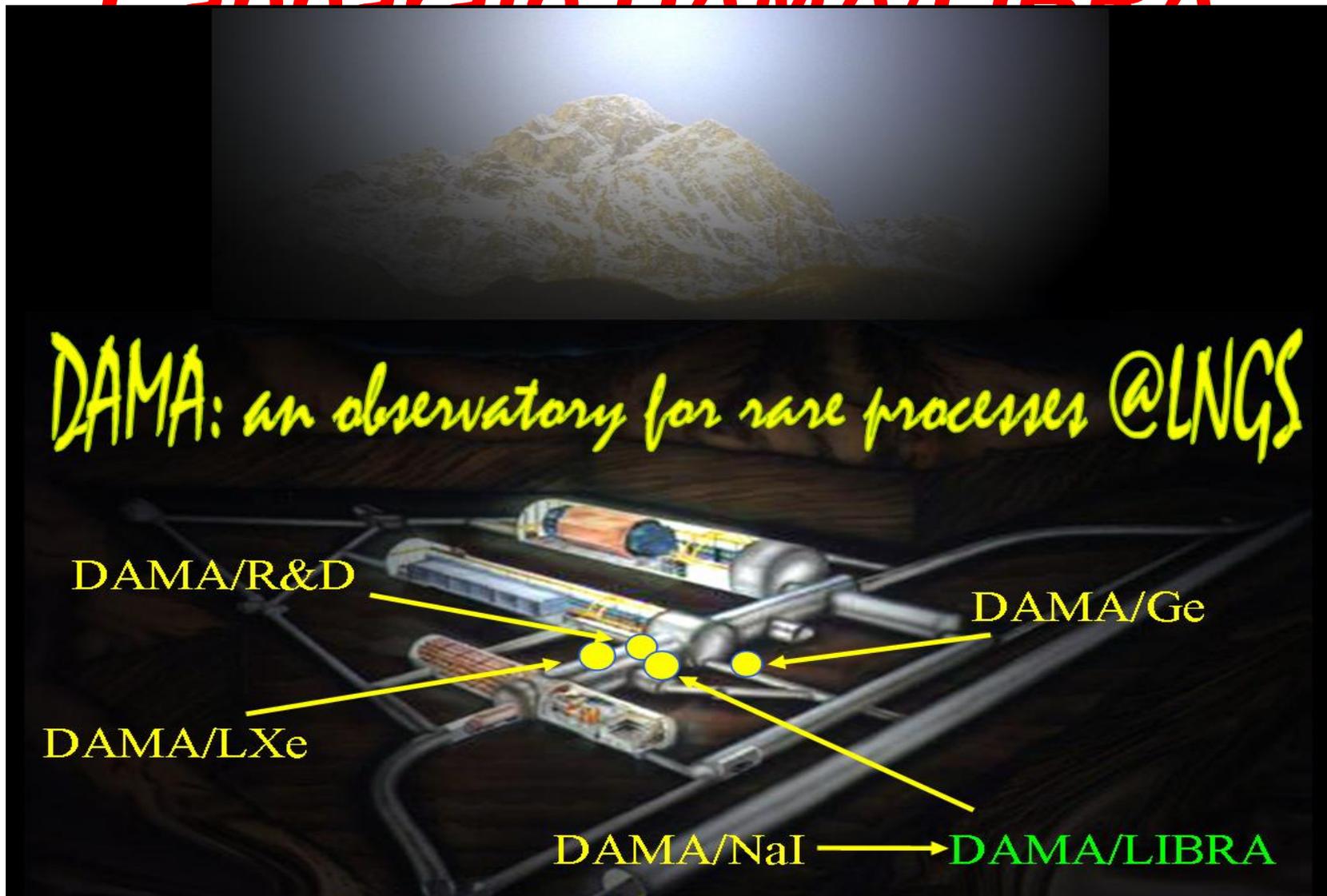


L'apparato DAMA/LIBRA

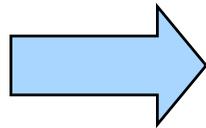


Tutor: F. Cappella, A. Incicchitti

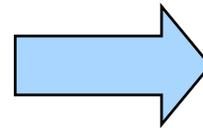
Studente: Luca Perniè

Una breve introduzione

Prove
sperimentali
esistenza
materia
oscura
(particelle)



Ricerca dei
candidati
nell'apparato
DAMA/LIBRA

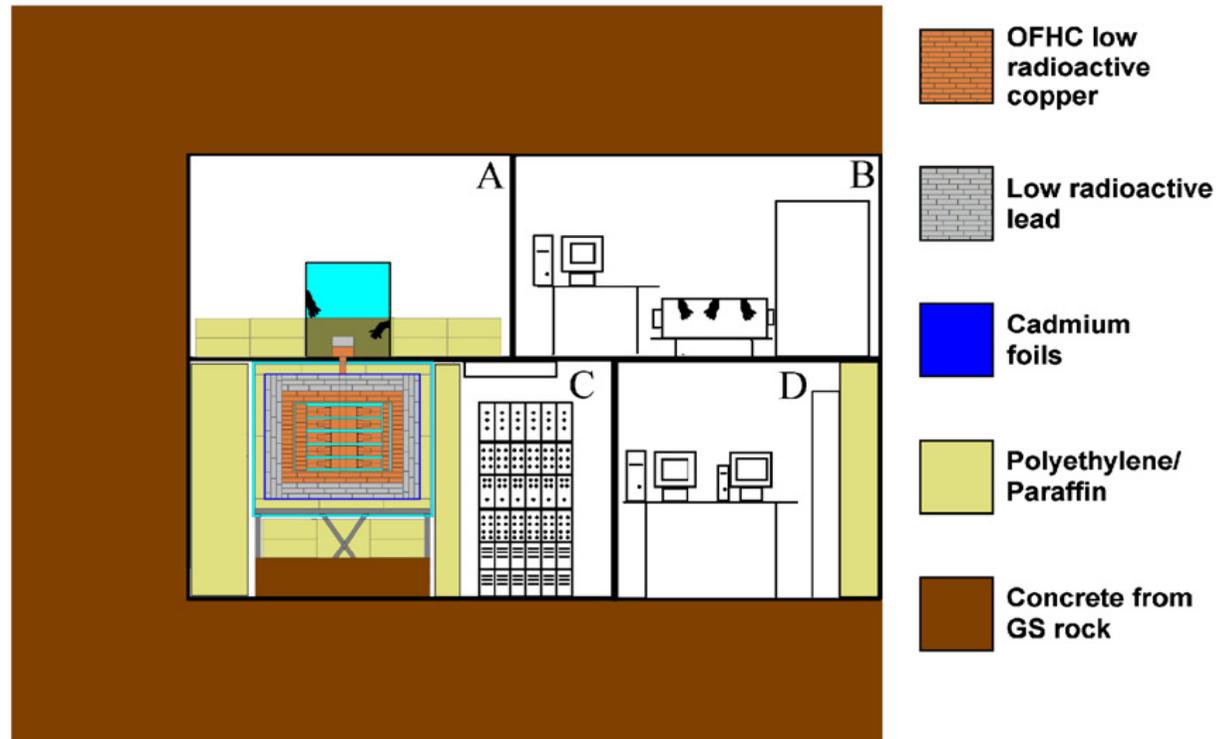


- Richiesta di:
- Particelle neutre e stabili.
 - Sezione d'urto molto bassa.
 - Segnale con periodo di un anno e fase il 2 Giugno.
 - Range di energia basso.
 - Modulazione secondo il coseno.

Caratteristiche generali

Componenti principali:

- L'installazione.
- Lo scudo passivo a multicomponenti.
- I rilevatori di NaI(Tl).
- Il glove box per la calibrazione.
- Catena elettronica e DAQ.



Tutti i materiali sono stati selezionati per bassa radioattività. Vi sono tre livelli per sigillare dall'aria esterna:

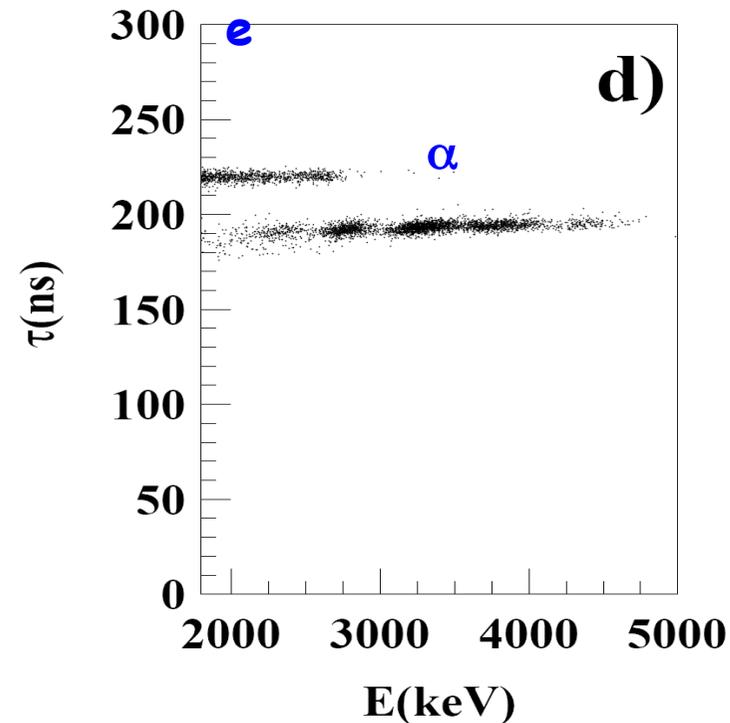
- 1) muri di C coperti di Supronyl, porte ermetiche, rilascio di azoto, radon-metro.
- 2) base metallica dello scudo passivo separata dal pavimento da neoprene, spazio tra la base e la struttura riempito di paraffina, scudo avvolto nel plexiglass e azoto.
- 3) Sistemi meccanici per accedere ai cristalli durante l'installazione, Tubi di Cu connettono la Glove box ai contenitori di Cu dei cristalli.

I vantaggi dell'NaI(Tl)

- Tecnologia ben conosciuta
- Alto duty cycle
- Possibilità di avere una grossa massa
- Ecologicamente puliti (scarsi problemi di sicurezza)
- Economici
- Necessitano di poco spazio sotto terra
- Bassa radioattività tramite purificazioni chimico-fisiche
- Operano in condizioni monitorabili e ben controllate
- Non necessitano di una re-purificazione o raffreddamento (alta riproducibilità e stabilità)
- Alta risposta in luce (5.5 - 7.5 ph.e./keV)
- Calibrazioni possibili sotto il range dei KeV
- Assenza di microphonic noise
- Sensibili a molti candidati e molti tipi di interazioni (al contrario di altri bersagli)
- Sensibilità a candidati di grossa (Iodine target) e piccola massa (Na target)
- Possibilità di indagare effettivamente la modulazione annuale del segnale in tutti gli aspetti
- Buona granularità, utile per le particelle di materia oscura

I cristalli di NaI(Tl)

- I cristalli sino stati cresciuti con il metodo Kyropoulos, i contaminanti finali sono stati misurati.
- I detector sono in 5 righe per 5 colonne (buona granularità), con dimensioni $10.2 \times 10.2 \times 25.4 \text{ cm}^3$.
- Ogni detector ha due PMT e 10 cm di guida di luce.
- E' stato ridotto il numero di materiali usati in ogni processo e ogni assemblaggio è avvenuto sotto terra.

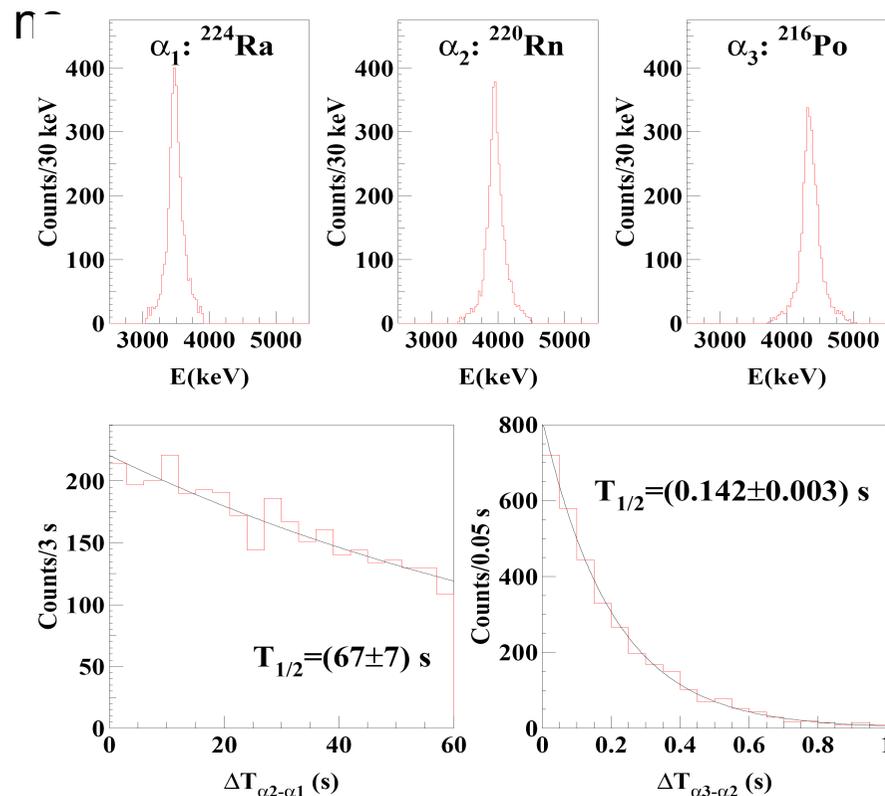


Distribuzione di τ in funzione dell' E in un detector, τ è il primo momento della distribuzione di ogni scintillazione. Le due popolazioni sono ben distinte.

Contaminanti: ^{232}Th

Il tempo di arrivo e l'E degli eventi nel cristallo è usato per identificare i decadimenti α : $^{224}\text{Ra} \rightarrow ^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{216}\text{Po} \rightarrow ^{212}\text{Pb}$.

L'analisi indipendente degli eventi Bi-Po conferma questi valori, questi eventi sono dovuti al ^{212}Bi che decade β in ^{212}Po che decade α in ^{208}Pb con un $T_{1/2}=299$



Gli eventi sono stati selezionati scegliendo un evento in un range di E tra i 3050-3900 KeV, seguito entro 60s da un altro tra 3400-4500 KeV, ancora seguito entro 1s da un ultimo evento di 3650-5100 KeV. In basso la distribuzione dell'intervallo temporale tra il decadimento di $^{224}\text{Ra} \rightarrow ^{220}\text{Rn}$ (sx) e $^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{216}\text{Po}$ (dx).

Il ^{232}Th contenuto nei cristalli varia in genere da 0.5 a 7.5 ppt.

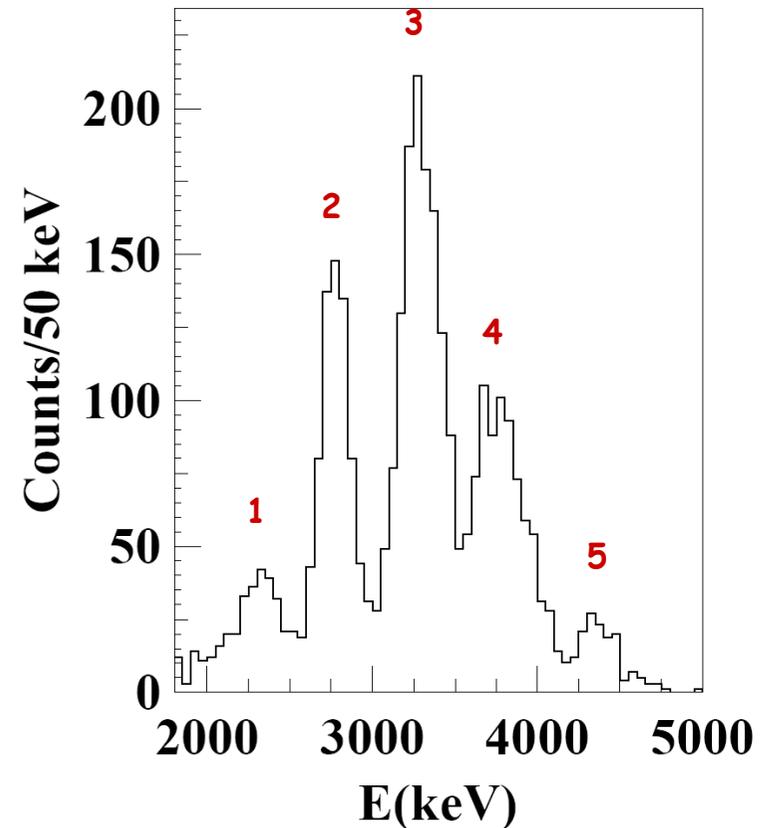
^{238}U :

Uno studio delle particelle α , e la conoscenza della contaminazione da ^{228}Th permette determinazione dell' ^{238}U .

Partendo dal picco meno energetico i picchi possono essere associati a: 1) $^{232}\text{Th} + ^{238}\text{U}$
2) $^{234}\text{U} + ^{230}\text{Th} + ^{226}\text{Ra}$ 3) $^{210}\text{Po} + ^{228}\text{Th} + ^{222}\text{Rn} + ^{224}\text{Ra}$ 4) $^{218}\text{Po} + ^{212}\text{Bi} + ^{220}\text{Rn}$ 5) ^{216}Po .

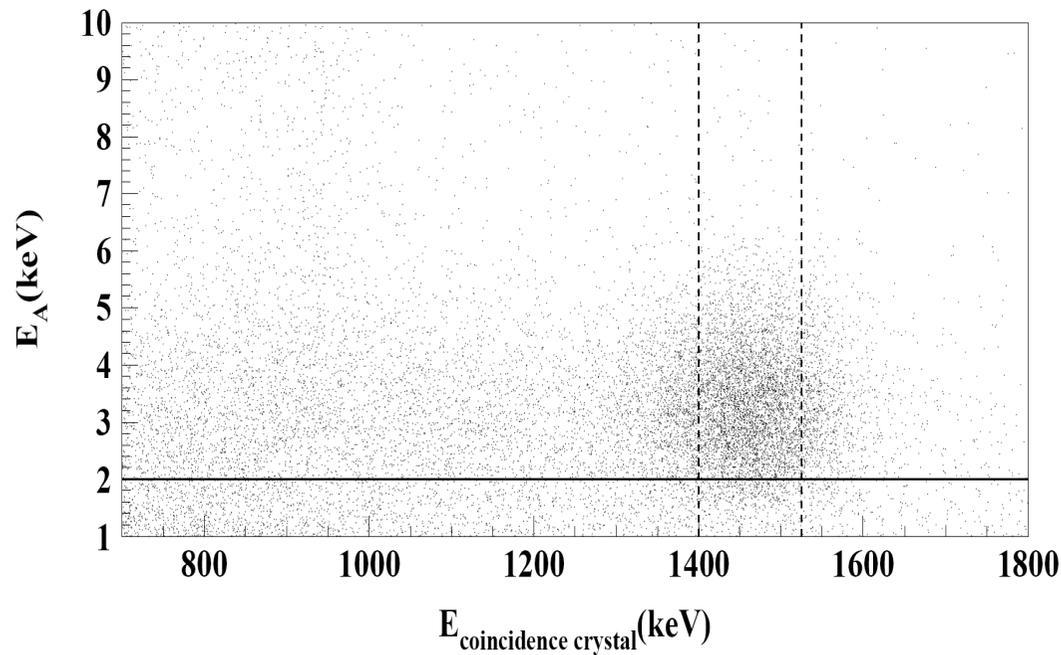
Fittando ogni decadimento è possibile ricavare la contaminazione dell' $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{U} \rightarrow ^{230}\text{Th} \rightarrow ^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{210}\text{Pb} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$.

I risultati leggermente diversi da cristallo a cristallo sono da imputare alle diverse impurità sviluppate casualmente nella crescita.



natK:

La contaminazione da potassio può essere investigata dalla presenza di doppi eventi, infatti il ^{40}K (0.0117% del $^{\text{nat}}\text{K}$) decade per cattura k al 1461 KeV livello del ^{40}Ar (b.r.10.66%) seguito da raggi X, e un γ di diseccitazione di 1461 KeV. L'ultimo può scappare da un rivelatore e colpirne un altro, causando una doppia coincidenza.



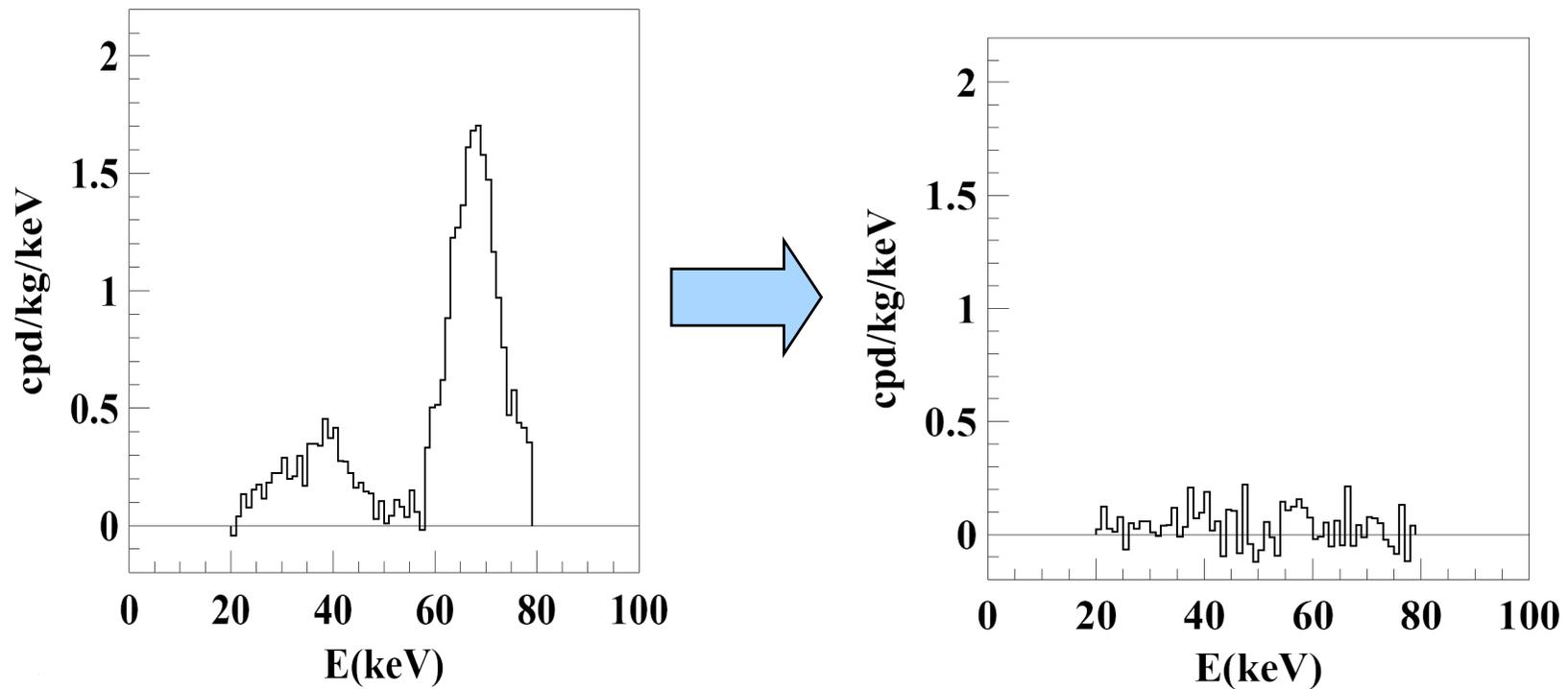
I raggi X degli elettroni danno un energia di 3.2 KeV, una misura utile per la calibrazione alle basse energie.

Il $^{\text{nat}}\text{K}$ non supera i 20 ppb nei cristalli.

^{125}I :

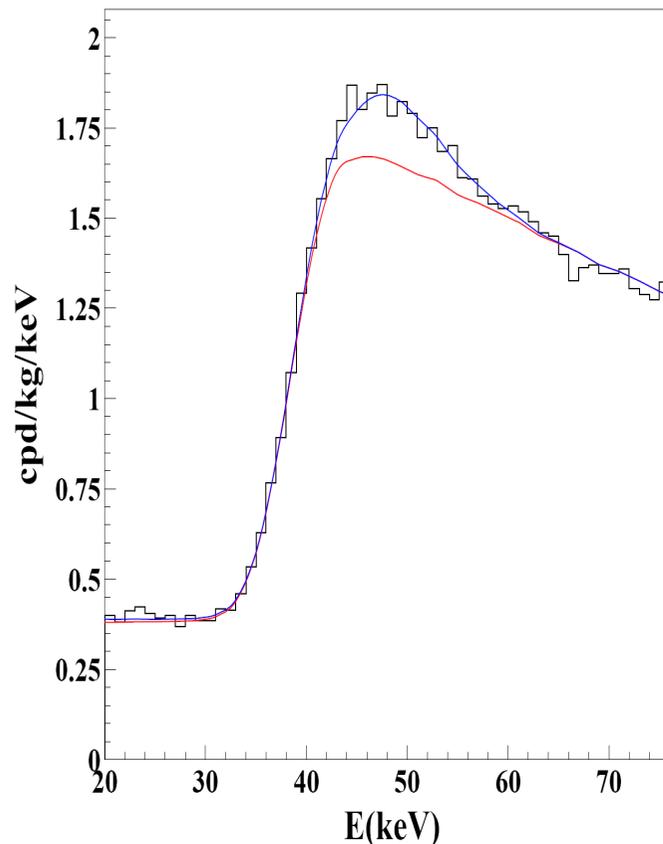
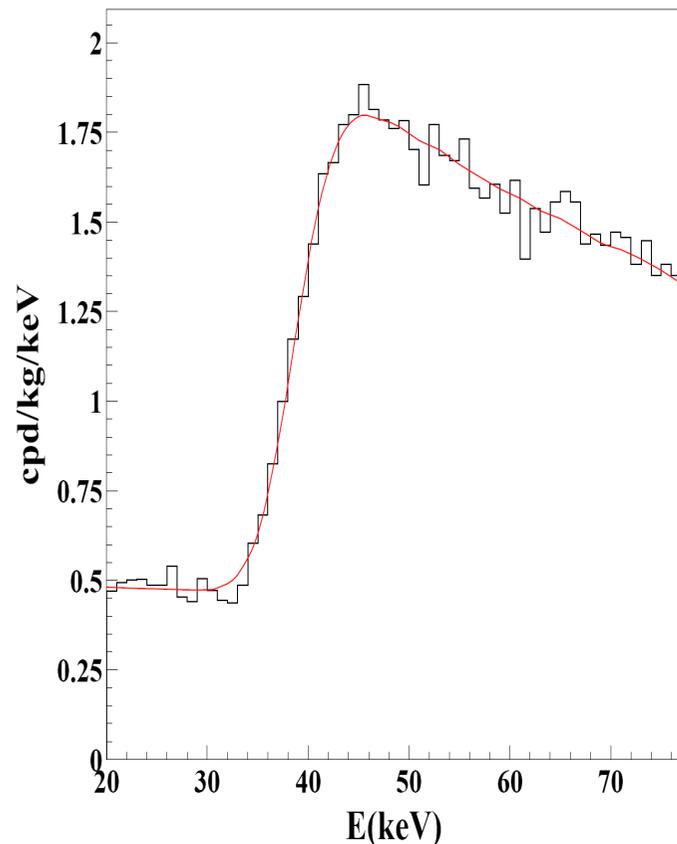
Durante il periodo di crescita dei cristalli, e durante il trasporto dei materiali, raggi cosmici possono aver creato isotopi radioattivi, quali ^{125}I . Questo decade per cattura k nel ^{125}Te con un γ di 35.5 KeV, ed a loro volta il tellurio e i raggi X danno un altro picco a circa 67 KeV.

Il grafico mostra la presenza dei picchi nei cristalli appena montati e dopo 15 mesi.



^{129}I e ^{210}Pb :

Il ^{129}I è presente nello iodio all' $1.5 \cdot 10^{-12}\%$, decade β^- nello ^{129}Xe eccitato a 39,57 KeV, quindi la diseccitazione crea un γ a 39,57 KeV, più un elettrone con una distribuzione di E in accordo con lo spettro dello ^{129}I (E massima circa 194 KeV).



Lo spettro mostra un picco a 40 KeV che cala fino a circa 194 KeV.

Il grafico permette anche di stimare il ^{210}Pb nei cristalli, che decade β nel ^{210}Bi (B.r. 84%) a 46.5 KeV (misura usata nella calibrazione).

^{22}Na e ^{24}Na :

Altri isotopi radioattivi creati dai raggi cosmici nell'NaI(Tl) sono:

- ^{22}Na : può essere stimato cercando triple coincidenze indotte dal decadimento β^+ , seguito da un γ di 1274.6 KeV di diseccitazione (B.r. 90.33%). In particolare si cercano eventi dove il positrone ed uno dei due γ di annichilazione (511 KeV) rilasciano tutta la loro E in un rivelatore, e l'altro γ da 511 KeV insieme a quello da 1274.6 KeV ne colpiscono altri due.

- ^{24}Na : neutroni ambientali possono indurre la reazione $^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$ con una sezione d'urto di 0.1 barn e la reazione $^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24m}\text{Na}$ con una sezione d'urto di 0.43 barn.

L'isotopo ^{24}Na emette β con due γ (2.754 e 1.369 MeV), il ^{24m}Na decade in ^{24}Na con una transizione interna con un γ di 0.472 MeV.

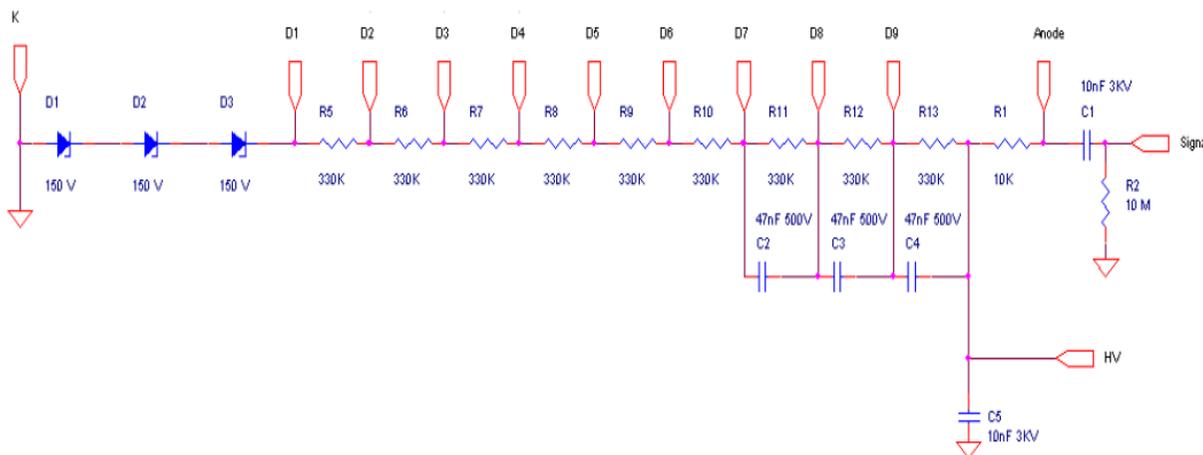
La presenza di ^{24}Na è investigata guardando triple coincidenze date da un β e da due γ nei rivelatori adiacenti.

I Fotomoltiplicatori:

I PMT sono stati assemblati sotto terra, usando resine a bassa radioattività. Hanno guide volanti e sono connessi direttamente al partitore di tensione (assemblato con SMD miniaturizzati), ottimizzato per dare il miglior rapporto segnale/rumore.

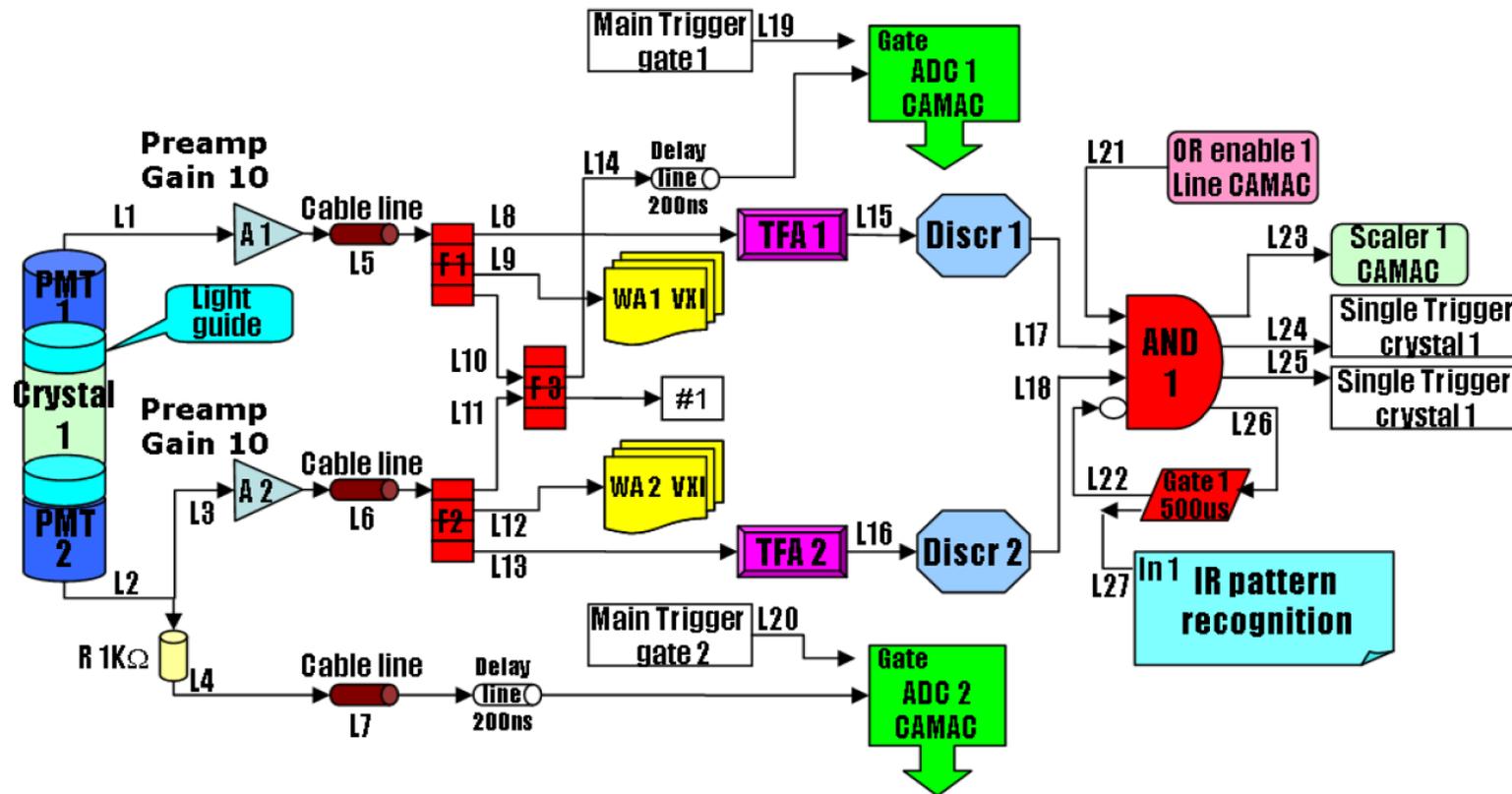
I PMT lavorano vicino l'alto voltaggio massimo, per garantire la giusta soglia e la reiezione del rumore vicino essa.

L'efficienza quantica è del 30% a 380 nm.



La catena elettronica:

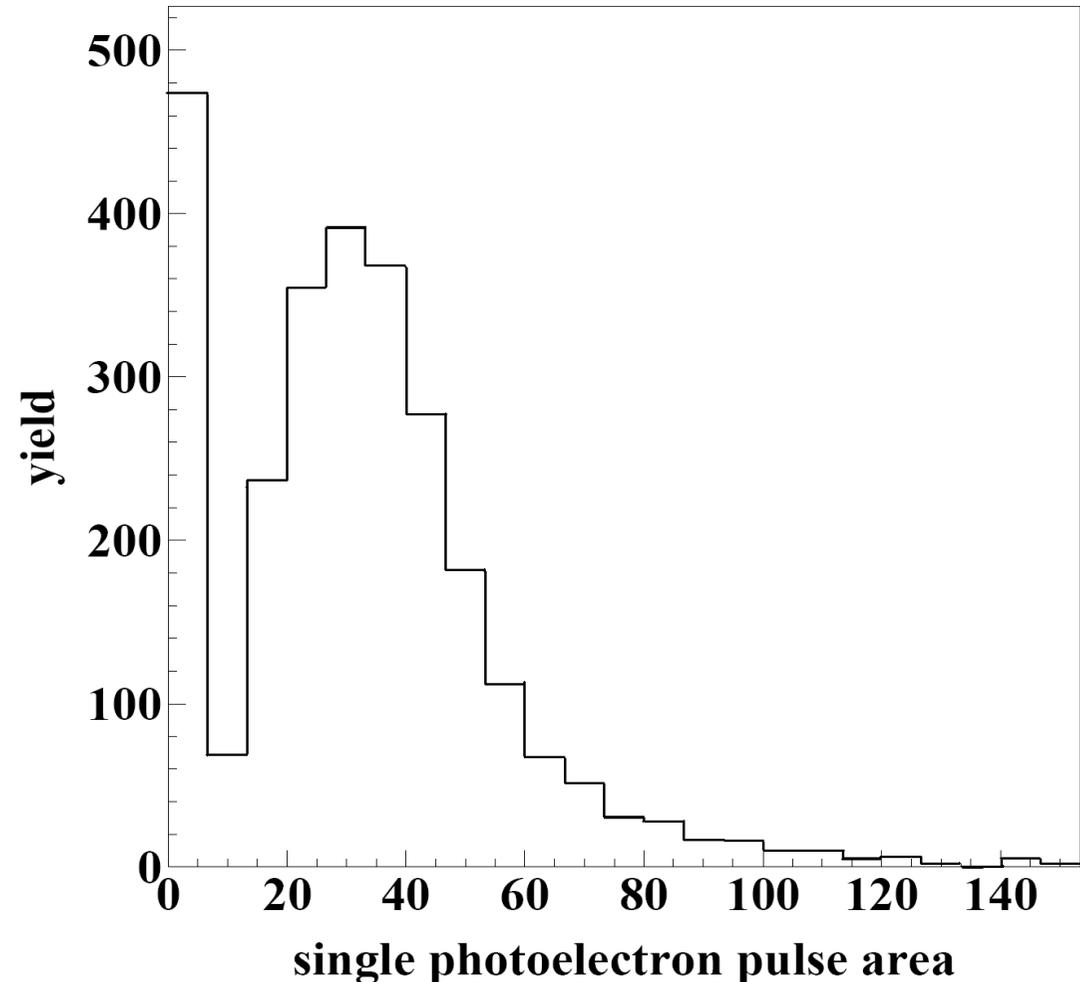
I canali sono alimentati da un Power Supply con una stabilità di voltaggio dello 0.1%.



Fotoelettroni/KeV:

Il numero di fotoelettroni/KeV è stato ricavato da ogni rivelatore dalle informazioni nel Waveform Analyzer, in una finestra di 2048 ns.

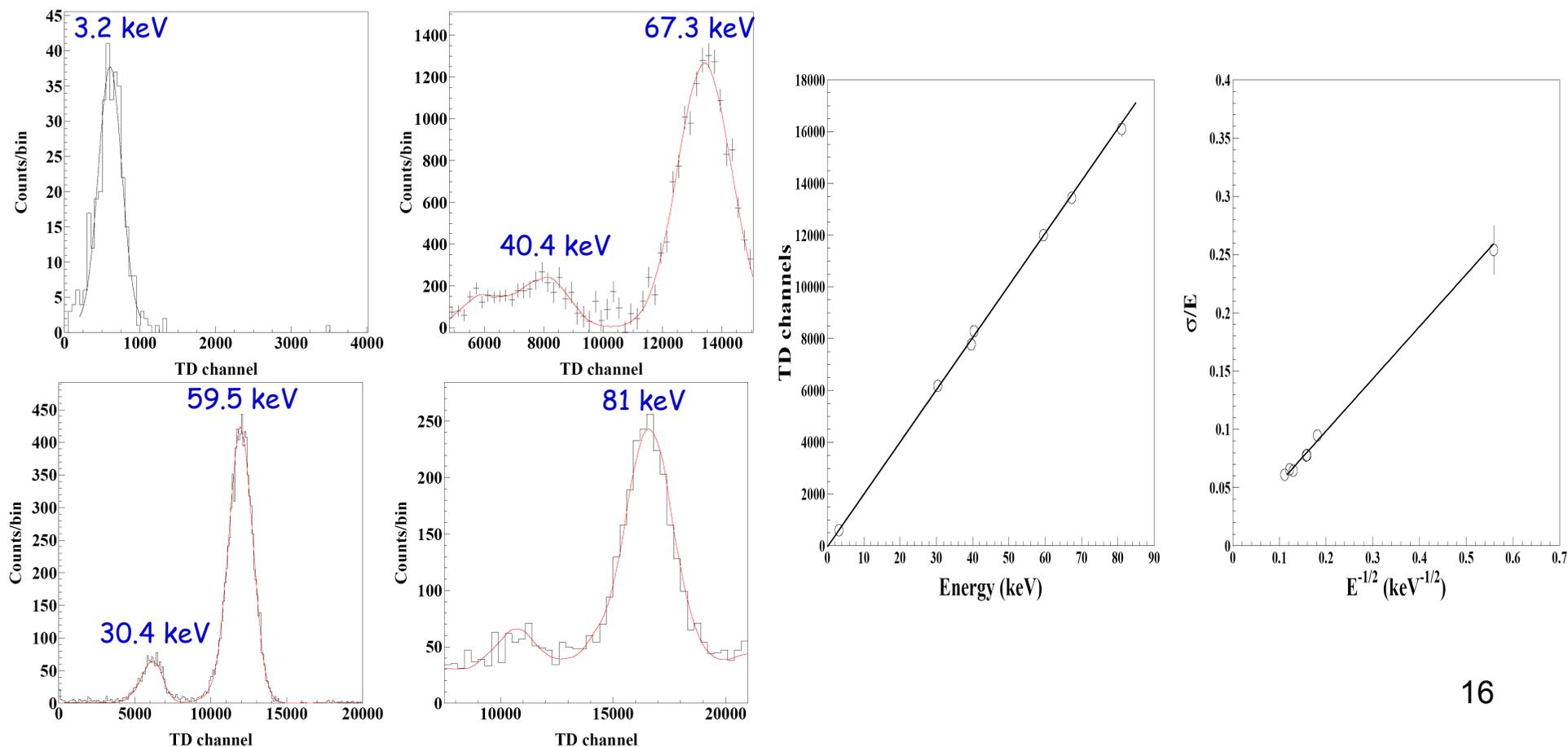
Nella parte finale di questa finestra temporale i picchi di scintillazione sono terminati mentre può essere presente il segnale del singolo fotoelettrone, messo in relazione con l'intera E depositata si ottengono dai 5.5 ai 7.5 fotoelettrone/KeV.



Calibrazione:

Le regioni di bassa E (fino a 100 KeV) e di alta E (sopra i 100 KeV) sono state studiate tramite sorgenti note.

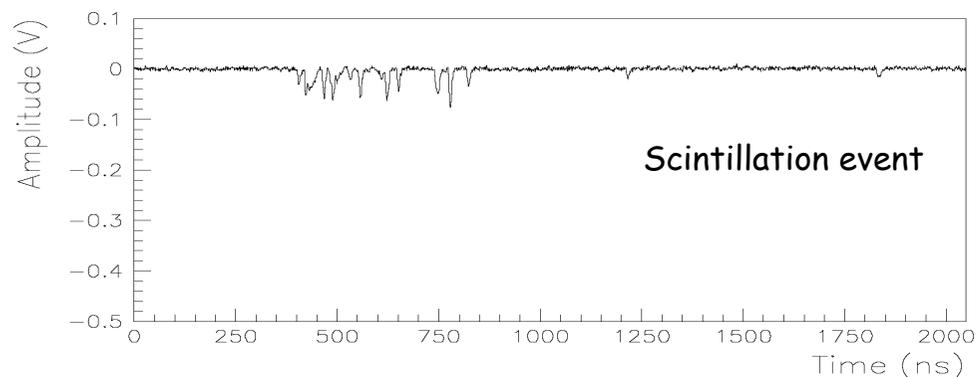
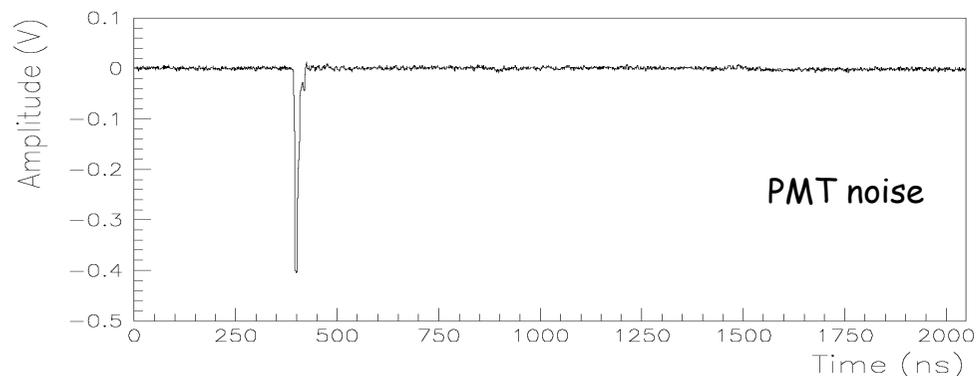
Lo studio della calibrazione è stato effettuato con maggiore precisione nel range di bassa energia, a cui si è più interessati.



Reiezione del rumore vicino la soglia:

Ogni cristallo ha due PMT che lavorano in coincidenza, e questo riduce fortemente il rumore per i singoli eventi vicino l'E di soglia, mentre per gli eventi multipli il rumore è praticamente assente.

Lo scarto del rumore è facilitato se confrontiamo la distribuzione dei tempi per eventi di scintillazione e di rumore.



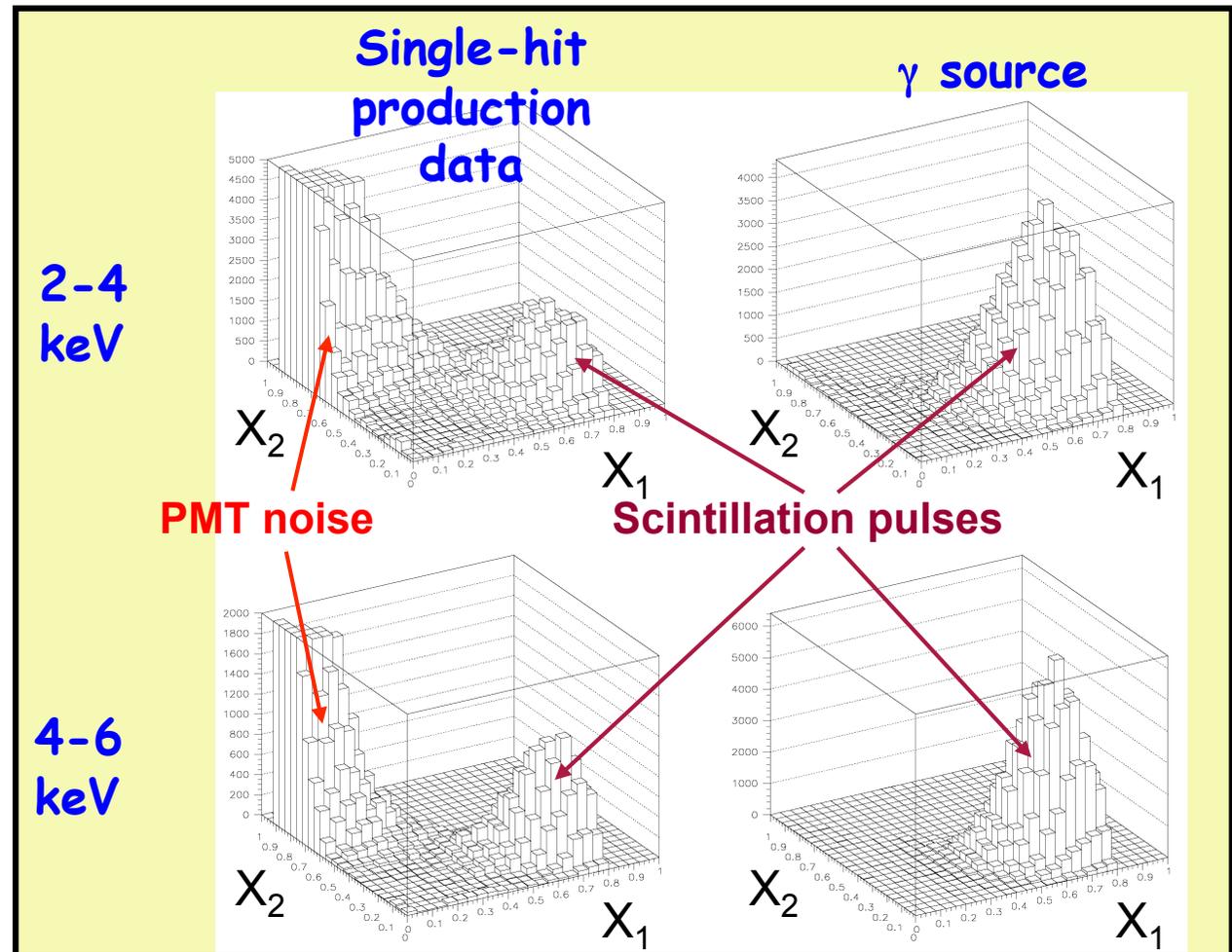
Reiezione del rumore vicino la soglia:

Le diverse caratteristiche di tempo possono essere evidenziate creando delle variabili appropriate:

Area (from 0 us to 500 us)

2-4 keV

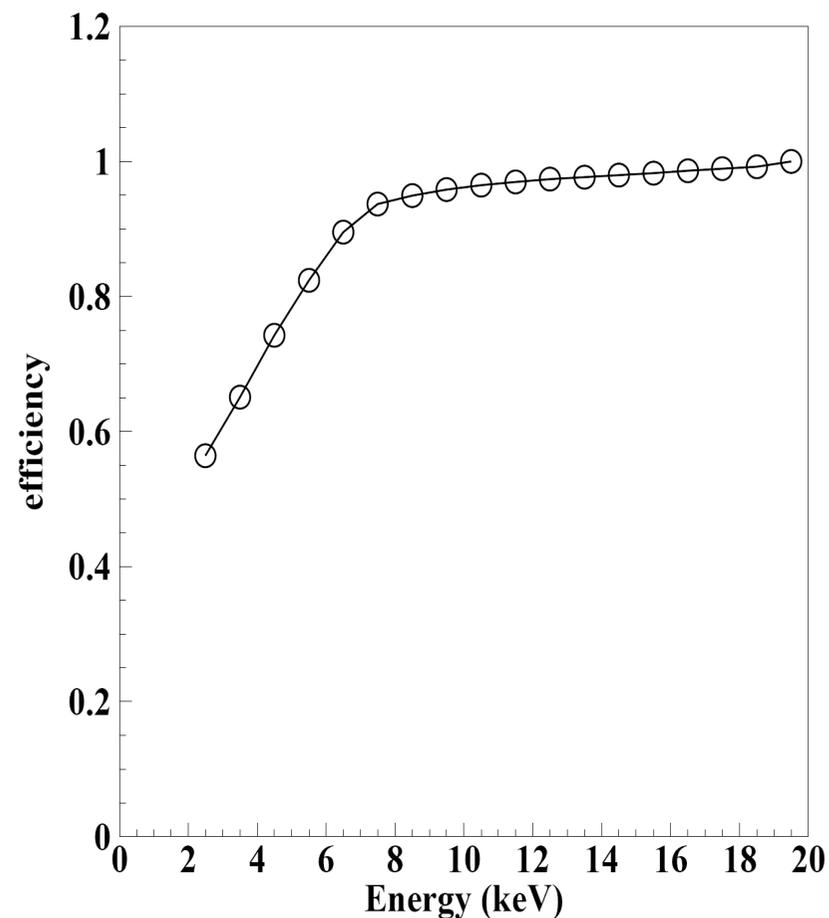
4-6 keV



L'efficienza globale:

Due PMT lavorano in coincidenza alla soglia del singolo fotoelettrone (2 KeV).

L'efficienza legata alla finestra di accettazione usata per i singoli eventi sono misurate applicando la stessa finestra di accettazione agli eventi indotti da una sorgente di ^{241}Am nello stesso range di E della presa dati.



Conclusioni:

Period		Mass (kg)	Exposure (kg × day)	α - β^2
DAMA/LIBRA-1	Sep. 9, 2003 – July 21, 2004	232.8	51405	0.562
DAMA/LIBRA-2	July 21, 2004 – Oct. 28, 2005	232.8	52597	0.467
DAMA/LIBRA-3	Oct. 28, 2005 – July 18, 2006	232.8	39445	0.591
DAMA/LIBRA-4	July 19, 2006 – July 17, 2007	232.8	49377	0.541
DAMA/LIBRA-5	July 17, 2007 – Aug. 29, 2008	232.8	66105	0.468
DAMA/LIBRA-6	Nov. 12, 2008 – Sep. 1, 2009	242.5	58768	0.519
DAMA/LIBRA-1 to -6	Sep. 9, 2003 – Sep. 1, 2009		317697 = 0.87 ton×yr	0.519

DAMA/NaI (7 years) + DAMA/LIBRA (6 years)

total exposure: 425428 kg×day = 1.17 ton×yr

