

# Caratterizzazione di un rivelatore gamma $4\pi$ per lo studio della reazione $^{14}\text{N}(\text{p},\gamma)^{15}\text{O}$

Paolo Pusterla

Università degli Studi di Torino

Novembre 2024

*F. Cavanna  
G. Gervino  
R. Sariyal*



# Outline

- 1 Introduzione
- 2 Obiettivi della tesi
- 3 Calibrazione in energia
- 4 Efficienza
- 5 Simulazioni
- 6 Conclusione

# Table of Contents

1 Introduzione

2 Obiettivi della tesi

3 Calibrazione in energia

4 Efficienza

5 Simulazioni

6 Conclusione

# Motivazione astrofisica

- Lo studio del modello standard solare (SSM) richiede conoscenze sulla composizione chimica del Sole

# Motivazione astrofisica

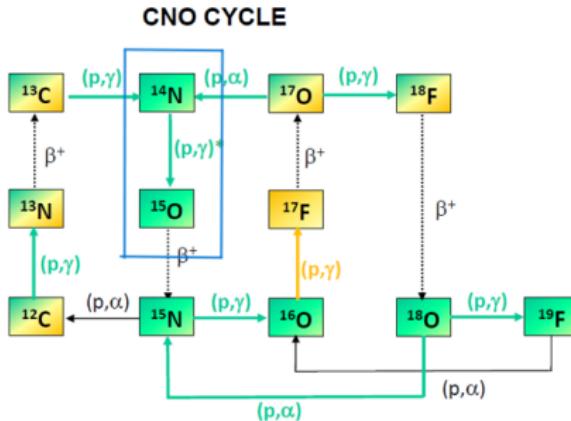
- Lo studio del modello standard solare (SSM) richiede conoscenze sulla composizione chimica del Sole
- Analisi spettroscopiche della fotosfera solare costruiscono due modelli in contraddizione tra loro: LZ (otosfera 3D) e HZ (otosfera 1D)

# Motivazione astrofisica

- Lo studio del modello standard solare (SSM) richiede conoscenze sulla composizione chimica del Sole
- Analisi spettroscopiche della fotosfera solare costruiscono due modelli in contraddizione tra loro: LZ (otosfera 3D) e HZ (otosfera 1D)
- Per capire se la composizione sia uniforme in funzione della profondità, si studia il flusso di neutrini del CNO, combinato con le *sezioni d'urto* di alcune reazioni ( $^{14}\text{N}(\text{p}, \gamma)^{15}\text{O}$ )

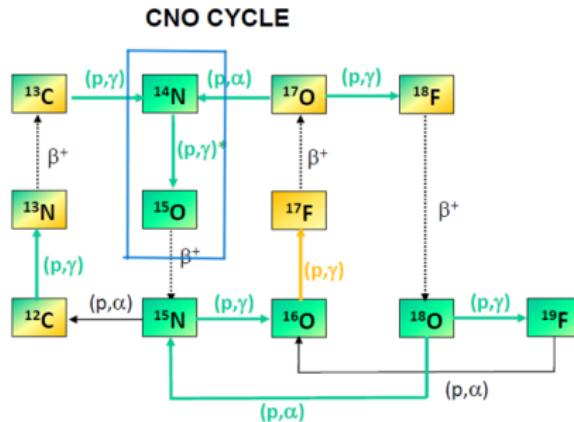
# Motivazione astrofisica

- Lo studio del modello standard solare (SSM) richiede conoscenze sulla composizione chimica del Sole
- Analisi spettroscopiche della fotosfera solare costruiscono due modelli in contraddizione tra loro: LZ (otosfera 3D) e HZ (otosfera 1D)
- Per capire se la composizione sia uniforme in funzione della profondità, si studia il flusso di neutrini del CNO, combinato con le *sezioni d'urto* di alcune reazioni ( $^{14}\text{N}(\text{p}, \gamma)^{15}\text{O}$ )



# Motivazione astrofisica

- Lo studio del modello standard solare (SSM) richiede conoscenze sulla composizione chimica del Sole
- Analisi spettroscopiche della fotosfera solare costruiscono due modelli in contraddizione tra loro: LZ (otosfera 3D) e HZ (otosfera 1D)
- Per capire se la composizione sia uniforme in funzione della profondità, si studia il flusso di neutrini del CNO, combinato con le *sezioni d'urto* di alcune reazioni ( $^{14}\text{N}(\text{p}, \gamma)^{15}\text{O}$ )
- Energie solari molto basse (15-50 keV), si studia nel range 50-370 keV



# Motivazione astrofisica

- Lo studio del modello standard solare (SSM) richiede conoscenze sulla composizione chimica del Sole

# Motivazione astrofisica

- Lo studio del modello standard solare (SSM) richiede conoscenze sulla composizione chimica del Sole
- Analisi spettroscopiche della fotosfera solare costruiscono due modelli in contraddizione tra loro: LZ (otosfera 3D) e HZ (otosfera 1D)

# Motivazione astrofisica

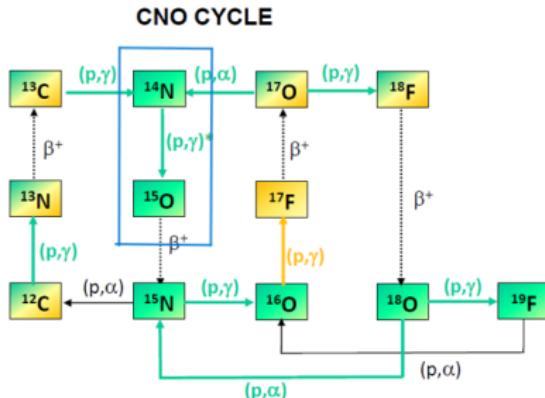
- Lo studio del modello standard solare (SSM) richiede conoscenze sulla composizione chimica del Sole
- Per capire se la composizione sia uniforme in funzione della profondità, si studia il flusso di neutrini del CNO, combinato con le *sezioni d'urto* di alcune reazioni ( $^{14}\text{N}(\text{p}, \gamma)^{15}\text{O}$ )
- Analisi spettroscopiche della fotosfera solare costruiscono due modelli in contraddizione tra loro: LZ (otosfera 3D) e HZ (otosfera 1D)

# Motivazione astrofisica

- Lo studio del modello standard solare (SSM) richiede conoscenze sulla composizione chimica del Sole
- Analisi spettroscopiche della fotosfera solare costruiscono due modelli in contraddizione tra loro: LZ (otosfera 3D) e HZ (otosfera 1D)
- Per capire se la composizione sia uniforme in funzione della profondità, si studia il flusso di neutrini del CNO, combinato con le *sezioni d'urto* di alcune reazioni ( $^{14}\text{N}(\text{p}, \gamma)^{15}\text{O}$ )
- Energie solari molto basse (15-50 keV), si studia nel range 50-370 keV

# Motivazione astrofisica

- Lo studio del modello standard solare (SSM) richiede conoscenze sulla composizione chimica del Sole
- Analisi spettroscopiche della fotosfera solare costruiscono due modelli in contraddizione tra loro: LZ (otosfera 3D) e HZ (otosfera 1D)
- Per capire se la composizione sia uniforme in funzione della profondità, si studia il flusso di neutrini del CNO, combinato con le *sezioni d'urto* di alcune reazioni ( $^{14}\text{N}(\text{p}, \gamma)^{15}\text{O}$ )
- Energie solari molto basse (15-50 keV), si studia nel range 50-370 keV



# Astrofisica nucleare sotterranea

- Nelle stelle, le reazioni di fusione avvengono ad energie molto inferiori rispetto alla barriera coulombiana

# Astrofisica nucleare sotterranea

- Nelle stelle, le reazioni di fusione avvengono ad energie molto inferiori rispetto alla barriera coulombiana
- La *sezione d'urto* di una reazione nucleare è una grandezza utilizzata per descrivere la probabilità che la reazione avvenga.

# Astrofisica nucleare sotterranea

- Nelle stelle, le reazioni di fusione avvengono ad energie molto inferiori rispetto alla barriera coulombiana
- La *sezione d'urto* di una reazione nucleare è una grandezza utilizzata per descrivere la probabilità che la reazione avvenga.



Radiazione	LNGS/superficie
Muoni	$10^{-6}$
Neutroni	$10^{-3}$

# Astrofisica nucleare sotterranea

- Nelle stelle, le reazioni di fusione avvengono ad energie molto inferiori rispetto alla barriera coulombiana
- La *sezione d'urto* di una reazione nucleare è una grandezza utilizzata per descrivere la probabilità che la reazione avvenga.
- La si può calcolare sperimentalmente come:

$$\sigma = \frac{N_{reaz}/\Delta t}{N_{proj}/\Delta t \times N_{bers}/A \times \varepsilon} \quad (1)$$



Radiazione	LNGS/superficie
Muoni	$10^{-6}$
Neutroni	$10^{-3}$

# Astrofisica nucleare sotterranea

- Nelle stelle, le reazioni di fusione avvengono ad energie molto inferiori rispetto alla barriera coulombiana
- La *sezione d'urto* di una reazione nucleare è una grandezza utilizzata per descrivere la probabilità che la reazione avvenga.
- La si può calcolare sperimentalmente come:

$$\sigma = \frac{N_{reaz}/\Delta t}{N_{proj}/\Delta t \times N_{bers}/A \times \varepsilon} \quad (1)$$

- Con una  $\sigma \approx 10^{-12}$  barn si ha un *reaction rate* ( $N_{reaz}/\Delta t$ ) che vale appena  $1 \div 10$  conteggi al giorno



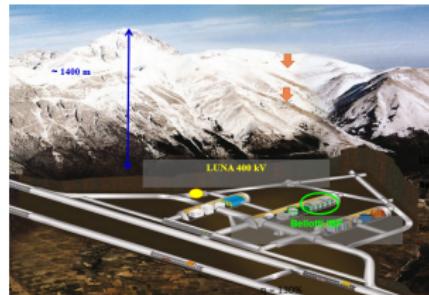
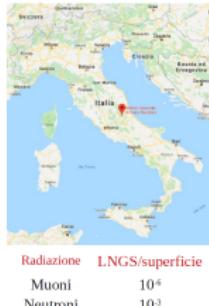
Radiazione	LNGS/superficie
Muoni	$10^{-6}$
Neutroni	$10^{-3}$

# Astrofisica nucleare sotterranea

- Nelle stelle, le reazioni di fusione avvengono ad energie molto inferiori rispetto alla barriera coulombiana
- La *sezione d'urto* di una reazione nucleare è una grandezza utilizzata per descrivere la probabilità che la reazione avvenga.
- La si può calcolare sperimentalmente come:

$$\sigma = \frac{N_{reaz}/\Delta t}{N_{proj}/\Delta t \times N_{bers}/A \times \varepsilon} \quad (1)$$

- Con una  $\sigma \approx 10^{-12}$  barn si ha un *reaction rate* ( $N_{reaz}/\Delta t$ ) che vale appena  $1 \div 10$  conteggi al giorno  $\Rightarrow$  misure sotterranee

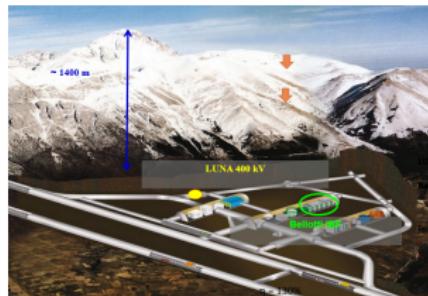
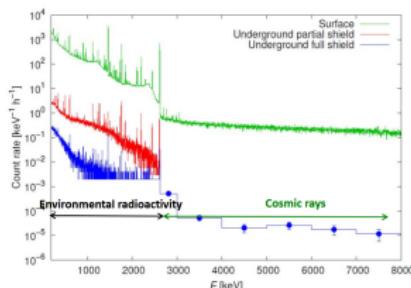


# Astrofisica nucleare sotterranea

- Nelle stelle, le reazioni di fusione avvengono ad energie molto inferiori rispetto alla barriera coulombiana
- La *sezione d'urto* di una reazione nucleare è una grandezza utilizzata per descrivere la probabilità che la reazione avvenga.
- La si può calcolare sperimentalmente come:

$$\sigma = \frac{N_{reaz}/\Delta t}{N_{proj}/\Delta t \times N_{bers}/A \times \varepsilon} \quad (1)$$

- Con una  $\sigma \approx 10^{-12}$  barn si ha un *reaction rate* ( $N_{reaz}/\Delta t$ ) che vale appena  $1 \div 10$  conteggi al giorno  $\Rightarrow$  misure sotterranee



# LUNA 400 kV

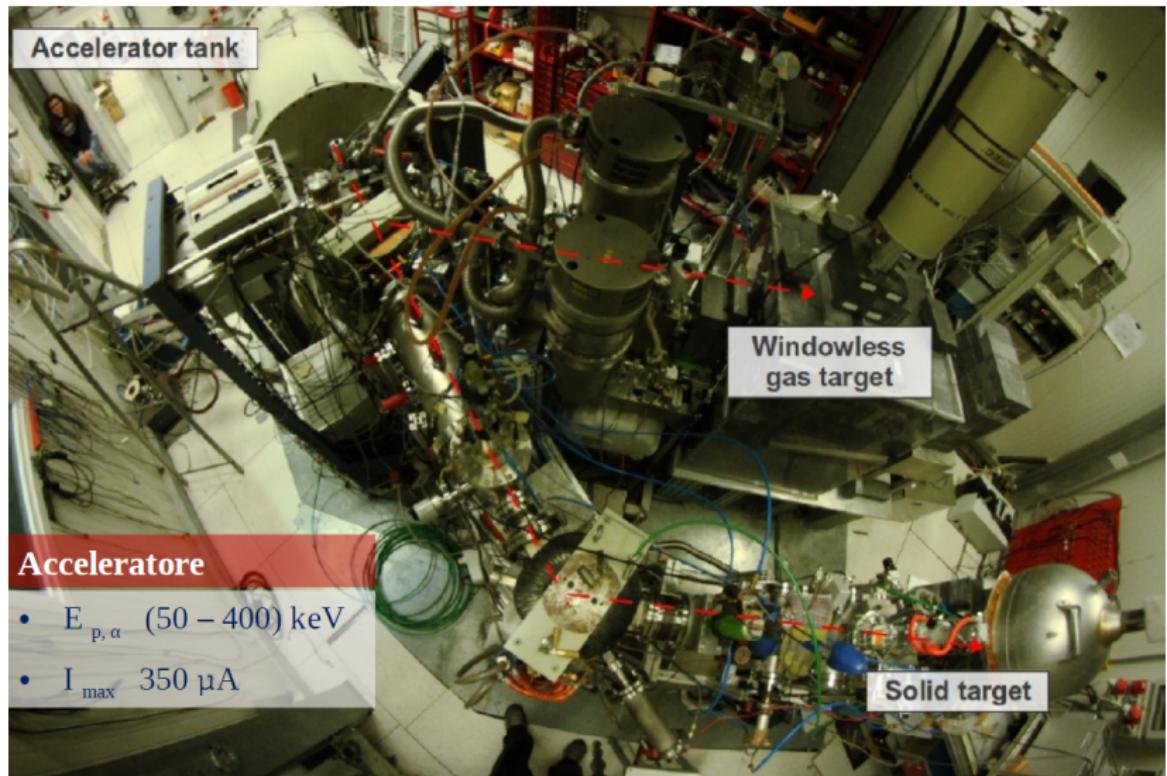


Figure: Apparato sperimentale LUNA.

# Apparato sperimentale

- Fascio di protoni  
50-400 keV

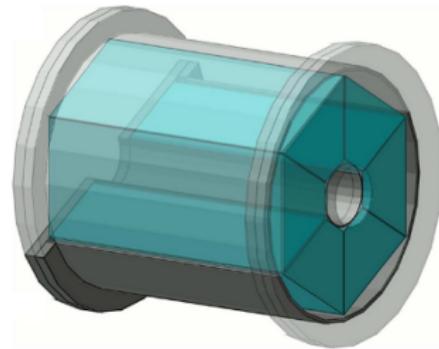
# Apparato sperimentale

- Fascio di protoni  
50-400 keV
- Bersaglio solido TiN



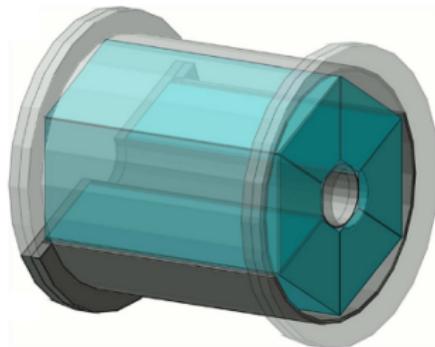
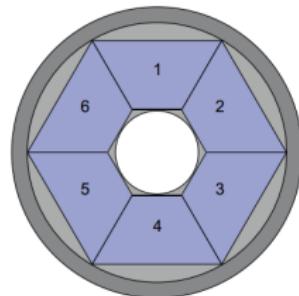
# Apparato sperimentale

- Fascio di protoni  
50-400 keV
- Bersaglio solido TiN
- Rivelatore di fotoni:  
BGO



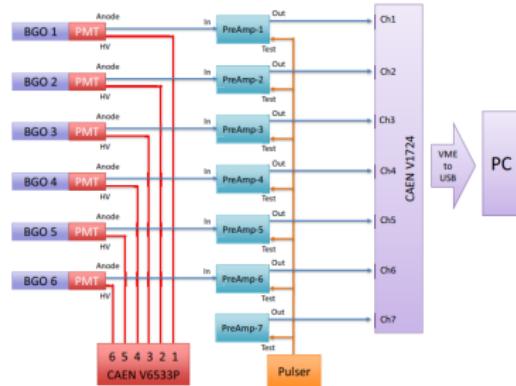
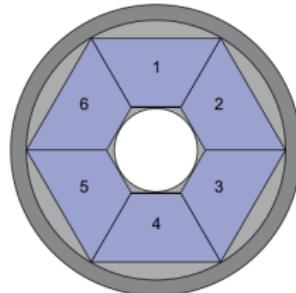
# Apparato sperimentale

- Fascio di protoni  
50-400 keV
- Bersaglio solido TiN
- Rivelatore di fotoni:  
BGO



# Apparato sperimentale

- Fascio di protoni  
50-400 keV
- Bersaglio solido TiN
- Rivelatore di fotoni:  
BGO
- Segnali in uscita letti  
da digitizer CAEN



# Table of Contents

1 Introduzione

2 Obiettivi della tesi

3 Calibrazione in energia

4 Efficienza

5 Simulazioni

6 Conclusione

# Obiettivi della tesi

L'obiettivo della tesi, incentrato sull'analisi dei dati, è quello di

# Obiettivi della tesi

L'obiettivo della tesi, incentrato sull'analisi dei dati, è quello di

- **calibrare in energia** gli spettri gamma

# Obiettivi della tesi

L'obiettivo della tesi, incentrato sull'analisi dei dati, è quello di

- **calibrare in energia** gli spettri gamma
- **caratterizzare in efficienza** di rivelazione dei fotoni per i sei segmenti del BGO

# Obiettivi della tesi

L'obiettivo della tesi, incentrato sull'analisi dei dati, è quello di

- **calibrare in energia** gli spettri gamma
- **caratterizzare in efficienza** di rivelazione dei fotoni per i sei segmenti del BGO

L'efficienza ottenuta tramite l'analisi dei dati sperimentali è stata confrontata con simulazioni GEANT4.

# Table of Contents

1 Introduzione

2 Obiettivi della tesi

3 Calibrazione in energia

4 Efficienza

5 Simulazioni

6 Conclusione

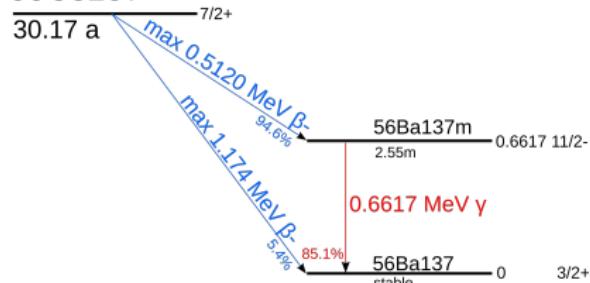
# Calibrazione in energia

- Viene effettuata con due sorgenti radioattive,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{60}\text{Co}$ , di attività nota

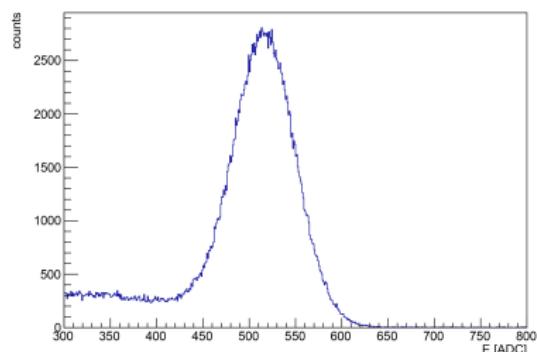
# Calibrazione in energia

- Viene effettuata con due sorgenti radioattive,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{60}\text{Co}$ , di attività nota

$^{55}\text{Cs}137$

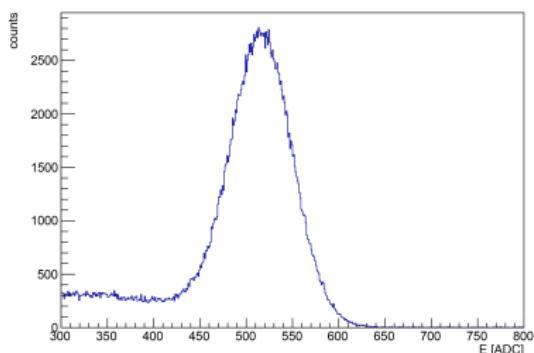
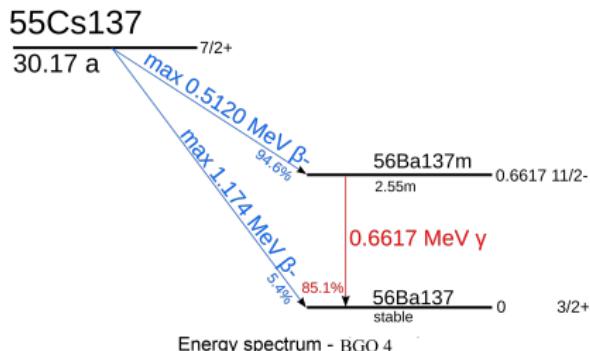


Energy spectrum - BGO 4

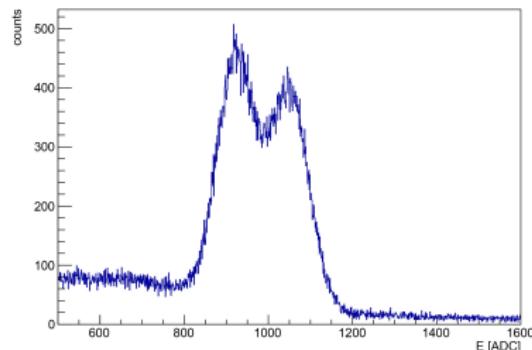
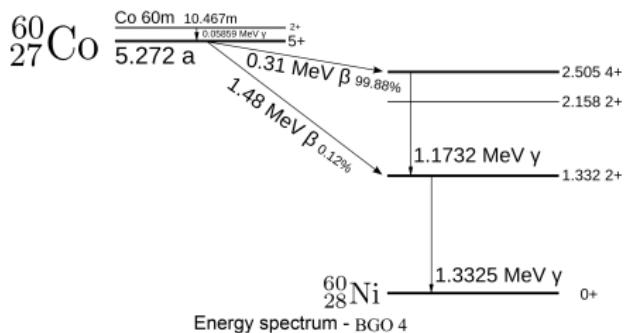


# Calibrazione in energia

- Viene effettuata con due sorgenti radioattive,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{60}\text{Co}$ , di attività nota

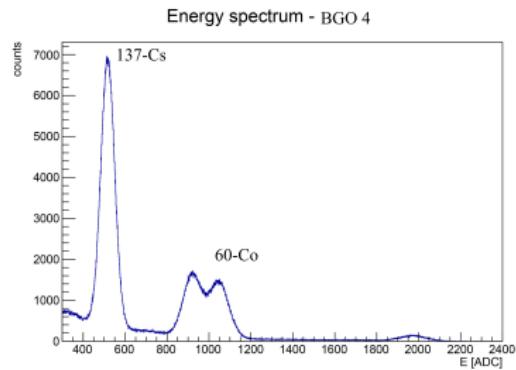


Fisica (UniTo)



P. Pusterla

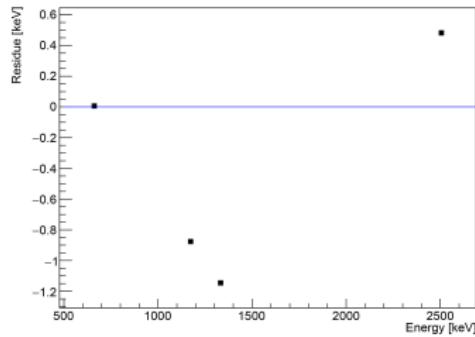
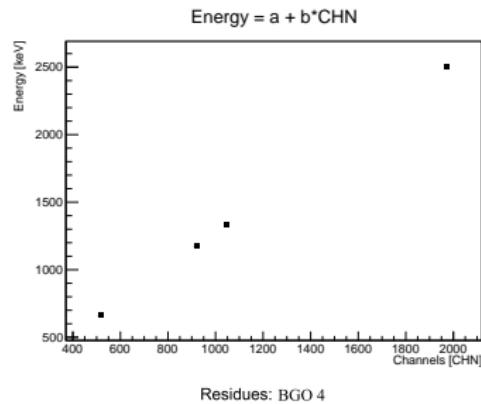
# Calcolo della calibrazione



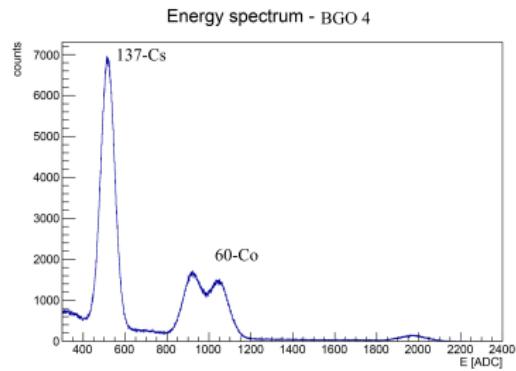
---

Canale	a [keV]	b [keV/CHN]
CHN4	$5.83 \pm 0.39$	$1.2676 \pm 0.0006$

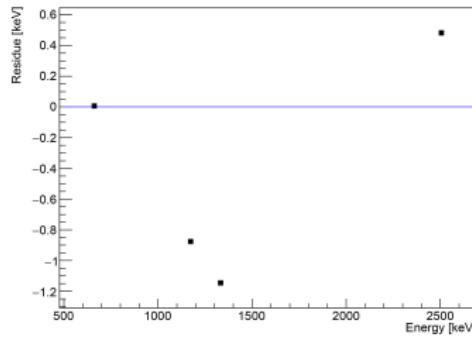
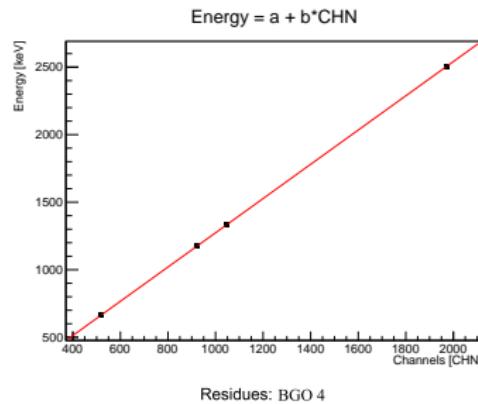
---



# Calcolo della calibrazione



Canale	a [keV]	b [keV/CHN]
CHN4	$5.83 \pm 0.39$	$1.2676 \pm 0.0006$



# Table of Contents

1 Introduzione

2 Obiettivi della tesi

3 Calibrazione in energia

4 Efficienza

5 Simulazioni

6 Conclusione

# Efficienza

- L'efficienza è un fattore fondamentale per ricavare la sezione d'urto.

# Efficienza

- L'efficienza è un fattore fondamentale per ricavare la sezione d'urto.
- Si può calcolare dall'espressione:

$$\varepsilon = \frac{N_{cont.}}{A(t^*)\Delta t} \quad (2)$$

# Efficienza

- L'efficienza è un fattore fondamentale per ricavare la sezione d'urto.
- Si può calcolare dall'espressione:

$$\varepsilon = \frac{N_{cont.}}{A(t^*)\Delta t} \quad (2)$$

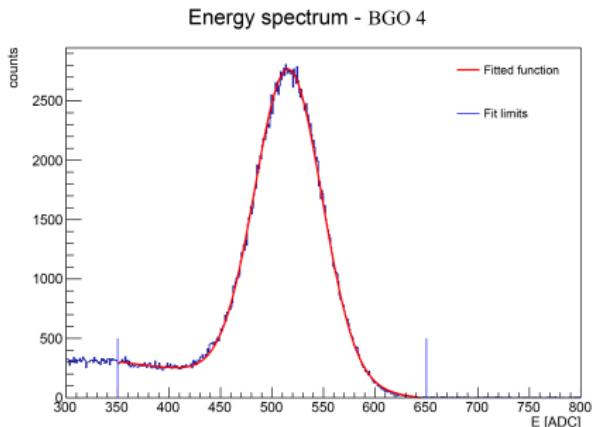
- L'attività è calcolata al momento della misurazione (sorgenti radioattive di attività nota con precisione del 0.5%)

# Efficienza

- L'efficienza è un fattore fondamentale per ricavare la sezione d'urto.
- Si può calcolare dall'espressione:

$$\varepsilon = \frac{N_{cont.}}{A(t^*)\Delta t} \quad (2)$$

- L'attività è calcolata al momento della misurazione (sorgenti radioattive di attività nota con precisione del 0.5%)

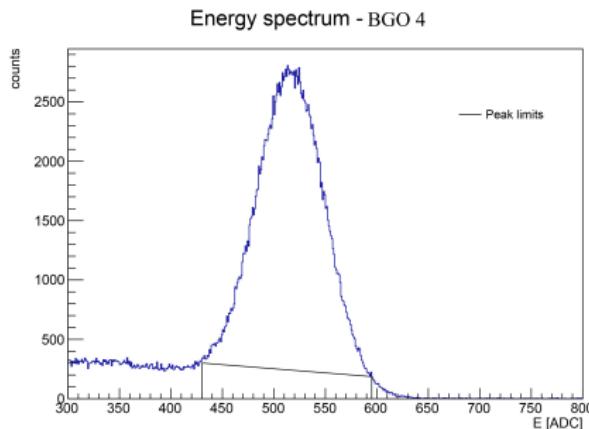
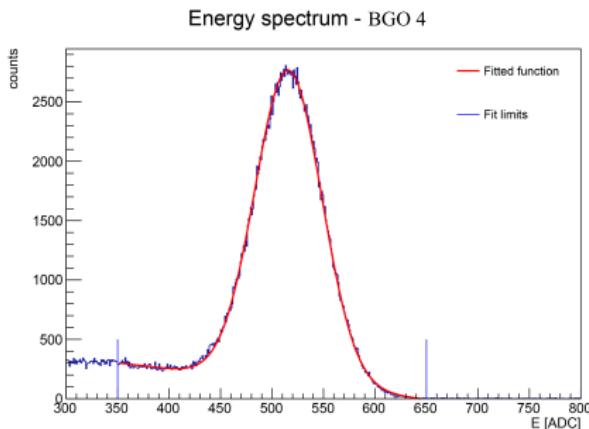


# Efficienza

- L'efficienza è un fattore fondamentale per ricavare la sezione d'urto.
- Si può calcolare dall'espressione:

$$\varepsilon = \frac{N_{cont.}}{A(t^*)\Delta t} \quad (2)$$

- L'attività è calcolata al momento della misurazione (sorgenti radioattive di attività nota con precisione del 0.5%)

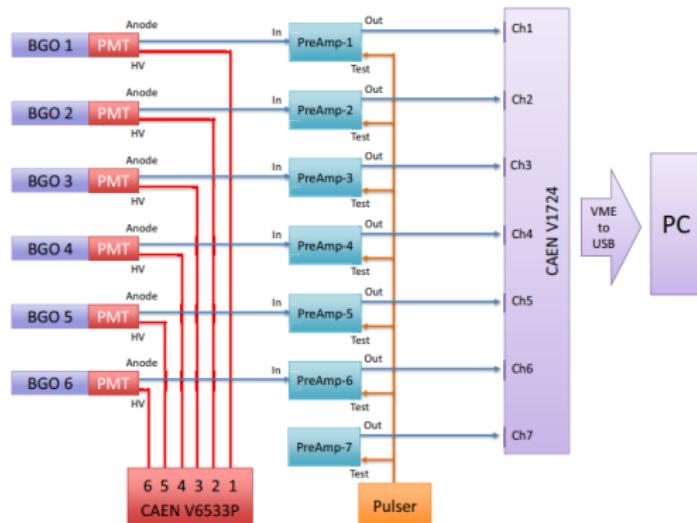


## Tempo morto

- Il pulser ha frequenza nota e serve per stimare il tempo morto dell'elettronica
- Il segnale del pulser in ciascun segmento viene confrontato con quello a frequenza nota

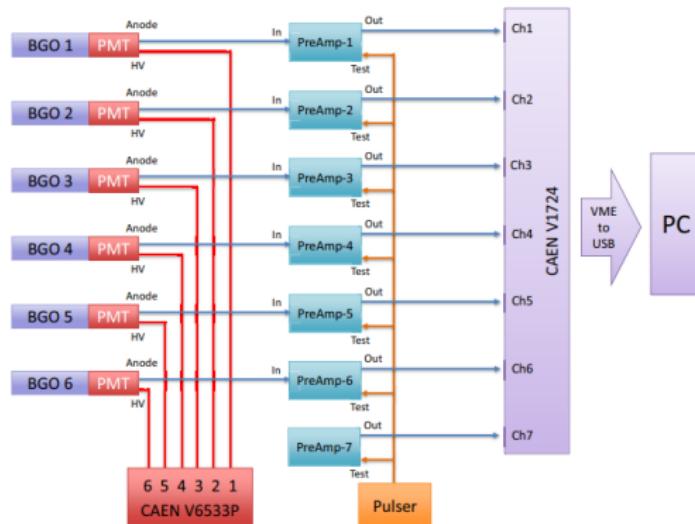
# Tempo morto

- Il pulser ha frequenza nota e serve per stimare il tempo morto dell'elettronica
- Viene mandato in ogni segmento del BGO
- Il segnale del pulser in ciascun segmento viene confrontato con quello a frequenza nota



# Tempo morto

- Il pulser ha frequenza nota e serve per stimare il tempo morto dell'elettronica
- Viene mandato in ogni segmento del BGO
- Il segnale del pulser in ciascun segmento viene confrontato con quello a frequenza nota
- Per il segmento 4 il tempo morto è circa l'1.3%



# Table of Contents

1 Introduzione

2 Obiettivi della tesi

3 Calibrazione in energia

4 Efficienza

5 Simulazioni

6 Conclusione

# Simulazioni

- Il setup sperimentale, le sorgenti radioattive e la reazione  $^{14}\text{N}(\text{p},\gamma)^{15}\text{O}$  sono stati simulati in GEANT4

# Simulazioni

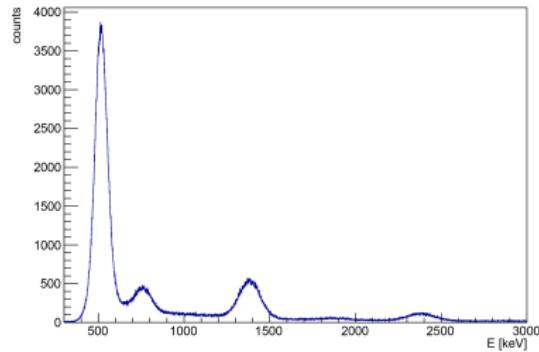
- Il setup sperimentale, le sorgenti radioattive e la reazione  $^{14}\text{N}(\text{p},\gamma)^{15}\text{O}$  sono stati simulati in GEANT4
- Gli spettri ottenuti con queste simulazioni sono a risoluzione energetica infinita

# Simulazioni

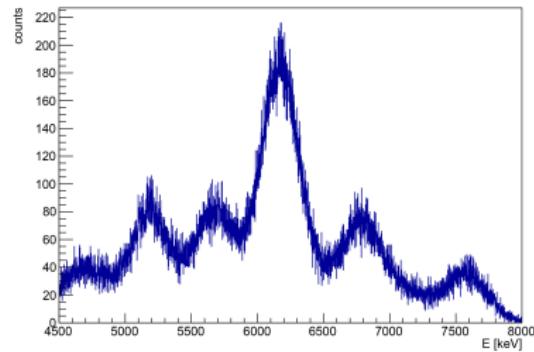
- Il setup sperimentale, le sorgenti radioattive e la reazione  $^{14}\text{N}(\text{p},\gamma)^{15}\text{O}$  sono stati simulati in GEANT4
- Gli spettri ottenuti con queste simulazioni sono a risoluzione energetica infinita
- Questi sono stati analizzati applicando la risoluzione energetica ottenuta dagli spettri sperimentali

# Risoluzione energetica

Energy spectrum - BGO 4

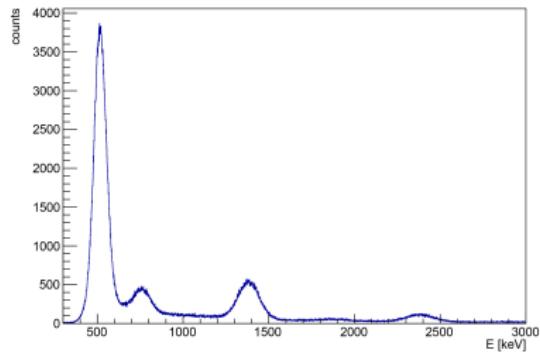


Energy spectrum - BGO 4



# Risoluzione energetica

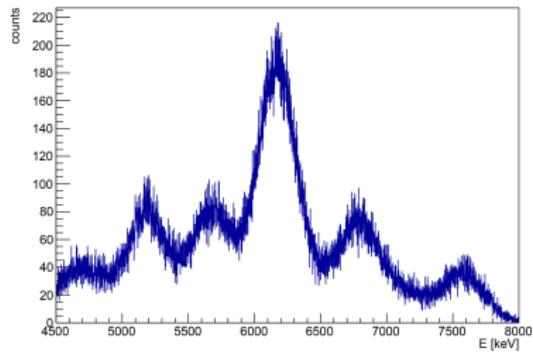
Energy spectrum - BGO 4



- Per trovare la risoluzione energetica si fitta la funzione:

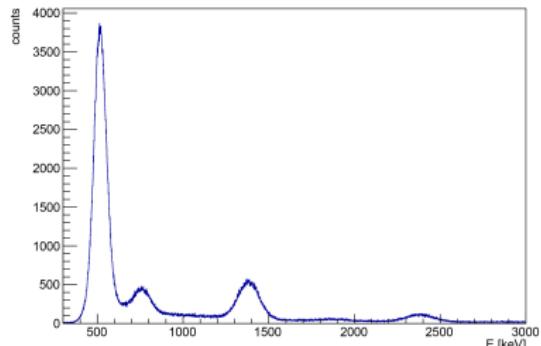
$$f(E) = a + \frac{b}{\sqrt{E}}$$

Energy spectrum - BGO 4

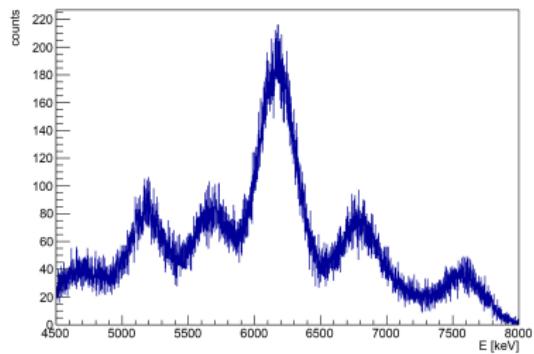


# Risoluzione energetica

Energy spectrum - BGO 4

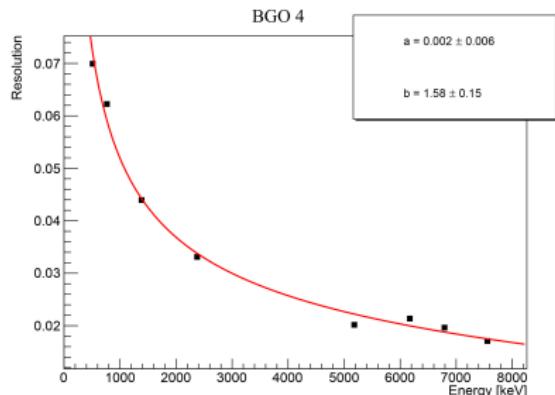


Energy spectrum - BGO 4

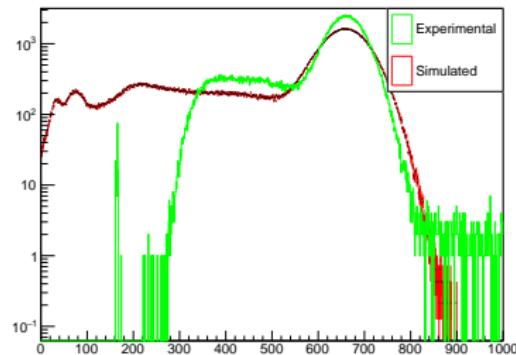


- Per trovare la risoluzione energetica si fitta la funzione:

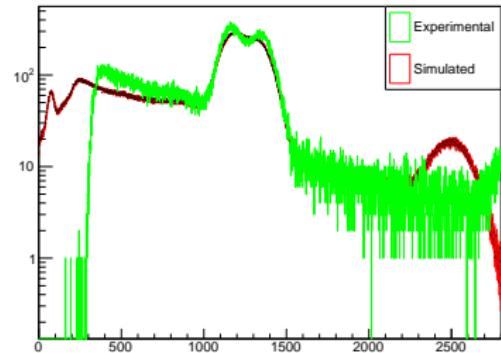
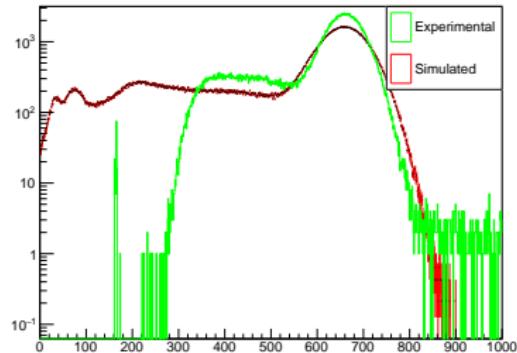
$$f(E) = a + \frac{b}{\sqrt{E}}$$



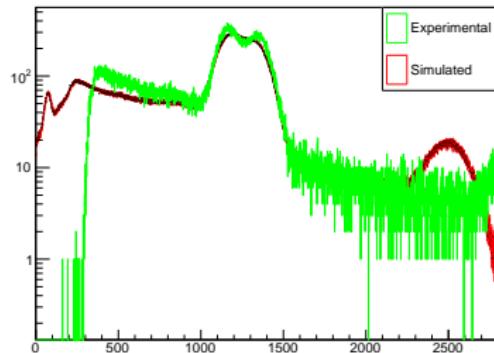
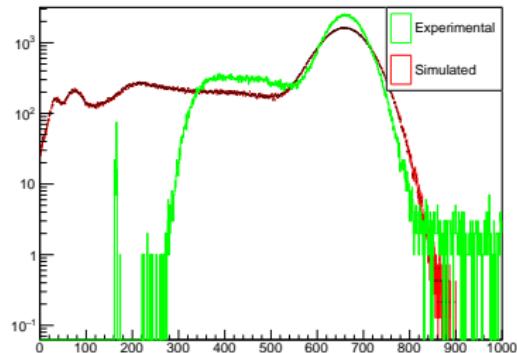
# Simulazioni



# Simulazioni



# Simulazioni



CHN4	Efficienza % (sim.)	Efficienza % (exp.)
$^{137}\text{Cs}$ (661 keV)	$10.8 \pm 0.5$	$10.2 \pm 0.5$
$^{60}\text{Co}$ (1173 keV)	$7.9 \pm 0.4$	$8.1 \pm 0.4$
$^{60}\text{Co}$ (1332 keV)	$7.8 \pm 0.4$	$7.5 \pm 0.4$

# Table of Contents

1 Introduzione

2 Obiettivi della tesi

3 Calibrazione in energia

4 Efficienza

5 Simulazioni

6 Conclusione

# Conclusione

- Durante la tesi ci si è occupato della calibrazione di uno strumento per lo studio della reazione  $^{14}\text{N}(\text{p}, \gamma)^{15}\text{O}$

# Conclusione

- Durante la tesi ci si è occupato della calibrazione di uno strumento per lo studio della reazione  $^{14}\text{N}(\text{p}, \gamma)^{15}\text{O}$
- Il rivelatore utilizzato è stato calibrato in energia e ne si è calcolata l'efficienza

# Conclusione

- Durante la tesi ci si è occupato della calibrazione di uno strumento per lo studio della reazione  $^{14}\text{N}(\text{p}, \gamma)^{15}\text{O}$
- Il rivelatore utilizzato è stato calibrato in energia e ne si è calcolata l'efficienza
- Si sono analizzate le simulazioni Monte Carlo, per poi confrontarle coi dati sperimentali

Fine

**Grazie per l'attenzione.**

# Backup

Slide di backup

# L'esperimento

- L'esperimento LUNA (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics) ricrea i processi nucleari che sono avvenuti durante la nucleosintesi primordiale e che avvengono tutt'ora nelle stelle.

# L'esperimento

- L'esperimento LUNA (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics) ricrea i processi nucleari che sono avvenuti durante la nucleosintesi primordiale e che avvengono tutt'ora nelle stelle.
- Essendo processi molto rari, un laboratorio sulla superficie terrestre non è adatto per le misure sperimentali di questi, poiché i raggi cosmici maschererebbero il segnale debole atteso.

# Motivazione astrofisica

- I neutrini solari giocano un ruolo fondamentale nella determinazione della composizione del Sole.

# Motivazione astrofisica

- I neutrini solari giocano un ruolo fondamentale nella determinazione della composizione del Sole.
- Sono prodotti nel ciclo CNO del Sole.

# Motivazione astrofisica

- I neutrini solari giocano un ruolo fondamentale nella determinazione della composizione del Sole.
- Sono prodotti nel ciclo CNO del Sole.
- In particolare, la sezione d'urto della reazione  $^{14}\text{N}(\text{p}, \gamma)^{15}\text{O}$  è la fonte di errore principale sulle stime del flusso di neutrini, in quanto la più breve dell'intero ciclo.

- I neutrini solari giocano un ruolo fondamentale nella determinazione della composizione del Sole.
- Sono prodotti nel ciclo CNO del Sole.
- In particolare, la sezione d'urto della reazione  $^{14}\text{N}(\text{p}, \gamma)^{15}\text{O}$  è la fonte di errore principale sulle stime del flusso di neutrini, in quanto la più breve dell'intero ciclo.
- A energie solari (15-50 keV) la sezione d'urto è troppo piccola per essere misurata direttamente.

- I neutrini solari giocano un ruolo fondamentale nella determinazione della composizione del Sole.
- Sono prodotti nel ciclo CNO del Sole.
- In particolare, la sezione d'urto della reazione  $^{14}\text{N}(\text{p}, \gamma)^{15}\text{O}$  è la fonte di errore principale sulle stime del flusso di neutrini, in quanto la più breve dell'intero ciclo.
- A energie solari (15-50 keV) la sezione d'urto è troppo piccola per essere misurata direttamente.
- La tesi ha come obiettivo contribuire alla determinazione della sezione d'urto ad energie 50-370 keV.

# Proposta dell'esperimento

- A energie solari (15-50 keV) la sezione d'urto è troppo piccola per essere misurata direttamente.

# Proposta dell'esperimento

- A energie solari (15-50 keV) la sezione d'urto è troppo piccola per essere misurata direttamente.
- Le stime odierne sono quindi estrapolazioni da energie più alte.

# Proposta dell'esperimento

- A energie solari (15-50 keV) la sezione d'urto è troppo piccola per essere misurata direttamente.
- Le stime odierne sono quindi estrapolazioni da energie più alte.
- Il progetto ha come obiettivo determinare la sezione d'urto ad energie 50-370 keV.

# Reaction rate

- Il *reaction rate* ( $N_{reaz}/\Delta t$ ) vale quindi appena  $1 \div 10$  conteggi al giorno

# Reaction rate

- Il *reaction rate* ( $N_{reaz}/\Delta t$ ) vale quindi appena  $1 \div 10$  conteggi al giorno
- Basta pochissimo rumore per nascondere i segnali che rivelano le reazioni

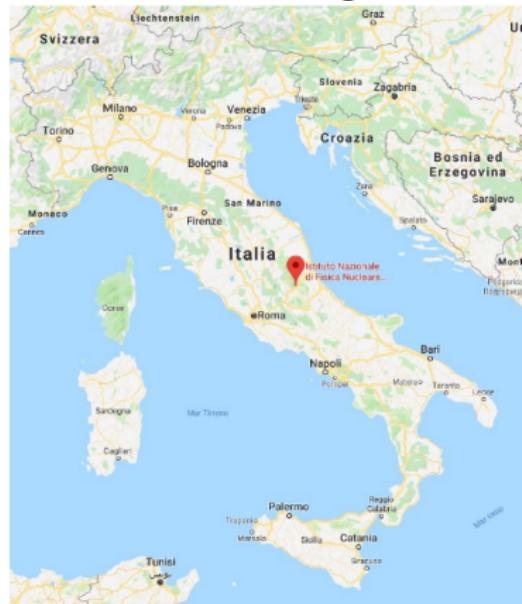
# Reaction rate

- Il *reaction rate* ( $N_{reaz}/\Delta t$ ) vale quindi appena  $1 \div 10$  conteggi al giorno
- Basta pochissimo rumore per nascondere i segnali che rivelano le reazioni
- La soluzione è cercare di minimizzare il rumore di fondo

# Località

tenere immagine

- I Laboratori Nazionali del Gran Sasso, situati nella frazione di Assergi, sono schermati dai 1400 m di roccia del Monte Aquila.



Radiazione LNGS/superficie

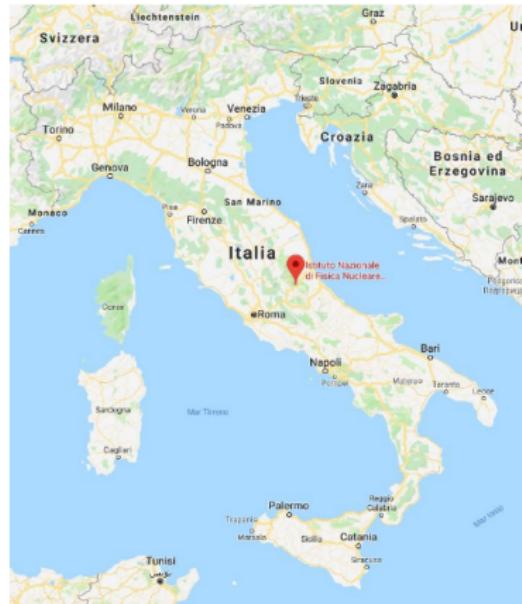
Muoni  $10^{-6}$

Neutroni  $10^{-3}$

# Località

tenere immagine

- I Laboratori Nazionali del Gran Sasso, situati nella frazione di Assergi, sono schermati dai 1400 m di roccia del Monte Aquila.
- Ciò fa sì che il fondo di raggi cosmici sia fortemente soppresso



Radiazione LNGS/superficie

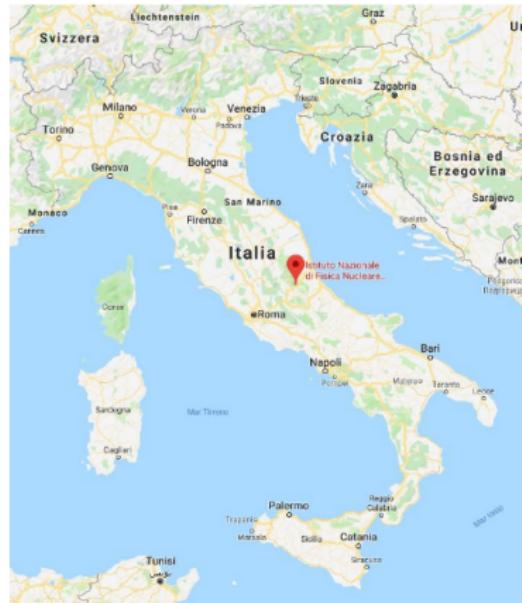
Muoni  $10^{-6}$

Neutroni  $10^{-3}$

# Località

- I Laboratori Nazionali del Gran Sasso, situati nella frazione di Assergi, sono schermati dai 1400 m di roccia del Monte Aquila.
- Ciò fa sì che il fondo di raggi cosmici sia fortemente soppresso
- Qui è collocato l'acceleratore LUNA2 a 400 kV, che permette di concentrare fasci ionici molto intensi e stabili.

tenere immagine



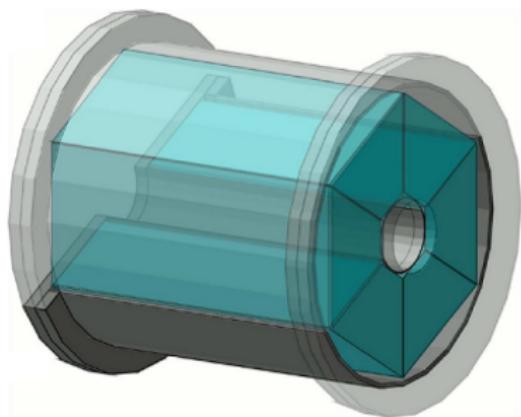
Radiazione LNGS/superficie

Muoni  $10^{-6}$

Neutroni  $10^{-3}$

# Il rivelatore $4\pi$

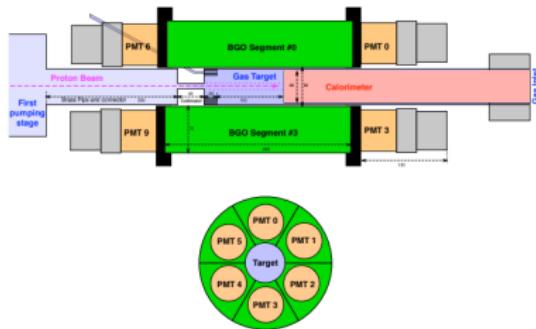
- Si tratta di un rivelatore in germanato di bismuto ( $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ , detto BGO), coprente il 95% dell'angolo solido totale attorno al bersaglio.
- Si tratta di uno scintillatore, ossia uno strumento che quando eccitato da radiazione ionizzante, ne assorbe l'energia depositata e la riemette sotto forma di fotoni



**Figure:** Rappresentazione 3D del rivelatore BGO.

# Il rivelatore $4\pi$

- Il cristallo, a simmetria cilindrica, è otticamente separato in 6 spicchi uguali.



**Figure:** Rappresentazione schematica del rivelatore BGO. In alto una sezione sagittale, in basso una sezione trasversale.

- L'efficienza di uno scintillatore è il rapporto tra il numero di conteggi prodotti da esso e il numero di conteggi prodotti dalla sorgente:

$$\varepsilon = \frac{N_\gamma}{N_{int}} \quad (3)$$

- Si tratta pertanto di quanti fotoni lo strumento "vede" rispetto al totale
- Invertendo l'equazione possiamo ricavare  $N_{int}$ , per poi trovare la sezione d'urto

# Tempo vivo/morto

- Ogni strumento è elettronicamente vincolato a processare il segnale in ingresso
- Questo può richiedere fino a ns
- Un fotone in arrivo durante questo intervallo di tempo non può essere quindi rilevato
- Alla fine della misura verrano osservati meno fotoni di quelli effettivamente giunti allo strumento, perché quest'ultimo è attivo solo per una parte di tempo rispetto al totale della misura.
- L'intervallo in cui lo strumento è attivo e pronto a ricevere nuovi segnali è il *tempo vivo*.

## Risultati del fit

Canale	Conversione [keV/CHN]
CHN1	$1.1863 \pm 0.0009$
CHN2	$1.1659 \pm 0.0013$
CHN3	$1.3550 \pm 0.0019$
CHN4	$1.2676 \pm 0.0006$
CHN5	$1.2574 \pm 0.0010$
CHN6	$1.1388 \pm 0.0014$

# Caratterizzazione in energia

- La caratterizzazione in energia è effettuata utilizzando due sorgenti radioattive:  $^{60}\text{Co}$  e  $^{137}\text{Cs}$ .

# $^{60}\text{Co}$

- Il  $^{60}\text{Co}$  decade tramite decadimento  $\beta^-$  (99.75%) in  $^{60}\text{Ni}$  ed emette due raggi gamma di energie 1.17 MeV e 1.33 MeV.

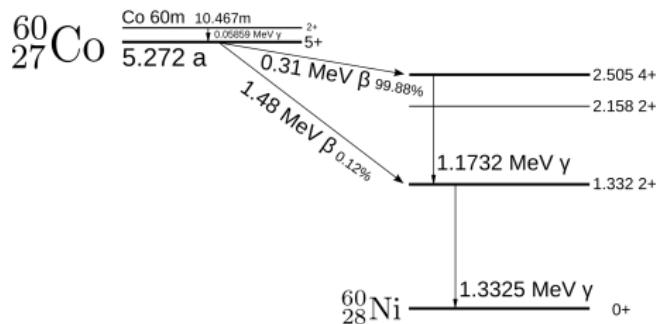
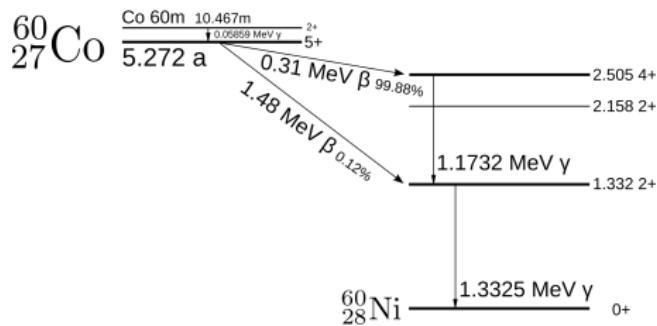


Figure: Schema di decadimento del  $^{137}\text{Cs}$ .

# $^{60}\text{Co}$

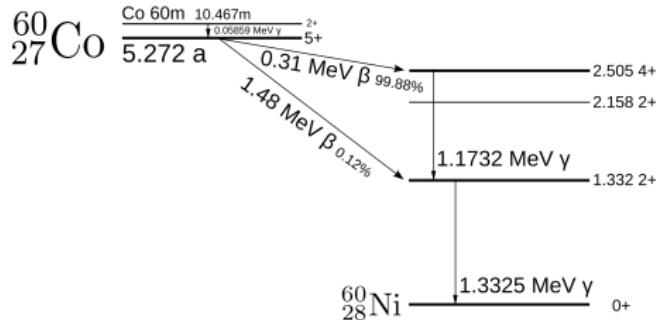
- Il  $^{60}\text{Co}$  decade tramite decadimento  $\beta^-$  (99.75%) in  $^{60}\text{Ni}$  ed emette due raggi gamma di energie 1.17 MeV e 1.33 MeV.
- Ha il vantaggio di emettere raggi gamma ad alta intensità con un'emivita relativamente lunga di 5.27 anni.



**Figure:** Schema di decadimento del  $^{137}\text{Cs}$ .

# $^{60}\text{Co}$

- Il  $^{60}\text{Co}$  decade tramite decadimento  $\beta^-$  (99.75%) in  $^{60}\text{Ni}$  ed emette due raggi gamma di energie 1.17 MeV e 1.33 MeV.
- Ha il vantaggio di emettere raggi gamma ad alta intensità con un'emivita relativamente lunga di 5.27 anni.
- Trova applicazione nella radioterapia del cancro.



**Figure:** Schema di decadimento del  $^{137}\text{Cs}$ .

# $^{137}\text{Cs}$

- Il  $^{137}\text{Cs}$  decade sempre tramite decadimento  $\beta^-$ .

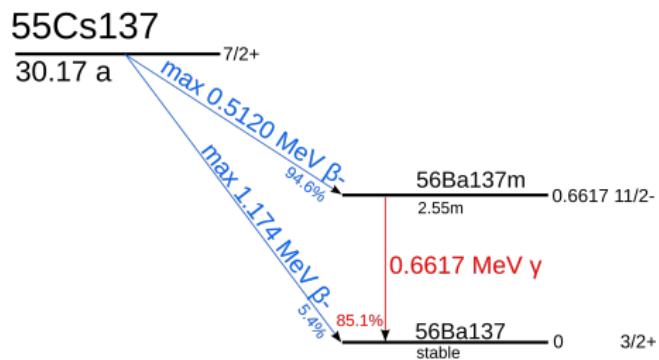


Figure: Schema di decadimento del  $^{137}\text{Cs}$ .

# $^{137}\text{Cs}$

- Il  $^{137}\text{Cs}$  decade sempre tramite decadimento  $\beta^-$ .
- Il 94.6% dei decadimenti hanno come prodotto uno stato metastabile del  $^{137}\text{Ba}$ .

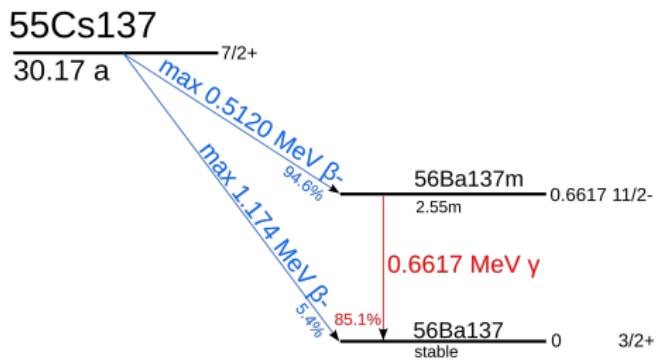


Figure: Schema di decadimento del  $^{137}\text{Cs}$ .

# $^{137}\text{Cs}$

- Il  $^{137}\text{Cs}$  decade sempre tramite decadimento  $\beta^-$ .
- Il 94.6% dei decadimenti hanno come prodotto uno stato metastabile del  $^{137}\text{Ba}$ .
- Questo stato eccitato emette l'85% delle volte raggi gamma di 661.7 keV decadendo nello stato fondamentale del  $^{137}\text{Ba}$  (tutti i raggi gamma provenienti dal  $^{137}\text{Cs}$  sono prodotti così).

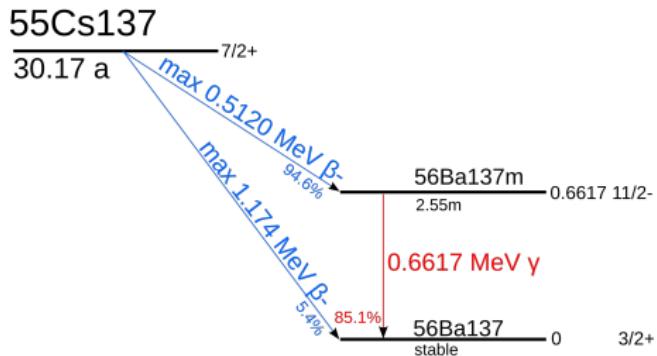


Figure: Schema di decadimento del  $^{137}\text{Cs}$ .

- L'analisi dati dell'esperimento è compiuta in ROOT
- Il vantaggio di utilizzarlo è una discreta ottimizzazione per quanto riguarda l'analisi di grandi moli di dati grazie al formato file .root
- Si utilizza principalmente in ambito di fisica delle particelle

# Struttura dei dati

- I dati ricavati sono contenuti in file .root
- Ogni file .root contiene 8 istogrammi, con indici da 0 a 7, di conteggi
- L'istogramma 0 contiene il pulser, utilizzato per calcolare il tempo vivo dello scintillatore
- Gli istogrammi da 1 a 6 sono i singoli spicchi del BGO
- L'istogramma 7 è la corrente del fascio incidente sul BGO

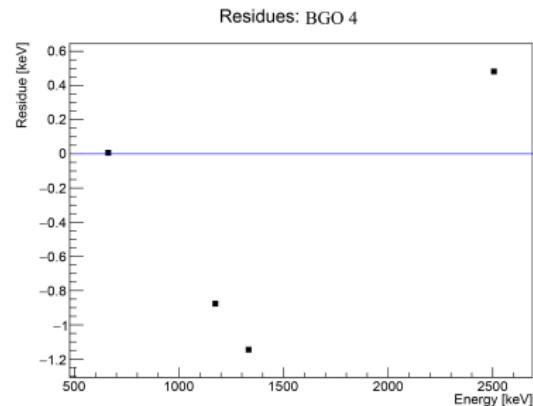
- Può accadere che lo strumento riveli due fotoni emessi dallo stesso evento contemporaneamente
- In tal caso, viene registrato come un unico fotone, ma con energia pari alla somma delle energie dei fotoni

# Residui

- I residui sono la differenza tra i valori in energia noti e quelli assunti dalla retta

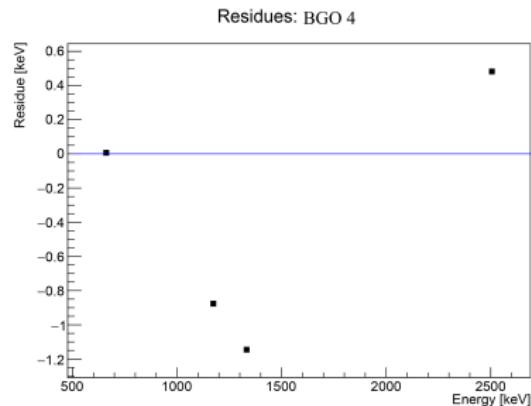
# Residui

- I residui sono la differenza tra i valori in energia noti e quelli assunti dalla retta
- Sono una rappresentazione della bontà della calibrazione



# Residui

- I residui sono la differenza tra i valori in energia noti e quelli assunti dalla retta
- Sono una rappresentazione della bontà della calibrazione
- In generale una calibrazione è buona se i residui non superano la decina di keV



# Calcolo dell'efficienza

- Per il calcolo dell'efficienza è necessario trovare il numero di conteggi nei picchi gaussiani. Si possono applicare due metodi diversi per trovarlo:
-

- Per il calcolo dell'efficienza è necessario trovare il numero di conteggi nei picchi gaussiani. Si possono applicare due metodi diversi per trovarlo:
- 

## *Trapezio*

- Metodo geometrico
- Consiste nell'isolare la regione del picco e rimuoverne il fondo trapezoidale
- Adatto solo per il cesio: i due picchi del cobalto non sono sufficientemente risolti dallo strumento

- Per il calcolo dell'efficienza è necessario trovare il numero di conteggi nei picchi gaussiani. Si possono applicare due metodi diversi per trovarlo:

## *Trapezio*

- Metodo geometrico
- Consiste nell'isolare la regione del picco e rimuoverne il fondo trapezoidale
- Adatto solo per il cesio: i due picchi del cobalto non sono sufficientemente risolti dallo strumento

## *Parametrico*

- Metodo che sfrutta i parametri del fit
- Il coefficiente di normalizzazione del picco gaussiano è il numero di conteggi nel picco
- Adatto per cesio e cobalto

# Efficienza

- L'efficienza è un fattore fondamentale per ricavare la sezione d'urto

- L'efficienza è un fattore fondamentale per ricavare la sezione d'urto
- Si può stimare dalla formula:

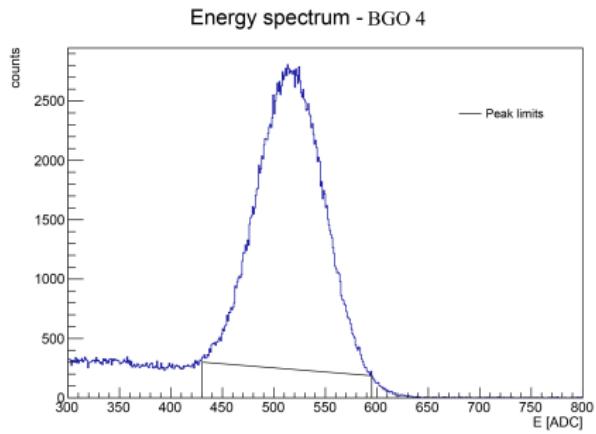
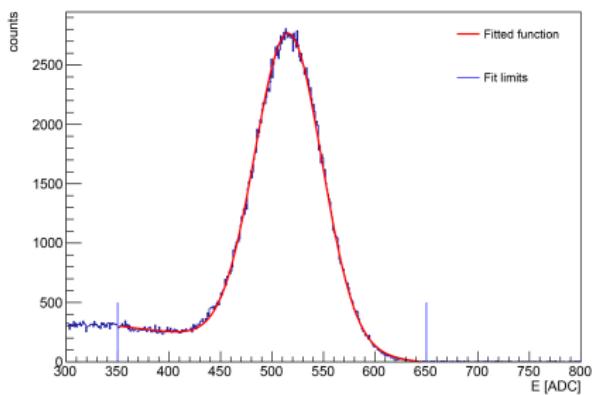
$$\varepsilon = \frac{N_{cont.}}{A(t^*)\Delta t} \quad (4)$$

- L'efficienza è un fattore fondamentale per ricavare la sezione d'urto
- Si può stimare dalla formula:

$$\varepsilon = \frac{N_{cont.}}{A(t^*)\Delta t} \quad (4)$$

- L'attività è calcolata al momento della misurazione.

# Calcolo dell'efficienza



# Calcolo della calibrazione

- La calibrazione viene effettuata sul file `run1775_coinc.root`, con entrambe le sorgenti.
- *Calibrare* uno scintillatore significa trovare il fattore di conversione da canali a energia.
- Per ogni spicchio del BGO si esegue un fit per trovare il valore dei picchi caratteristici e del picco somma in canali.

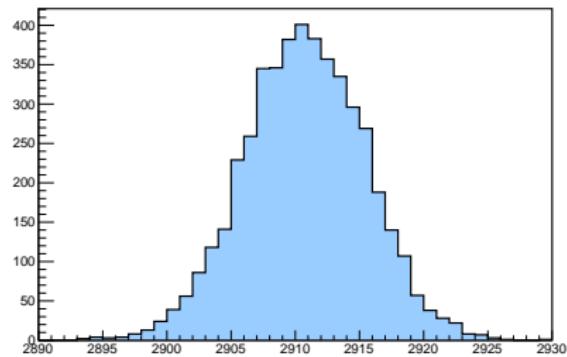
# Risoluzione energetica

- Le simulazioni contengono picchi di energia ideali, a cui non è stata applicata la risoluzione dello strumento
- Questa si può trovare eseguendo fit gaussiani sugli istogrammi in energia, anziché canali
- La risoluzione è il rapporto tra la deviazione standard del picco e la corrispondente energia nota
- Le risoluzioni si mettono su un grafico contro le corrispettive energie note, fissandovi una funzione:

$$f(E) = a + \frac{b}{\sqrt{E}}$$

# Pulser

EnergyADC/h\_EBGO\_ADC\_4 coinc



Energy spectrum - channel 0

