



CUORICINO

Daniele Marconi

1

Tutor:
Dott. Fabio Bellini

SOMMARIO

- Il Termistore e Il Circuito di Lettura;
- Il sistema di Acquisizione Dati;



Parte I

- Il Segnale Bolometrico;
- Dal Segnale Bolometrico al Dato Sperimentale;
- Correzioni all'instabilità del segnale;
- Calibrazione dell'Apparato sperimentale;
- Efficienza dell'Apparato Sperimentale;
- Fondo;



Parte II

- Risultati;
- Conclusioni.

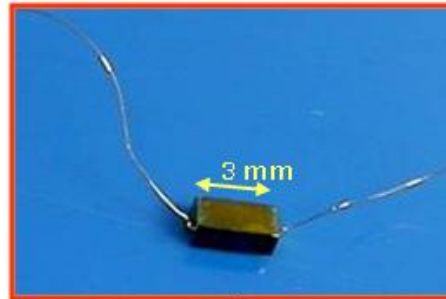


Parte III

IL TERMISTORE

Un termistore è un sensore utilizzato per convertire una temperatura in un valore rappresentativo di resistenza facilmente misurabile:

Costituito da Germanio drogato mediante il controllo dell'esposizione ai neutroni in prossimità di un reattore nucleare



La concentrazione di impurezze è leggermente al di sotto della transizione isolante-conduttore

Il comportamento tipico che si ottiene per la resistenza del termistore è:

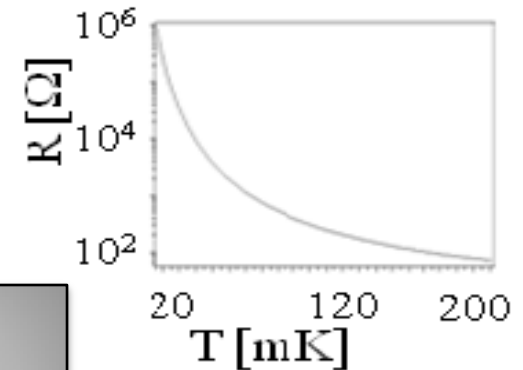
$$R(T) = R_0 e^{\sqrt{\frac{T_0}{T}}}$$

La dipendenza dalla variazione di temperatura è ottenuta per derivazione:

$$\frac{\Delta R}{\Delta T} = -\frac{R(T)}{2T_0} \left[\frac{T_0}{T} \right]^{\frac{3}{2}}$$

Valori tipici:

$$R_0 = 1.15 \Omega$$
$$T_0 = 3.35 \text{ K}$$




Da questi dati la resistenza del termistore alla temperatura di lavoro di 10 mK è di circa 100 MΩ

IL TERMISTORE E IL CIRCUITO DI LETTURA I

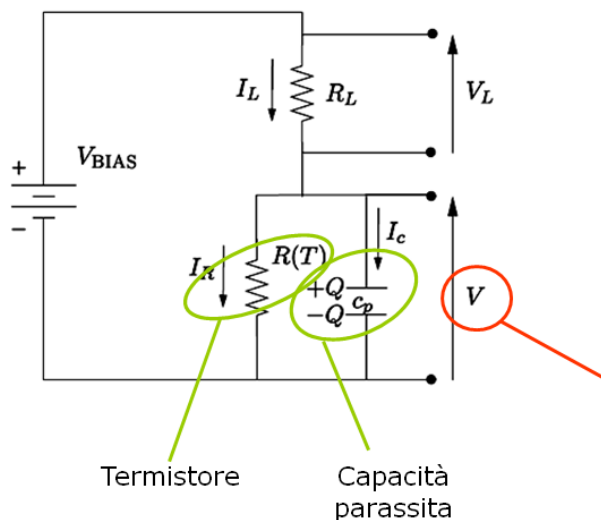
Un buon parametro per caratterizzare il termistore è la sensitività logaritmica:

$$\eta = \left| \frac{d \log R(T)}{d \log T} \right| = \gamma \log \left| \frac{R(T)}{R_0} \right|$$


 $\gamma = \frac{1}{2}$

$$\eta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_0}{T}}$$

Andando a considerare il circuito di acquisizione:



V_{BIAS} : Tensione in continua

Tensione al bolometro misurata sperimentalmente

La tensione V sarà:
(in assenza di segnale)

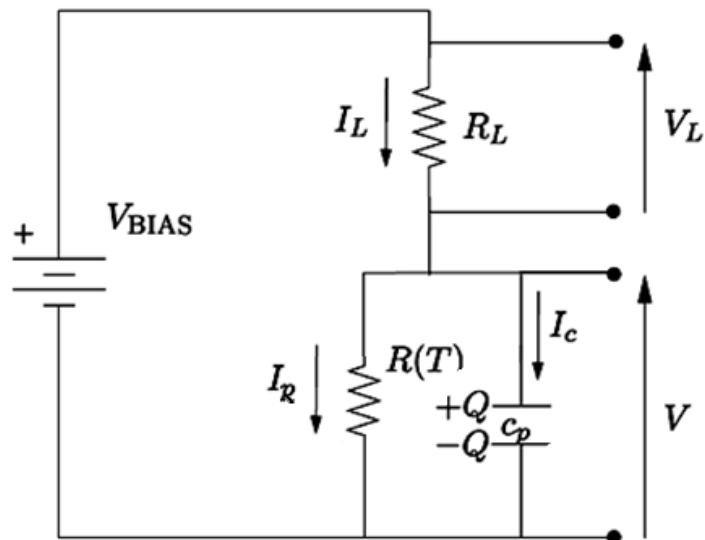
Capacità parassita c_p :

$$C_P R_L \dot{V} = V_{BIAS} - \frac{R + R_L}{R} V$$

Per garantire una corrente costante su R_{bol} scelgo una resistenza R_L da mettere in serie con un valore di 2 ordini di grandezza più alto.

$$V = \frac{R}{R + R_L} V_{BIAS}$$

IL TERMISTORE E IL CIRCUITO DI LETTURA II



Il ΔV misurato ai capi del termistore sarà pari a:

$$\Delta V = \eta V \frac{\Delta T}{T} = \eta \sqrt{P \cdot R(T)} \frac{E}{c_p T}$$

Con:

- c_p la capacità parassita;
- E l'energia rilasciata nel bolometro;
- P la potenza dissipata;
- η la sensibilità logaritmica.

Valori tipici:

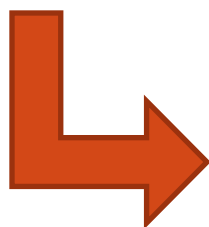
$V_{\text{BIAS}} \sim 5\text{V}$
 $I_R \sim 100 \text{ pA}$
 $R_L = 54 \text{ G}\Omega$
 $R_{\text{BOL}}(T) = 100 \text{ M}\Omega$
 $C_p = 400 \text{ pF}$
 $\eta \sim 10$

$$\Delta E = 1 \text{ MeV} \sim 200 \text{ }\mu\text{K} \rightarrow 200 \text{ }\mu\text{V}$$

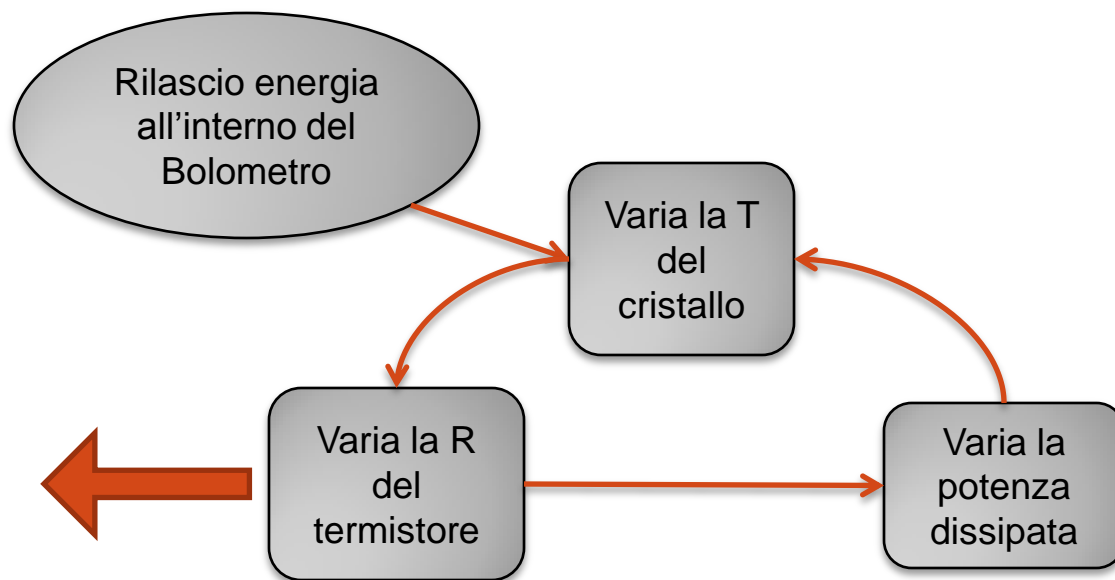
IL TERMISTORE E IL CIRCUITO DI LETTURA III

Il sistema è dinamico:

Affinché il sistema possa tornare in condizione di equilibrio all'aumentare della temperatura $R(T)$ deve diminuire



Feedback Elettrotermico

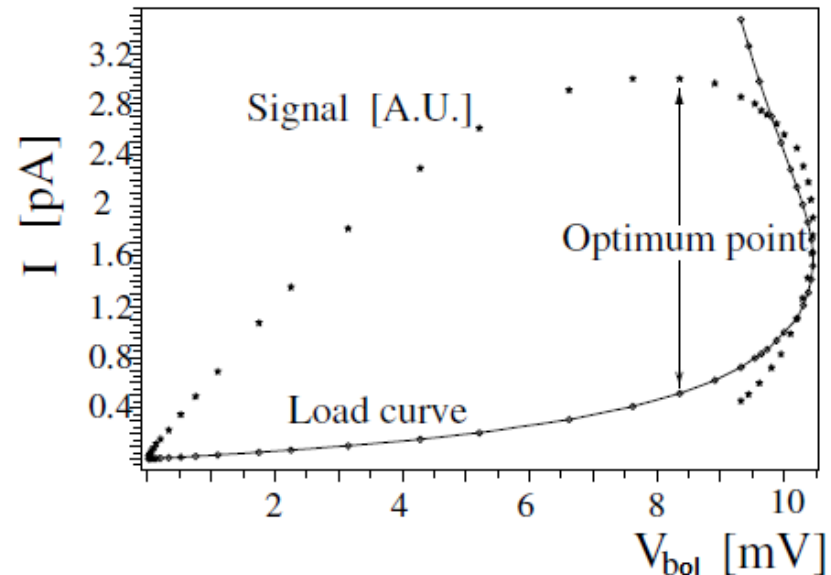
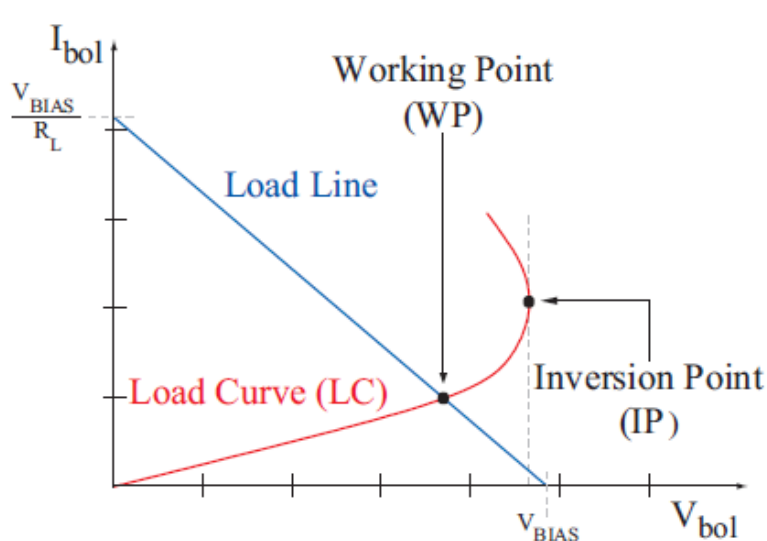


La relazione $I - V$ non è più lineare e il comportamento del termistore diventa non-Ohmico

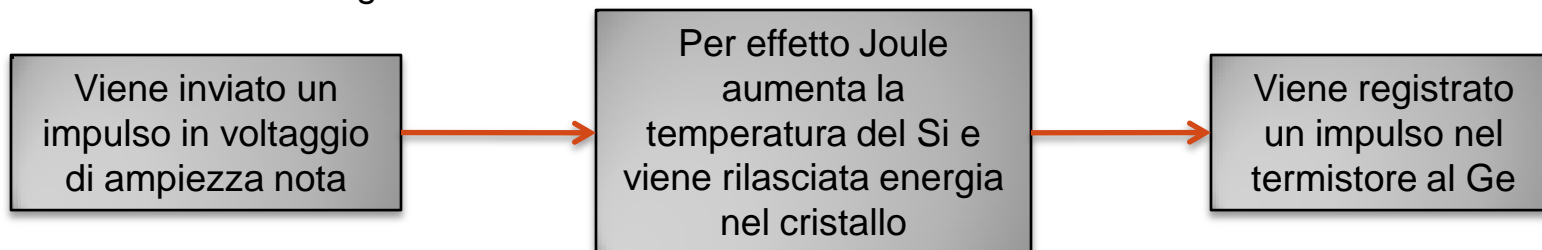
La scelta di termistori a semiconduttore permette di raggiungere l'equilibrio della T di lavoro nel regime di corrente costante.

IL TERMISTORE E IL CIRCUITO DI LETTURA IV

Andando ad osservare la curva di carico (I, V) è evidente il comportamento non lineare del termistore. Una buona scelta per il Punto di Lavoro (Working Point) è nella zona a risposta lineare dove l'ampiezza del segnale è massima (Optimum Point):

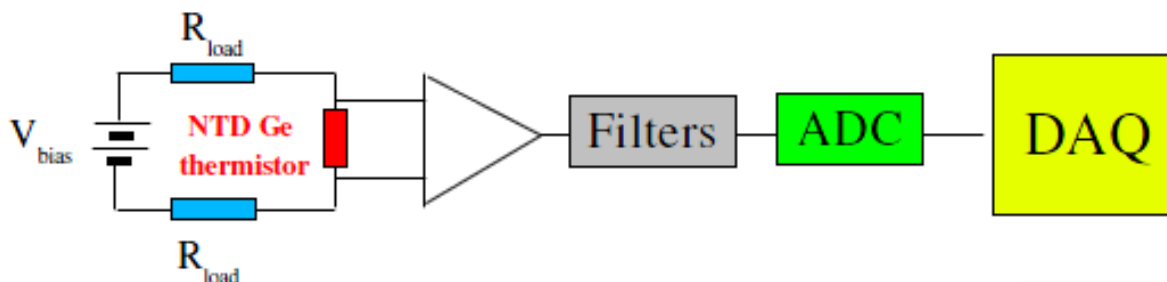


La scelta del punto di lavoro di ciascun termistore avviene durante la fase di calibrazione dello strumento sfruttando un resistore al Si incollato al cristallo. Al variare della I_{BIAS} il processo che viene sfruttato è il seguente:



IL SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI

Ciascun rivelatore ha la propria catena di lettura:



- Il segnale viene filtrato attraverso un filtro Passa-basso prima di essere inviato all'ADC ;

Il segnale ha una frequenza di taglio di 12 Hz

- L'ADC ha le seguenti caratteristiche

- 16 Bit;
- 0 -10 Volt;
- 8 ms di Periodo di campionamento.

- Il trigger è di tipo software con una soglia regolata tenendo conto del rumore di fondo tipico dei bolometri e della forma del segnale

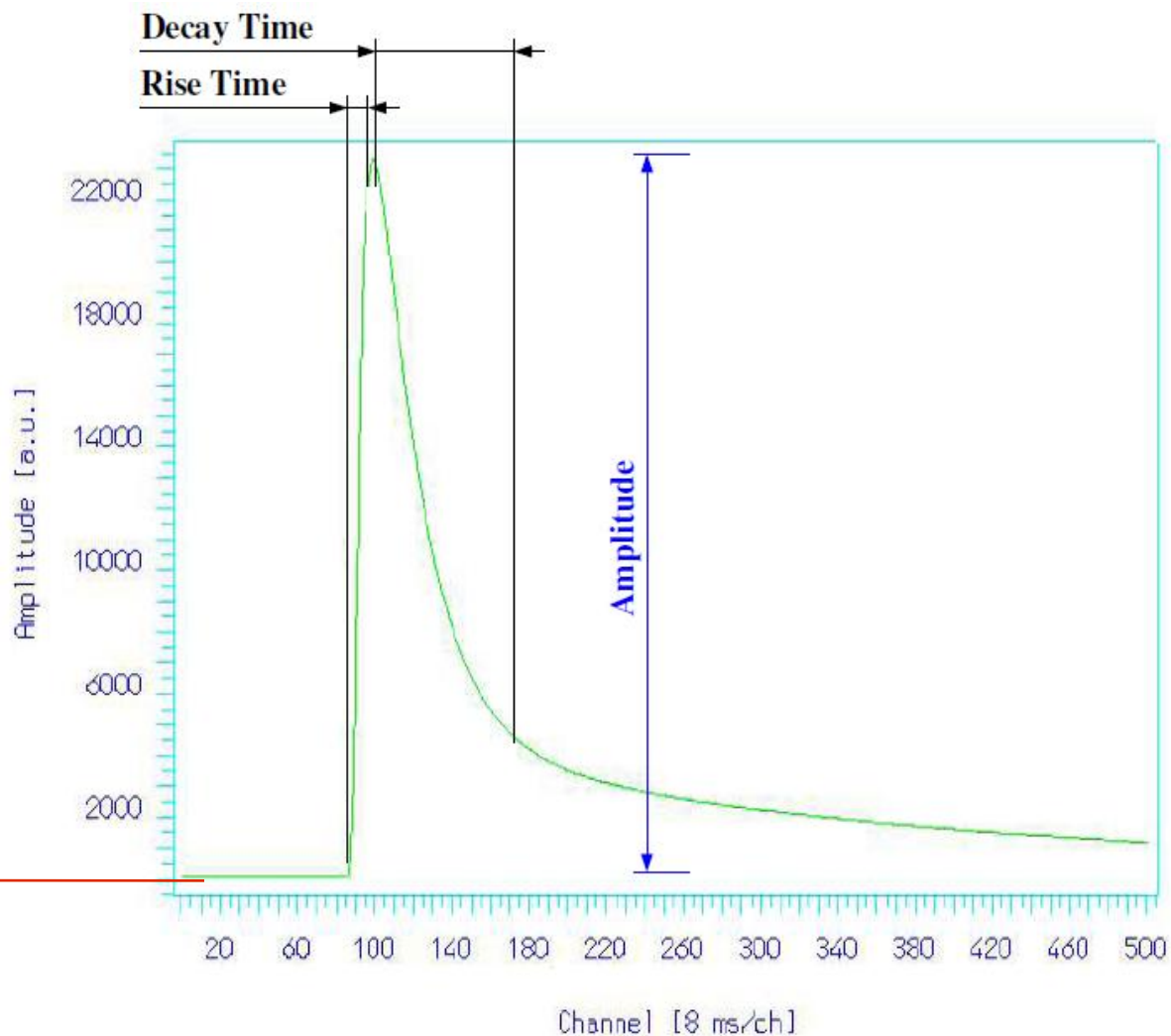
Efficienza stimata al $99 \pm 1\%$ oltre i 100 keV;

IL SEGNALE BOLOMETRICO

Si analizza:

- L'ampiezza;
- La forma del segnale;
- Il tempo di salita (~10 ms) e discesa del segnale (~100 ms).

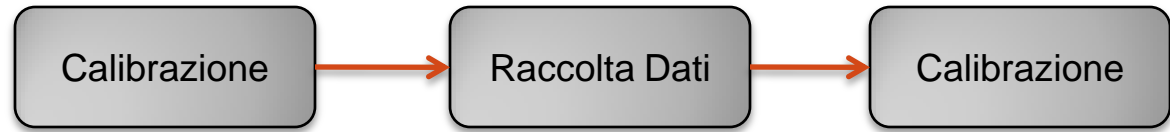
Baseline



Rate caratteristica di un evento: 1 mHz per rivelatore

DAL SEGNALE BOLOMETRICO AL DATO SPERIMENTALE I

Generalmente l'intera presa dati è composta da 3 fasi:



Dopodiché si può procedere con l'analisi offline utilizzando la tecnica del Filtro Ottimo:

Consente di stimare al meglio l'energia della particella rilevata a partire da una buona stima dell'ampiezza del segnale elettrico misurato.

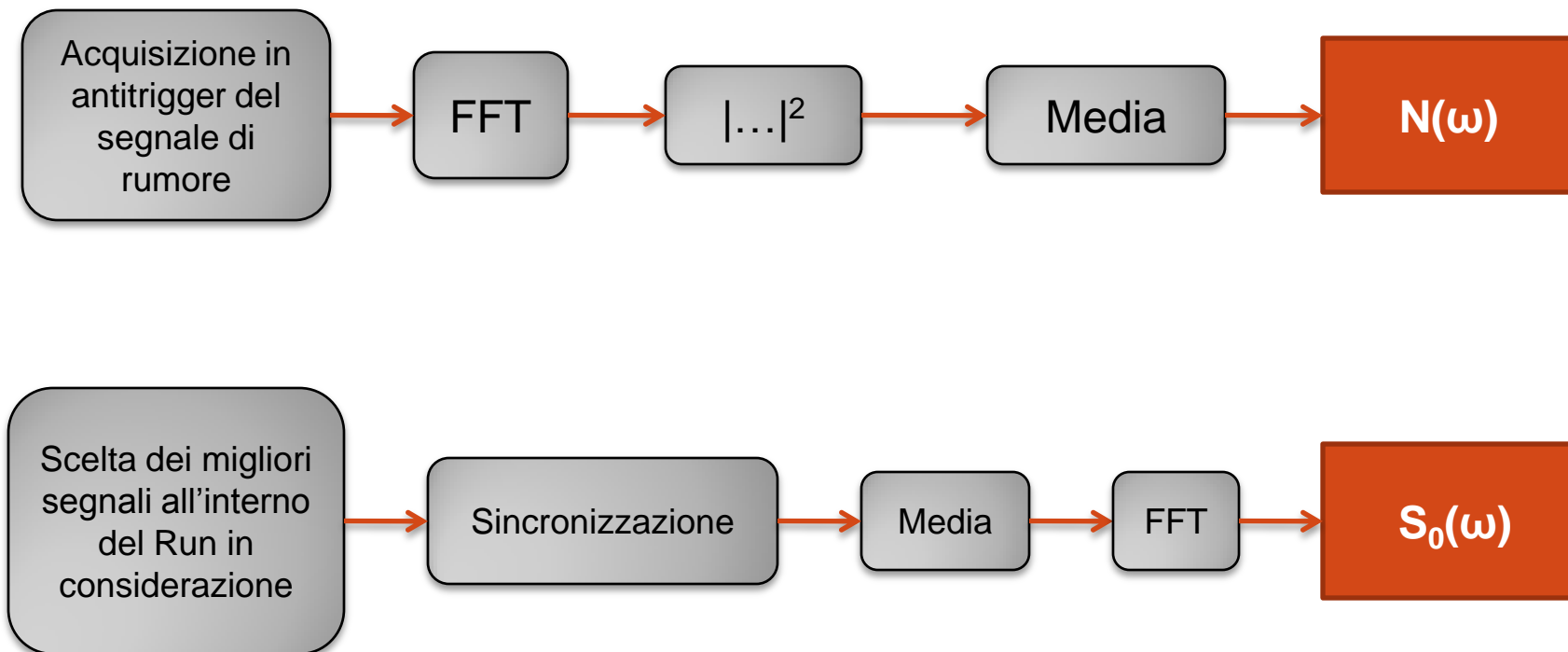
$$R(t) = E * S_0(t) + N(t) \quad \xrightarrow{\text{Filtrato mediante}} \quad H(\omega) = K \frac{S_0(\omega)}{N(\omega)} e^{-i\omega t}$$

- $R(t)$ è il segnale prodotto dal rilascio di E nel rivelatore;
- $S_0(t)$ è la forma del segnale una volta sottratto il rumore (Funzione di risposta);
- $N(t)$ il rumore che si sovrappone al segnale (assunto stocastico).

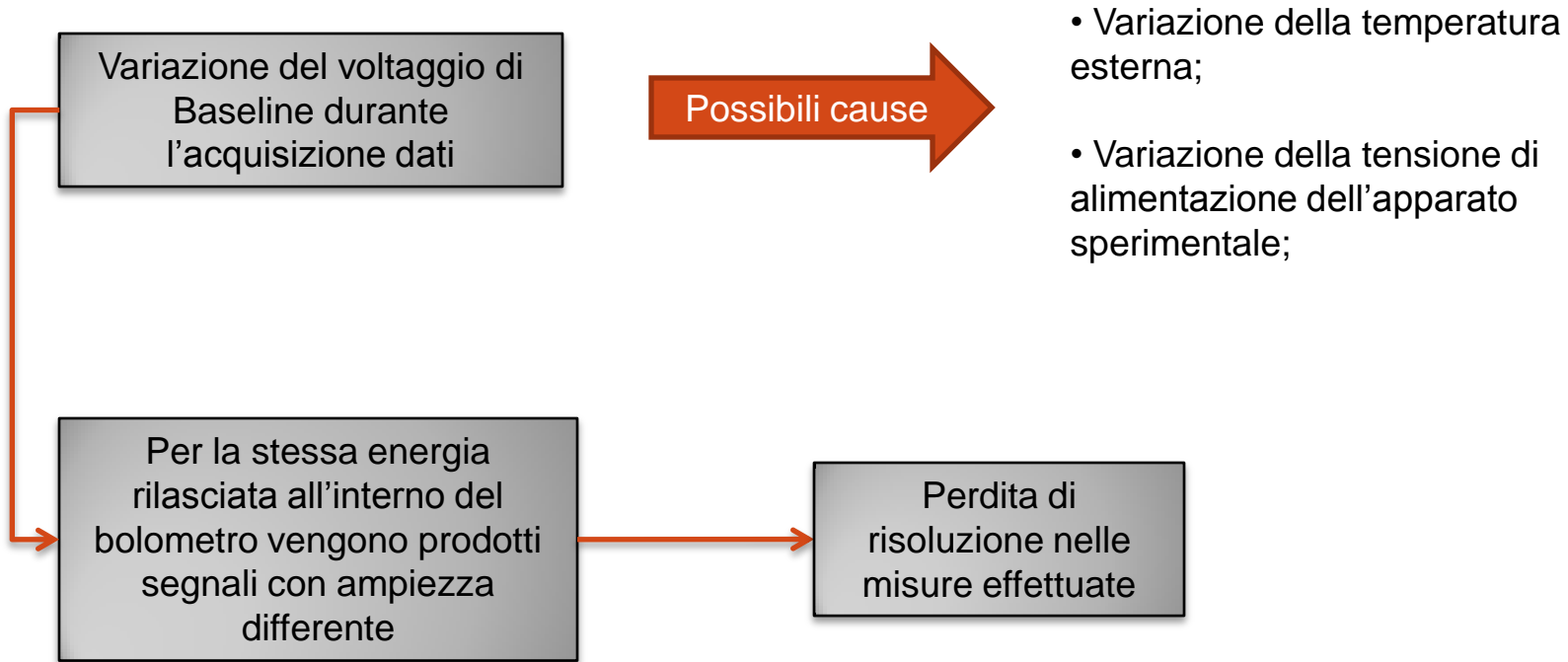
- $N(\omega)$ è la potenza spettrale di rumore;
- $S_0(\omega)$ è la Trasformata di Fourier del segnale.

DAL SEGNALE BOLOMETRICO AL DATO SPERIMENTALE II

Come posso stimare il mio segnale ideale e la potenza spettrale?



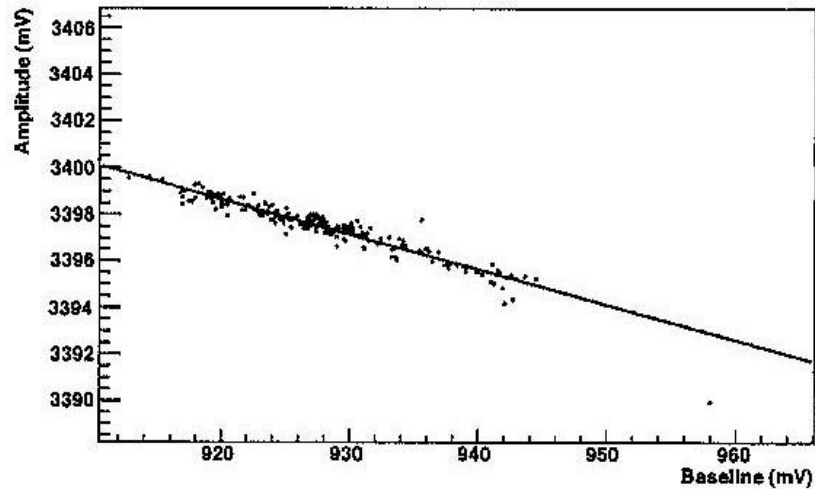
CORREZIONI ALL'INSTABILITÀ DEL SEGNALE I



E' possibile controllare periodicamente l'ampiezza del segnale sfruttando il resistore al Si utilizzato in fase di calibrazione

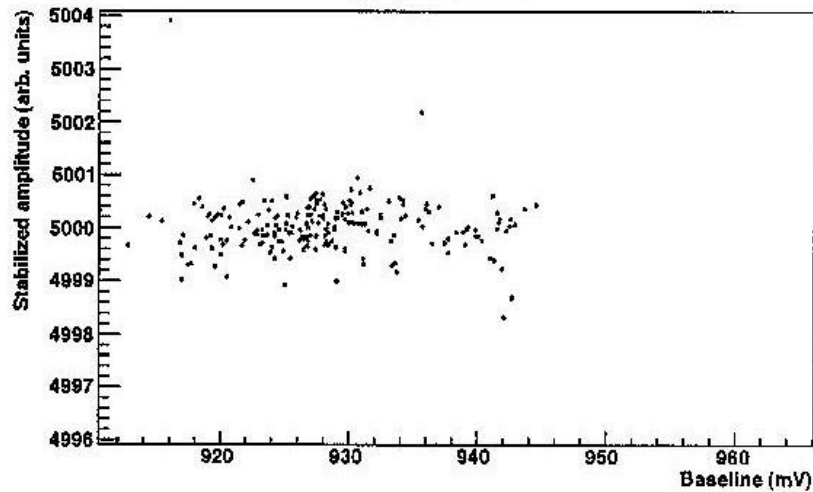
CORREZIONI ALL'INSTABILITÀ DEL SEGNALE II

Heater amplitude vs. baseline



Prima di correggere
l'ampiezza del
segnale

Stabilized heater amplitude vs. baseline

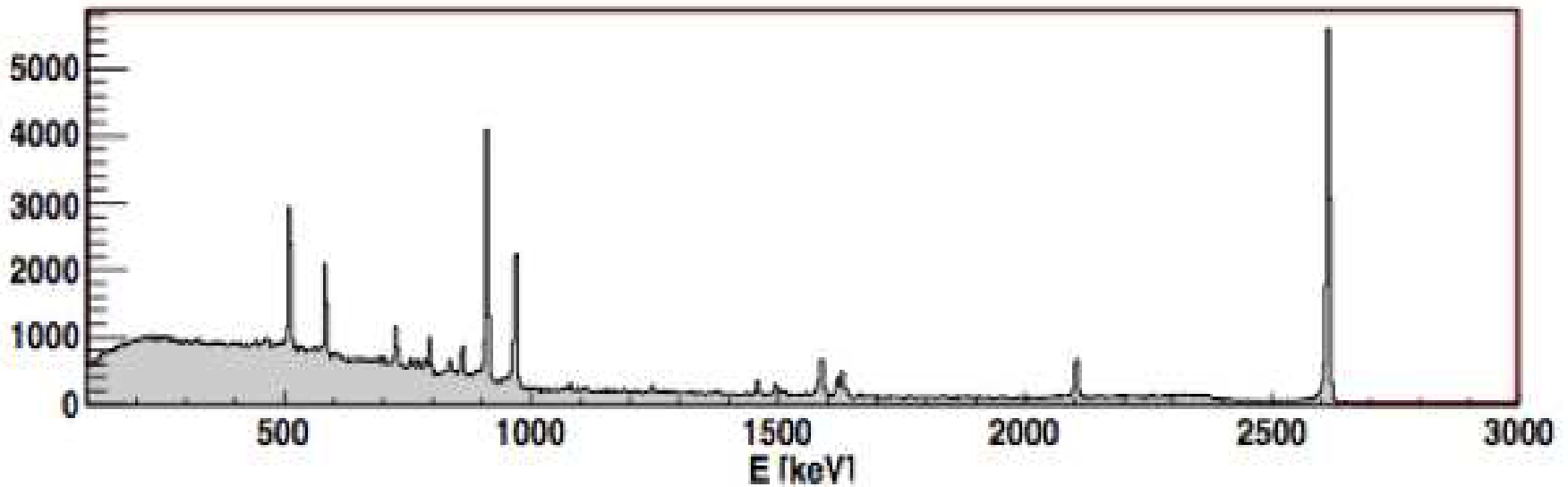


Dopo le
correzioni

CALIBRAZIONE DELL'APPARATO SPERIMENTALE

Le performance di ciascun detector vengono periodicamente monitorate durante la routine di calibrazione mediante l'energia dei raggi γ provenienti da una sorgente nota (^{232}Th). Vengono utilizzati i picchi di energia più intensi: 511, 583, 911, 968, 1588, e 2615 keV ed il picco di fuga singola a 2104 keV.

Cristallo bolometrico 5 x 5 x 5 cm³



I dati raccolti durante la calibrazione vengono utilizzati per determinare la risoluzione di ciascun bolometro

EFFICIENZA DELL'APPARATO SPERIMENTALE I

La routine di calibrazione dell'apparato sperimentale permette inoltre di aumentare il potere di reiezione dei dati. I decadimenti doppio- β registrati in una singola sessione dati per un singolo rivelatore possono essere scartati qualora non viene soddisfatta una delle seguenti condizioni:

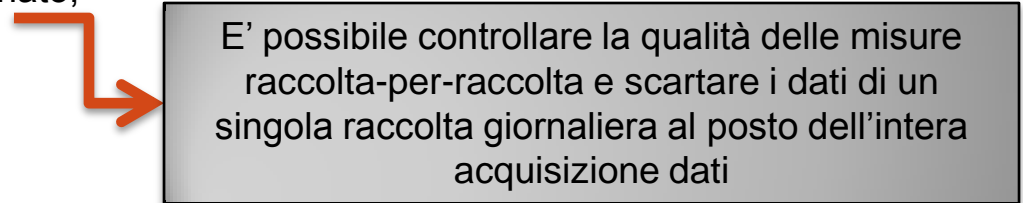
1. La posizione nel fondo del picco a 2615 keV dovuto al decadimento γ del ^{208}Tl , sia nella fase di calibrazione iniziale che in quella finale, deve essere stabile entro 1/3 della larghezza a mezz'altezza;



2. La risoluzione dell'energia misurata del picco a 2615 keV, sia nella fase di calibrazione iniziale che in quella finale, deve essere stabile entro il 30% dell'ampiezza stessa;



3. La posizione dell'energia rilasciata dagli impulsi del Si durante l'intera durata dell'acquisizione dati deve essere stabile entro 1/3 della caratteristica larghezza a mezz'altezza per il rivelatore selezionato;



4. La risoluzione dell'energia rilasciata dagli impulsi del Si per l'intera durata della raccolta dati deve essere stabile entro il 30% dell'ampiezza stessa.

Viene scartato circa il 17% dei dati raccolti

EFFICIENZA DELL'APPARATO SPERIMENTALE II

Contributi all'efficienza del segnale $0\nu\beta\beta$

| Source | Signal efficiency (%) |
|---------------------------|--|
| Escape of a β | 86.3 ± 3.5 (big crystals) |
| | 84.5 ± 3.5 (small crystals) |
| Pulse shape cut | 98.5 ± 0.3 |
| Anti-coincidence cut | 99.3 ± 0.1 |
| Noise | 99.1 ± 0.1 (average of all channels and data sets) |
| Pileup with heater pulses | 97.7 ± 0.0 |
| Total | 81.7 ± 3.3 (average of big crystals) |
| | 80.0 ± 3.3 (average of small crystals) |

Probabilità di Pileup di 2 eventi: $0.6\% \quad R * \Delta t$

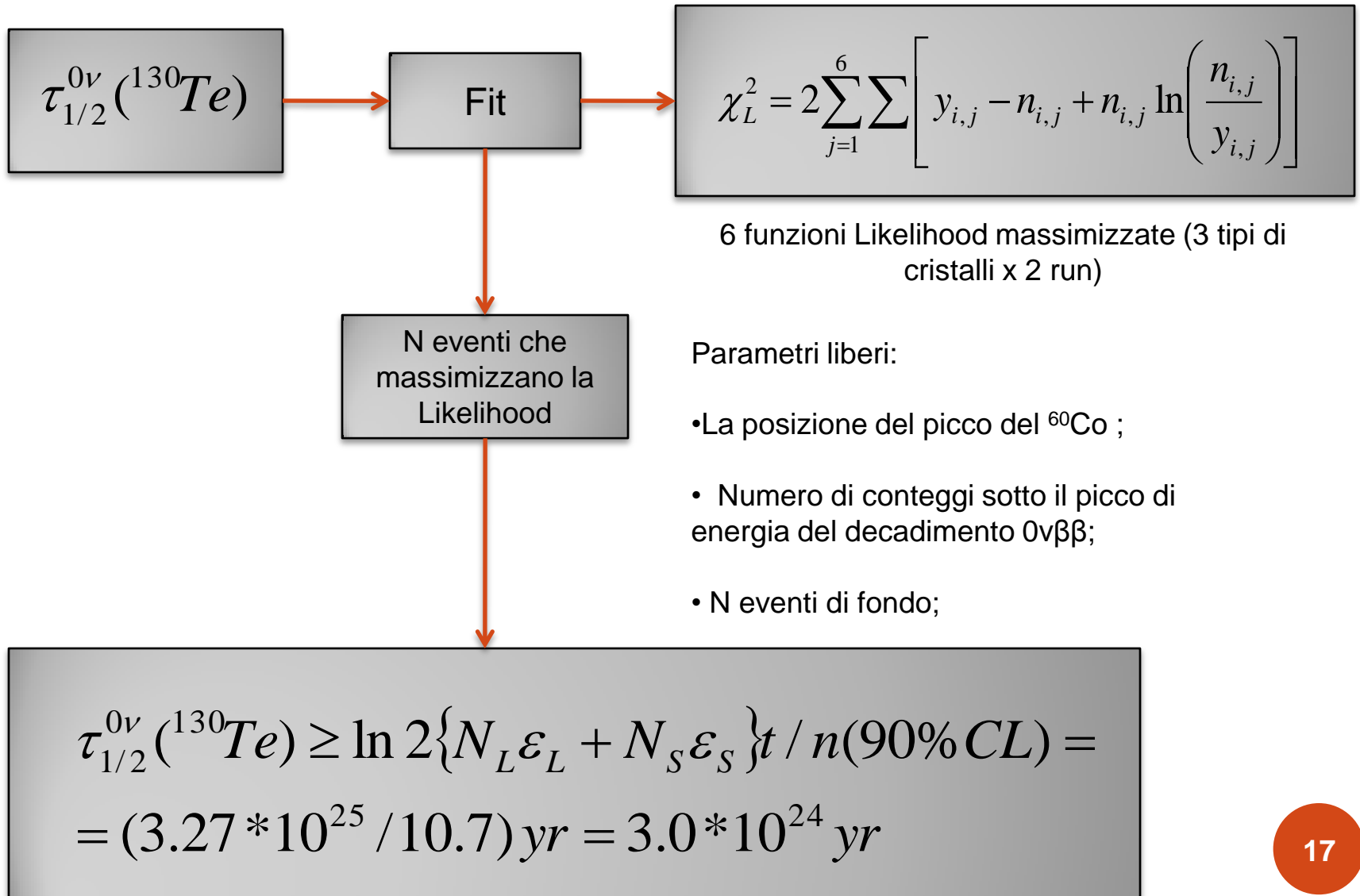
Probabilità coincidenze casuali: $1.1\% \quad 2 * R_{ALL} * \Delta t$

Dove $\Delta t \sim 100 \text{ ms}$

$R_{ALL} \sim 56 \text{ mHz}$

$R \sim 1 \text{ mHz}$

RISULTATI I



RISULTATI II

