



**Istituto Nazionale
di Fisica Nucleare**

Sezione di Milano



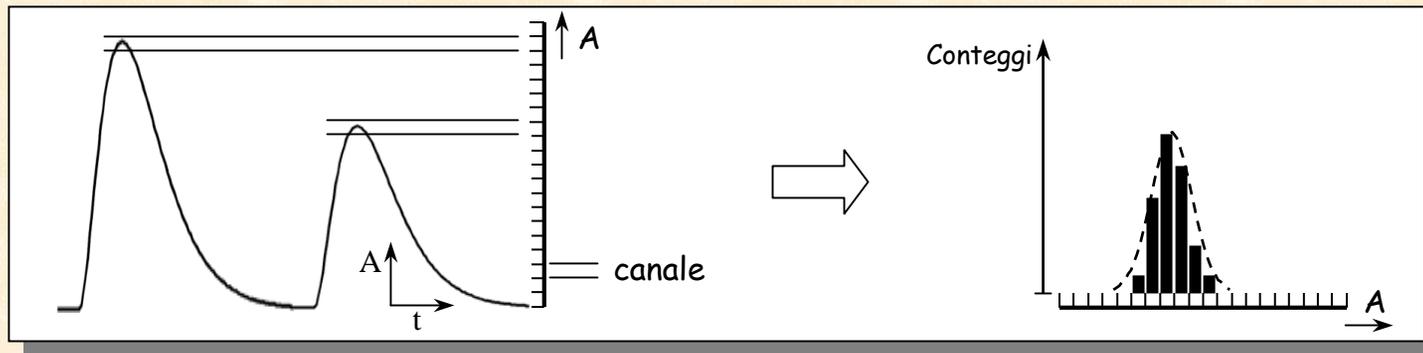
Digitalizzazione del segnale

Alberto Pullia

Scuola di elettronica INFN

25-29 ottobre 2004

Classificazione eventi: Multi-Channel Analyzer



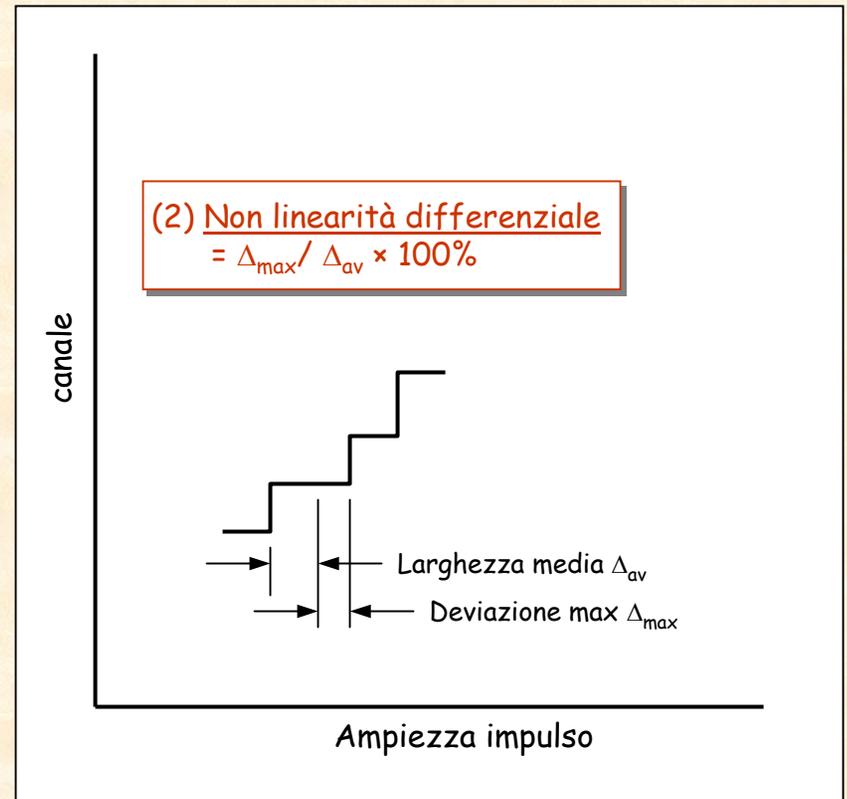
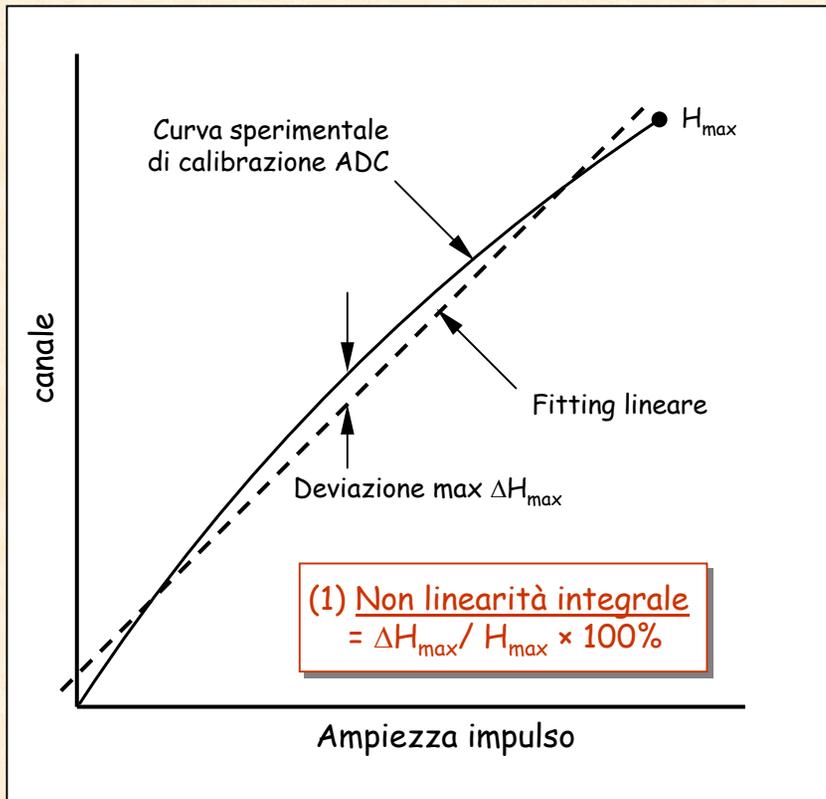
MCA

Gli eventi vanno classificati. Per fare ciò è necessario digitalizzare l'informazione d'interesse (ampiezza, tempo, o altro) e istogrammarla. Ogni parametro classificato avrà una sua distribuzione, spesso gaussiana.

SCA

In alcuni casi può essere sufficiente selezionare alcuni eventi e contarli. In questo caso basta un analizzatore a singolo canale, SCA (Single-Channel Analyzer), e un contatore.

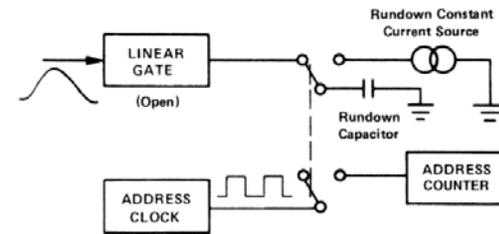
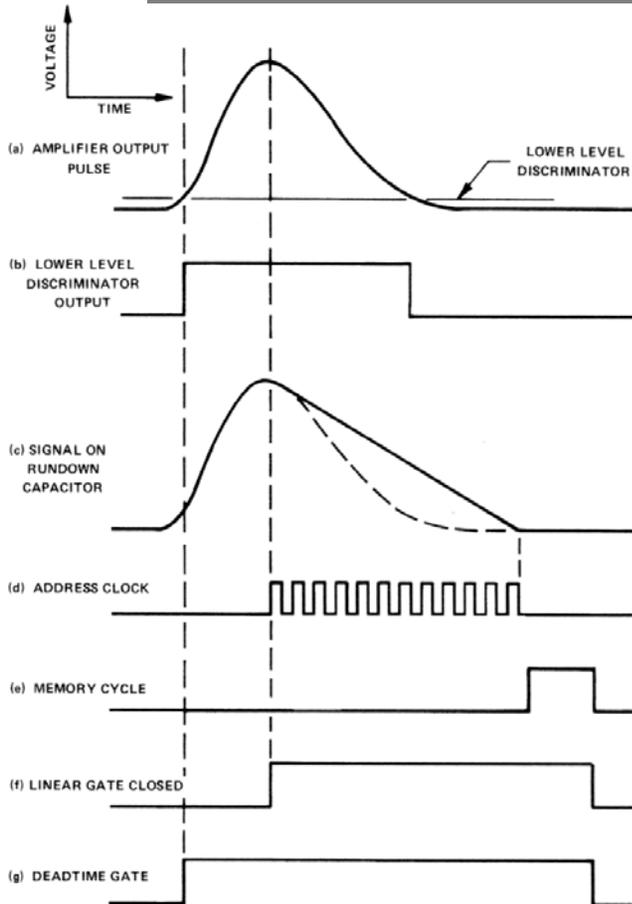
Caratteristiche ADC



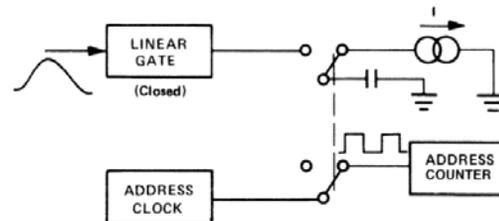
(3) Tempo di conversione

Tecnica classica: *peak detector* + *Wilkinson*

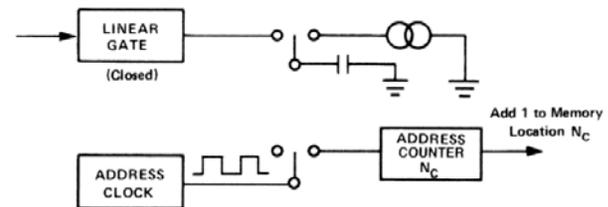
ADC Wilkinson, converge in 2^N cicli



(a) Capacitor Charging



(b) Capacitor Rundown



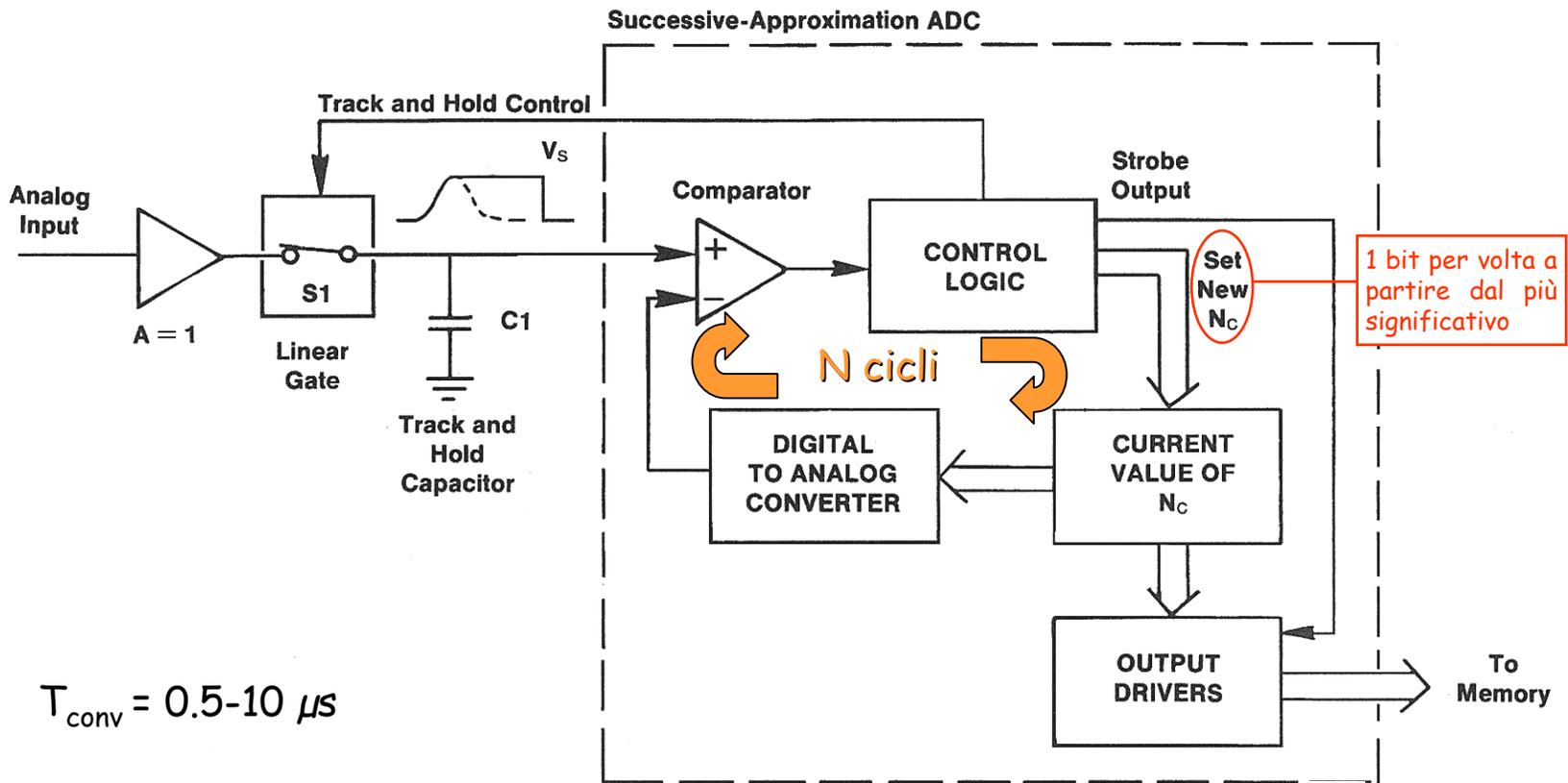
(c) Memory Cycle

$$T_{conv} = 15-150 \mu s$$

La non linearità differenziale è dell'ordine dell'1%, ma è lento

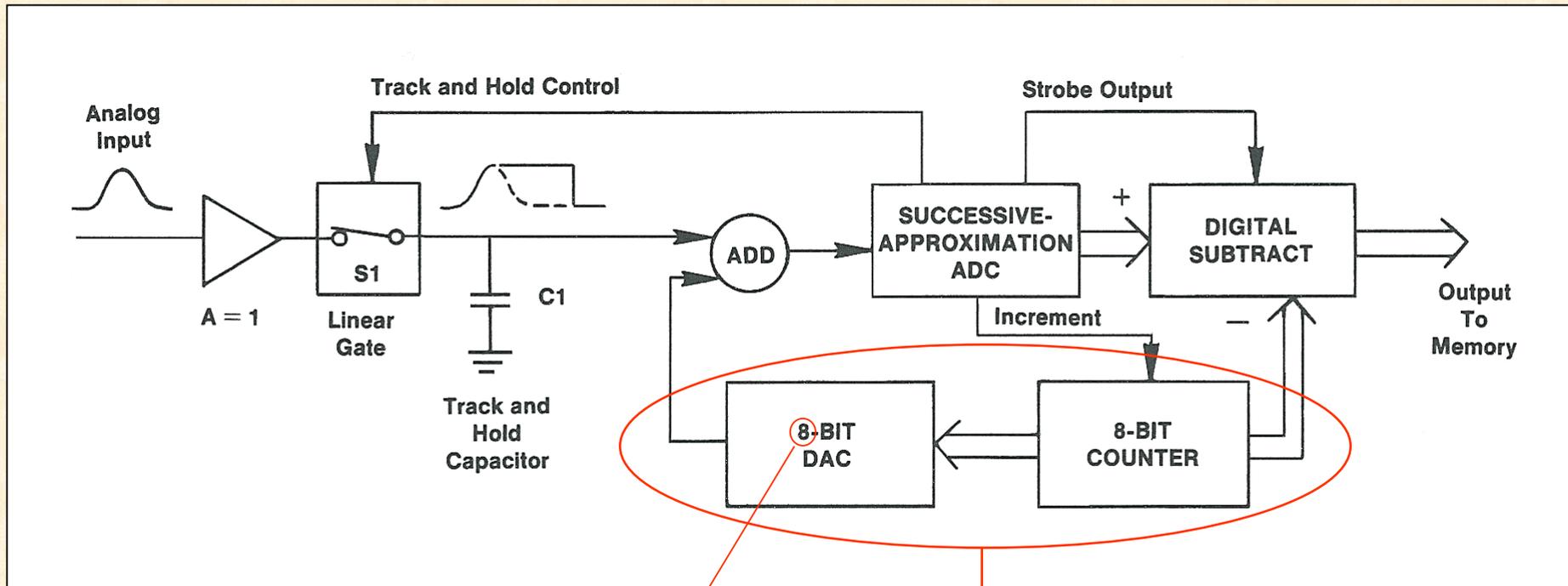
Tecnica classica: Track & Hold + ADC succ. appr.

ADC ad approssimazioni successive, converge in N cicli (2^N canali)



E' veloce, ma la non linearità differenziale è dell'ordine del $\pm 50\%$

Linearizzazione ADC a *sliding scale*



Rif. Gat1

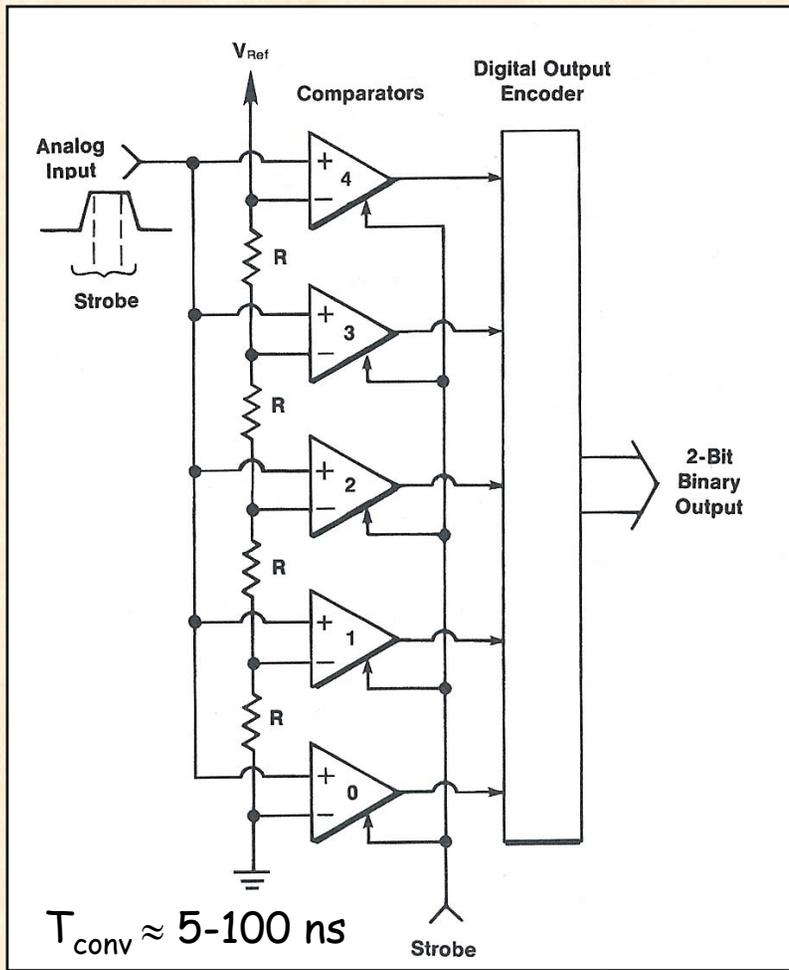
Lo sliding scale abbatte la non linearità differenziale dell'ADC:

$$DNL = \frac{DNL_0}{2^8}$$

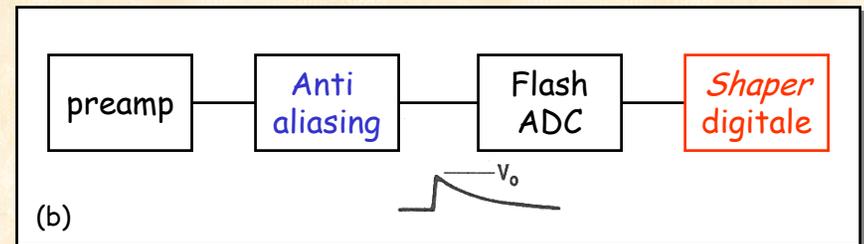
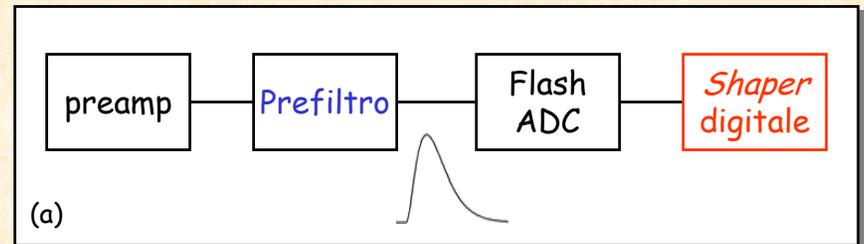
Ad es. se $DNL_0 = 50\% \rightarrow DNL < 0.2\%$

Blocchi costituenti lo sliding scale.

Flash ADC

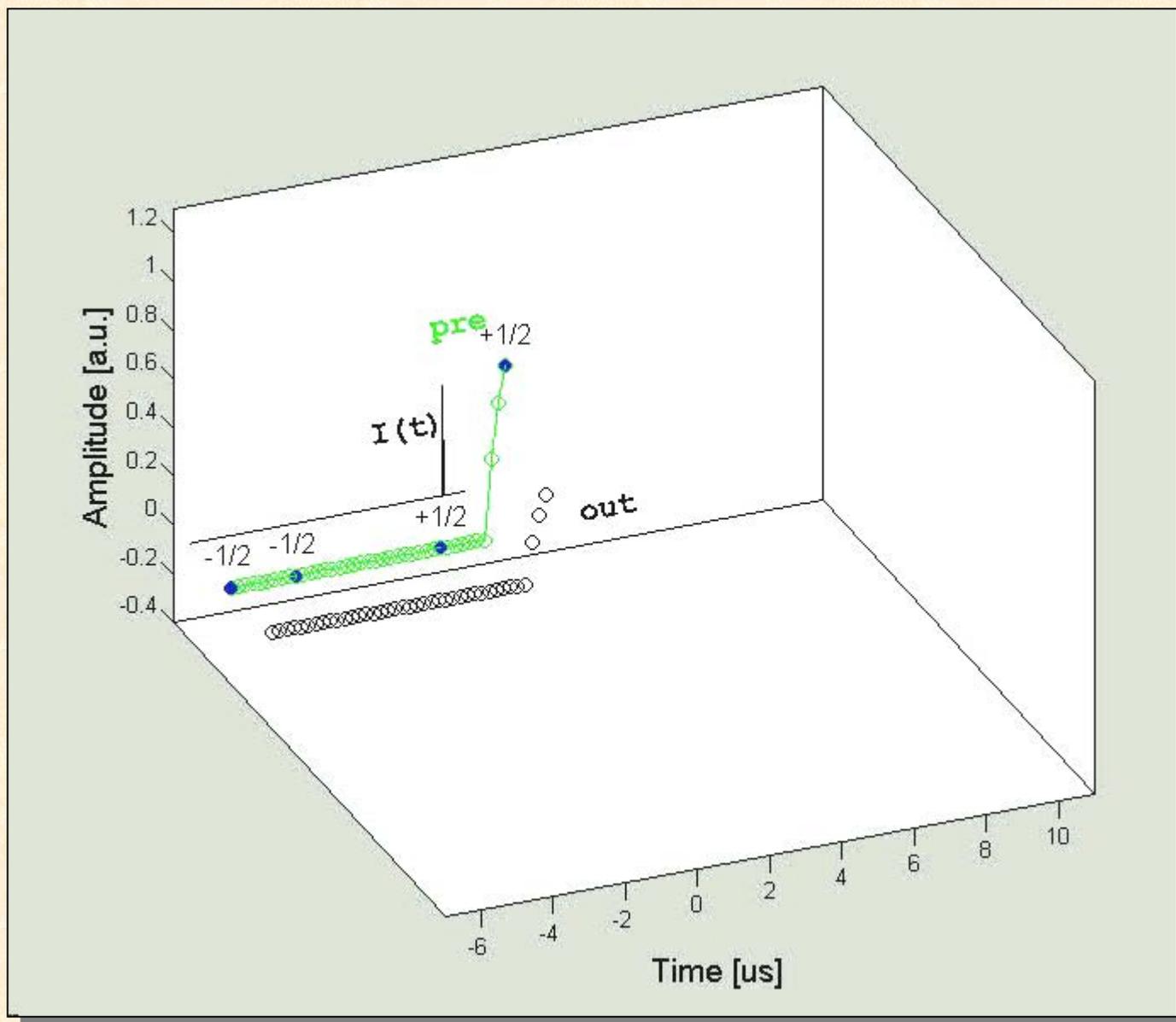


I flash ADC sono molto veloci (tempo di conversione dell'ordine del ns). E' possibile campionare l'intera forma d'onda del preamplificatore e formare il segnale tramite filtraggio numerico.

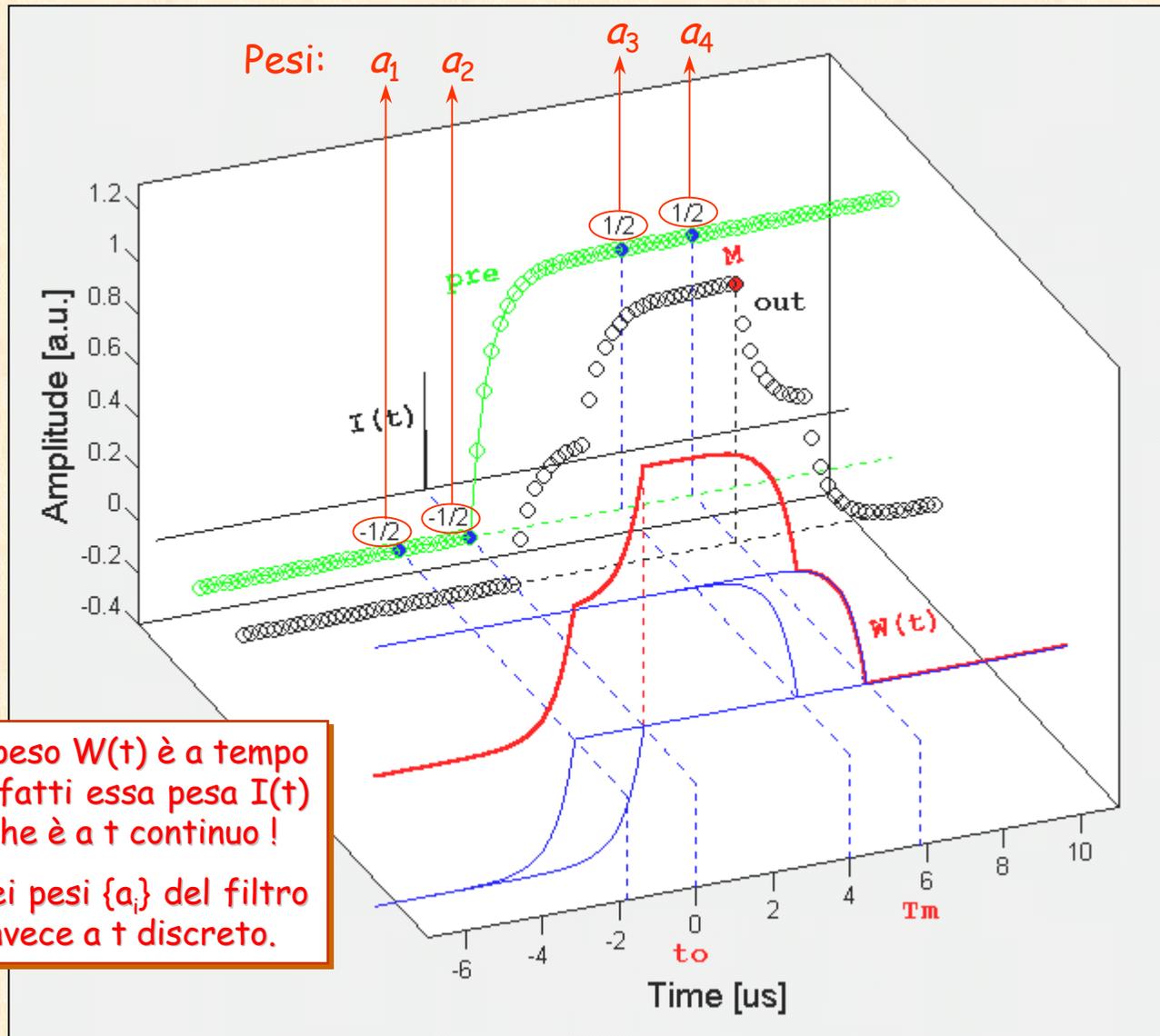


Formatura digitale, basi

Filtraggio digitale a 4 pesi



Filtraggio digitale, funzione peso

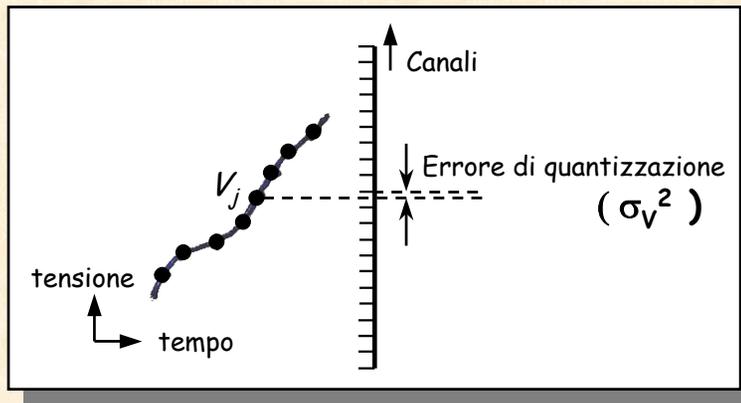


La funzione-peso $W(t)$ è a tempo continuo ! Infatti essa pesa $I(t)$ (sgn e rum) che è a t continuo !

Il vettore dei pesi $\{a_i\}$ del filtro numerico è invece a t discreto.

Rumore di quantizzazione

L'ampiezza di ciascun campione viene convertita nel codice numerico più vicino. L'inevitabile errore è detto **errore di quantizzazione**. L'insieme di questi errori è il **rumore di quantizzazione**



Least Significant Bit
= Full scale voltage/ 2^N

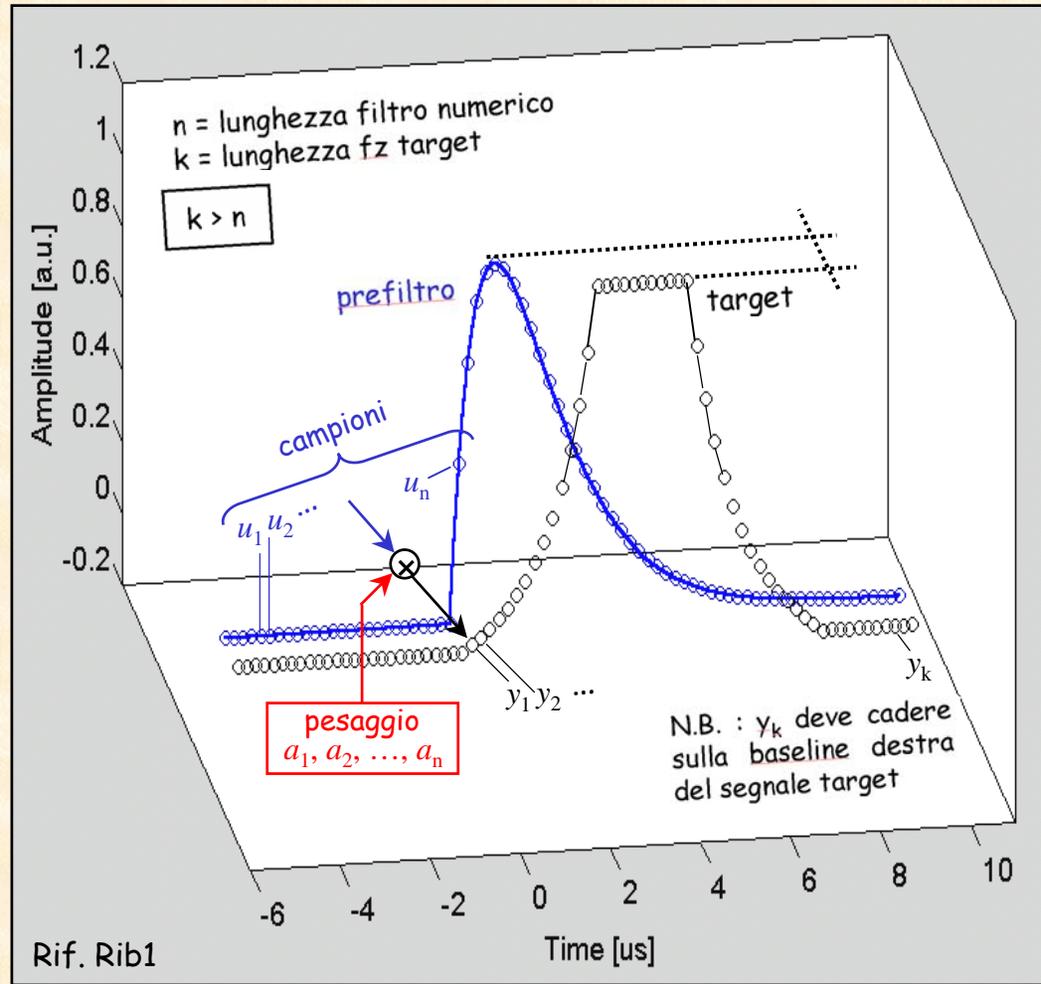
$$\sigma_V^2 = \frac{LSB^2}{12} \quad \left. \vphantom{\sigma_V^2} \right\} \text{ Su ogni campione}$$

Il filtro numerico pesa i vari campioni (peso= a_j). L'errore di quantizzazione viene amplificato (ridotto) dal peso assegnato al campione. Quindi:

$$\sigma_{out}^2 = \sigma_V^2 a_1^2 + \sigma_V^2 a_2^2 + \dots = \sigma_V^2 \sum_j a_j^2$$

$$\Rightarrow \text{Bit persi (guadagnati)} = \log_2 \frac{\sigma_{out}}{\sigma_V} = \log_2 \sqrt{\sum_j a_j^2}$$

Sintesi dei pesi $\{a_i\}$ del filtro numerico



$$\begin{array}{c} U \\ \left[\begin{array}{cccc} u_1 & u_2 & L & u_n \\ u_2 & u_3 & L & u_{n+1} \\ M & M & & M \\ u_k & u_{k+1} & L & u_{n+k-1} \end{array} \right] \begin{array}{c} A \\ \left[\begin{array}{c} a_1 \\ a_2 \\ M \\ a_n \end{array} \right] \end{array} = \begin{array}{c} Y \\ \left[\begin{array}{c} y_1 \\ y_2 \\ M \\ y_k \end{array} \right] \end{array}
 \end{array}$$

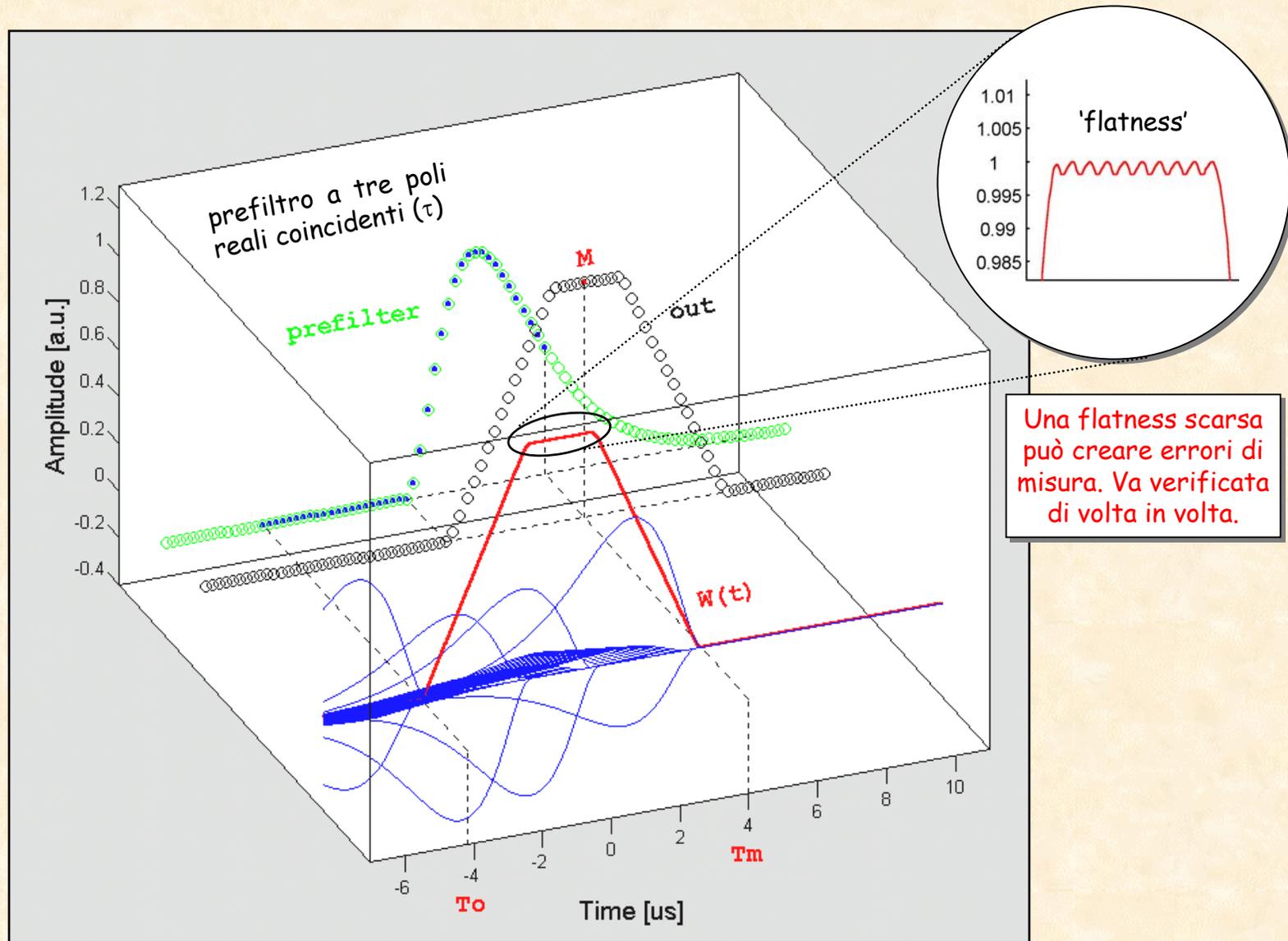
$$\left[\begin{array}{cccc} P & 0 & L & 0 \\ 0 & P & L & 0 \\ M & M & & M \\ 0 & 0 & L & P \end{array} \right] \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ M \\ 0 \end{array}$$

Da risolvere ai minimi quadrati

Questo sistema in *matlab* si risolve immediatamente, digitando: $A=U \setminus Y$

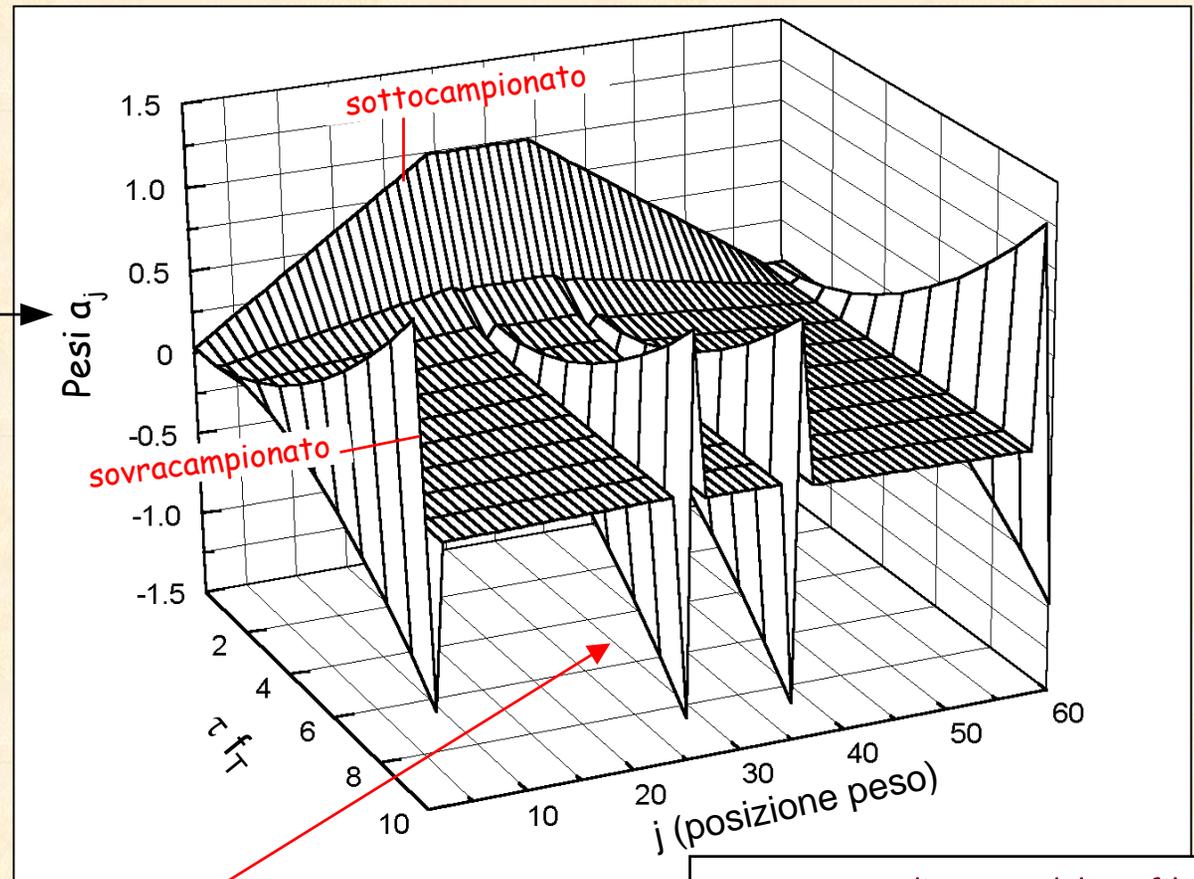
Questa sottomatrice opzionale consente di minimizzare il rumore di quantizzazione (QN). Più è grande P maggiore è la reiezione al QN. Tipici valori di P : da 0.01 a 1

Esempio: filtro trapezoidale



Bit persi / guadagnati (filtro trapezoidale)

$$\text{Bit persi} = \log_2 \sqrt{\sum_j a_j^2}$$

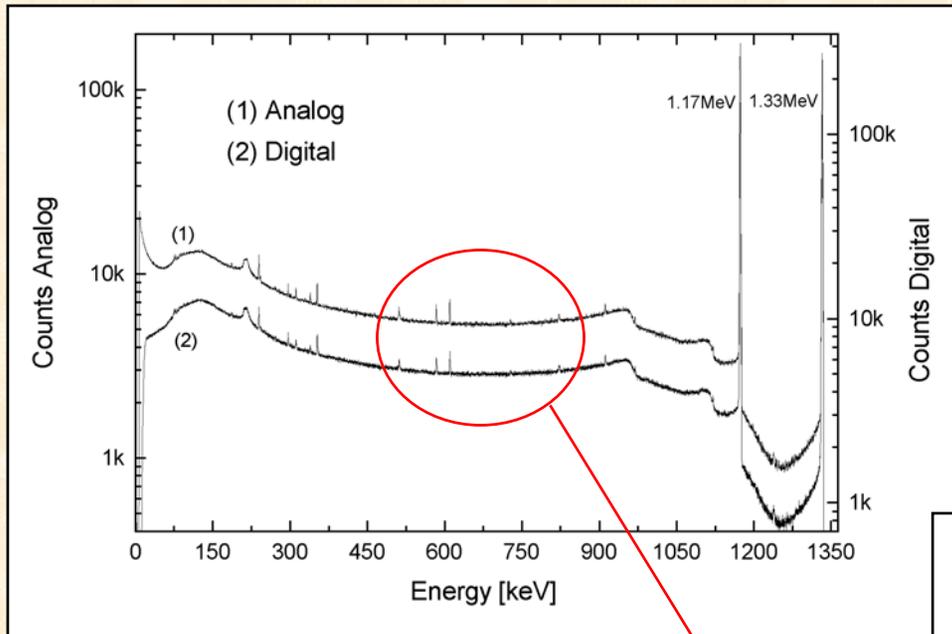


Rif. Pul1

Il filtro numerico accresce la risoluzione numerica dell'ADC quando il prefiltro non è troppo sottocampionato o sovracampionato

τ = costante di tempo del prefiltro (qui tre poli reali coincidenti)
 f_T = frequenza di campionamento
TOP = campioni sul flat top
N = larghezza trapezio (campioni) e larghezza del vettore pesi

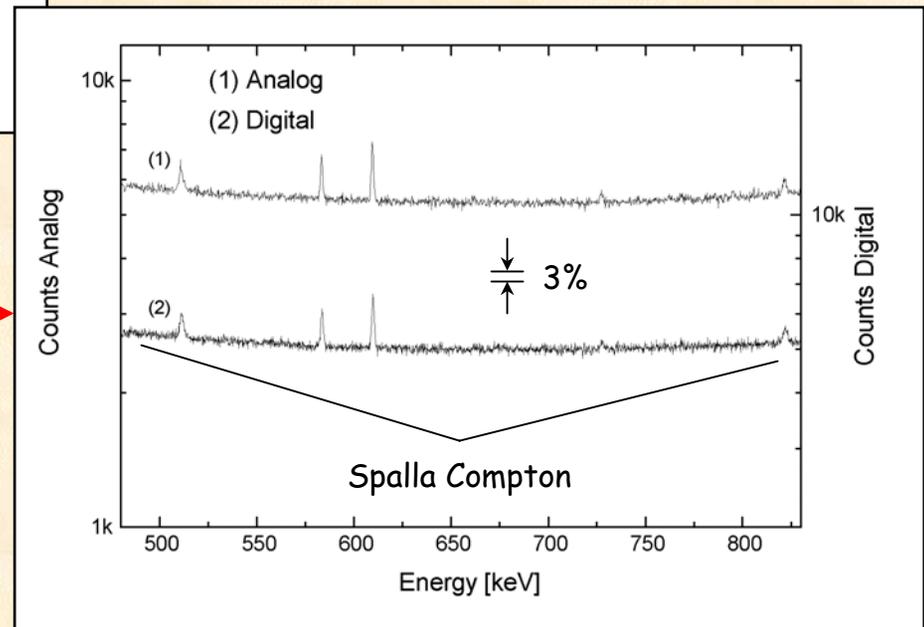
Linearità differenziale (filtro trapezoidale)



La DNL del flash ADC non è buona (50%). Com'è la DNL della misura effettuata dopo il filtro numerico ?

La DNL è sorprendentemente buona (<3%). Perché ?

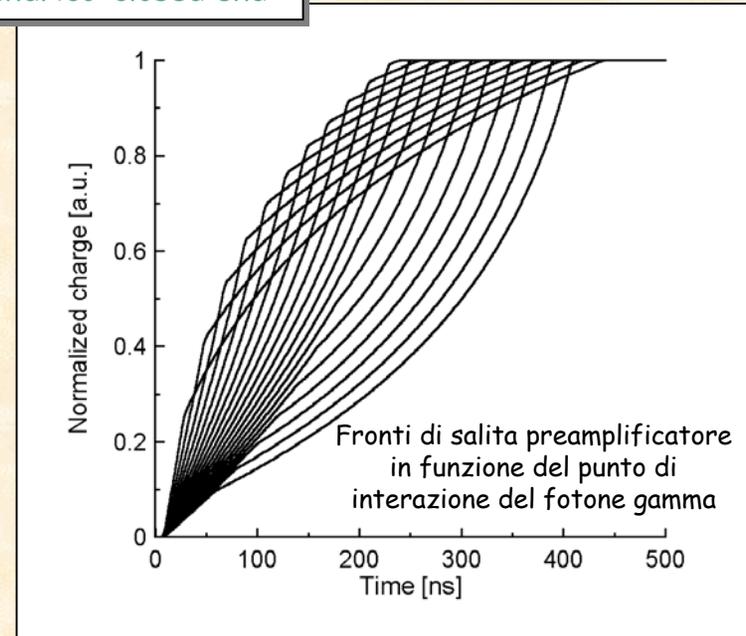
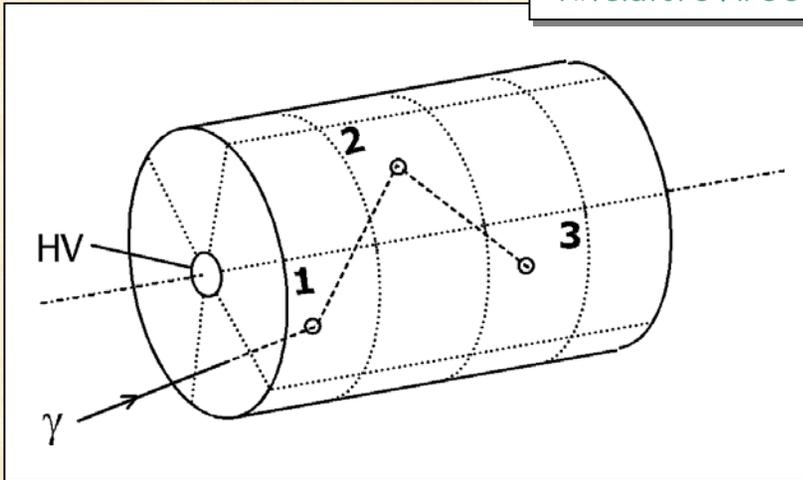
- L'asincronismo tra eventi e clock genera un effetto sliding scale su ciascun singolo campione
- Inoltre la DNL nativa è mediata su più campioni



Campionamento diretto del
preamplificatore

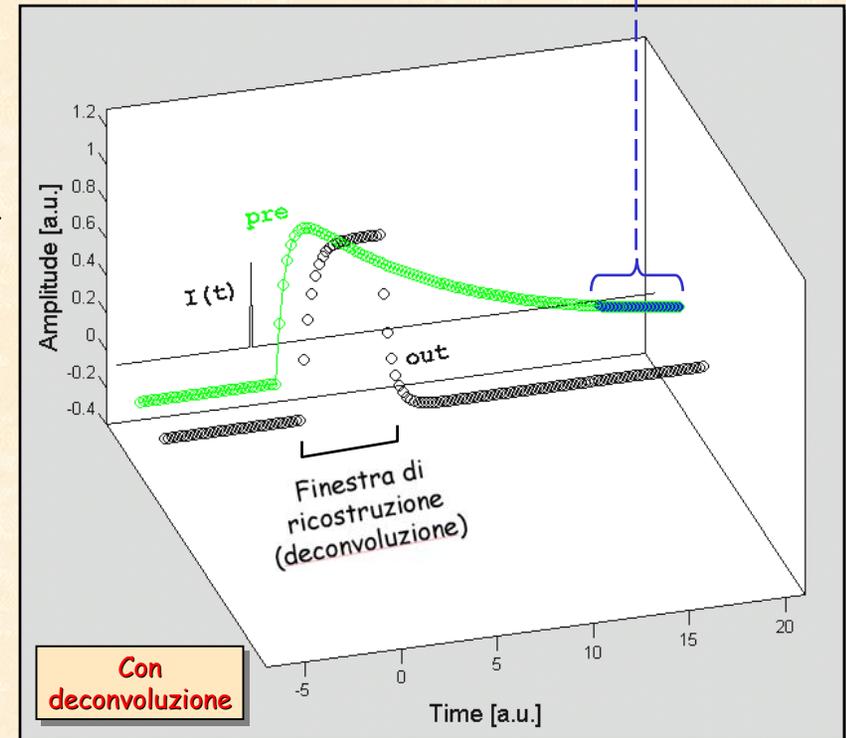
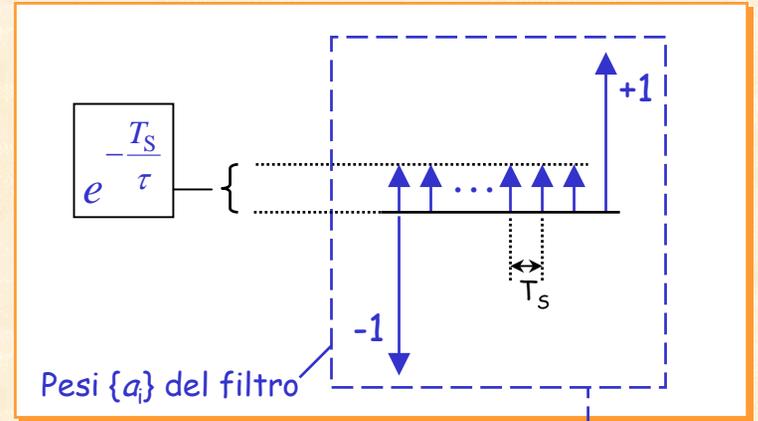
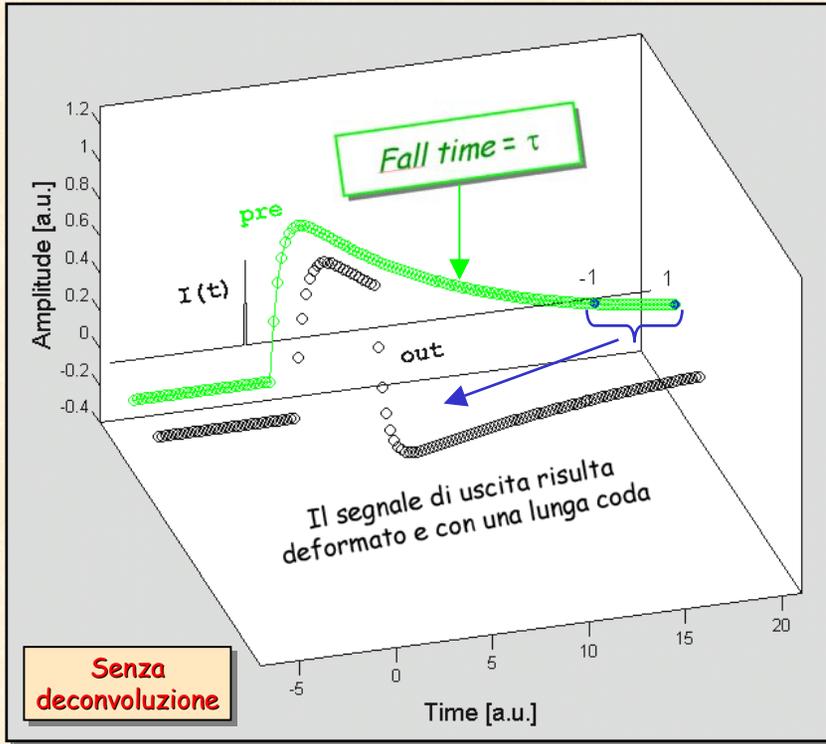
Perché campionare il preamplificatore ?

Rivelatore HPGe cilindrico 'closed end'



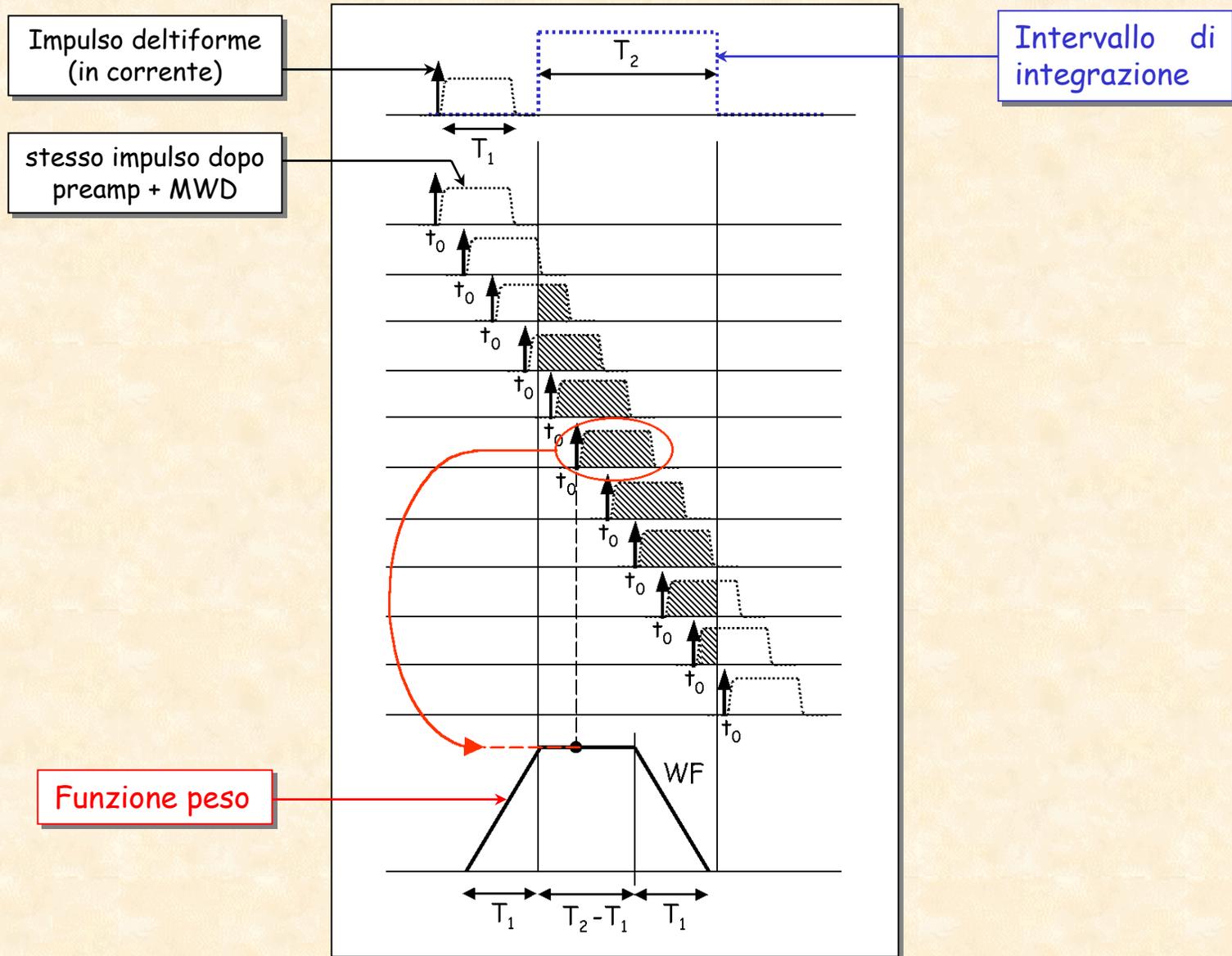
- Tracking di raggi γ in esperimenti di fisica nucleare
- Fast/Slow scatter plot per discriminazione particelle
- ...

Deconvoluzione a *moving window* (MWD)



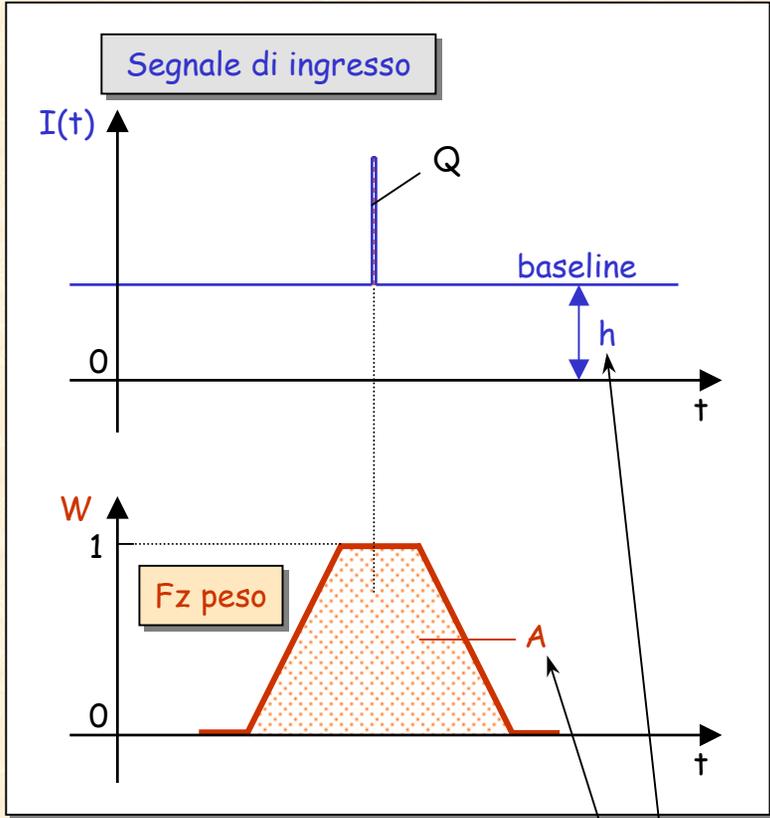
La deconvoluzione consente di cancellare la coda esponenziale (τ) del preamplificatore. Si possono quindi usare τ molto più brevi, riducendo così il *pileup*.

MWD + gated integrator digitale



Baseline restorer digitale / regolazione P-Z

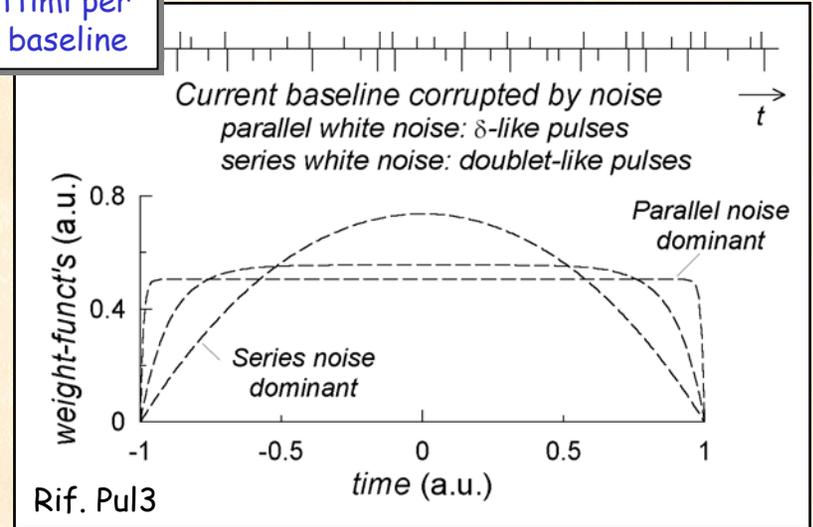
Baseline error (filtri ad area finita)



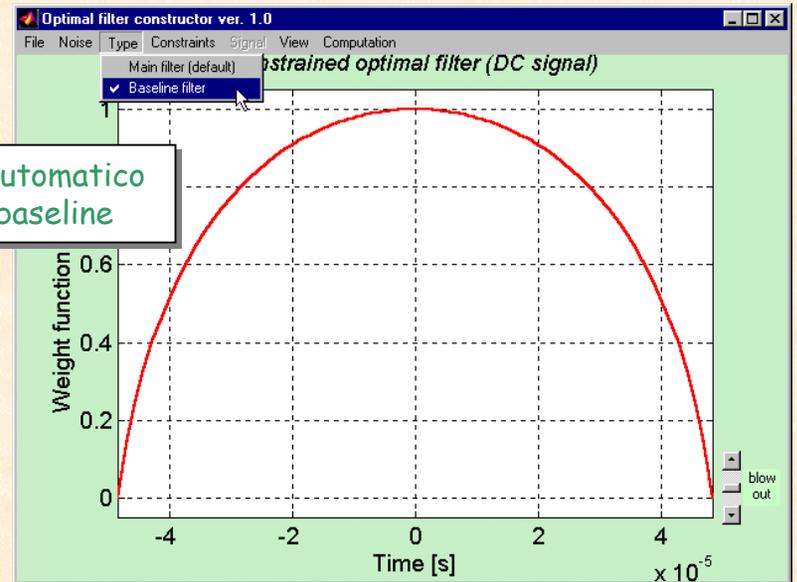
$$V_o = \int I(t) W(t) dt = Q + Ah$$

Termine di errore

Filtri ottimi per misura baseline

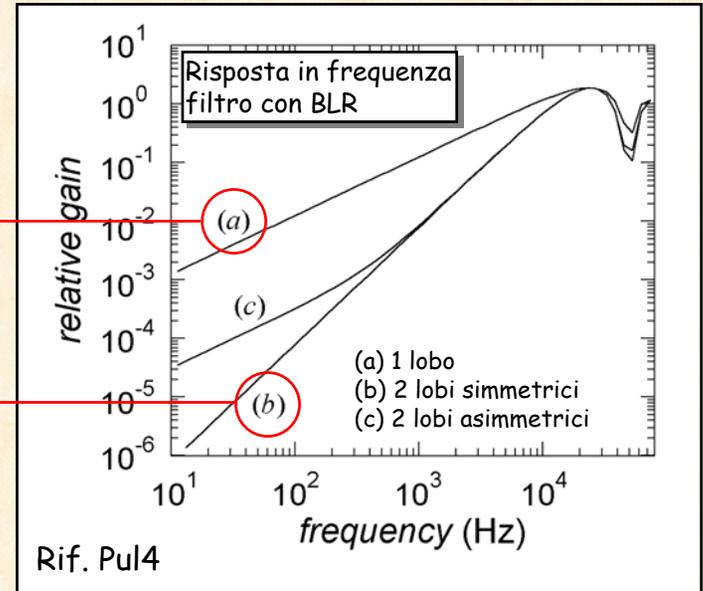
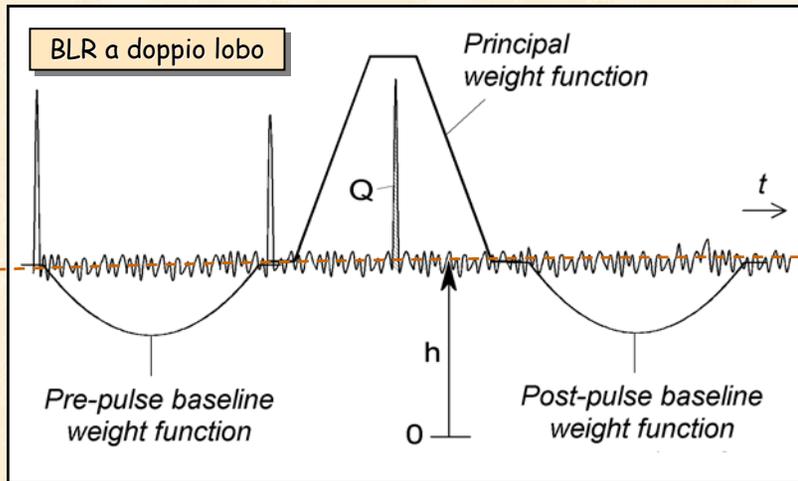
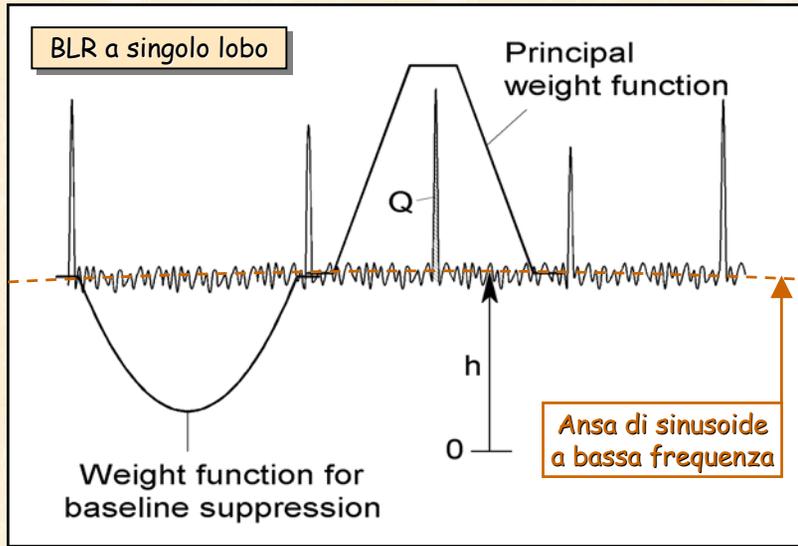


Calcolo automatico filtro baseline



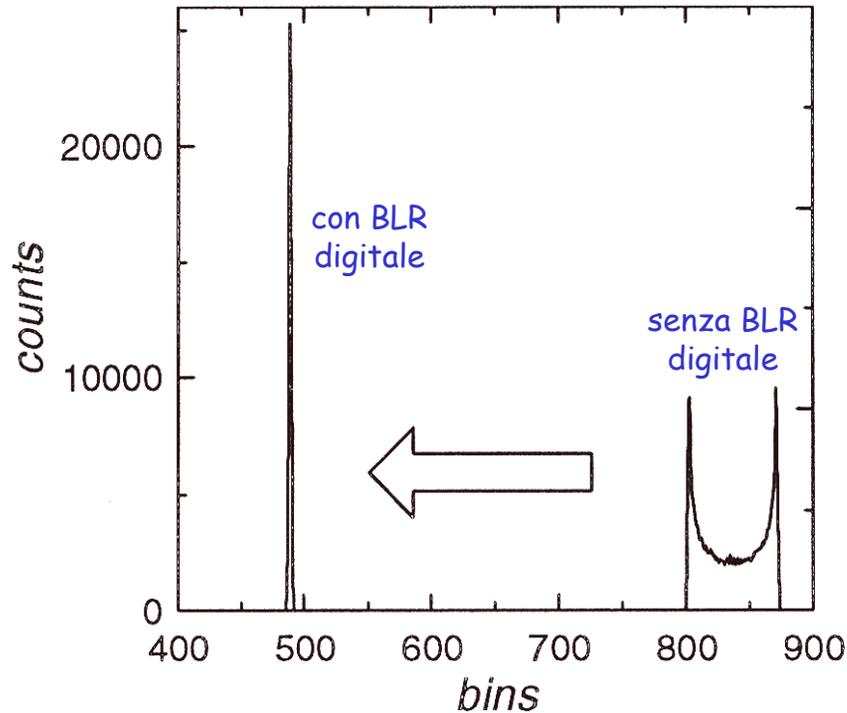
Baseline Restorer (BLR) digitale

BLR = sottrattore di linea di base \Rightarrow filtro ad area nulla



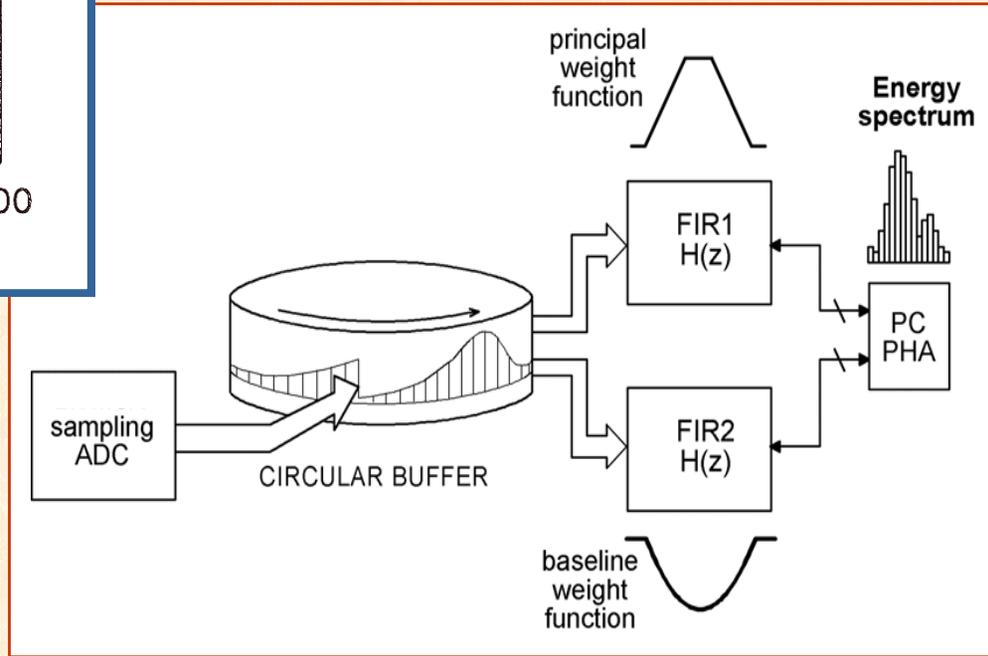
Baseline Restorer (BLR) digitale

Reiezione a disturbo sinusoidale a 100 Hz

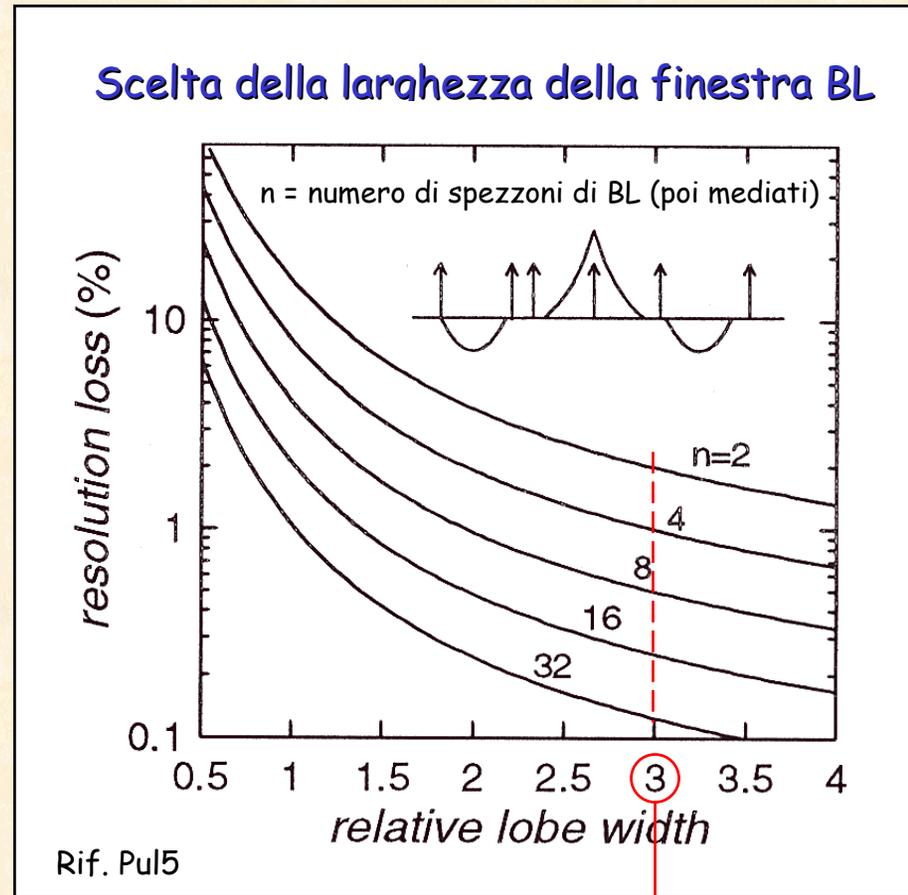


Rif. Pul4

Hardware utilizzato per realizzare il BLR digitale



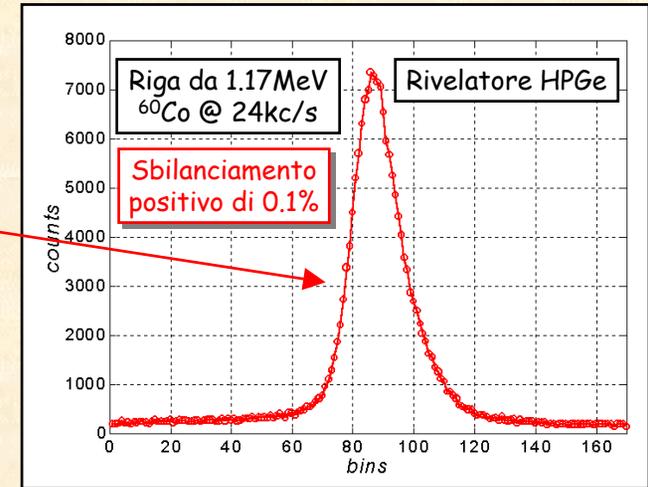
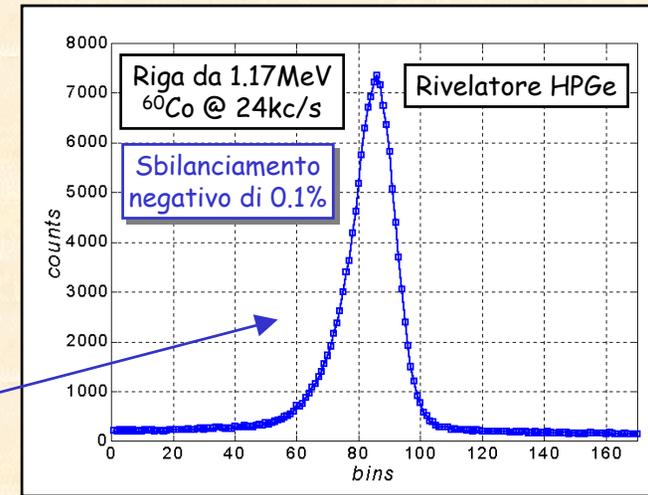
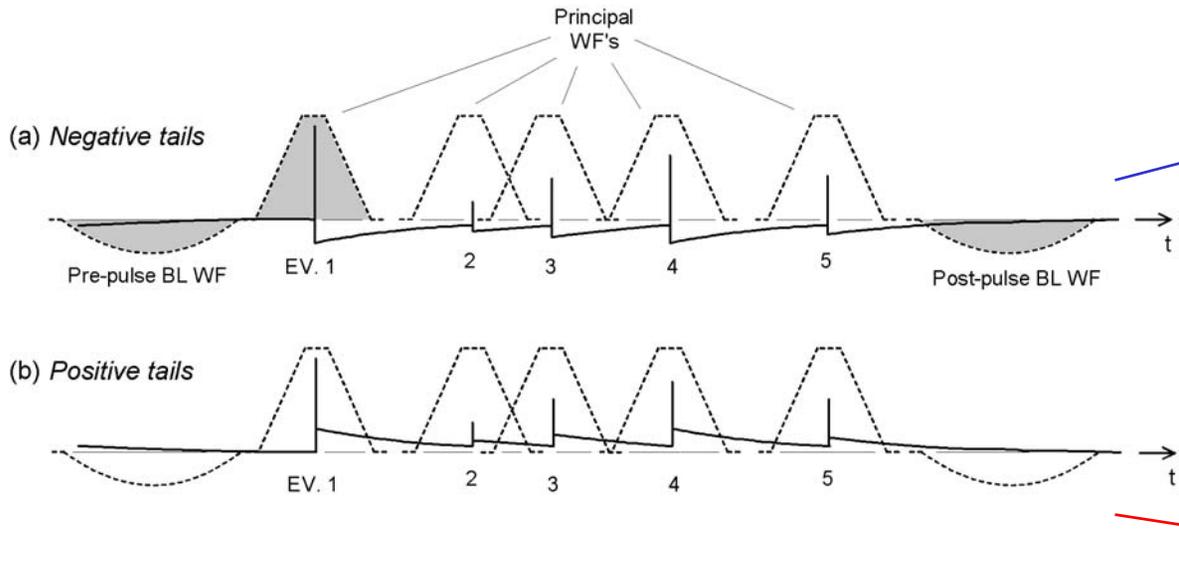
Baseline Restorer (BLR) digitale



**"Regola d'oro": prendere larghezze di BL
≈ 3 volte la larghezza del filtro principale**

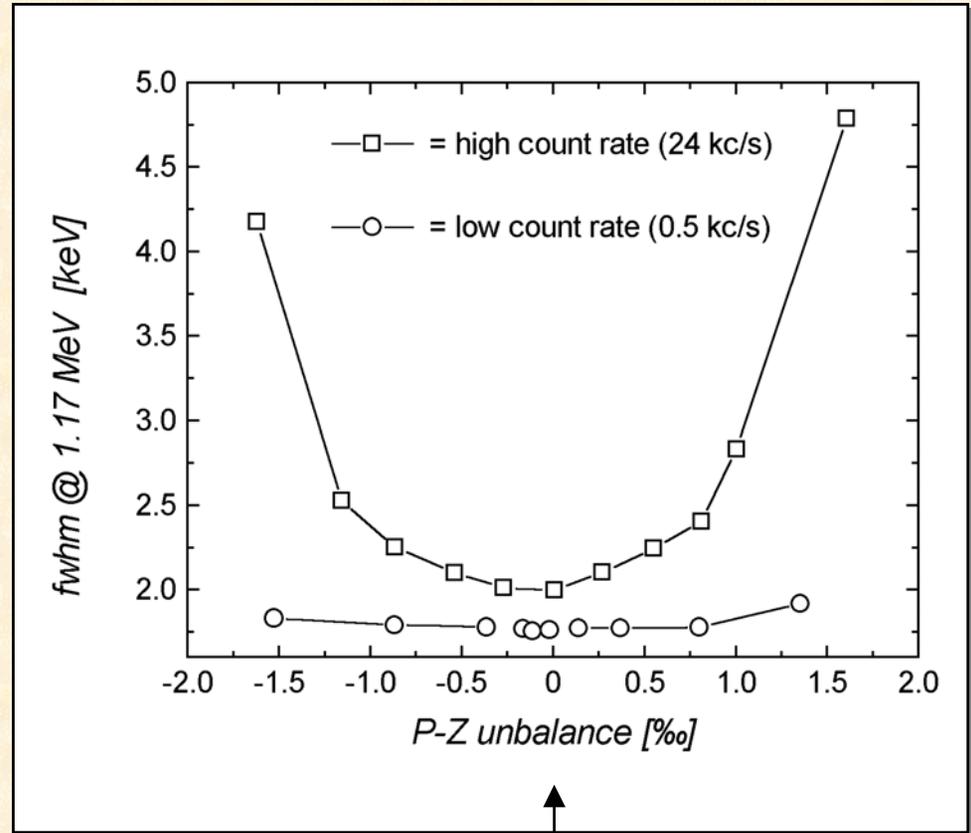
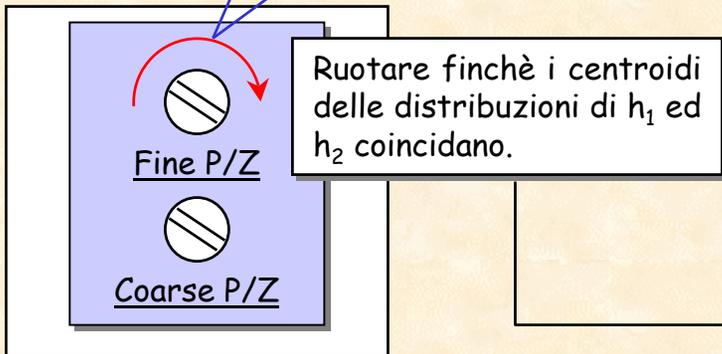
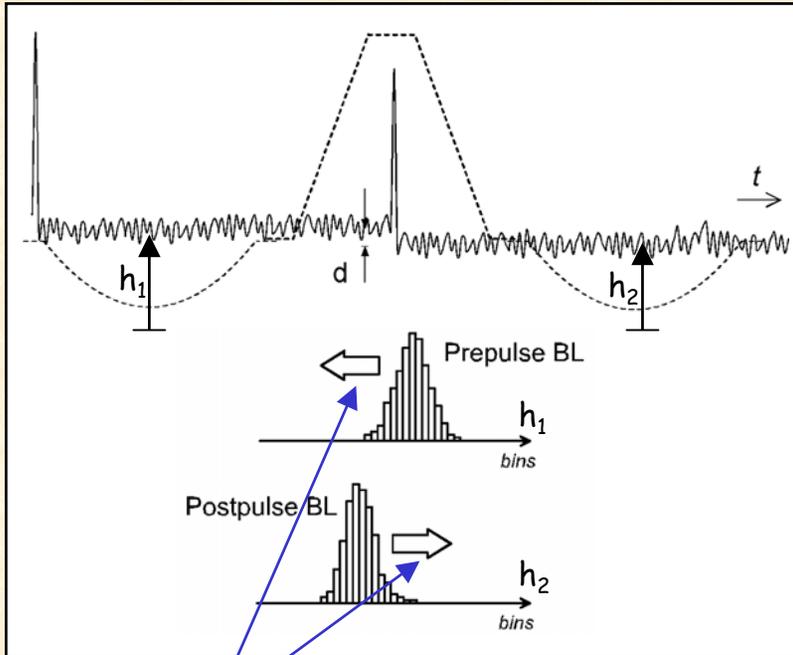
Regolazione PZ

Una imperfetta cancellazione P/Z causa una asimmetria delle righe spettrali, ad alti tassi di conteggio.



Regolazione PZ

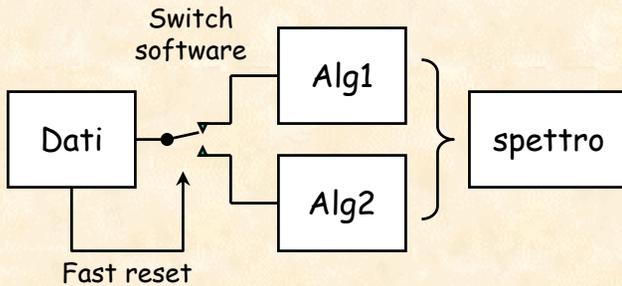
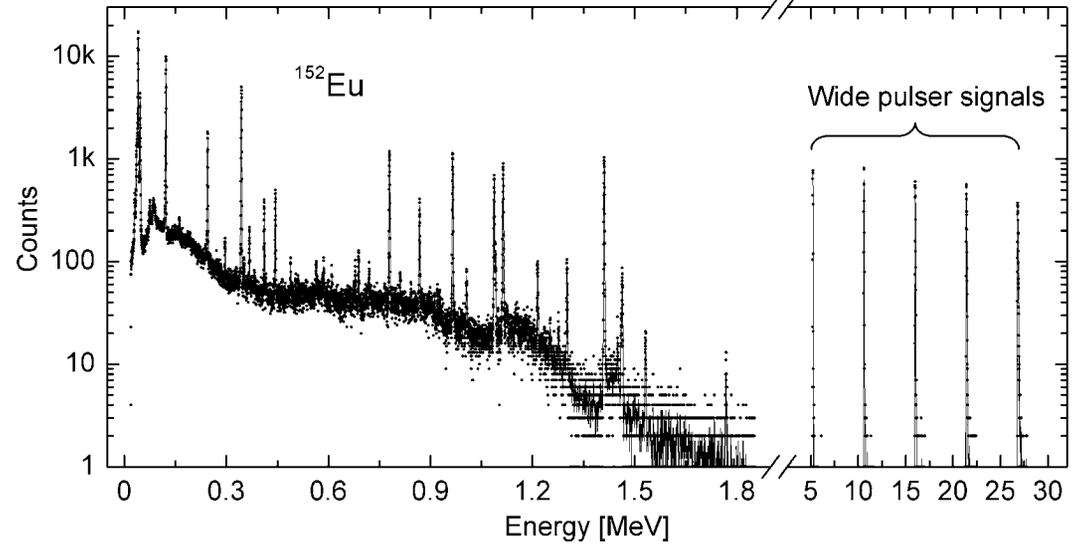
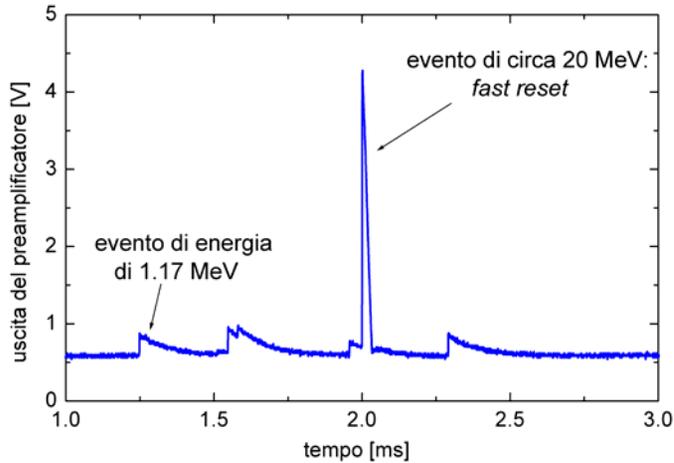
Le stime della baseline pre e post-impulso fornite dal BLR possono essere utilizzate per la regolazione PZ.



Rif. Pul6

Esempio, filtro digitale adattivo

Rivelatore HPGe - preamplificatore a fast reset



Algoritmo 1
(formatura standard)

Algoritmo 2
(tempo di reset)

I segnali vengono processati adattativamente, optando di volta in volta per l'algoritmo di *processing* migliore !

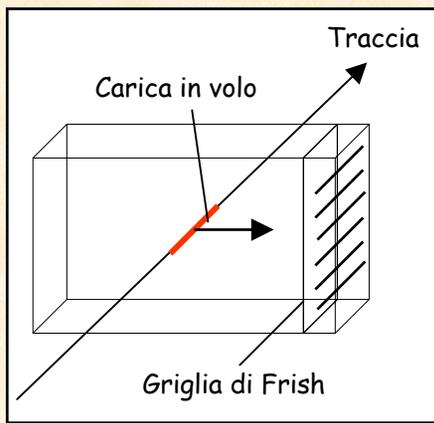
Timing filters (cenni)

Timing filter per rivelatori a deriva

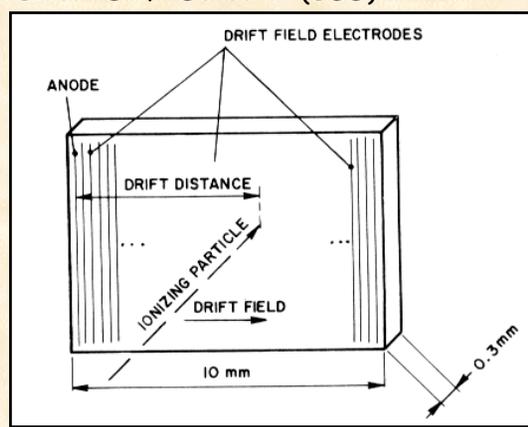
La misura di tempo si fa tipicamente misurando il tempo di *zero-crossing*

La carica però si allarga durante il moto per diffusione e/o per l'angolo della traccia e emerge dalla griglia con una forma gaussiana

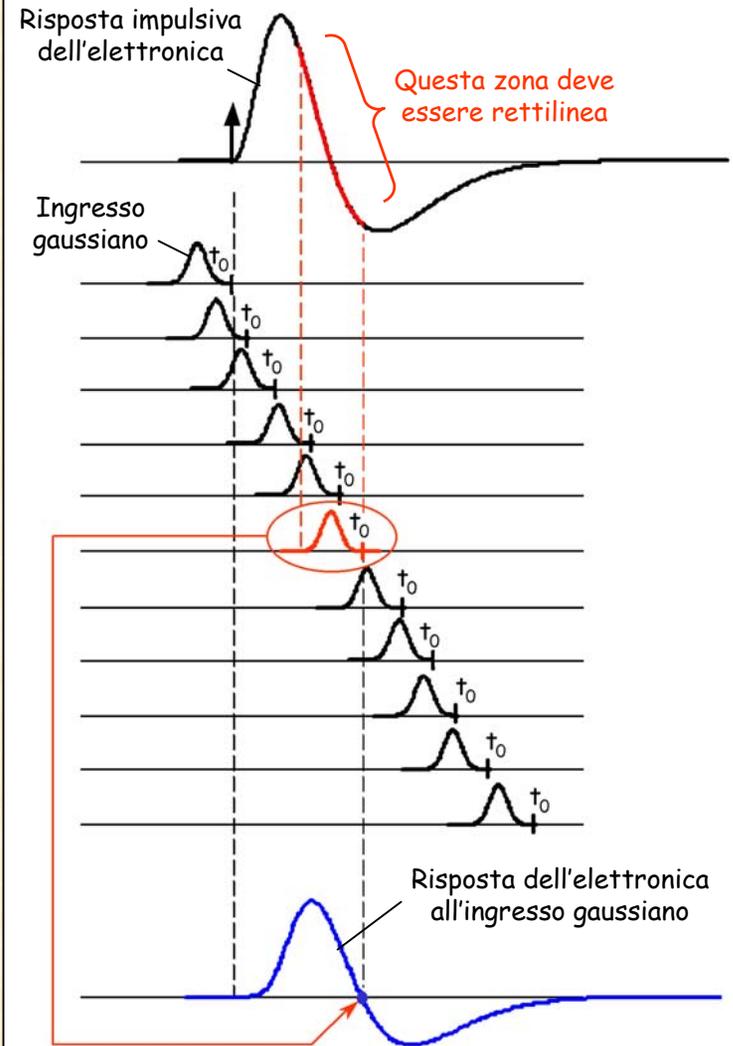
Camera a ionizzazione



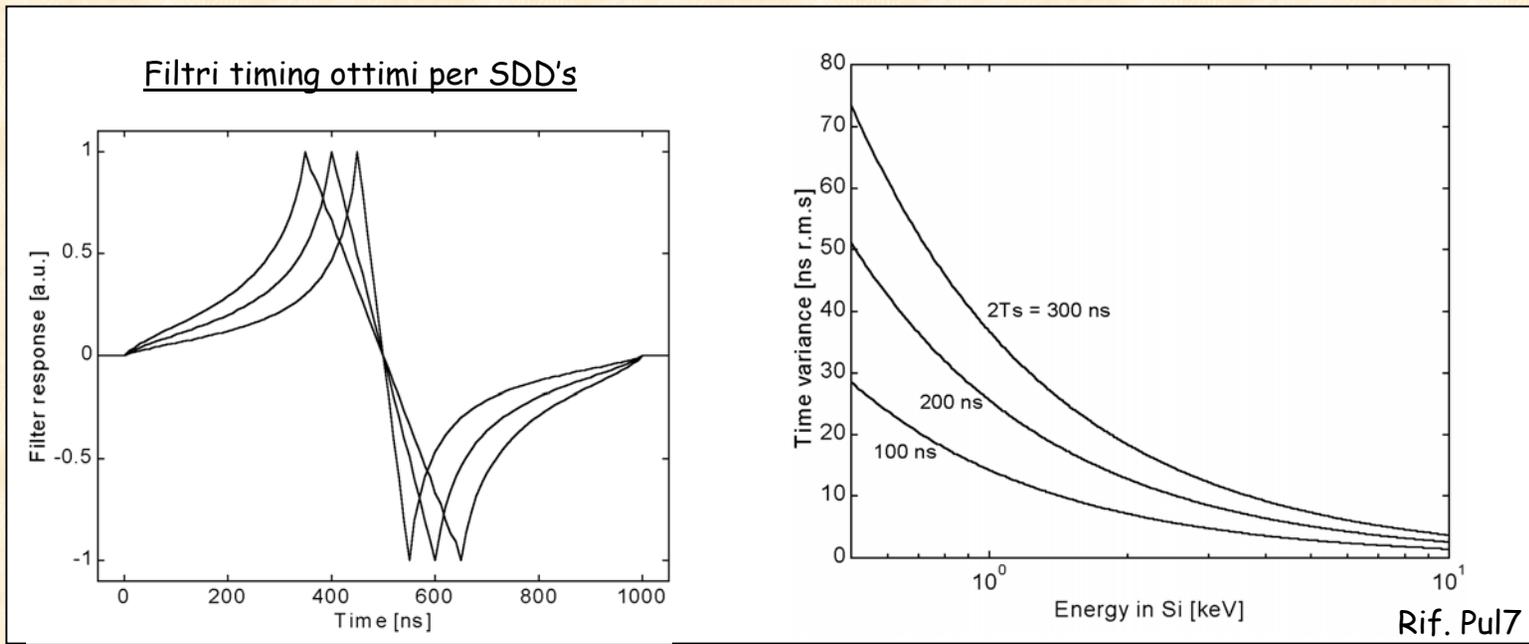
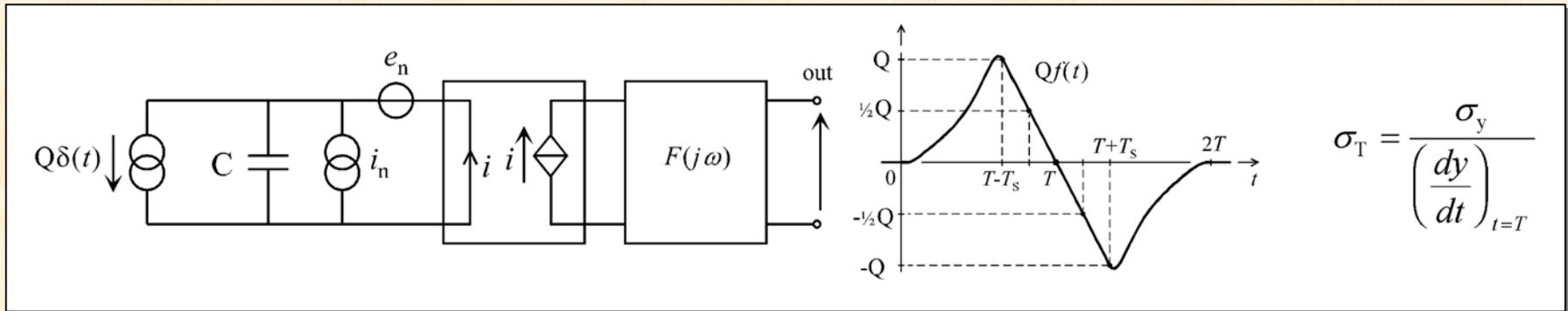
Silicon Drift Detector (SDD)



⇒ il timing consiste nel tempo di arrivo del baricentro della distribuzione di carica

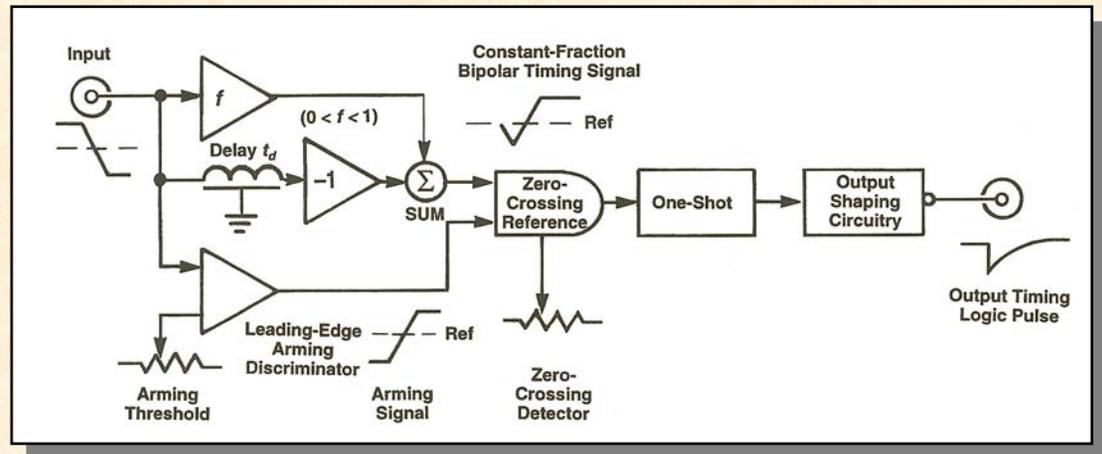
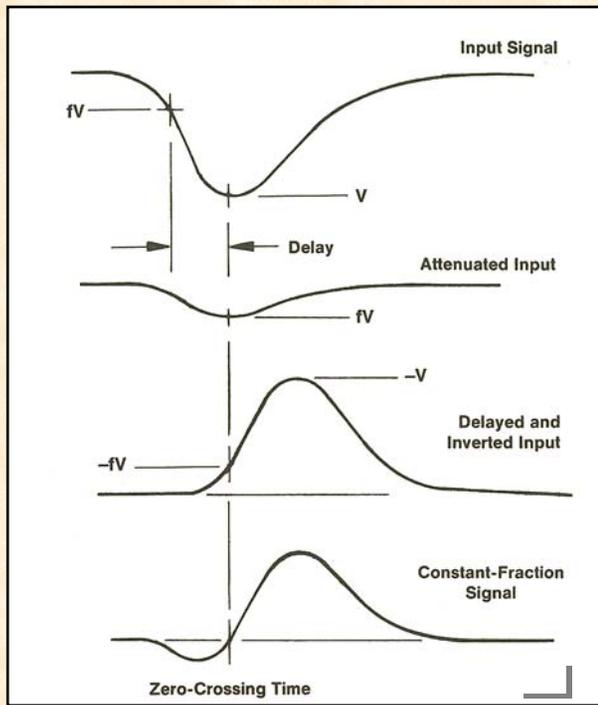
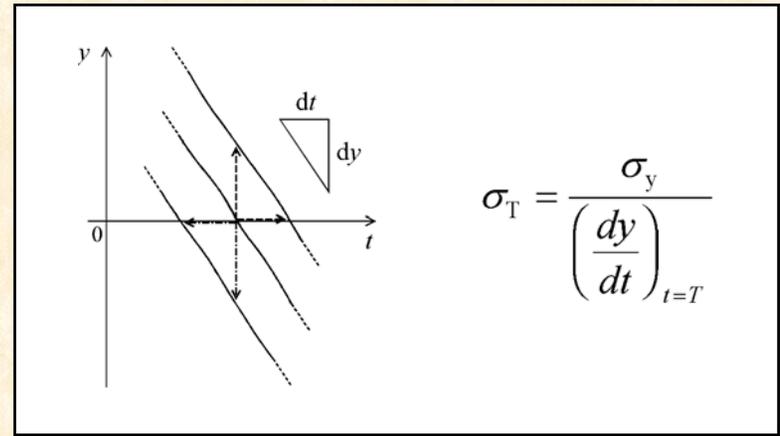
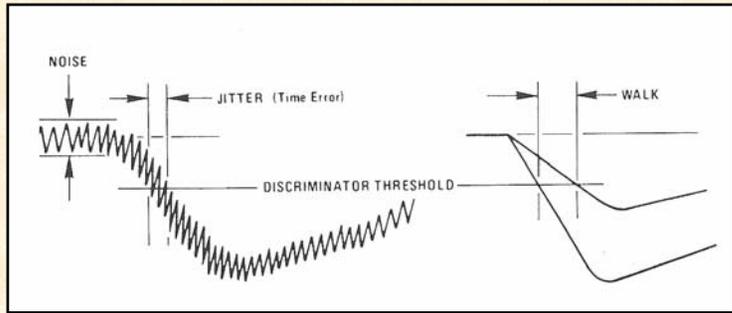


Timing filter per rivelatori a deriva



I filtri ottimi per il timing possono essere realizzati con le tecniche digitali !

Discriminatore a frazioni costanti (CFD)



Riferimenti

- Ort1) www.ortec-online.com
- Gat1) C. Cottini, E. Gatti, V. Svelto, *Nucl. Instrum. Methods*, vol. 24, p. 241 (1963)
- Jor1) V.T. Jordanov, G.F. Knoll, A.C. Huber, J.A. Pantazis, *Nucl. Instrum. Methods*, vol. A353, p. 261, (1994)
- Geo1) A. Georgiev, W. Gast, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 40, no. 4, p. 770 (1993)
- Tak1) H. Takahashi, S. Kodama, J. Kawarabayashi, T. Iguchi, M. Nakazawa, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 40, no. 4, p.626 (1993)
- Lak1) T. Lakatos, *Nucl. Instrum. Methods*, vol. B62, p. 289 (1991)
- Rip1) G. Ripamonti, M. Zambusi, R. Spigarolo, D. Santo, C. Samori, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 42, p. 693 (1995)
- Rib1) S. Riboldi, A. Geraci, R. Abbiati, E. Gatti, G. Ripamonti, *2002 IEEE Nucl. Sci. Symp. Conf. Rec.*, p. 198 (2003)
- Pul1) A. Pullia, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 49, p. 1791 (2002)
- Pul2) A. Pullia, A. Geraci, G. Ripamonti, *Nucl. Instrum. Methods*, vol. A439, p. 378 (2000)
- Geo2) A. Georgiev, W. Gast, R. M. Lieder, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 41, no. 4, p. 1116 (1994)
- Pul3) A. Pullia, G. Ripamonti, *Nucl. Instrum. Methods*, vol. A376, p. 82 (1996)
- Pul4) A. Pullia, G. Gritti, G. Ripamonti, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol.44, n.3, p. 331 (1997)
- Pul5) A. Pullia, G. Ripamonti, *Nucl. Instrum. and Meth.* A391, p. 301 (1997)
- Pul6) A. Pullia, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol.48, no.4, p. 1234, (2001)
- Pul7) A. Pullia, E. Gatti, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol.49, no.3, p. 1170, (2002)

Disegni vari

N.B. : y_k deve cadere sulla baseline destra del segnale target

n = lunghezza filtro numerico
 k = lunghezza fz target

$$k > n$$

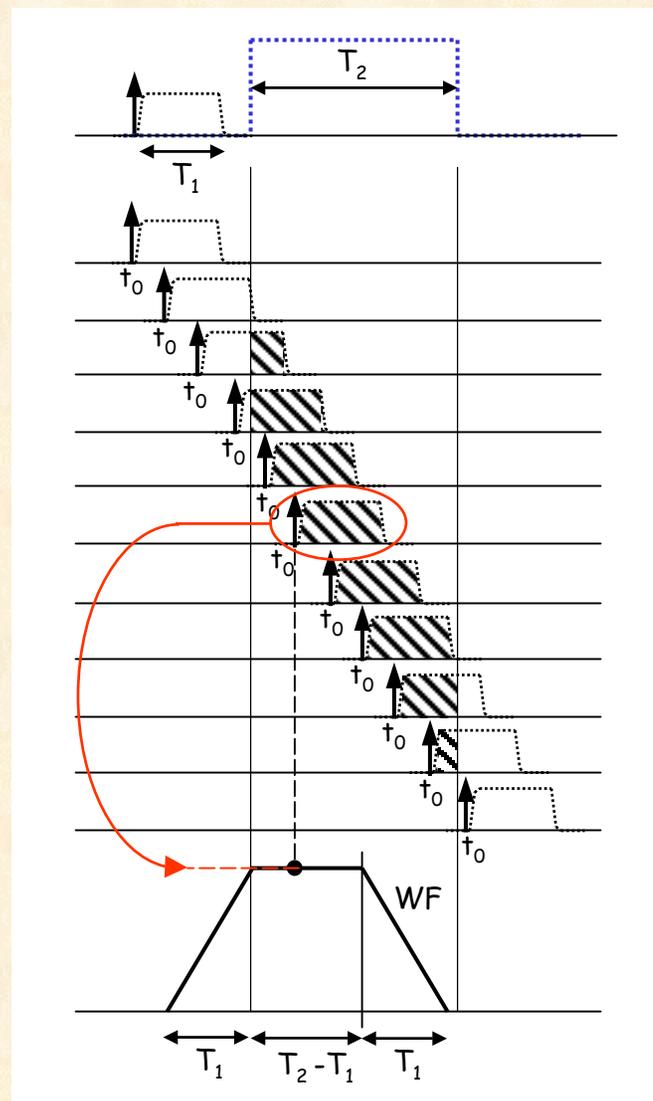
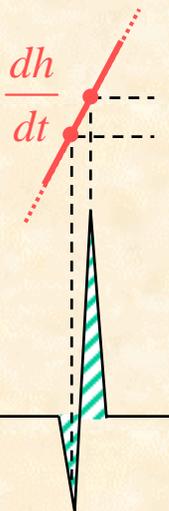
prefiltro

target

Finestra di ricostruzione
 (deconvoluzione)

Il segnale di uscita risulta deformato e con una lunga coda

Fall time = τ

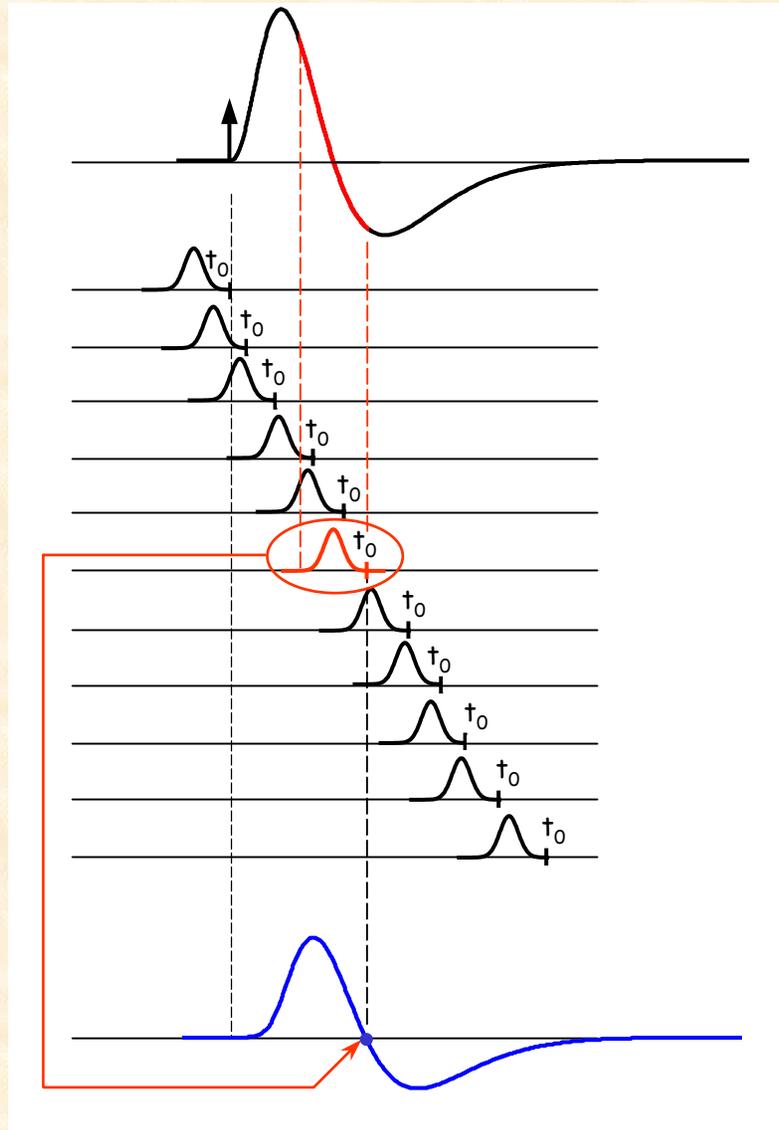


Disegni

T_1

T_2

T_1 $T_2 - T_1$ T_1



Fac simile
