



Tecniche di selezione dei materiali ad alta purezza per esperimenti di fisica degli eventi rari

Elena Sala

*Università degli Studi di Milano Bicocca-Dipartimento di Fisica G.Occhialini
INFN Sezione di Milano Bicocca*

IFAE 2012- Ferrara

FISICA DEGLI EVENTI RARI

Gli eventi rari sono fenomeni caratterizzati da:

Bassi rate di conteggio



**Segnale debole rispetto al
fondo radioattivo**



**Diminuzione
conteggi spuri**

Applicazioni

$\beta\beta(0\nu)$ (massa neutrino)

ν solari (oscillazioni)

Dark Matter (osservazione)

Radioattività ambientale (piccole contaminazioni)

Datazione con metodi radiometrici (variazione contaminazioni)

DOPPIO DECADIMENTO BETA

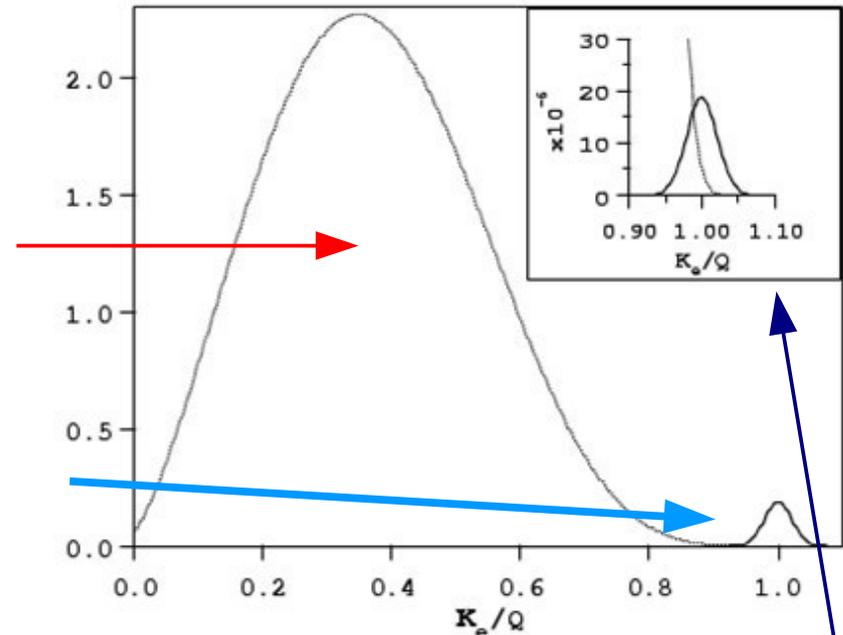


$\beta\beta 2\nu$
 continuo con massimo a $1/3Q_{\text{valore}}$:fondo

$\beta\beta 0\nu$:
 Picco al Q_{valore}

$$S_{0\nu} \propto \varepsilon \frac{i.a.}{A} \sqrt{\frac{M \cdot T}{\Delta E \cdot b}}$$

i.a.:abbondanza isotopica;
 M:massa della sorgente;
 T:live time; ΔE :FWHM;
 b:**background**



Necessità:
 Alto Q_{valore}
 Buona **risoluzione energetica:**
 Eliminare coda 2ν buon S/N

Fondo Radioattivo nella regione
 di interesse per esperimenti sul
 decadimento doppio beta
 $<10^{-2}$ conteggi/(keV kg anno)

CUORE

Cryogenic Underground Observatory for Rare Events
array of 988 TeO₂ crystals 5X5X5 cm³ (750 g)

⇒ 741 kg TeO₂

⇒ 600 kg Te

19 torri
13 piani
4 cristalli su
ogni piano

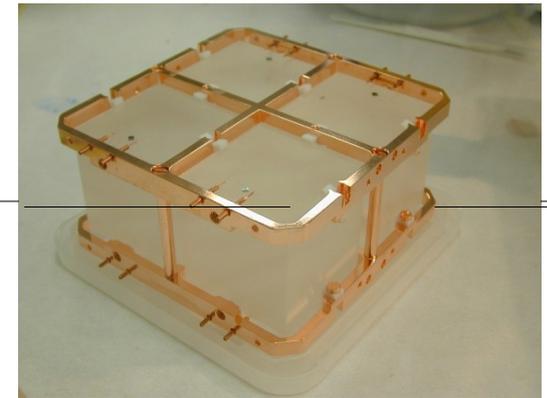
Isotopo attivo ¹³⁰Te

Abbondanza isotopica:

a.i. = 33.9%

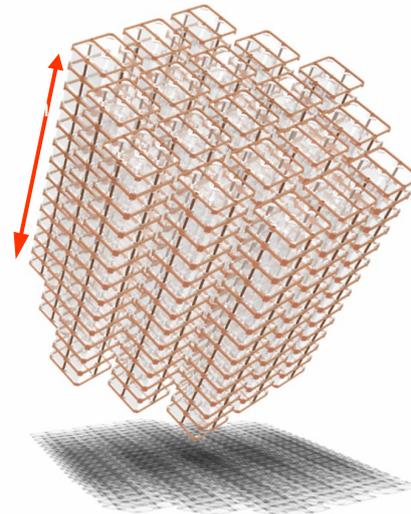
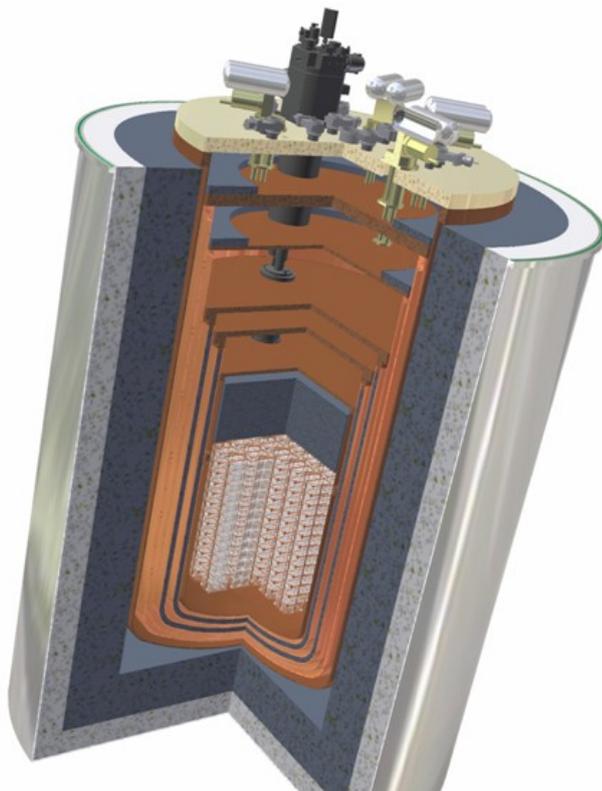
Energia di transizione:

$Q_{\beta\beta} = 2527$ keV



▶ TeO₂ Crystals

Copper Frames ◀



Cristalli: SORGENTE e RIVELATORE

Rame: struttura, materiale affacciato ai cristalli

Limiti contaminazione

Cristalli:

²³⁸U < 3*10⁻¹³ g/g

²³²Th < 3*10⁻¹³ g/g

²¹⁰Pb < 10⁻⁵ -Bq/kg

⁶⁰Co < 10⁻⁶ -Bq/kg

CUORE-0

Prima torre di **CUORE**

52 cristalli TeO_2 – 750g - $5 \cdot 10^{25}$ ^{130}Te nuclei

TEST procedura di **montaggio**

TEST miglioramento del **fondo radioattivo**

Pulizia superficiale ottimizzata:

- Lappatura Cristalli
- Trattamento definitivo Rame (Plasma)

Ottimizzazione montaggio:

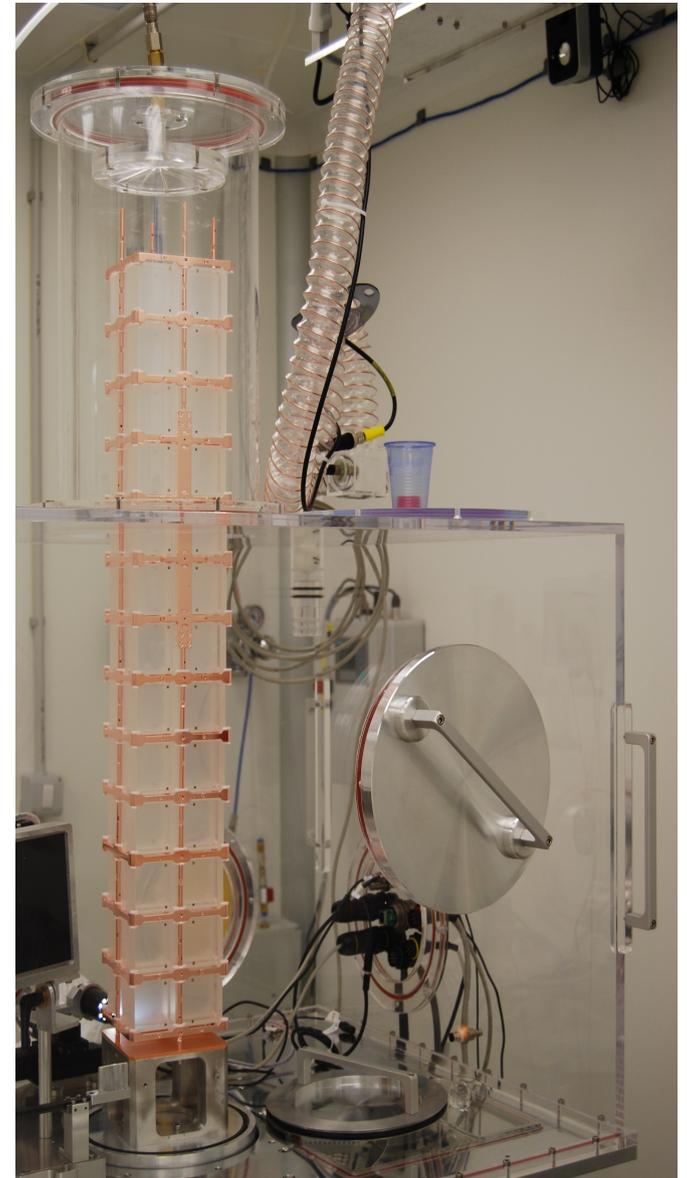
Massimizzare superficie esposta tra cristalli

Minimizzare quantità di Rame nella struttura

RAME

Minima esposizione raggi cosmici

Evitare attivazione ^{60}Co



TECNICHE LOW LEVEL COUNTING

Ottimizzazione del fondo radioattivo:

Selezione dei materiali (struttura e trattamenti) attraverso misure di contaminazione superficiale e di bulk

Misure con bassi rate di conteggio



Misure di Radionuclidi tramite
osservazione diretta del decadimento

Misure di radionuclidi
con metodi non radiometrici

Spettroscopia γ con HPGe

(Hyper Purity CGermanium)

ICP-MS

(Inductively Coupled Plasma-Mass Specrometry)

Bolometers

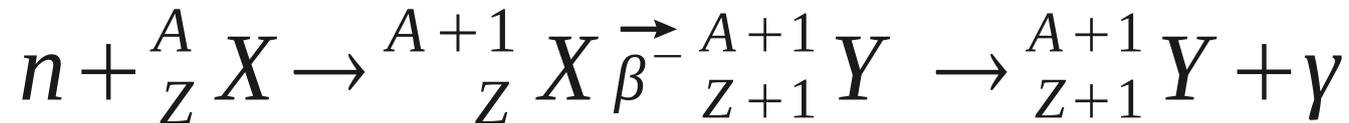
(Cryogenic detectors)

NAA

(Neutron Activation Analysis)

RNAA

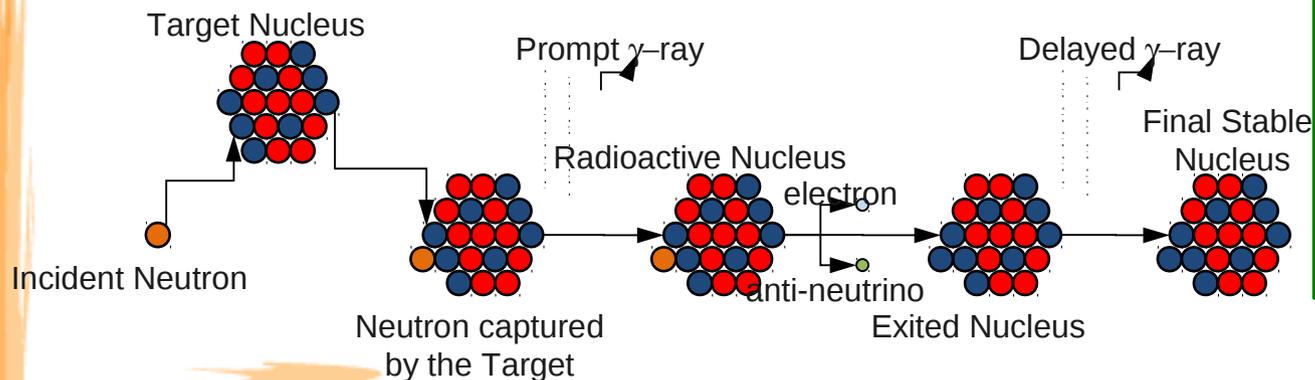
Produzione **isotopo instabile** : assorbimento neutroni da parte dei nuclei nel materiale da analizzare



Reazione (n,γ) per neutroni termici



Decadimento β e fotoni emessi ritardati



- No manipolazione chimica prima dell'irraggiamento
- **Acidi** utilizzati dopo irraggiamento privi degli elementi attivati
- Separazione interferenti da elementi da analizzare attraverso **resine** a scambio ionico

RNAA: RAME

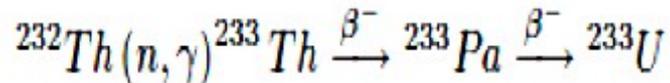
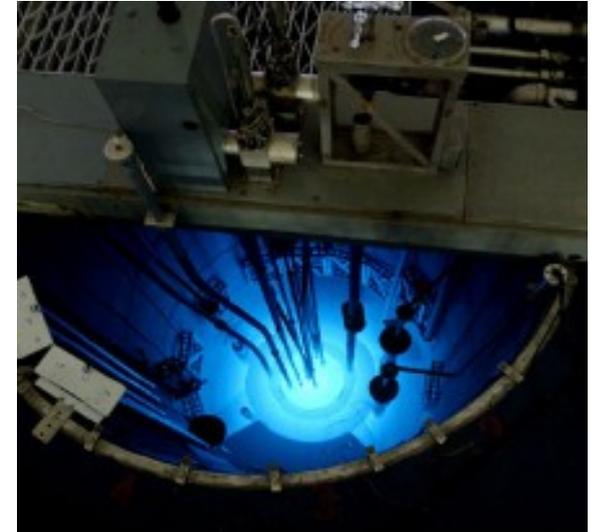
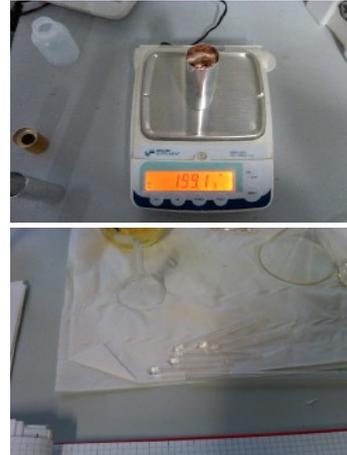
TRIGA MARK II University of Pavia 250 kW

MISURA concentrazione ^{232}Th nel
RAME di CUORE

Campione irraggiato:

199g Cu (dischi: 5mm diametro, 1mm spessore)

100 ul Standard Solution (1000 $\mu\text{g/ml}$ ^{232}Th)



^{233}Pa $t_{1/2} = 27 \text{ d}$

γ da 312.17keV

Tempo di irraggiamento

30 ore di esposizione totali

Flusso: **1013 n cm⁻² sec⁻¹**

Trattamento chimico del campione che riconcentra
l'elemento di interesse eliminando gli interferenti
Misura con HPGe

DL: **4.9 x 10⁻¹³ g/g** 90% c.l.



DL: **2.8 uBq/kg**

SPETTROSCOPIA GAMMA ULB

Misura Campioni con HPGe:

Riduzione del fondo ambientale

Schermatura (Piombo con bassa concentrazione di ^{210}Pb e Rame OFHC)

Copertura raggi cosmici

Riduzione fondo intrinseco

Selezione dei materiali

$$A_{\text{spec}}(\text{Bq/kg}) = \frac{(\text{conteggi full-energy})_{\text{campione}} - (\text{conteggi full-energy})_{\text{fondo}}}{m(\text{Kg}) \cdot \text{B.R.} \cdot T_{\text{misura}} \cdot \epsilon}$$

Laboratori Nazionali del Gran Sasso

Migliore sensibilità

Ottimizzazione HPGe come fondo e copertura

SVILUPPO DI TECNICHE SPECIFICHE



LABORATORIO DI RADIOATTIVITÀ MILANO BICOCCA

Spettroscopia gamma

Rivelatori HPGe

Piano -2

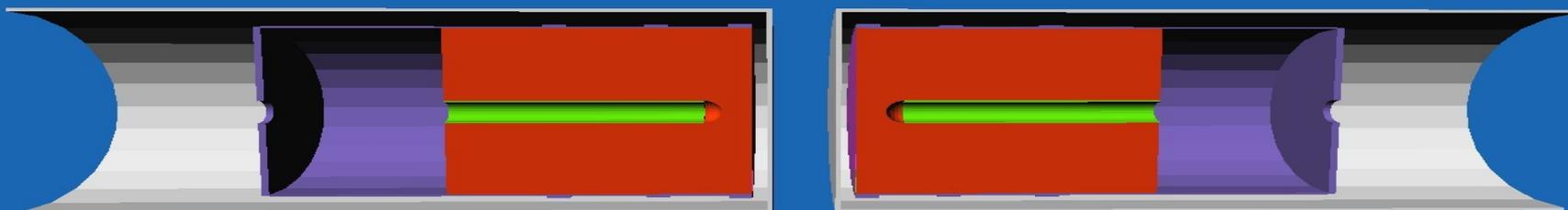
Dipartimento di Scienze Ambientali

Milano Bicocca

**SELEZIONE DEI
MATERIALI**

GMX100-95-PLUS-LB-S

Strumento a basso fondo radioattivo intrinseco
2 rivelatori al Germanio in configurazione **Ultra Low Background**
Metodo attivo di reiezione del fondo: **COINCIDENZA**



GMX: MISURA DEI MATERIALI E SIMULAZIONE

Rivelatori al Germanio di tipo n in
configurazione
Reduce Background

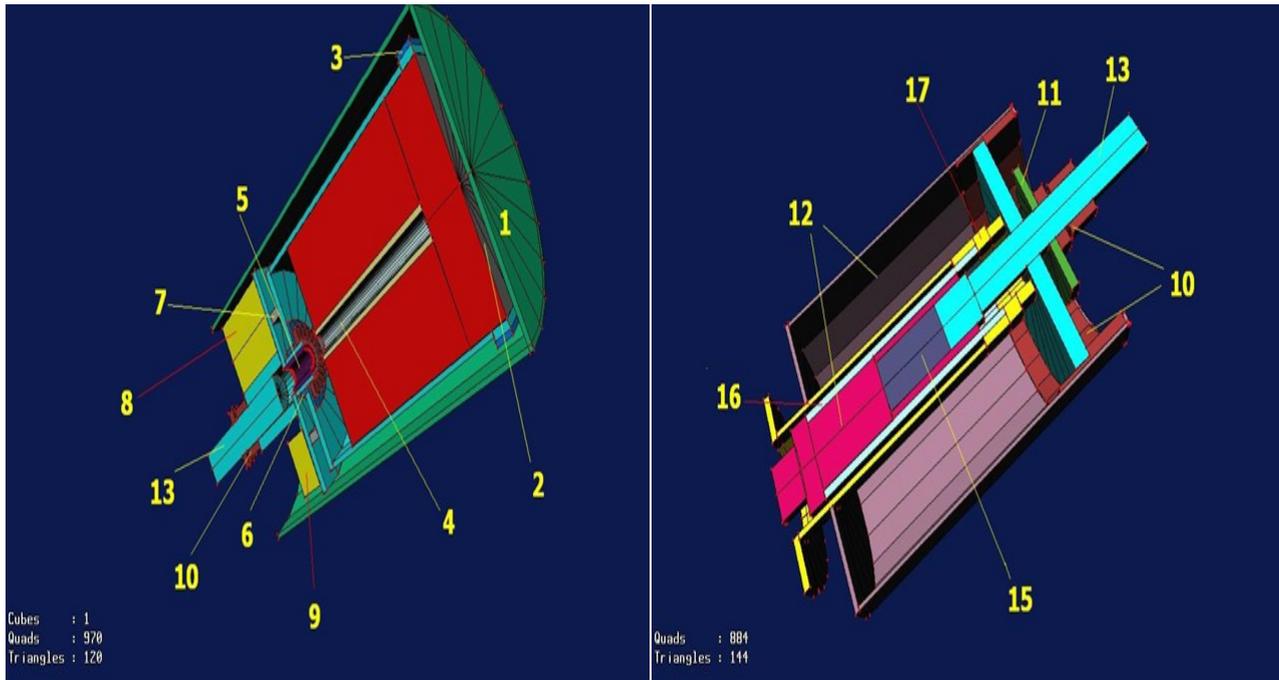
End Cap in **Fibra di Carbonio**

Holder in **Rame**

Molecular Sieve per creare il vuoto

Scheda elettronica e Filtro Hv interni all'End Cap

Raffreddamento con X-COOLER



1. Carbon Fiber
2. Mylar
3. Polietilene
4. Ottone (Oro)
5. Teflon
6. Tefzel
7. Allumina
8. Molecular Sieve
9. Scheda Elettronica
10. Acciaio INOX
11. Vetro Epossidico
12. Alluminio
13. Rame

GMX: SELEZIONE DEI MATERIALI

$$A_{\text{spec}} (\text{Bq/kg}) = \frac{(\text{conteggi full-energy})_{\text{campione}} - (\text{conteggi full-energy})_{\text{fondo}}}{m(\text{Kg}) \cdot \text{B.R.} \cdot T_{\text{misura}} \cdot \varepsilon}$$

GMX100-95-PLUS-LB-S

Materiali selezionati

Campione	²³² Th (mBq/kg)	²³⁸ U (mBq/kg)	⁴⁰ K (mBq/kg)	Utilizzo
High Purity Aluminium	5 ± 0.9	< 2.4	< 37	End Cap Holder
Mylar	< 26	< 0.155	0.17 ± 0.04	Sostituisce Vetro epossidico
Allumina monocristallina	< 3.8	< 0.56	42 ± 14	Base cristallo

Conteggi full-energy: conteggi che costituiscono il picco all'energia considerata

ε: efficienza assoluta del rivelatore

B.R.: branching Ratio per la radiazione considerata

Modifica del criostato:

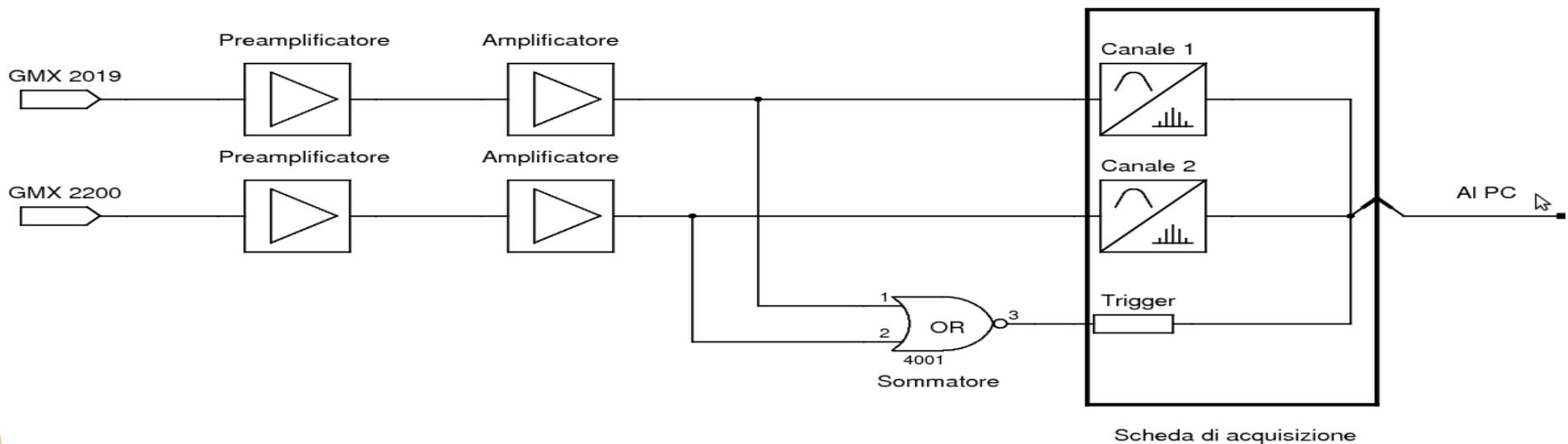
Scheda Elettronica e Filtro H_v esterni a End Cap
Creazione del vuoto con metodo meccanico

GMX

Rivelatori inseriti in schermatura:
20 cm **Piombo**
15 cm **Rame** (interno)
Piombo Romano tra rivelatore
ed elettronica

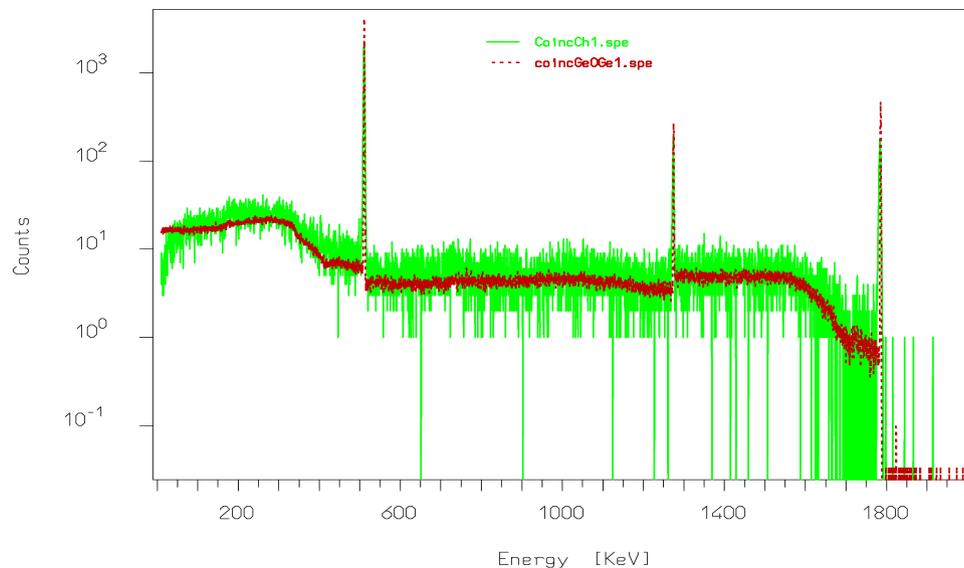
I segnali vengono acquisiti da entrambi i rivelatori contemporaneamente
Trigger fatto con **OR**: ogni volta che un segnale viene registrato da uno dei due rivelatori.

Analisi offline con software specifico.



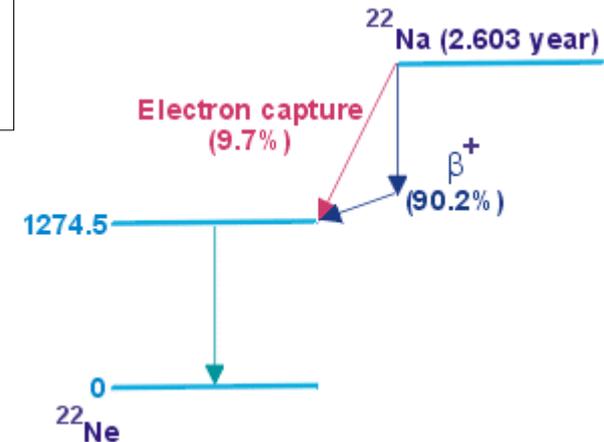
GMX

Primo test di analisi in coincidenza: misura con sorgente di ^{22}Na : 2 fotoni da 511keV back to back



Tue Sep 20 15:37:53 2011

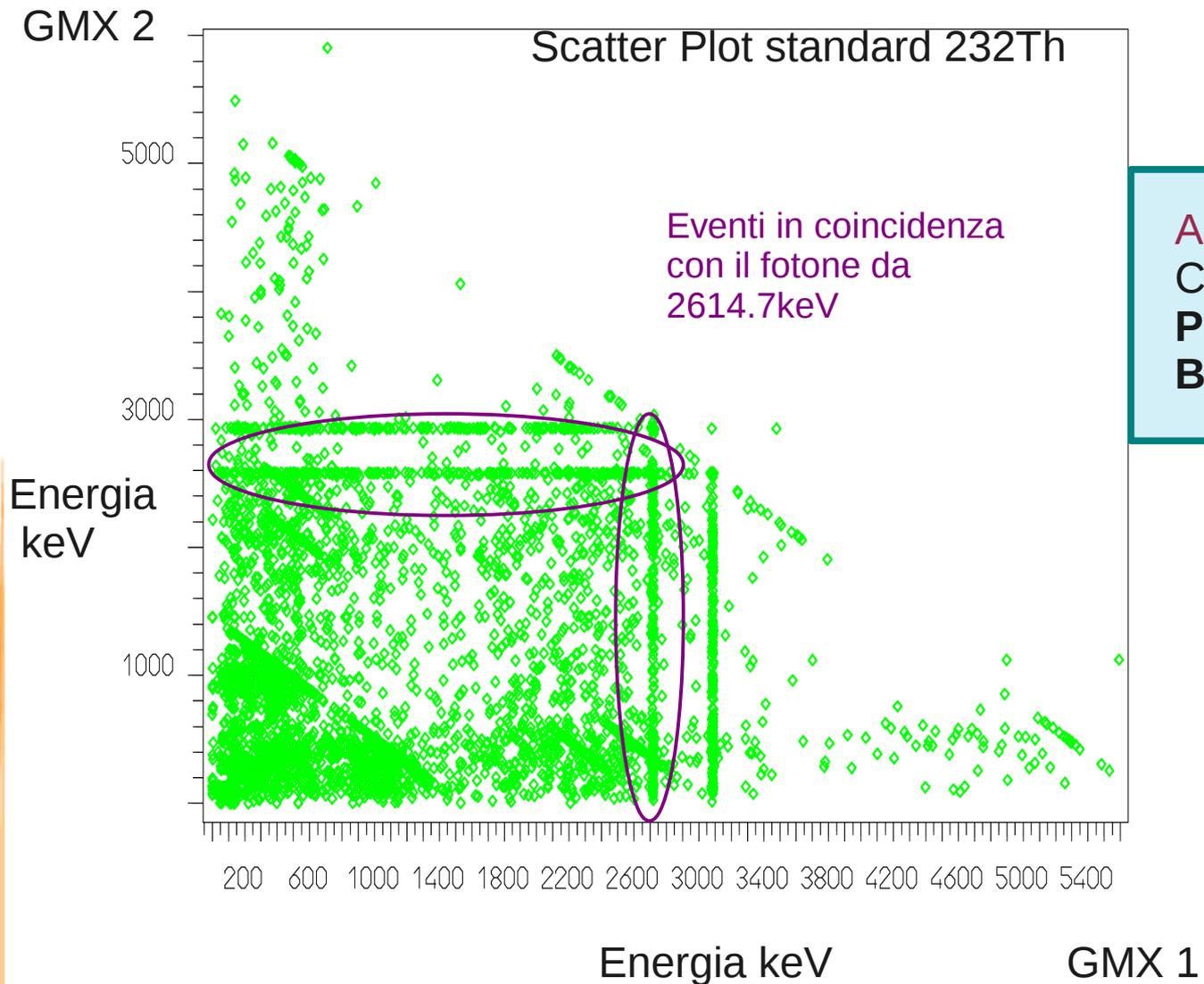
Ricostruzione del sistema al simulatore.
Confronto tra Spettro in coincidenza Misurato e Spettro in coincidenza Simulato corrispondente alla selezione di un evento da 511keV sull'altro rivelatore.



Forma dello spettro ricostruita!
Analisi in **coincidenza** correlata solo alla **sorgente!!!**
Test di ipotesi:
FONDO TRASCURABILE!

Efficienza al 511keV singolo rivelatore misura integrale: **15%**
Efficienza in coincidenza: **78%** di Eff integrale.
Ottima ricostruzione dello spettro del radionuclide.

GMX: analisi in coincidenza



AUMENTO EFFICIENZA
Considero conteggi
PICCO-COMPTON
BACKSCATTERING

Stima del Limite per
 ^{232}Th
<500 uBq/kg

CONCLUSIONI

Tecniche per la selezione dei materiali associate e ulteriormente sviluppabili

RNAA: Implementazione della tecnica con nuovi approcci
Miglior limite sul ^{232}Th su campioni di Rame

GMX: Implementazione del sistema di coincidenza (DAQ e software)
Sistema di veto per raggi cosmici