

# **PROPRIETA' GENERALI DEI RIVELATORI**

- **Principi di funzionamento**
- **Osservabili piu comunemente misurate**
- **Risoluzione Energetica**
- **Efficienza**

# PROPRIETA' GENERALI DEI RIVELATORI

Rivelatore: Apparato (di qualsiasi tipo) che reagisce in presenza di radiazione

- Nel range di energie di interesse nucleare l'effetto finale dell'interazione della radiazione all'interno di un rivelatore è la produzione di una certa quantità di carica
- Per la grande maggioranza dei rivelatori il tempo di interazione e di rilascio delle cariche è istantaneo.

radiazione  $\gamma$ :      velocità  $\approx 3 \cdot 10^8$  m/s = 30 cm/ns = 0.3 mm/ps

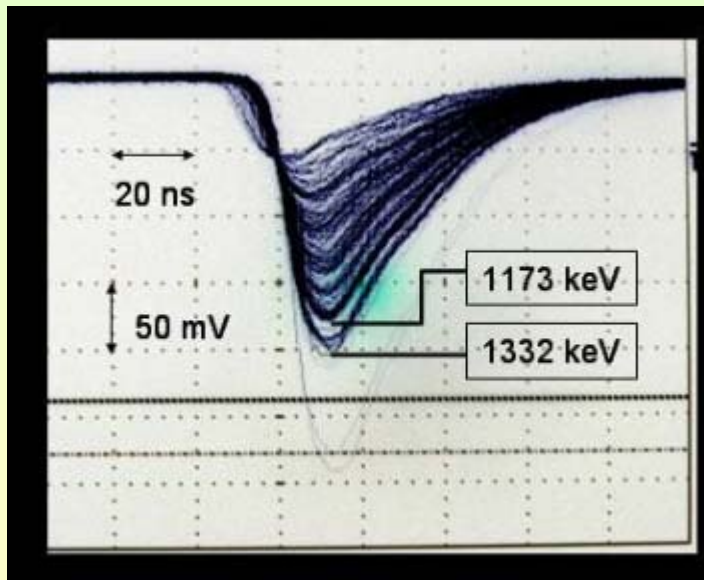
Se il rivelatore è in grado di separare due eventi che separati da  $\approx 10$  ps allora è possibile ordinare sperimentalmente le interazioni gamma all'interno del medesimo rivelatore

## PROPRIETA' GENERALI DEI RIVELATORI

- La carica rilasciata deve essere raccolta ed analizzata per estrarre dati quantitativi sulla radiazione che ha interagito
  - Tutti i rivelatori necessitano di un elevato campo elettrico
  - Il tempo di raccolta delle cariche è un tempo caratteristico di ogni rivelatore e costituisce una caratteristica molto importante per definire le prestazioni dei diversi tipi di rivelatore e il loro campo di attività
- 
- Rivelatori a Gas .....  $\tau_{\text{racc}} \sim 10^{-9} - 10^{-3} \text{ s}$
  - Rivelatori a stato solido .....  $\tau_{\text{racc}} \sim 10^{-8} - 10^{-7} \text{ s}$
  - Rivelatori a scintillazione .....  $\tau_{\text{racc}} \sim 10^{-10} - 10^{-8} \text{ s}$

Più in generale:

- Quando un quanto di radiazione interagisce all'interno di un rivelatore
  - si registra un impulso elettrico:
    - la cui ampiezza
    - la cui durata
    - la cui forma
  - dipendono dalla radiazione incidente e dal tipo di rivelatore



## PROPRIETA' GENERALI DEI RIVELATORI

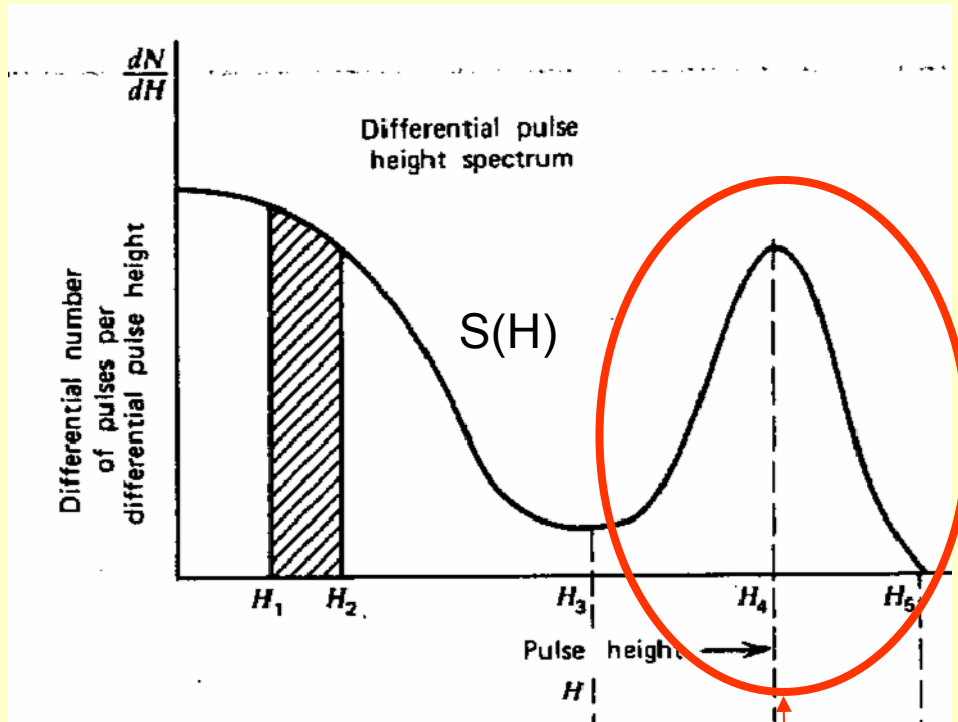
Nella stragrande maggioranza dei rivelatori la misura dell'ampiezza del segnale elettrico è una misura diretta dell'energia rilasciata dalla radiazione interagente

Le ampiezze dei segnali indotti da differenti quanti di radiazione non sono generalmente identiche tra loro in quanto:

- Differenti quanti possono depositare nel rivelatore una quantità diversa di energia
- Quando l'energia depositata è esattamente la stessa (per esempio quando due fotoni, entrambi provenienti dal decadimento del medesimo livello nucleare, interagiscono attraverso l'effetto fotoelettrico) sono sempre presenti fluttuazioni statistiche intrinseche nel processo di:
  - ionizzazione
  - raccolta di carica
- in aggiunta è sempre presente del rumore elettronico

# PROPRIETA' GENERALI DEI RIVELATORI

## Spettro energetico della radiazione incidente



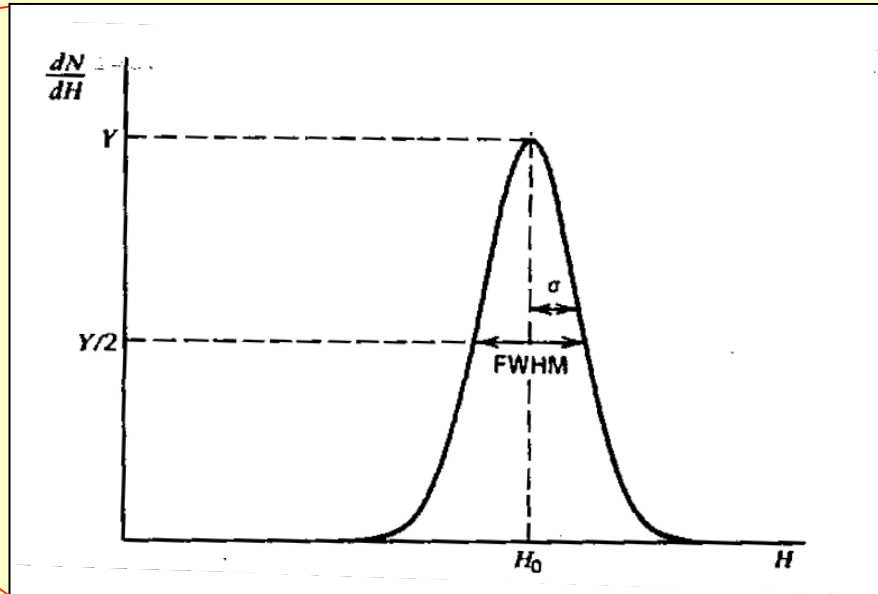
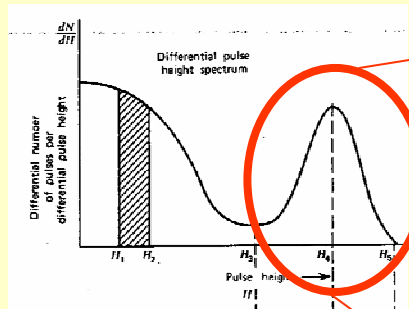
$$N = \int_{H_1}^{H_2} S(H) dH$$

$N$  = Numero di quanti di radiazione con un segnale in ampiezza compreso tra  $H_1$  ed  $H_2$ . In altre parole è il numero di quanti di radiazione che hanno depositato una energia compresa tra  $E_1$  ed  $E_2$  dove  $E_1=f(H_1)$  ed  $E_2=f(H_2)$

E' presente radiazione monocromatica

# PROPRIETA' GENERALI DEI RIVELATORI

In presenza di radiazione monocromatica, lo spettro energetico prodotto da un rivelatore mostra una curva a campana approssimabile ad una curva gaussiana



$$G(H) = \frac{A}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(H - H_0)^2}{2\sigma^2}\right]$$

$$R = \frac{FWHM}{H_0}$$

$\sigma$  = deviazione standard

FWHM = Full Width Half Maximum =  $2.35 \sigma$

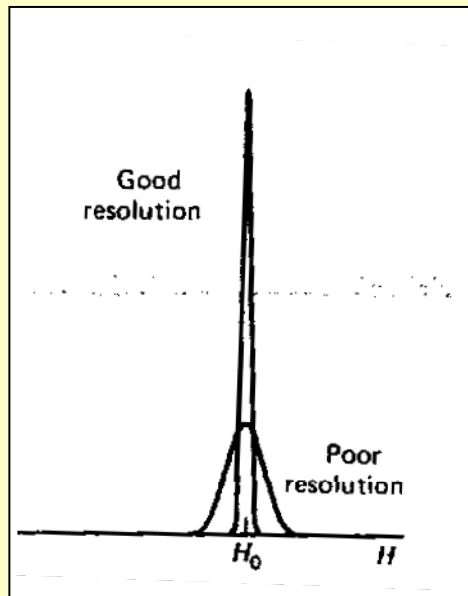
A = area

$H_0$  = centro della gaussiana

R = Risoluzione Percentuale

# PROPRIETA' GENERALI DEI RIVELATORI

La risoluzione energetica definita come  $R$  indica la dispersione misurata nello spettro energetico per eventi che depositano esattamente la medesima energia all'interno di un rivelatore.



La risoluzione energetica, per un rivelatore accoppiato ad una elettronica ideale, è legata alle fluttuazioni presenti sul numero dei portatori di carica prodotti dalla radiazione monocromatica.

$H_p$ : Ionizzazione è un processo Poissoniano

- la probabilità di ionizzare uno specifico atomo è molto piccola, sono presenti un gran numero di atomi disponibili ad essere ionizzati

Sia  $N$  il numero di portatori di carica prodotti

⇒ La deviazione standard sul numero  $N$  di portatori di carica prodotti è data in una distribuzione poissoniana da  $N^{1/2}$



$$FWHM = 2.35 \sigma$$

$\sigma \Rightarrow$  deviazione standard di una distribuzione poissoniana

$$\sigma = \sqrt{\text{valor medio distribuzione}}$$

$$FWHM = 2.35 \sqrt{N} \quad N = \text{numero medio di fotoni prodotti}$$

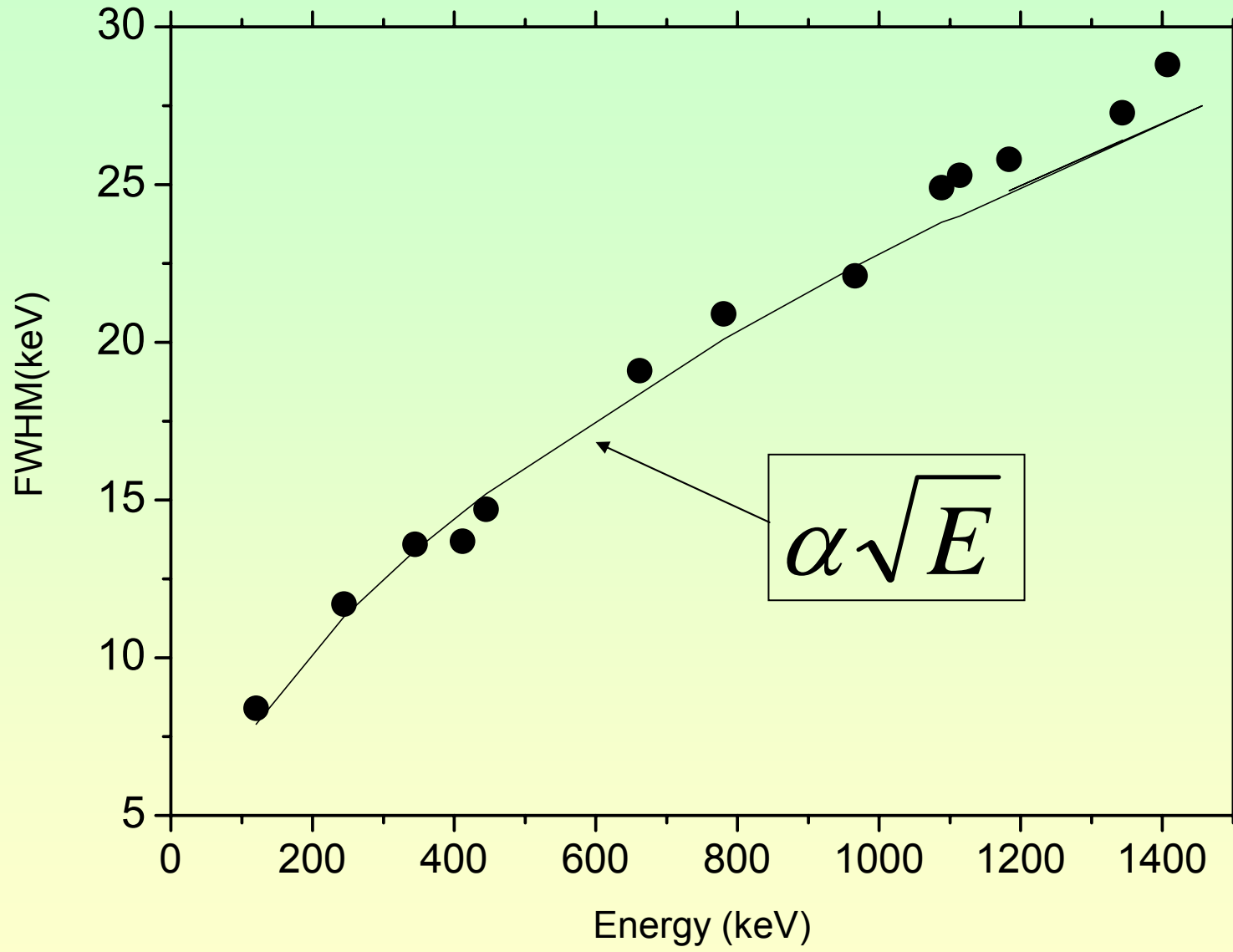
$$\text{Poich\`e } N \propto \text{Energia radiazione incidente} \quad N = K^2 E$$

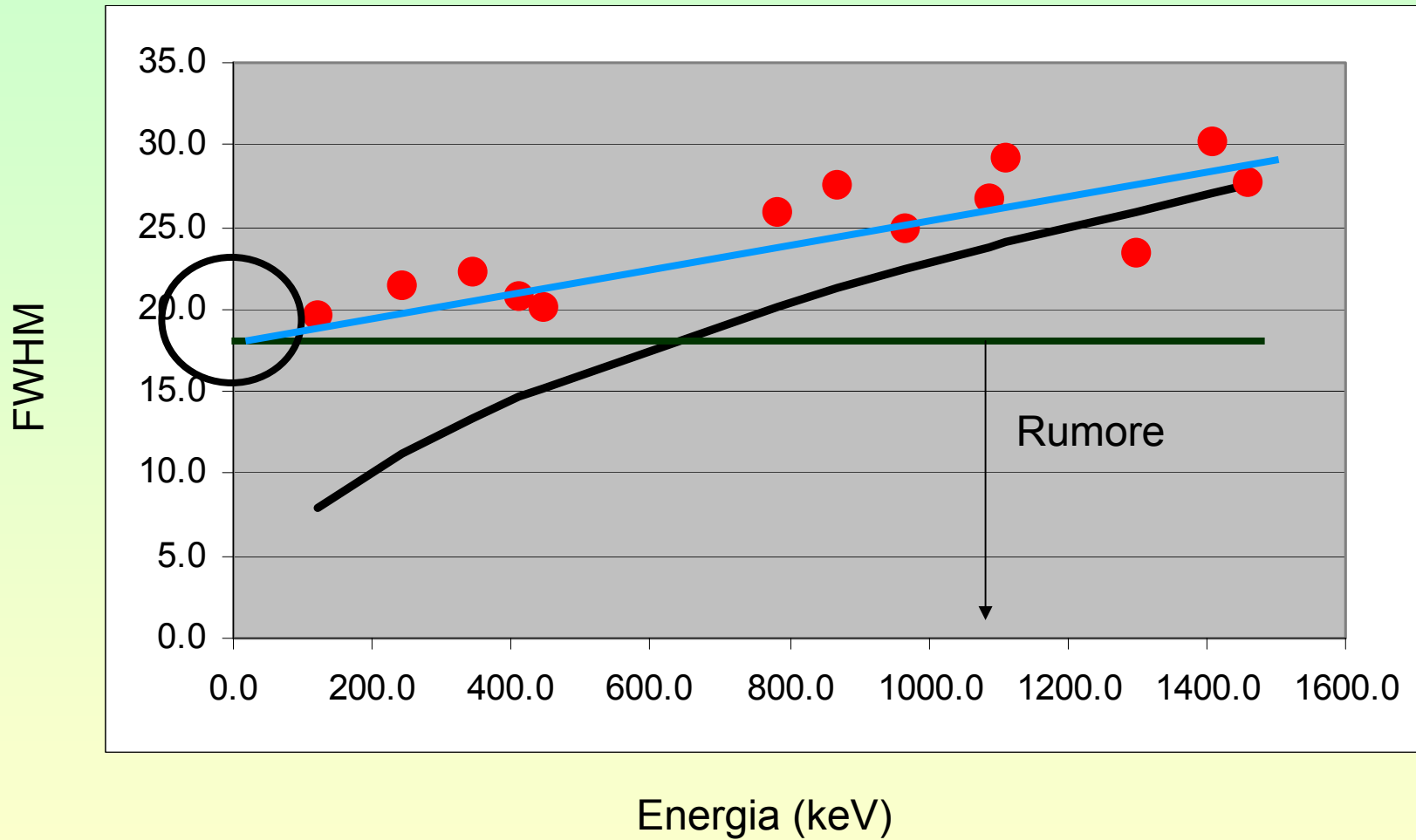
$$FWHM (MeV) = 2.35 K \sqrt{E (MeV)} = \alpha \sqrt{E (MeV)}$$

*Detta R risoluzione percentuale*

$$R = \frac{FWHM}{E} = \frac{2.35 \sigma}{E} = \frac{2.35 K \sqrt{E}}{E} = \frac{2.35 K}{\sqrt{E}} = \frac{\alpha}{\sqrt{E}}$$

La risoluzione energetica dovuta unicamente al meccanismo di ionizzazione indotto dalla radiazione energetico scala è inversamente proporzionale alla radice quadrata del numero di portatori di carica prodotti e quindi alla radice quadrata dell'energia depositata





# PROPRIETA' GENERALI DEI RIVELATORI

Attenzione:

Sperimentalmente si è trovato che, per alcuni tipi di rivelatori (p.es. HPGe) è possibile ottenere una risoluzione energetica significativamente inferiore al limite imposto dalla distribuzione Poissoniana

Si definisce Fattore di Fano il fattore:

$$F = \frac{\sigma_{Misurata}}{\sigma_{Statistica}} = \frac{\sigma_{Misurata}^2}{N}$$

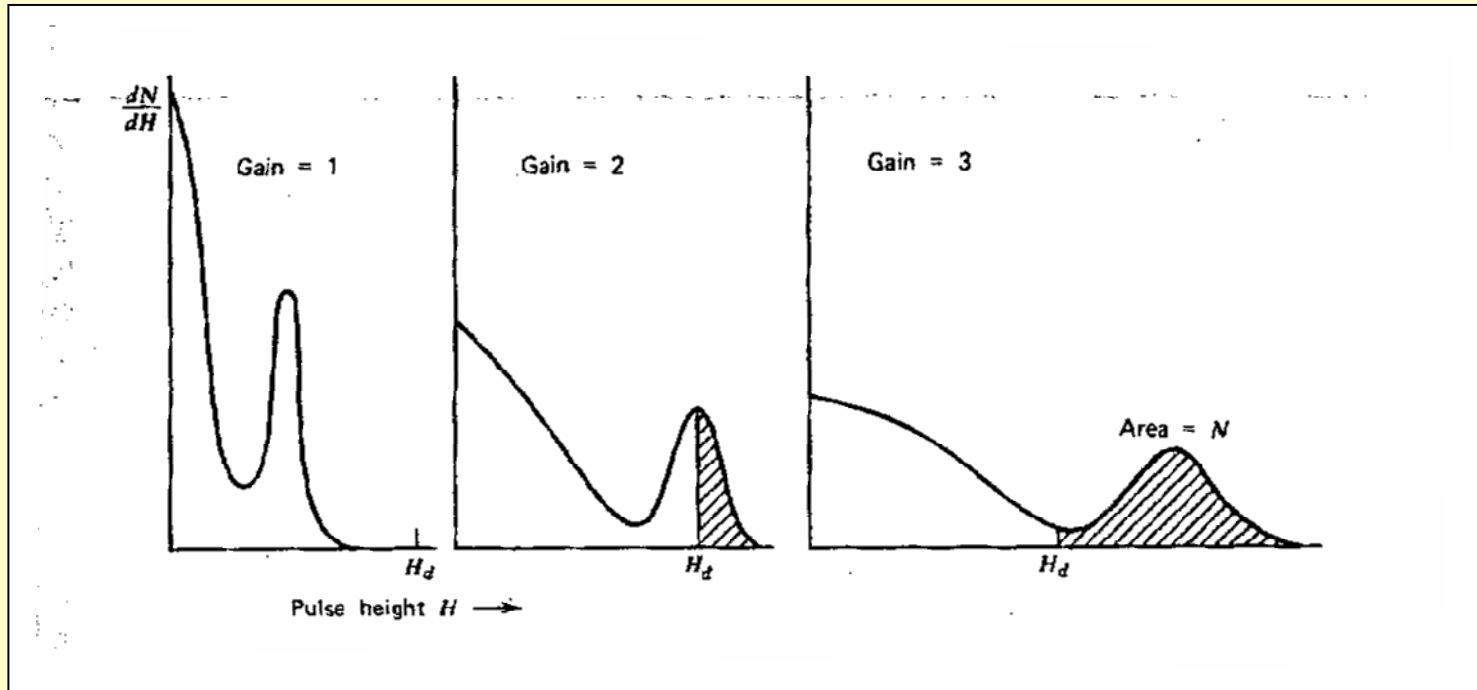
Vi sono altri fattori che possono contribuire alla risoluzione energetica di un rivelatore quali ad esempio

- Fluttuazioni nell'elettronica indotte dalle condizioni esterne (temperatura, umidità, ...)
- Rumore elettronico
- .....

La risoluzione globale misurata è data dalla somma quadratica delle singole risoluzioni

$$(FWHM)_{totale}^2 = F \cdot (FWHM)_{Statistica}^2 + (FWHM)_{noise}^2 + (FWHM)_{drifts}^2 + \dots$$

# PROPRIETA' GENERALI DEI RIVELATORI



Cambiare il guadagno non significa migliorare la risoluzione di un rivelatore

- Aumenta la deviazione standard
- Aumenta il valore del massimo
- R non cambia

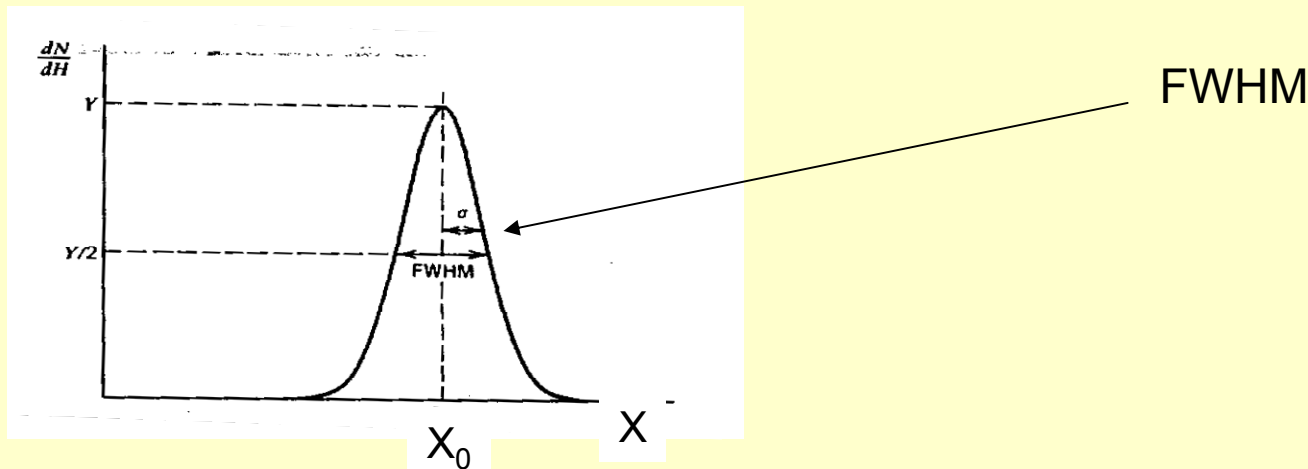
# PROPRIETA' GENERALI DEI RIVELATORI

Non sempre si è interessati all'ampiezza del segnale fornito dal rivelatore. Esistono altre osservabili di interesse in misure di radiazione, per esempio:

- Il tempo di arrivo del quanto di radiazione rispetto ad un riferimento temporale fissato
- Il tempo necessario a raggiungere il massimo
- Il numero di rivelatori che hanno dato segnale sopra una data soglia
- La correlazione angolare della radiazione misurata
- La forma del segnale misurato (PSA)
- .....

In tutti questi casi, può essere prodotto uno spettro (per esempio temporale) che ha in pratica le medesime caratteristiche di quello energetico. Cambia solo il tipo di osservabile misurata.

Ogni qualvolta ci si trova in presenza di un picco di forma gaussiana si parla sempre di risoluzione (temporale, spaziale, angolare ....). Anche in questo caso la FWHM viene usata come osservabile per quantificare questa nuova risoluzione



## PROPRIETA' GENERALI DEI RIVELATORI

Ogni qualvolta la radiazione interagisce con il rivelatore si genera un impulso elettrico che viene analizzato dall'elettronica accoppiata al rivelatore

Tuttavia non necessariamente tutta la radiazione incidente interagisce nel rivelatore o non tutti i segnali elettrici generati sono 'riconosciuti' dall'elettronica (ad esempio sono troppo bassi o si sovrappongono ad un altro segnale, ..... )

Efficienza Assoluta  $\varepsilon_{abs} = \frac{\text{\# eventi che hanno interagito nel rivelatore}}{\text{\# quanti emessi dalla sorgente}}$

Efficienza Relativa  $\varepsilon_{int} = \frac{\text{\# eventi che hanno interagito nel rivelatore}}{\text{\# quanti entrati nel rivelatore}}$

C'e' solo un fattore Geometrico  $\Omega$  tra l'efficienza assoluta e quella intrinseca o relativa

$$\varepsilon_{abs} = \Omega \cdot \varepsilon_{int} \quad \Omega = \frac{\text{Angolo solido sotteso dal rivelatore (Sr)}}{4\pi}$$

Nel caso della radiazione  $\gamma$  si usa l'efficienza di fotopicco, cioe' viene posto al numeratore il numero di  $\gamma$  che hanno depositato TUTTA la loro energia all'interno del rivelatore

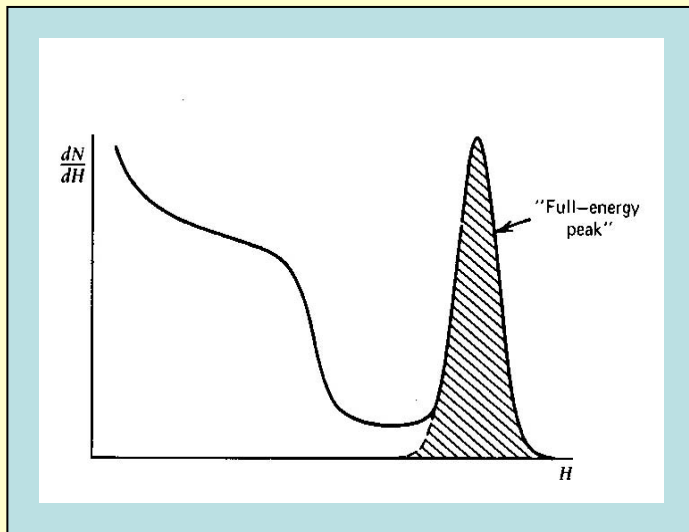
# PROPRIETA' GENERALI DEI RIVELATORI

Radiazione Neutra (p.es. neutroni o raggi X o  $\gamma$ )

La radiazione neutra interagisce con il materiale del rivelatore con una data probabilità che dipende dalla radiazione e dal rivelatore.

La radiazione, una volta interagito, non rilascia necessariamente tutta la sua energia all'interno del rivelatore

E' importante quindi definire una nuova quantità, l'efficienza di fotopicco. La capacità cioè del rivelatore di misurare tutta l'energia di un fotone gamma



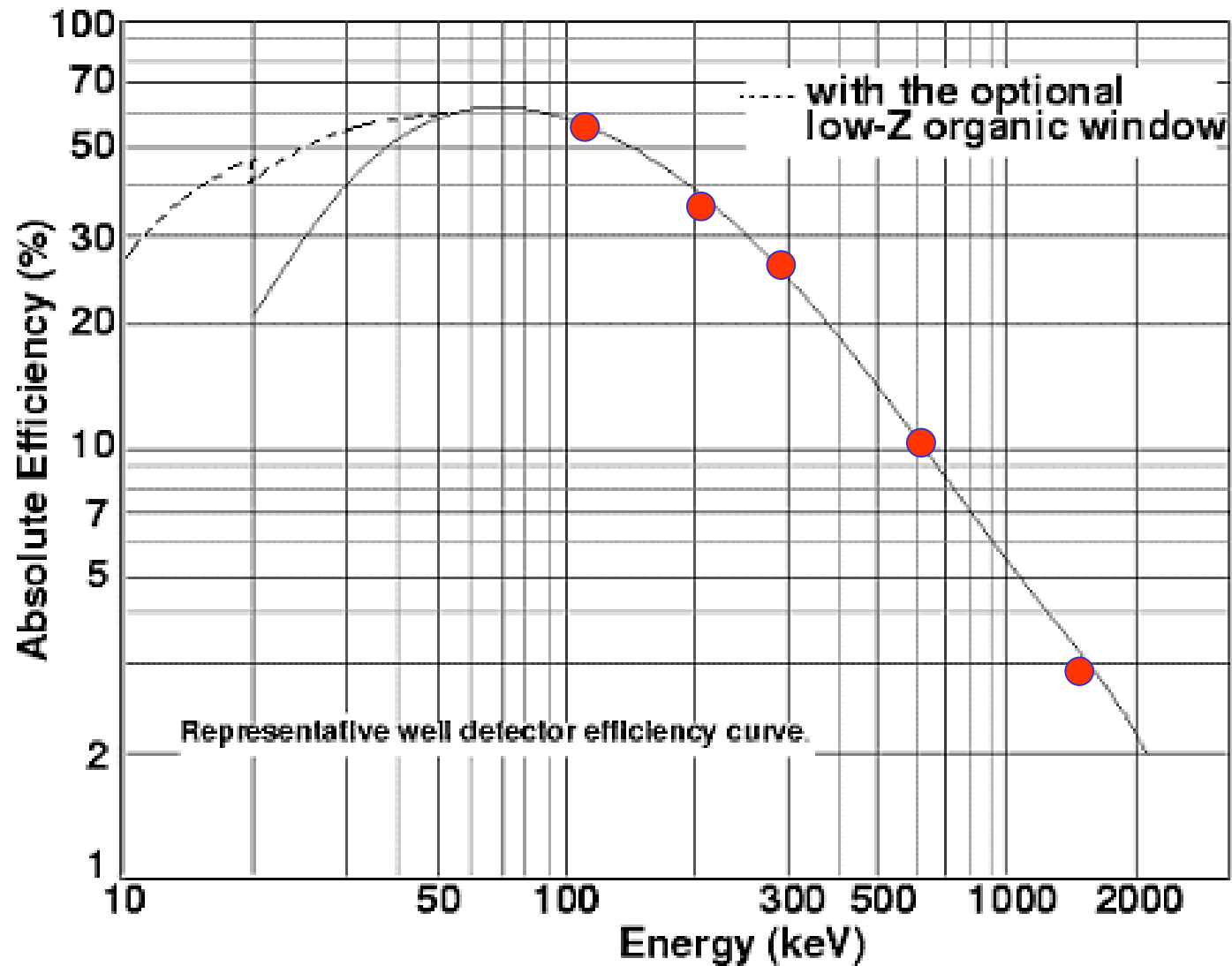
$$\varepsilon_{peak}^{abs}(E) = \frac{\int_{H_1}^{H_2} S(H)dH}{\# \text{ of quanta emessi dalla sorgente}}$$

$$\varepsilon_{peak}^{int}(E) = \frac{\int_{H_1}^{H_2} S(H)dH}{\# \text{ of quanta entrati nel rivelatore}}$$

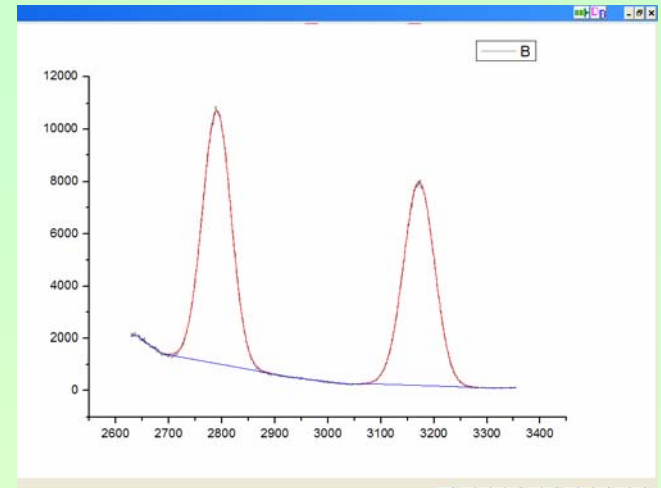
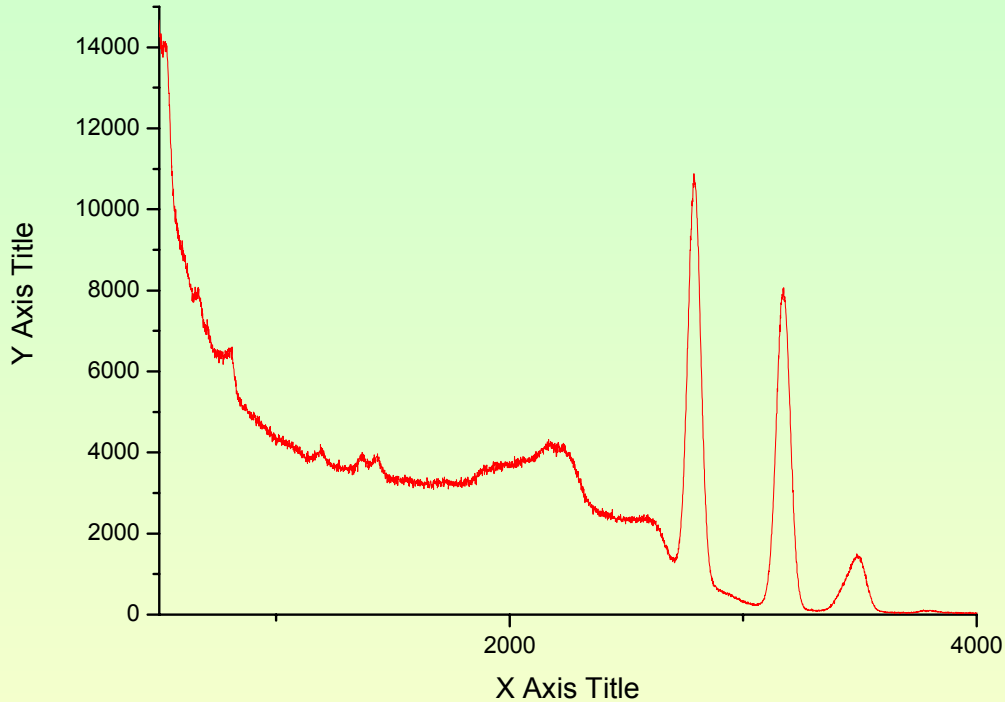
$$P/T(E) = \frac{\int_{H_1}^{H_2} S(H)dH}{\int_0^{H_2} S(H)dH} \quad \text{Peak to total ratio}$$



## PROPRIETA' GENERALI DEI RIVELATORI



# Misura di efficienza relativa



$$\varepsilon_{abs}^{phot}(E) = \frac{\text{\# of pulses recorded in the peak}}{\text{\# of radiation quanta emitted by the source}}$$

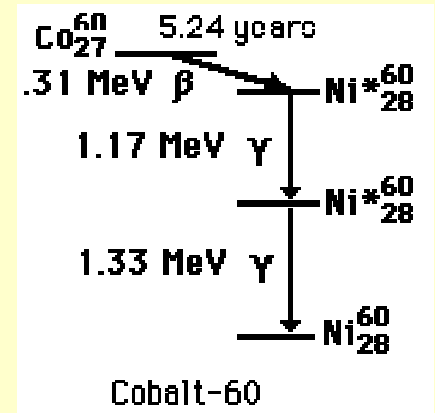
Domanda: Perché ho usato uno spettro non calibrato ?

Half Life	5.2714	Anni			
Tau	7.6050226	Anni			
	239831994				
Attività	11.78	μCi			
	435860	bq			
Misurata il	07/06/88		Delta T	6819	giorni
Oggi	07/02/07		Delta T	589161600	s
Attività	1.010	μCi			
	37366	Bq			
<b>Angolo solido</b>					
distanza	cristallo	20	cm		
Diametro	cristallo	2.56	cm		
Altezza	cristallo	2.56	cm		
	S	5.147185	cm2		
	Sup	5026.548	cm2		
	S/Sup	0.00102			
	Gamma/s	38.3			
Tempo di misura		236028			
		Misurati	Entrati		
picco a	1172	660174.1	9031090.522	7.3%	
picco a	1332	576019.1	9031090.522	6.4%	

# PROPRIETA' GENERALI DEI RIVELATORI

Misura dell'efficienza di fotopicco:

Nel caso si abbia una sorgente che emetta contemporaneamente due raggi  $\gamma$  di energia non troppo differente tra loro si può ottenere una stima dell'efficienza assoluta confrontando il numero dei conteggi in ciascun picco e quello nel picco somma (evento in cui entrambi i  $\gamma$  entrano nel rivelatore e rilasciano tutta la loro energia).



$$\text{Eventi di fotopicco gamma1} \Rightarrow (N_1 + N_{12}) = N_o \cdot \Omega \cdot \varepsilon_1^{rel}$$

$$\text{Eventi di fotopicco gamma2} \Rightarrow (N_2 + N_{12}) = N_o \cdot \Omega \cdot \varepsilon_2^{rel} \approx N_o \cdot \Omega \cdot \varepsilon_1^{rel}$$

$$\text{Eventi nel picco somma} \Rightarrow N_{12} = N_o \cdot \Omega^2 \cdot (\varepsilon_1^{rel})^2$$

$$\frac{N_{12}}{(N_1 + N_{12})} = \frac{N_o \cdot \Omega^2 \cdot (\varepsilon_1^{rel})^2}{N_o \cdot \Omega \cdot \varepsilon_1^{rel}} = \Omega \cdot \varepsilon_1^{rel} = \varepsilon_1^{abs}$$

In questo modo non ho la necessita di conoscere l'attività della sorgente

$N_o$  = # di quanti emessi dalla sorgente

$\Omega$  = % di Angolo solido sotteso dal rivelatore

Morale: sono in grado di stimare l'efficienza assoluta/relativa di fotopicco sapendo solamente a che distanza ho messo il rivelatore

**Attenzione:**

Nel caso di misure molto precise di efficienza è necessario tenere conto del picco somma nel conto degli eventi che hanno rilasciato completamente la loro energia

**Attenzione:**

L'area di una gaussiana ottenuto in un fit con uno spettro calibrato è differente a quella ottenuto fittando il semplice spettro Canali-Conteggi. .... Fate la prova ....

$$\text{Integrale conteggi} = \sum_{Ch=H_1}^{H_2} S(H)$$

quando calibro  $E = AH + B$  vale ancora la sommatoria  $\sum_{Ch=E_1}^{E_2} S(E) = \sum_{Ch=H_1}^{H_2} S(H)$

ma non è più vero che  $\sum_{Ch=E_1}^{E_2} S(E) = \int_{E_1}^{E_2} G(E)dE$   $G =$  gaussiana del fit

Infatti  $dE = AdH$  e quindi dipende dalla calibrazione.

L'integrale assume valori diversi se calibro a 2 keV/ch o 4 keV/ch