

# 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.

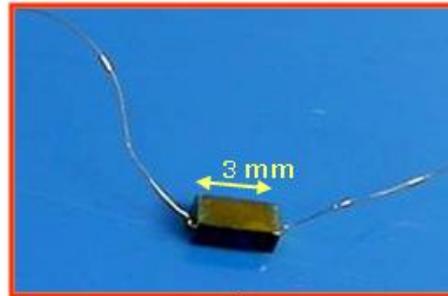


Parte III

# 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:

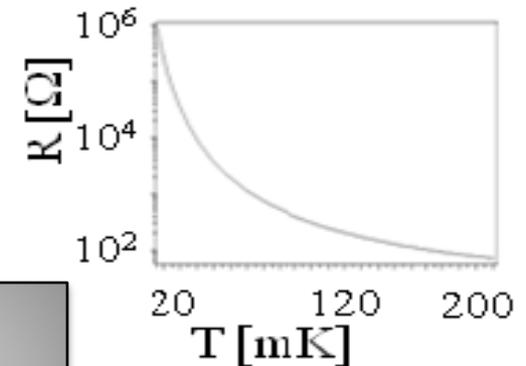
$$R(T) = R_0 e^{\sqrt{\frac{T_0}{T}}}$$

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

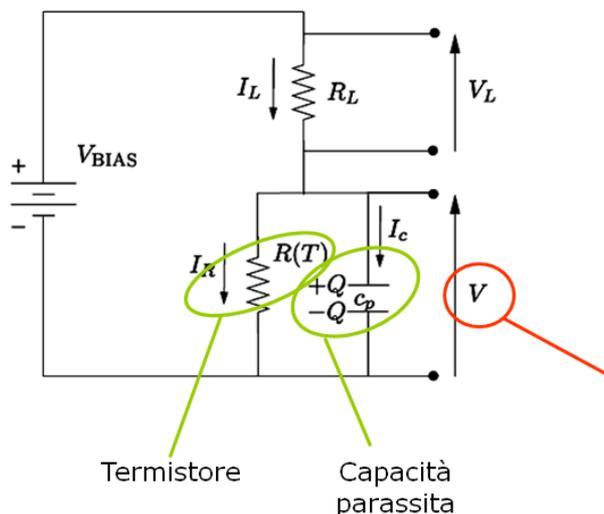
Un buon parametro per caratterizzare il termistore è la sensitività logaritmica:

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

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

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

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)

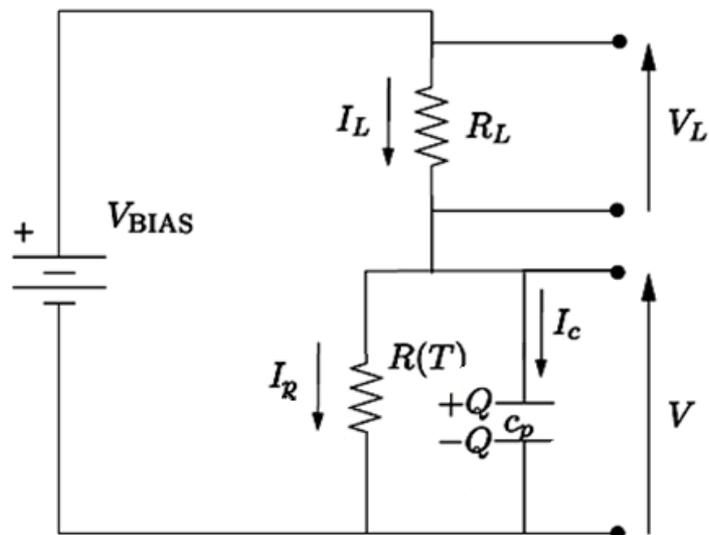
Capacità parassita  $c_p$ :

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

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  $\Delta V$  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;
- $\eta$  la sensibilità logaritmica.

Valori tipici:

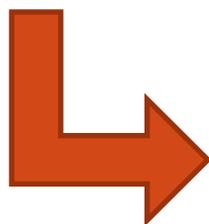
$V_{\text{BIAS}} \sim 5\text{V}$   
 $I_R \sim 100 \text{ pA}$   
 $R_L = 54 \text{ G}\Omega$   
 $R_{\text{BOL}}(T) = 100 \text{ M}\Omega$   
 $C_p = 400 \text{ pF}$   
 $\eta \sim 10$

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

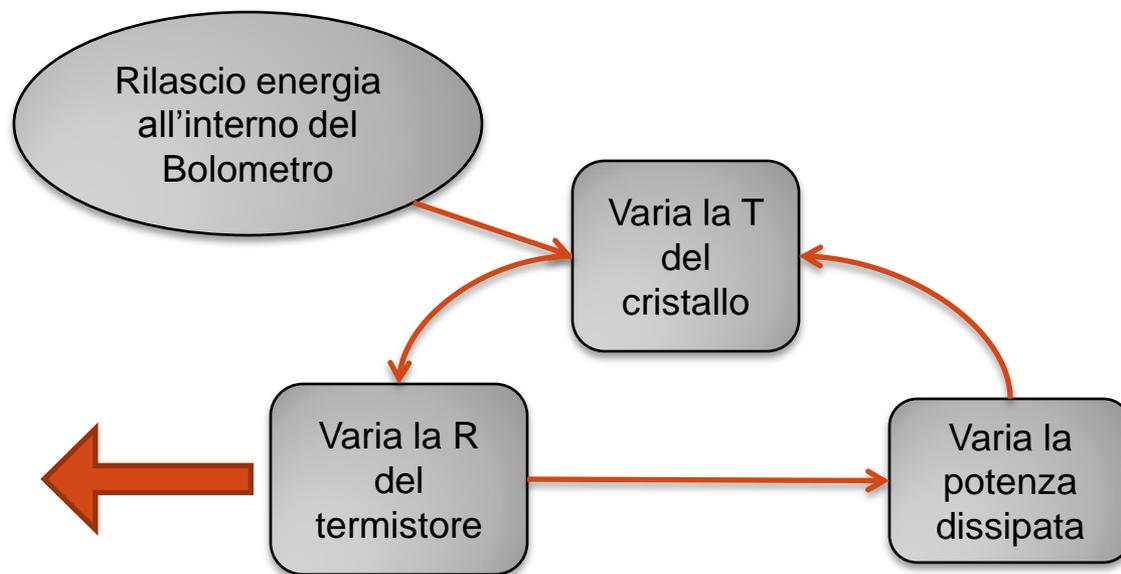
# IL TERMISTORE E IL CIRCUITO DI LETTURA III

Il sistema è dinamico:

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



**Feedback Elettrotermico**

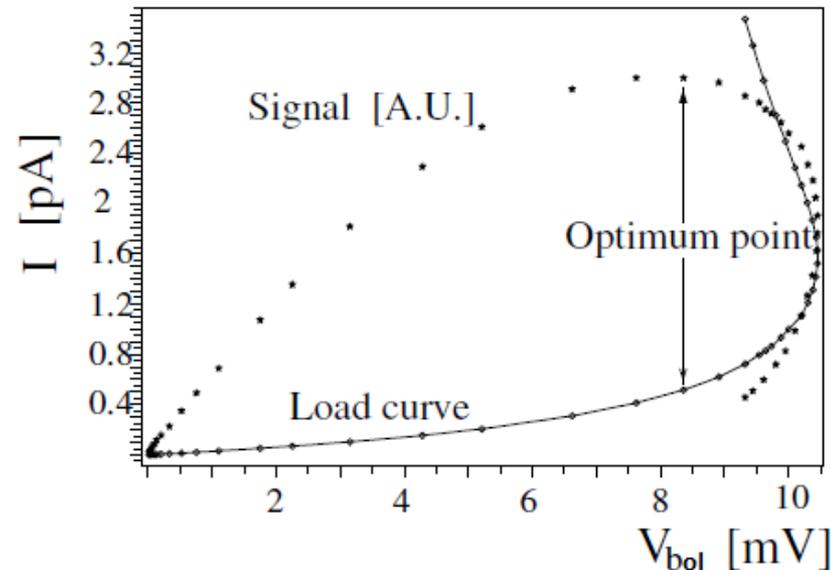
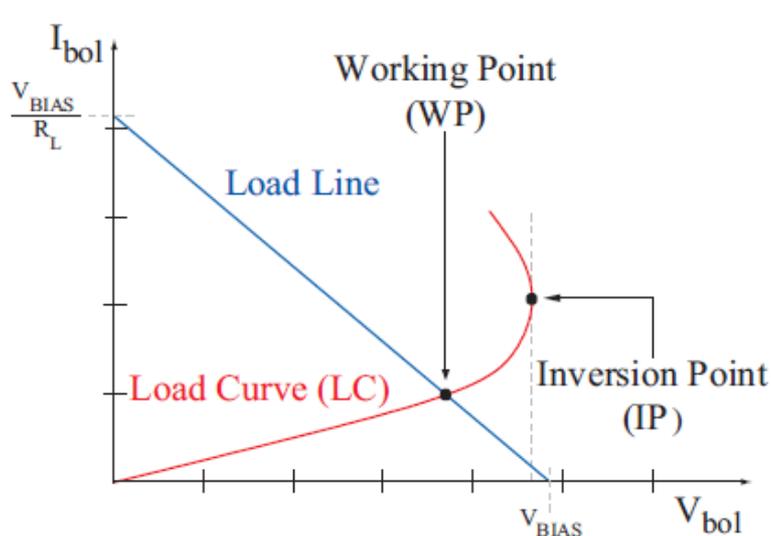


La relazione  $I - V$  non è più lineare e il comportamento del termistore diventa non-Ohmico

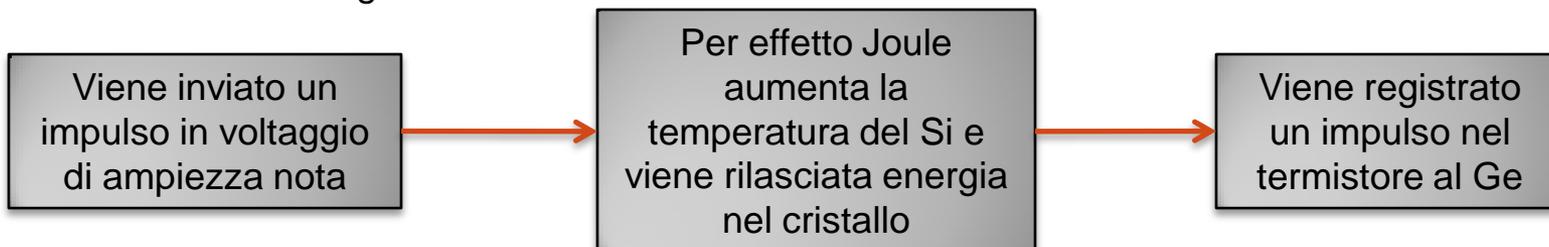
La scelta di termistori a semiconduttore permette di raggiungere l'equilibrio della  $T$  di lavoro nel regime di corrente costante.

# 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):

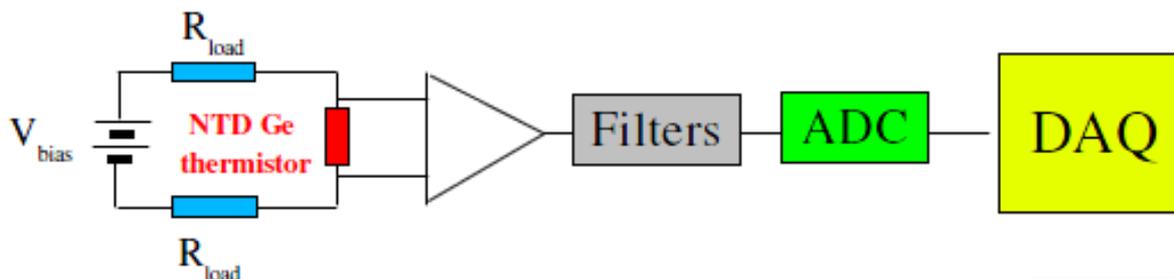


La scelta del punto di lavoro di ciascun termistore avviene durante la fase di calibrazione dello strumento sfruttando un resistore al Si incollato al cristallo. Al variare della  $I_{BIAS}$  il processo che viene sfruttato è il seguente:



# 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

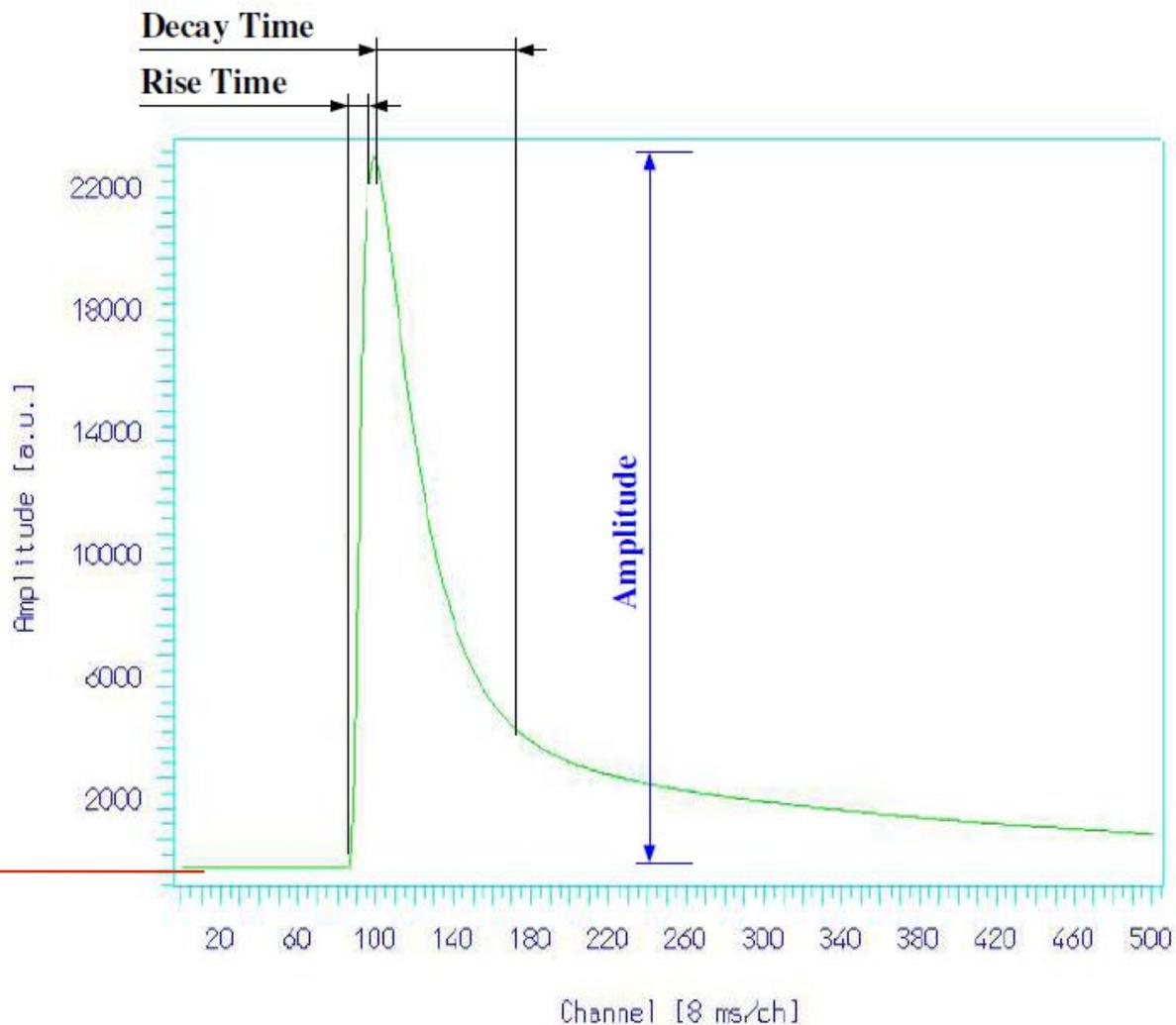
Efficienza stimata al  $99 \pm 1\%$  oltre i 100 keV;

# IL SEGNALE BOLOMETRICO

Si analizza:

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

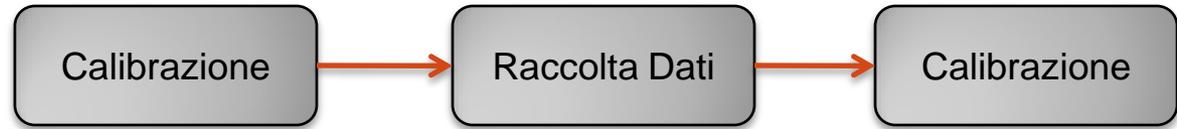
Baseline



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.

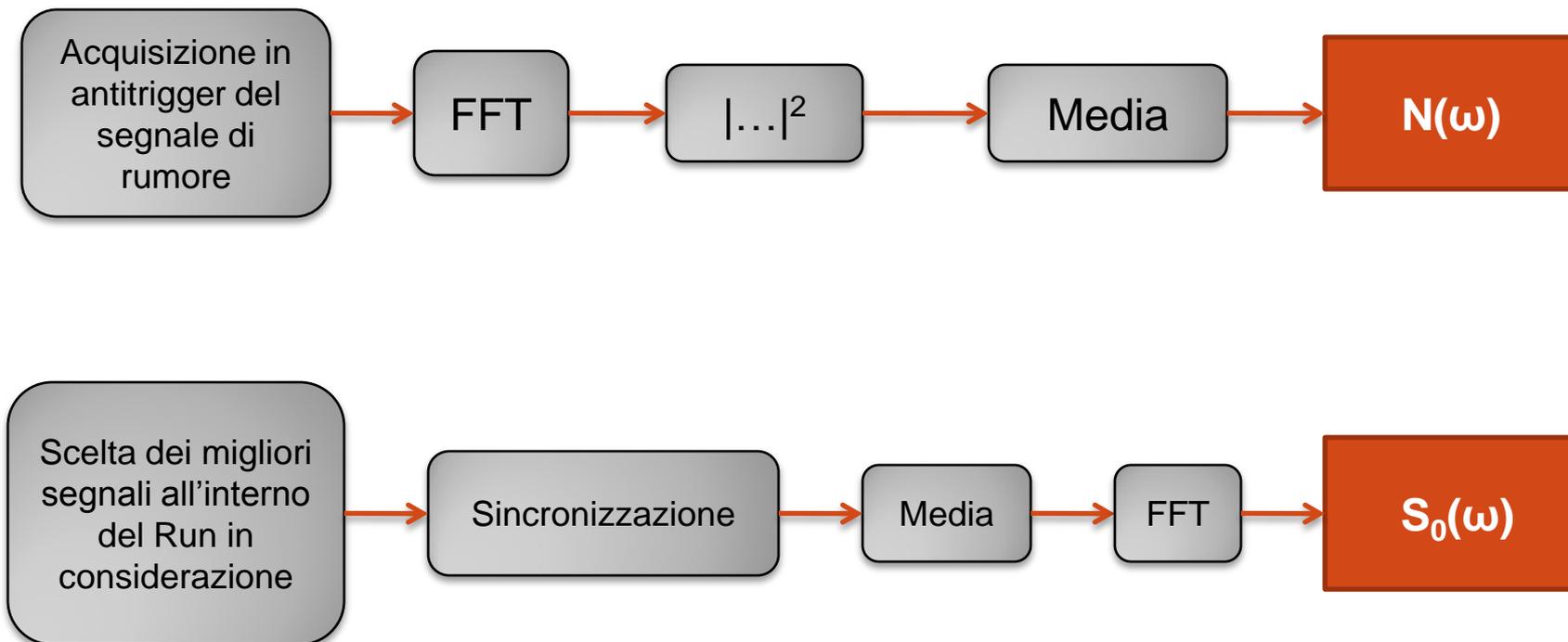
$$R(t) = E * S_0(t) + N(t) \quad \xrightarrow{\text{Filtrato mediante}} \quad H(\omega) = K \frac{S_0(\omega)}{N(\omega)} e^{-i\omega t}$$

- $R(t)$  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).

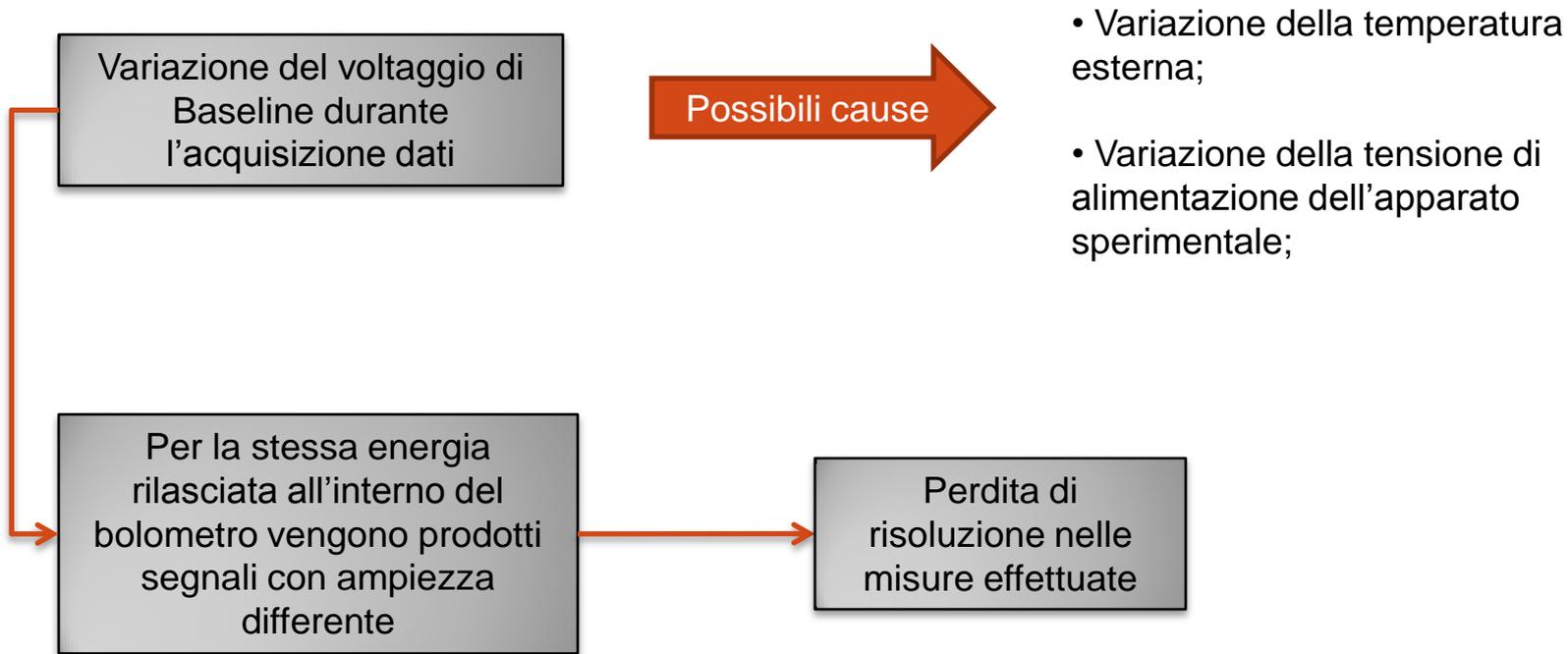
- $N(\omega)$  è la potenza spettrale di rumore;
- $S_0(\omega)$  è la Trasformata di Fourier del segnale.

# DAL SEGNALE BOLOMETRICO AL DATO SPERIMENTALE II

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



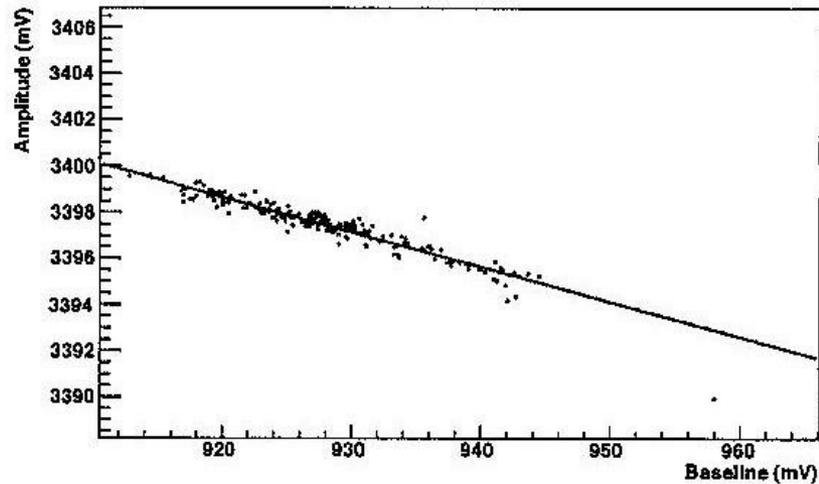
# CORREZIONI ALL'INSTABILITÀ DEL SEGNALE I



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

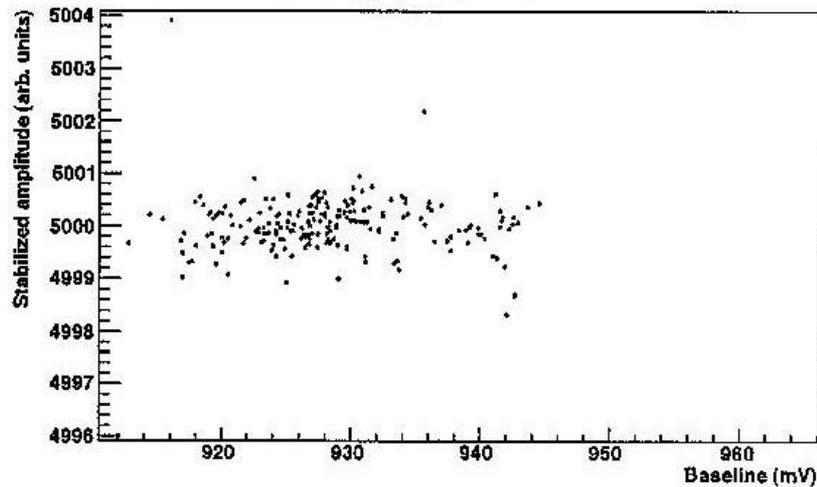
# CORREZIONI ALL'INSTABILITÀ DEL SEGNALE II

Heater amplitude vs. baseline



Prima di correggere  
l'ampiezza del  
segnale

Stabilized heater amplitude vs. baseline

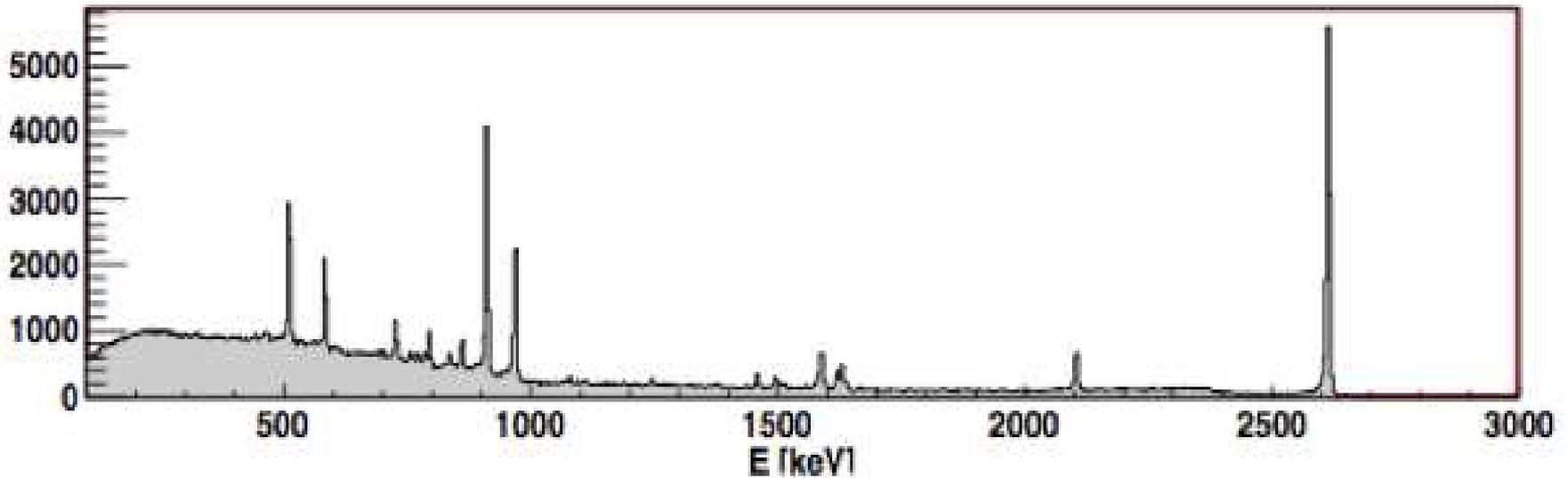


Dopo le  
correzioni

# CALIBRAZIONE DELL'APPARATO SPERIMENTALE

Le performance di ciascun detector vengono periodicamente monitorate durante la routine di calibrazione mediante l'energia dei raggi  $\gamma$  provenienti da una sorgente nota ( $^{232}\text{Th}$ ). 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 cm<sup>3</sup>

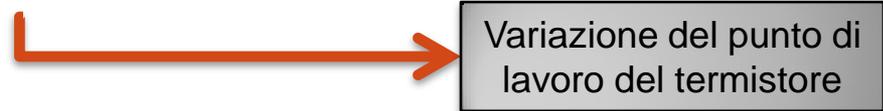


I dati raccolti durante la calibrazione vengono utilizzati per determinare la risoluzione di ciascun bolometro

# 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- $\beta$  registrati in una singola sessione dati per un singolo rivelatore possono essere scartati qualora non viene soddisfatta una delle seguenti condizioni:

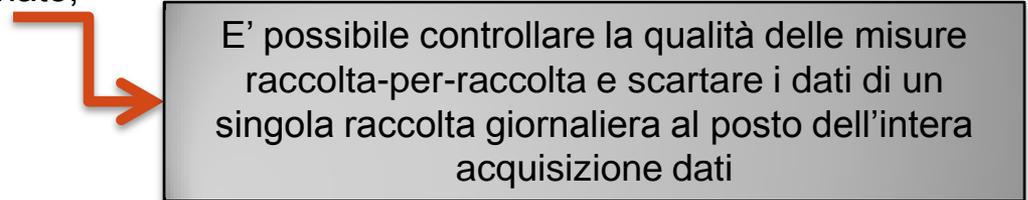
1. La posizione nel fondo del picco a 2615 keV dovuto al decadimento  $\gamma$  del  $^{208}\text{Tl}$ , sia nella fase di calibrazione iniziale che in quella finale, deve essere stabile entro 1/3 della larghezza a mezz'altezza;



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 $\beta$	$86.3 \pm 3.5$ (big crystals)
	$84.5 \pm 3.5$ (small crystals)
Pulse shape cut	$98.5 \pm 0.3$
Anti-coincidence cut	$99.3 \pm 0.1$
Noise	$99.1 \pm 0.1$ (average of all channels and data sets)
Pileup with heater pulses	$97.7 \pm 0.0$
Total	$81.7 \pm 3.3$ (average of big crystals)
	$80.0 \pm 3.3$ (average of small crystals)

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

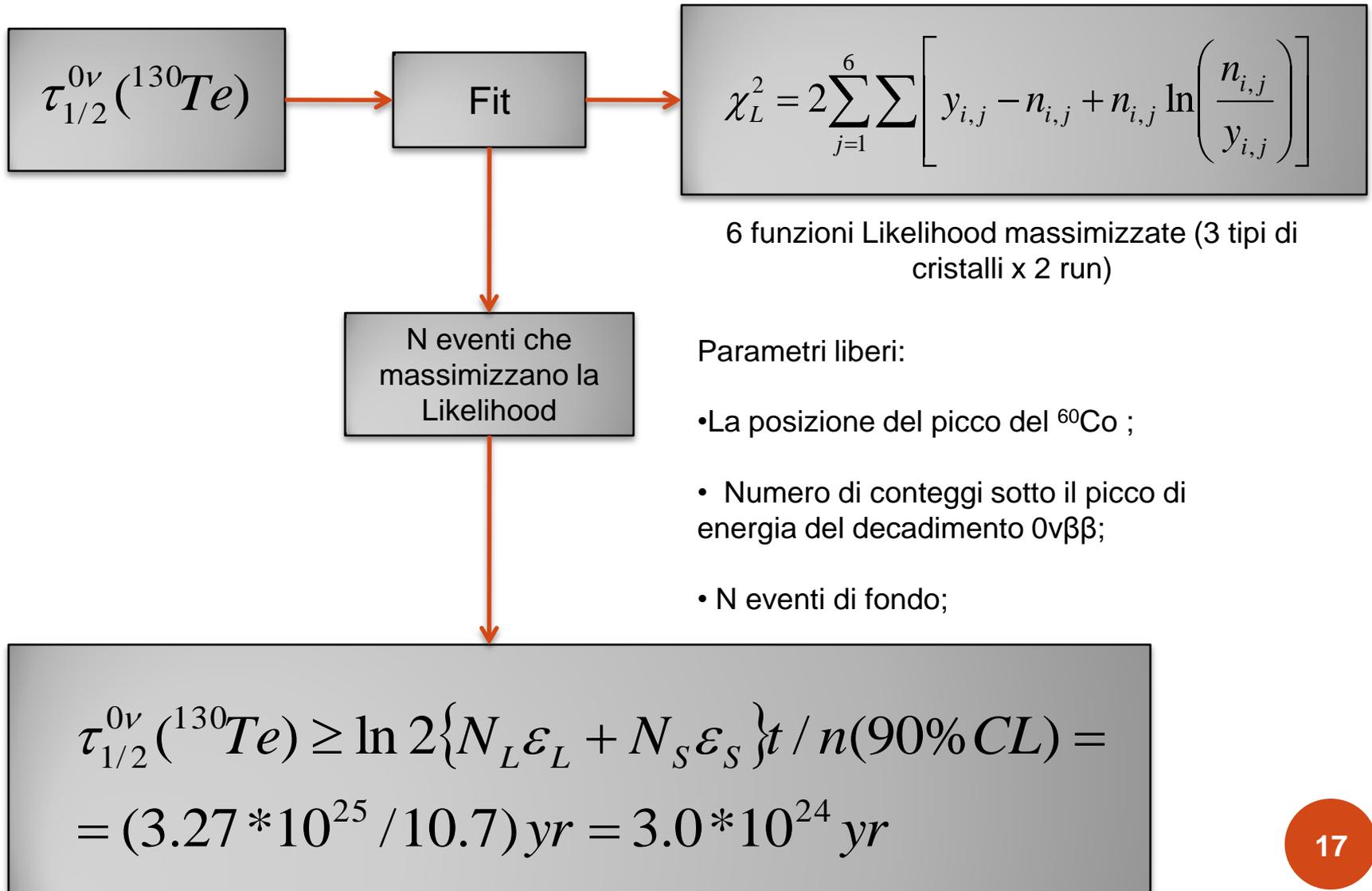
Probabilità coincidenze casuali:  $1.1\% \quad 2 * R_{ALL} * \Delta t$

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

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

$R \sim 1 \text{ mHz}$

# RISULTATI I



# RISULTATI II

