



# Noise

Slides\_3bis – Noise

# Effetti delle fluttuazioni del segnale originale

- Risoluzione in energia
  - Limita il minimo segnale rilevabile
  - Limita la precisione nella misura di ampiezza
  - Limita la sensibilita'
- Per un'energia assorbita fissa  $E$ , il numero di cariche che si generano  $N_{ion}$  fluttua statisticamente come l'errore sui conteggi aggiustato per il fattore di Fano  $F$  ( $F_{Si}=0.12$ ), per cui

- $\Delta N = \sqrt{N_{ion}F}$  e  $N_{ion} = E/E_{ion}$

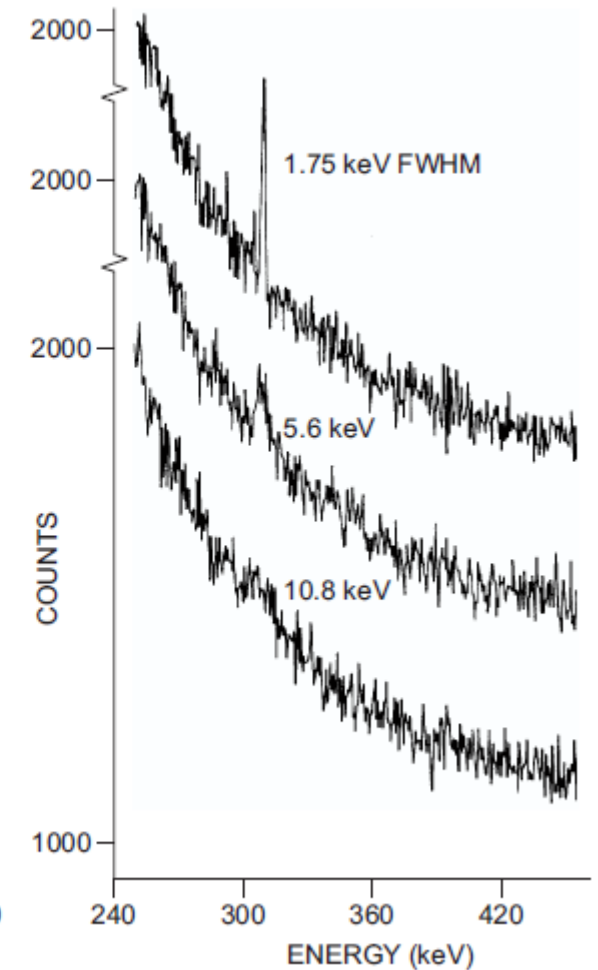
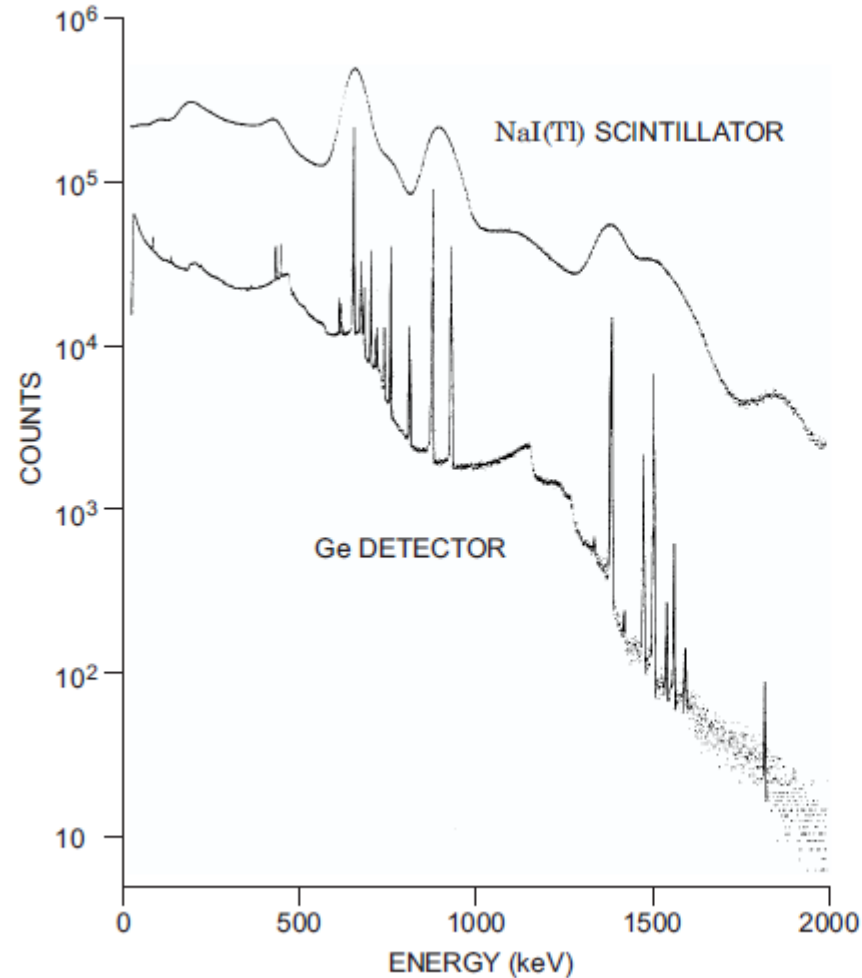
- $\Delta N = \sqrt{EF/E_{ion}}$

- Ne deriva che

- $\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta N}{N} = \frac{\sqrt{\frac{EF}{E_{ion}}}}{E/E_{ion}} = \sqrt{\frac{FE_{ion}}{E}}$

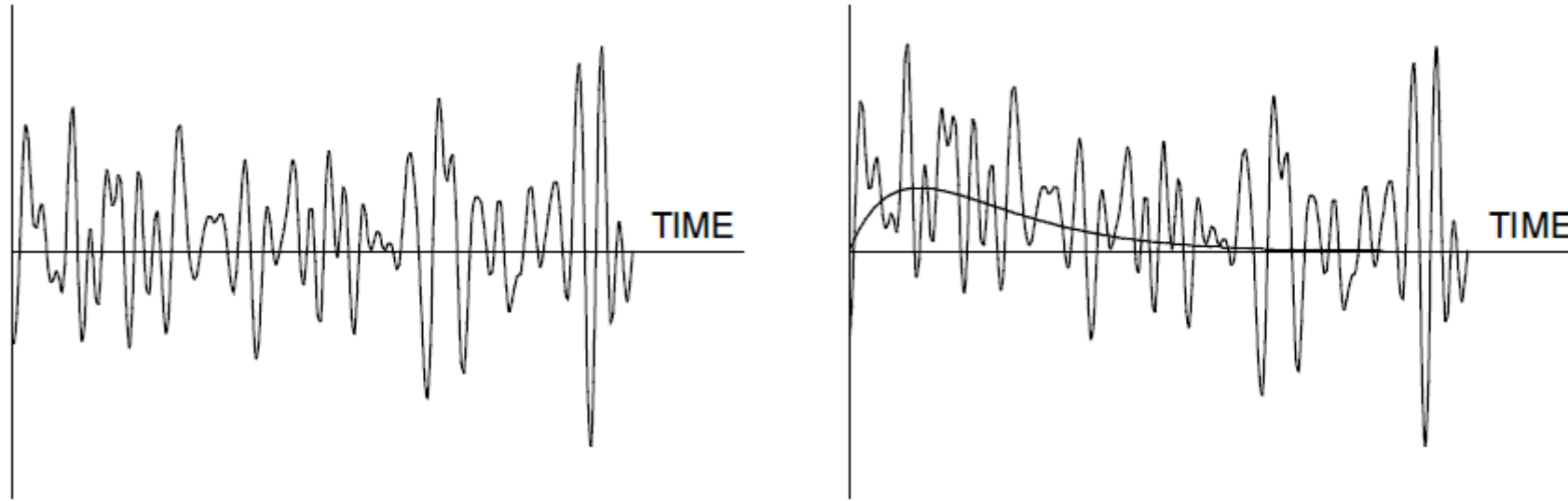
# Effetti della risoluzione sulla misura

- *sx*: Distinguere segnali di origine diversa
  - Spettro gamma con linee diverse ben visibili in Ge, mescolate nello scintillatore, che ha risoluzione peggiore
- *dx*: Sensibilità
  - Contatori con risoluzioni diverse, ovvero con larghezza di linea diverse. Conteggi di segnale su picco più stretto va confrontato con meno bins di rumore



# Effetti del rumore elettronico sulla misura

- $SNR = \langle s^2(t) \rangle / \langle n^2(t) \rangle$  rapporto segnale-rumore (S/N)
  - =1 se oscillazioni di rumore sono comparabili con l'altezza del segnale.

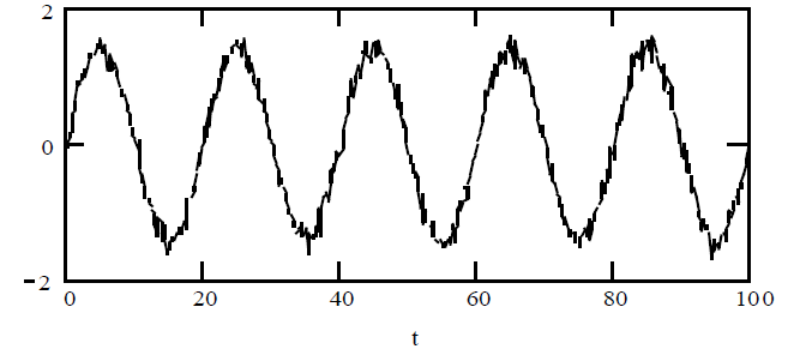


- RMS di rumore  $\sim$  Picco di segnale
- dove  $RMS = \sqrt{(\sum_{i=1}^N x_i^2)}$

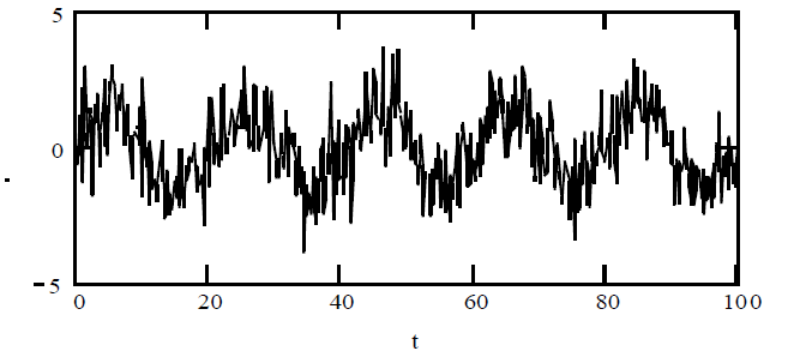
# Rapporto S/N

- Segnale sinusoidale sommato a rumore gaussiano
- Il rumore diventa sempre piu' confrontabile con il segnale mano a mano che il S/N scende.

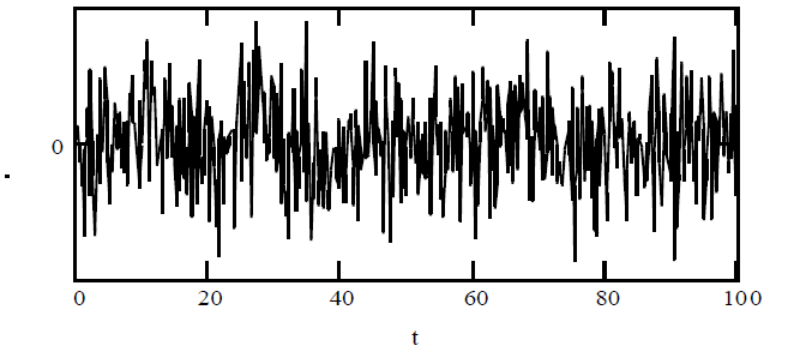
S/N = 10



S/N = 1

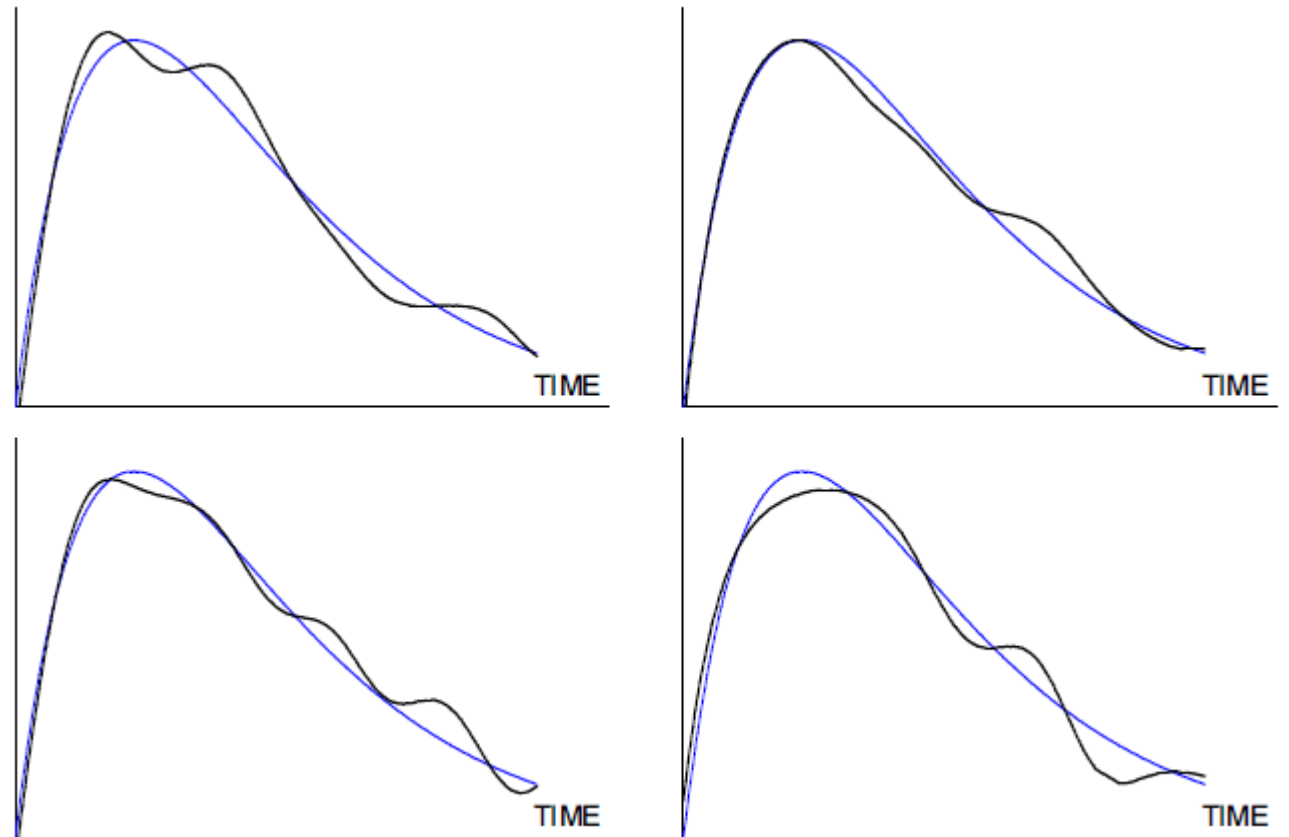


S/N = 0.1



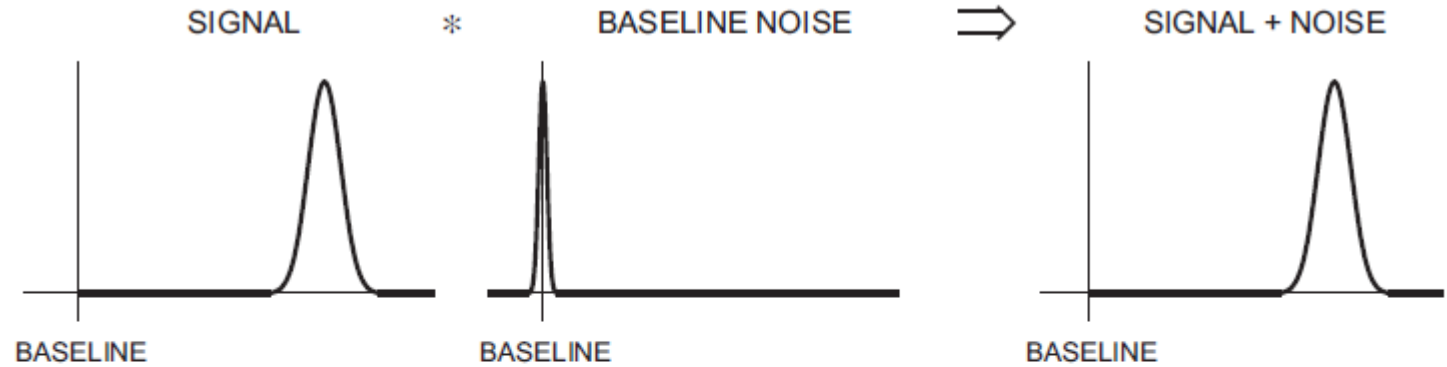
# Effetti del rumore sulla misura di tempo

- Esempio di Segnale + Rumore in 4 diverse misure (per  $S/N = 20$ ). Il segnale puro e' indicato in blu per confronto.
- Se la misura di tempo e' data per esempio dal momento in cui il fronte di salita passa una certa soglia, la misura dello stesso segnale in occasioni diverse fornira' un tempo diverso rispetto allo stesso tempo effettivo

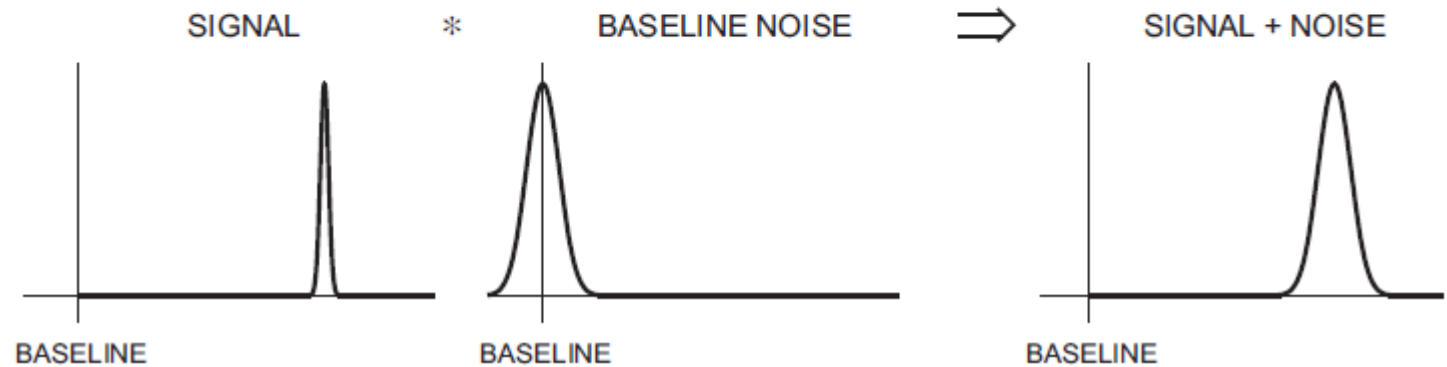


# Diverse condizioni in diversi rivelatori

- Fluttuazioni del segnale molto grandi ammettono elettronica rumorosa



- Fluttuazioni piccole richiedono elettroniche silenziose per mantenere buona risoluzione



# Fluttuazioni della corrente di segnale

La corrente  $i$  è data dal movimento delle  $n$  cariche  $e$  nel tempo  $t = \frac{l}{v}$  in cui percorrono lo spessore svuotato  $l$  alla velocità  $v$ :

$$i = \frac{nev}{l}$$

Le fluttuazioni di  $i$  dipendono dalle fluttuazioni di  $n$  e di  $v$ , che sono statisticamente scorrelate, quindi vanno sommate in quadratura nel differenziale totale:

$$\langle di \rangle^2 = \frac{ne}{l} \langle dv \rangle^2 + \frac{ev}{l} \langle dn \rangle^2$$



# Origine delle fluttuazioni di corrente

- $dv$  e' l'oscillazione casuale delle velocita' causata dal moto termico, ovvero eccitazioni termiche delle cariche che si sommano alla velocita' media di deriva → **RUMORE BIANCO Thermal Noise**
- $dn$  e' l'oscillazione del numero di portatori di carica, che puo' essere dovuto a molte cause
  - Cariche in un diodo (o in una emissione termoionica) devono superare una barriera di potenziale per essere emesse: la probabilita' di un portatore di passare la barriera ed essere emesso e' casuale e non correlata alle emissioni di altri portatori, visto che l'alimentatore collegato fornisce portatori in abbondanza. Diodo polarizzato inversamente ha processi di generazione e ricombinazione indipendenti → **RUMORE BIANCO Shot Noise**
  - A causa delle impurita' e delle imperfezioni, i portatori vengono intrappolati e rilasciati dopo un tempo caratteristico. La sovrapposizione dei fenomeni di intrappolamento con tempi diversi da' luogo a un rumore piu' denso a basse frequenze → **RUMORE ROSA  $1/f^\alpha$  con  $0.5 < \alpha < 2$  (Basse frequenze o  $1/f$ )**

# Densità spettrale di rumore

- Per analizzare meglio la funzione che descrive il segnale (di rumore) in funzione del tempo, la scomponiamo nelle sue frequenze con Fourier
  - In particolare prendiamo la funzione di autocorrelazione del rumore  $R(\tau)$
  - Definiamo lo spettro di potenza del rumore  $W(f)$  come la trasformata di Fourier di  $R(\tau)$
  - L'integrale di  $W(f)$  su tutta la banda di frequenze sarà la varianza del rumore
- La distribuzione spettrale del rumore e' descritta come una densita' di potenza di rumore  $W(f)$  o  $dP_n/df$ , ovvero la potenza in una fetta molto sottile dello spazio delle frequenze.
- Visto che i segnali si misurano in  $V$  o  $I$ , esprimeremo la potenza di rumore anche come  $\frac{dV^2}{df}$  o  $\frac{dI^2}{df}$