K**

Risoluzione energetica a diverse energie

- **Calibrazione** dello spettro (da ADC a keV)
- **Fit gaussiano** dei picchi
- **Risoluzione** $= \frac{FWHM}{E} = 2.35 * \frac{\sigma}{E}$



Energy peak (keV)	Energy Resolution (%)
238	0.9870
338	0.6837
510	0.5532
583	0.4353
727	0.3467
794	0.3392
860	0.3007
911	0.3017
968	0.2932
1460	0.2141

Conclusioni

Il sistema presenta **risultati comparabili** a quelli ottenuti col **sistema tradizionale** di acquisizione in termini di **risoluzione energetica** (a 1332 keV: 0.30% vs 0.14%). **Linearità**: residui inferiori a 0.1%

I vantaggi di questo nuovo approccio riguardano la **compattezza e la portabilità**

Si possono **salvare le configurazioni**

Si può **controllare** qualsiasi parametro connettendosi **da remoto**

Si possono implementare **filtri e analisi differenti** semplicemente **scrivendo codice**, senza comprare **nessun modulo ulteriore**

Sviluppi futuri

Questo sistema è inoltre **molto versatile**: può essere impiegato per **leggere qualsiasi** tipo di **rivelatore di particelle**: può quindi essere utilizzato per attività all'interno di **scuole** o per **laboratori portatili** di fisica

I **dati acquisiti** possono essere direttamente processati (p.es. con Python o Excel), fornendo agli studenti **template di analisi** pronti all'uso che permettano agli studenti di **concentrarsi sulla fisica**

Grazie per l'attenzione

Stefano Carsi
scarsi@studenti.uninsubria.it

Backup slide

Stefano Carsi
scarsi@studenti.uninsubria.it

Poster conferenza ICHEP

- Poster presentato alla International Conference of High Energy Physics (ICHEP)
- Il sistema è in grado di coprire tutti i topic di un laboratorio di fisica nucleare e subnucleare del corso di laurea in fisica