

ANALISI DEGLI IMPULSI CON MULTICANALE

Spettro: plot di $\frac{dN}{dH}$ in funzione di H

(IN REALTÀ $\frac{\Delta N}{\Delta H}$ con ΔH larghezza del canale)

METODO A CANALE SINGOLO (SCA)

Se poniamo LLD e ULD di uno SCA abbastanza vicini (finestre strette) possiamo misurare l'equivalente di 1 canale di uno spettro.

MISURE SEQUENZIALI DI $\frac{\Delta N}{\Delta H}$ DANNO LO SPETTRO (variò di volta in volta la finestra)

METODO INEFFICIENTE! Old style...

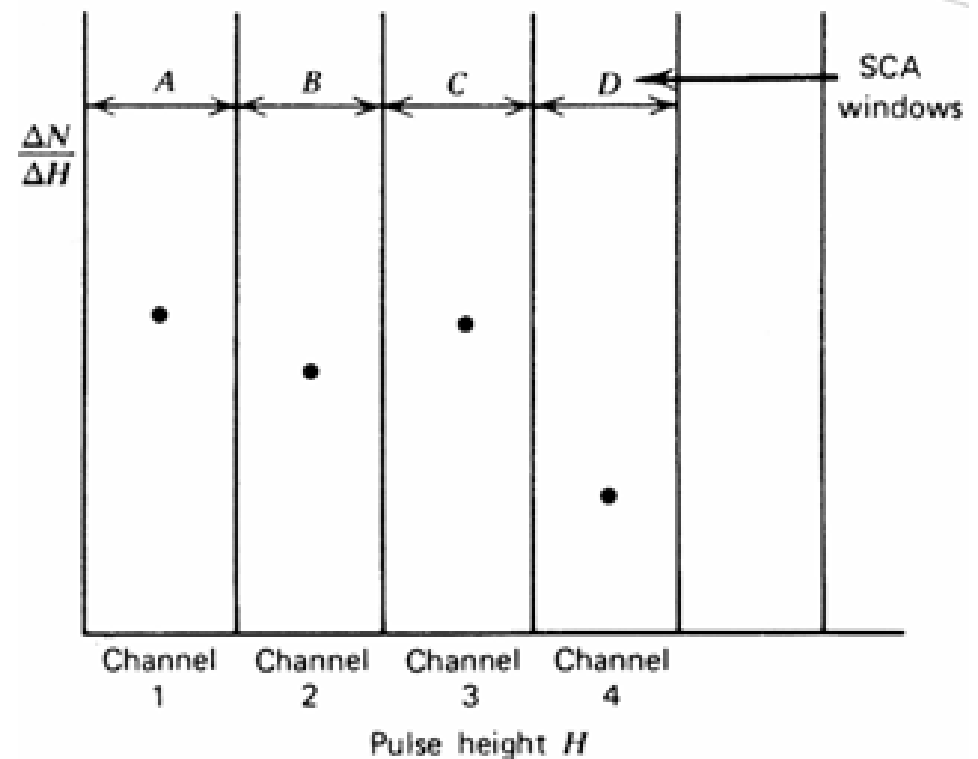
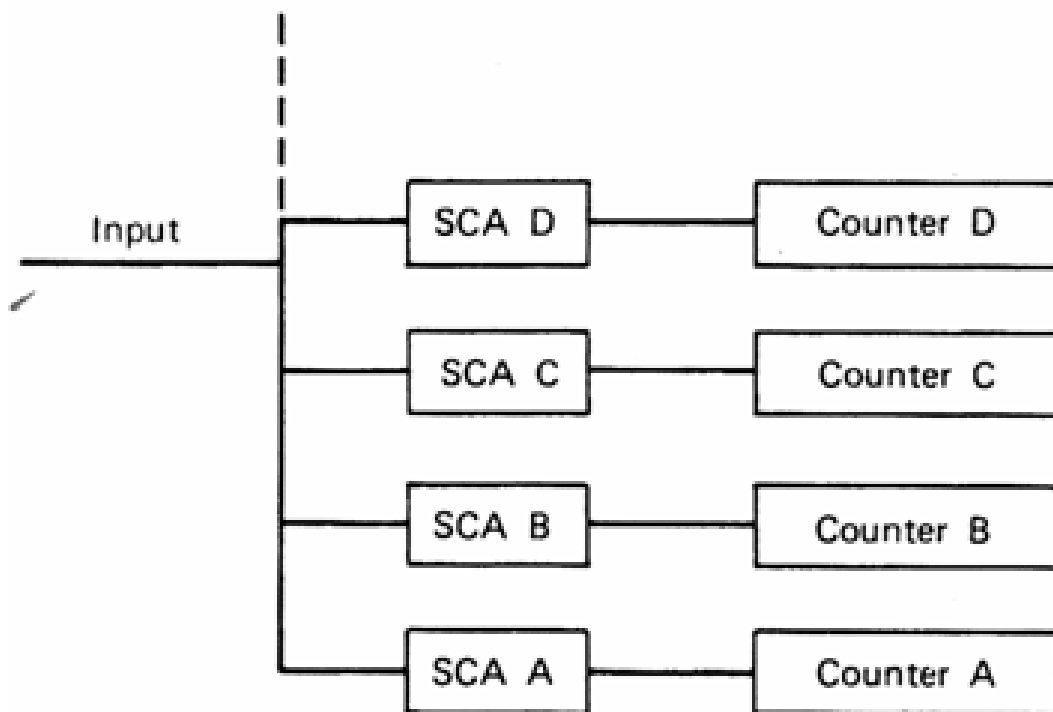
Alternativa: SCA multipli in parallelo con finestre contigue di lunghezza IDENTICA $= \Delta H$

Si può costruire un **ISTOGRAMMA** degli impulsi
(H_i = altezza media dell' i -esimo c.) $\rightarrow \frac{\Delta N_i}{\Delta H} \approx H_i$

PER CONVENZIONE $H_i > H_j$ se $i > j$

Svantaggi

Derive delle soglie e delle lunghezze delle finestre
INDIPENDENTI \rightarrow rischi di sovrapposizioni o buchi
fra CANALI CONTIGUI, e lunghezza NON COSTANTE



CARATTERISTICHE GENERALI DI UN MCA

① Numero di canali N richiesti

- 3 FATTORI:
- 1) grado di risoluzione richiesta: $FWHM\% \leftrightarrow N$
 - 2) n. totale di conteggi per misura \rightarrow STATISTICA
 - 3) effetto del "binning" a livello di SOFTWARE

① se possibile lo spettro DISCRETO deve approx. al meglio quello continuo

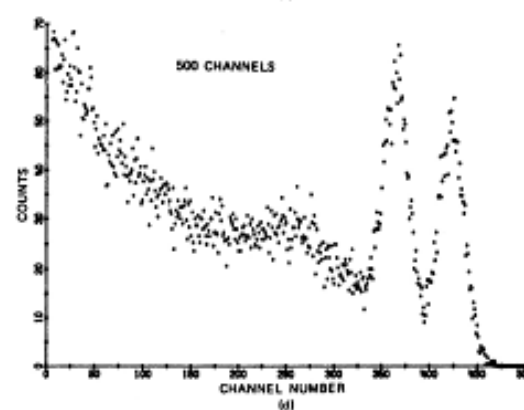
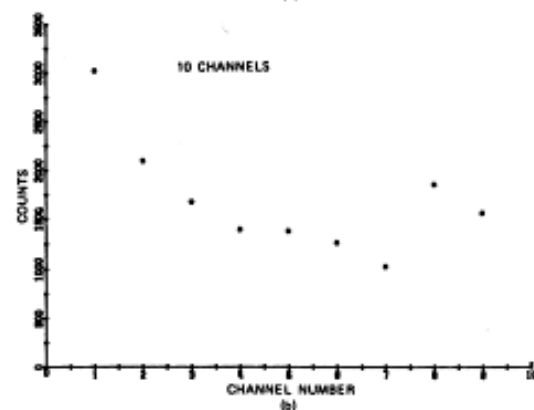
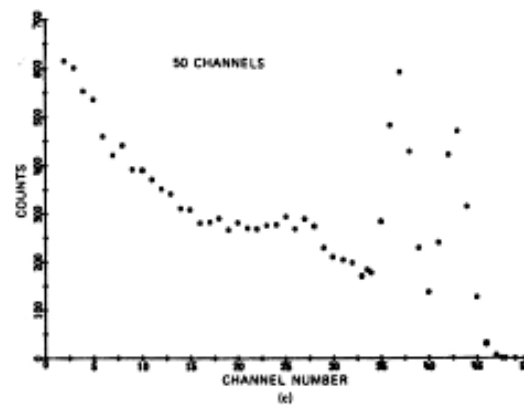
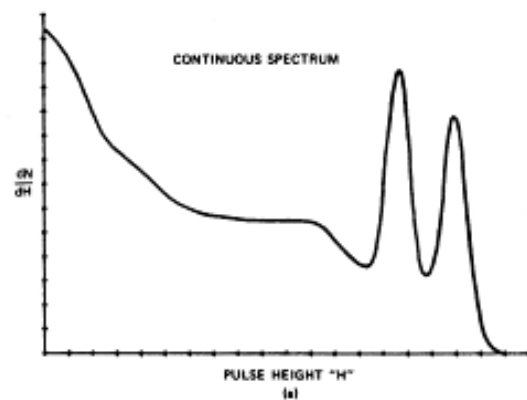
\hookrightarrow se ci sono dei PICCHI, alla $FWHM\%$ devono corrispondere
ALMENO 4-5 canali

Es se la ris. è $5\% \rightarrow$ almeno 100 canali (da ϕ a $MAX(V_i)$)

$0,2\% \rightarrow 2500$

SEMBREREBBE che $N \uparrow =$ spettro migliore

Ma...



② un basso \bar{n} di conteggi/can porta a grandi FLUTTUAZIONI STATISTICHE che possono OSCURARE picchi secondari poco intensi $\bar{n} \div \frac{1}{N}$

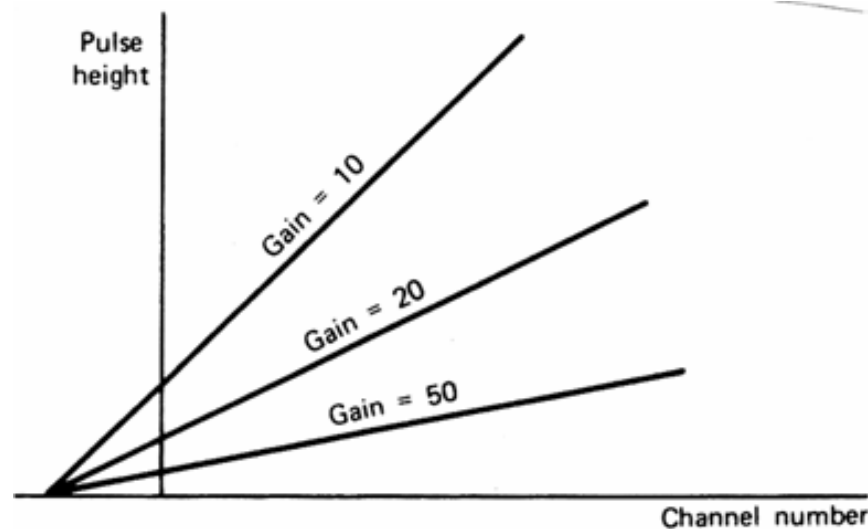
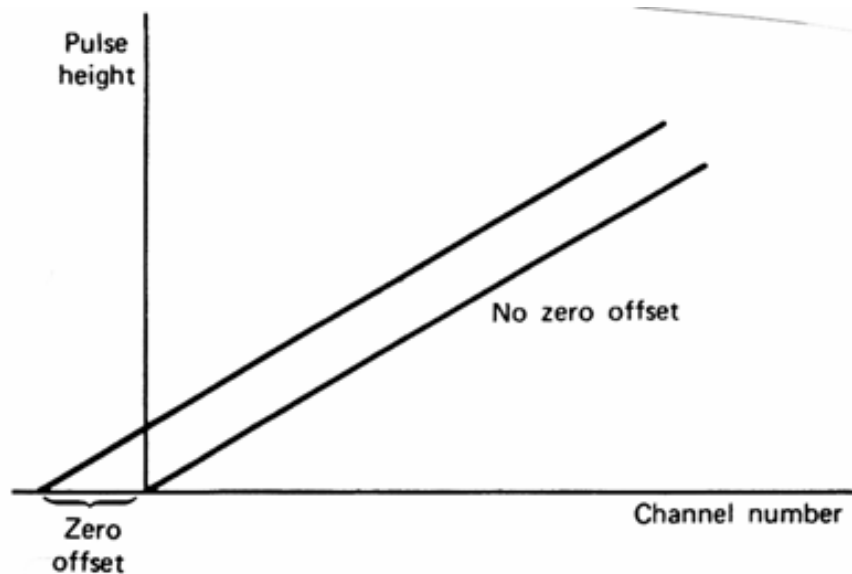
③ spesso il software che deve riconoscere la forma gaussiana dei picchi richiede **ALMENO 8-12 canali alla FWHM?** perché la discretizzazione ha spesso distorto la forma nel processo di media ed essa associata

③ Calibrazione e linearità

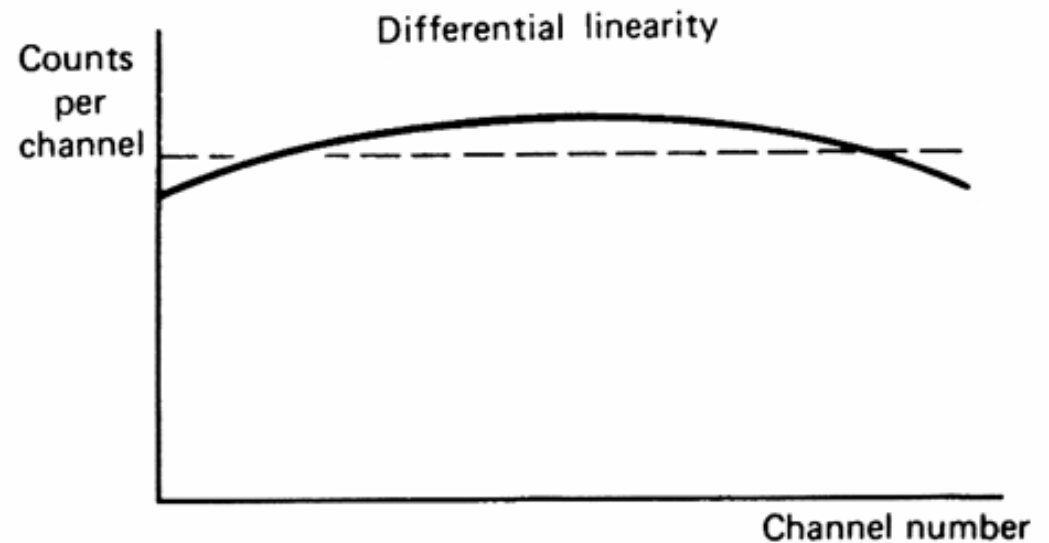
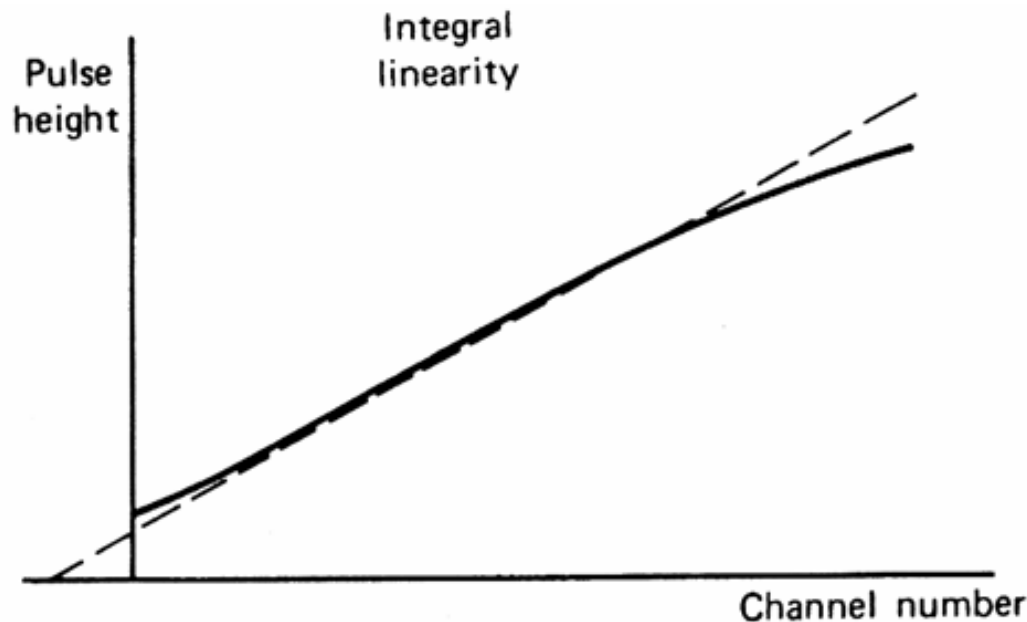
- All' MCA ideale corrisponde una **CONVERSIONE V/ch PERFETT. LINEARE**
- Si può aggiungere un **OFFSET** per lo 0 in modo tale che al 1° canale corrisponda una $V \neq 0$
- La **PENDENZA** del plot di calibrazione (la linea retta che mi dà la conversione V/ch) **VARIA** cambiando il guadagno dell'AMP. LIN. oppure (se possibile) il guadagno di conversione dell'ADC
- Se l' MCA è **LINEARE** e lo è anche il rivelatore, per conoscere la conversione keV/ch bastano **2 PARAMETRI**, pendenza e intercetta
↳ **BASTANO 2 ENERGIE NOTE**

NELLA REALTÀ + picchi, per conferma del calcolo dei parametri e per test linearità

ALTERNATIVA Impulsatore (occorre poi conoscere in altro modo la conversione keV/V)



- La **DEVIAZIONE MASSIMA** della c. di lin. speriment. dalla retta "best fit" è una misura della **LINEARITÀ INTEGRALE** (% del range tot del PCA). TYPICAMENTE le non lin. sono + accentuate agli estremi e $< 0.1\%$.
- La misura della **LINEARITÀ DIFFER.** richiede l'impiego di uno "sliding pulse generator" che fornisca impulsi con una distrib. UNIFORME di ampiezze. Se la statistica è suff. alta, il PCA dovrebbe fornire una **DISTRIBUZIONE PIATTA** di conteggi in tutti i **DEVIAZIONI DELL'UNIFORMITÀ** di ~ qualche %, sono TYPICHE di BUONI PCA
- È **IMPORTANTE CHE NON CI SIANO DISCONTINUITÀ BRUSCHE** darebbero luogo a **STRUTTURE ARTIFICIALI** nello spettro
- Non Linearità nell'ADC si riflettono in una **NON COSTANTE** lunghezza dei canali (misurabile come picc. utfo)



COMPONENTI BASE E FUNZIONAMENTO DI UN MCA

Elemento chiave: ADC (NON FLASH o MULTIPASSO)

ADC "peak sensing": fornisce UN SOLO VALORE in uscita $\div V_{max}$

Circuito d'ingresso (PRIMA dell'ADC):

- sente l'arrivo dell'impulso
- misura e trattiene in memoria V_{max} per il tempo necessario alla conversione in un valore digitale

Uscita dell'ADC

registro STANDARD di memoria digitali con tanti indirizzi quanti sono i canali. La profondità in bit di ogni indirizzo fissa il n. massimo di conteggi per canale ($\sim 10^9$)

Gate d'ingresso

Ferma gli impulsi in arrivo quando l'ADC è occupato
Spesso fornisce il tempo morto tramite un clock

SCA + Gate

Serve per permettere di fissare una soglia o una finestra eliminando gli impulsi non interessanti, PRIMA DELL'ANALISI ependendo il tempo morto

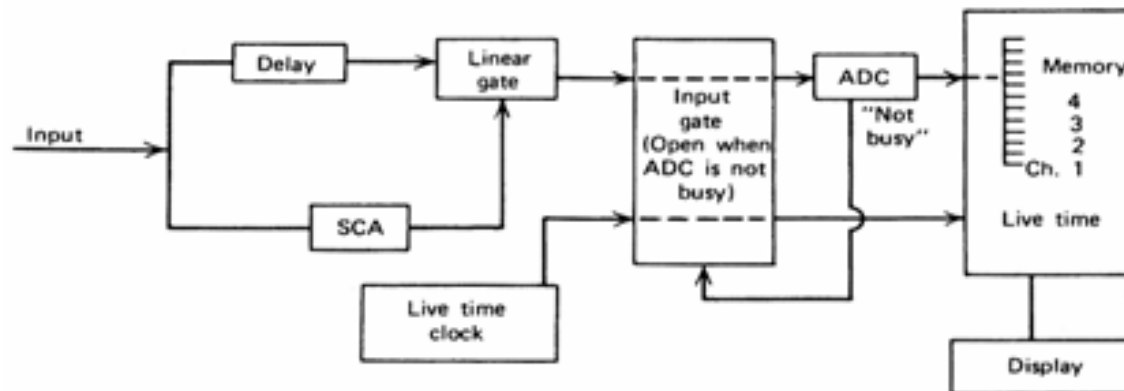
Memor un tempo morto del 30-40% o più può dar luogo a DISTORSIONI NELLO SPETTRO

Display e salvataggio dati

Componenti ormai quasi sempre fornite da un PC

Memor: un PC è un ambiente rumoroso

→ meglio se l'ADC è ESTERNA o se l'MCA è incorporato in un'architettura da PC che però è DEDICATA



DETTAGLI SULL' ADC

- Compito dell'ADC è fornire un numero digitale $\div V_{max}$
- I parametri che lo caratterizzano sono:
 - velocità con cui avviene la conversione
 - linearità della conversione
 - risoluzione (nominalmente data dal n. di bit)
- Full scale e forma del segnale in ingresso vengono specificati dal costruttore (tipicamente: $0-10V$, polarità $+$, $T_D \sim \mu sec$)
- Il GUADAGNO DI CONVERSIONE è il n° di canali da attribuire al range totale dell'ADC (VARIABLE, con G_{MAX} dato dal n. di bit dell'ADC)
- Il tempo morto dell'ADC **DOMINA** il t.m. totale dell'PCA
 - ↳ ADC + VELOCE compatibili, con la BUONA linearità differenziale
 - ↳ **NO FLASH, NO MULTIPASSO**
- Si preferiscono il **CONVERTITORE A RAMPA LINEARE (1)**
AD APPROSSIMAZIONI SUCCESSIVE

(1) L'ADC A RAMPA LINEARE (ALLA WILKINSON)

- All'istante in cui arriva l'impulso al comparatore parte una rampa lineare, assieme ad un impulso di gate che resta "on" fino a quando la rampa non raggiunge LA STESSA V dell'impulso

$$\rightarrow \Delta t(\text{gate}) \div V_{\max}$$

- Uso l'impulso di gate per aprire un GATE LINEARE collegato ad un clock: il n. di imp. a V_{costante} del clock che riusciranno a passare il gate È LA DIGITALIZZAZIONE di V_{\max} , che viene scritta nel registro
- La rampa lineare è ottenuta CARICANDO una C con una sorgente di I costante: MISURA MOLTO ACCURATA
BUONA LINEARITÀ
- Siccome il clock è a V_{cost} , la DURATA della conversione DIPENDE DA V_{\max} ed è $\propto \frac{1}{V_{\text{clock}}}$ Velocità tipici $V_{\text{clock}} = 100 \text{ MHz}$

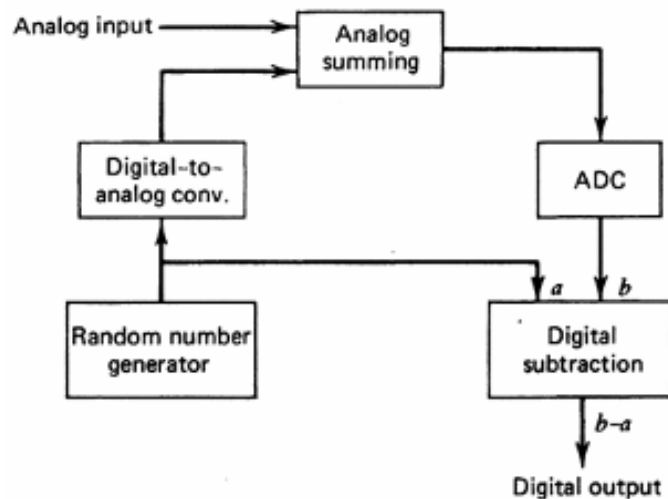
VANTAGGIO Non faccio sottrazioni analogiche all'imp. originale
 Il tempo di conversione è COSTANTE e INDIPEND. da V_{max}
 \rightarrow 10 bit \sim qualche μ sec

SVANTAGGIO Non linearità maggiori

IL PRINCIPIO DELLA SCALA CHESBORN (Gatti et al.)

Si cerca di LAVARE VIA le DNL facendo sì che impulsi corrispondenti ad uno STESSO CANALE in realtà siano digitalizzati utilizzando la MEDIA di un certo n. di canali M (fino a $N/2$) con un miglioram. dell'uniformità EFFICACE dei canali pari a \sqrt{M}

SVANTAGGIO Si tratta di convertire un V_{max} attraverso canali \neq , la cui LARGHEZZA può variare, rischiando pertanto un ALLARGAMENTO MEDIO del tipico profilo di canale
 \rightarrow se è grave PEGGIORA LA RISOL. DELL'ADC



Se i passi di somma e sottrazione non sono perfetti, accoppiati rispetto al fattore di scala, possono apparire delle STRUTTURE PERIODICHE ARTEFATTE nello spettro

LA MEMORIA DELL'ACA

- 1 indirizzo allocato per canale
- Memoria NON VOLATILE (non si perde la mem. se scompare la corrente)
- Possibilità di più spettri contemporanei (1 da 4096 ch o 8 da 512)
- Possibilità di uso in sottrazione (per sottrarre il fondo)

TEMPO MORTO DELL' MCA

- 2 componenti:
- tempo di trattamento del segnale dall' ADC
 - tempo di immagazzinamento nella memoria

SE ADC Wilkinson $\tau = \frac{N}{f} + B$

τ dipende da A_{max}
cioè dal canale in cui
viene memorizzato l'impulso

N = canale dell' impulso
 f = freq. del clock
 B = tempo di memorizz.

MISURATORE DI TEMPO MORTO

Collegato al gate d'ingresso x conoscere il t.m.

ALTRIMENTI: misura con impulso di test

ATTENZIONE metodo NON ADATTO se la forma dello spettro VARIA nel tempo (ad es. varia il rate...)

↳ metodo HARMIS (vedi Knoll)

STABILIZZAZIONE E RIASSISTIMENTO DELLO SPETTRO

Stabilizzazione attiva

Derive dello spettro danno allungamento e distorsione dei picchi

- CAUSE :
- variazione di temperatura (elettronica e/o rivelatore)
 - dei livelli di tensione
 - del guadagno dei vari elem. attivi
 - del rate di conteggi (scintillatori)

Stabilizzatore di spettro

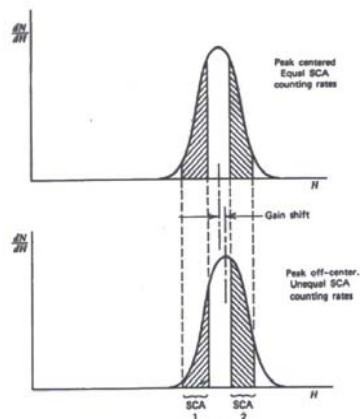
"Sente" la posizione di un picco e la confronta con un riferim. dato generando un segnale di errore che può ESSERE usato in retroazione per aggiustare opportunamente il guadagno e riportare il picco nella posizione desiderata

Tecnica 2 FINESTRE DI SCA SIMMETRICHE rispetto al centroide di un picco PERFETTO, GAUSSIANO. Verifica di \neq di conteggi nelle 2 finestre : se PICCO OK \rightarrow $diff = 0$

DERIVA \rightarrow $diff \neq 0$

Stabilità richiesta \times ; 2 SCA : ELEVATA

se si ha PCA \rightarrow 2 ROI anziché 2 finestre \rightarrow STAB, DIGITAL



Correzione del guadagno

- (A) Impulso per impulso: se + basso del centroide alto il G
+ alto abbasso

MA statisticam. l'impulso DEVE cadere un po' a sin., un po' a dx del centroide, ANCHE CON G STABILE

↳ correzioni CASUALI → Guadagno DISCUTANTE
se però le corr. sono VERAMENTE piccole, allargam. TRASCURABILE

- (B) Spettro dell'imp. di TEST raccolto in CONTEMPORANEA con lo spettro reale. A scadenza regolari: analisi picco di test ed eventuali correzioni. Quindi REFRESH

- (C) se è possibile correggere anche OFFSET → 2 IMP. DI TEST, nella regione INIZIALE e FINALE dello spettro

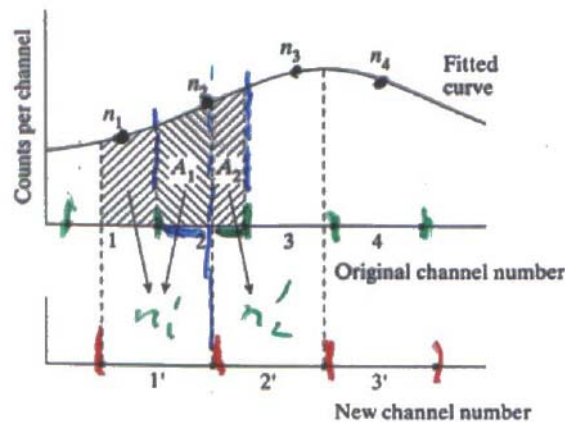
Gli impulsi di test possono essere PICCHI REALI DELLA SORGENTE o picchi di una sorgente di test da acquisire ASSIEME a quella in studio. MA aggiunta di fondo INDESIDERATO. Oppure: PULSER

La deriva può comportare VARIAZIONE DI FORMA dello spettro

↳ tecniche software per "sentire" tali variaz. e correggere opportun.

Riallineamento dello spettro

- Utile per sommare misure \neq della stessa sorgente
- Se si suddivide 1 misura in TANTE voltomisure BREVI \rightarrow derive - import: Il pb è il RIALLINEAMENTO SUCCESSIVO
- Si possono utilizzare più picchi, possibilmente ben spaziali, purché con statistica sufficiente
- Un metodo più corretto prevede il "ribinnaggio" dello spettro: il nuovo n. di canali, la loro larghezza e l'offset potranno essere \neq
- La tecnica GIUSTA richiederebbe di RICHIAMONARE opportunamente lo spettro CONTINUO originale (cioè il $\frac{dN}{dH}$). Ma ORMAI \exists solo $\frac{\Delta N}{\Delta H}$
- Se la larghezza dei canali è suff. piccola si può ricostruire $\frac{dN}{dH}$ con BUONA APPROSSIMAZIONE con il $\frac{\Delta N}{\Delta H}$
- Dopo di che: VEDI FIGURA



STATISTICA NON È PIÙ POISSON!!

ANALISI DI UNO SPETTRO

DECONVOLUZIONE O RICOSTRUZIONE DI $S(E)$

$$\frac{dN}{dH} \equiv \int S(E) R(H, E) dE$$

↑ funzione di risposta del sistema

↑ funzione di distribuzione o spettro in en. della rad. inc.
 $S(E)dE = n^\circ$ di quanti con en. $\in (E, E+dE)$

$R(H, E)dHdE \equiv$ prob. diff. che un quanto di en. $\in (E, E+dE)$
dia un impulso di ampiezza $\in (H, H+dH)$

Se la radiazione è MONOENERGETICA ($E = E_0$)

$$S(E)dE = S_0 \delta(E - E_0) dE \rightarrow \left. \frac{dN}{dH} \right|_{E=E_0} = S_0 R(H, E_0)$$

Quando registriamo lo spettro con un MCA abbiamo che

$$N_i = \sum_j R_{ij} S_j \quad \text{con } N_i = n. \text{ conteggi nel canale } i\text{-esimo}$$

R_{ij} = matrice di risposta del sistema

S_j = intensità della radiaz. nel j -esimo intervallo di energia

Supponiamo che $S(E)$ sia VERAMENTE discretizzabile in L valori
Se lo spettro è fatto da M canali avremo M equaz. in L incognite

$$\forall i=1 \dots M \quad N_i = \sum_{z=1}^L R_{iz} S_z \quad \text{da cui } S_z \quad \forall z=1 \dots L$$

PURCHÉ $M \geq L$ e R_{iz} NOTI

↳ HO FATTO LA DECONVOLUZIONE DELLO SPETTRO

Se $R(H, E_0) \simeq R(E_0) \delta(E - E_0)$ (cioè la matrice R_{iz} è DIAG.)
ho una CORRISPONDENZA BIUNIVOCITÀ tra H_{mis} ed E_{rad}
(caso dei semiconduttori per part. cariche pesanti)

↳ lo spettro in tensione \equiv spettro in energia
NON DEVO DECONVOLVERE

MA NON È LA NORMA!

PROBLEMI LEGATI ALLA DECONVOLUZIONE

- $R(t, E)$ può essere noto con delle INCERTEZZE
(Non posso misurarla sperimentalmente $\forall E$)
- Le condizioni di lavoro del rivelatore possono CAMBIARE
- Ogni canale è soggetto ad una VARIANZA STATISTICA che si propagerà nei calcoli per la deconvoluzione
 - ↳ fluttuazioni nello spettro in energie anche molto GRANDI
 - ↳ LA CONOSCENZA ESATTA DEGLI S_j NON È SPESSO FATTIBILE
 - ↳ SOLUZIONI APPROSSIMATE (ricerca del minimo nella somma pesata dei residui)
 - ↳ a volte DATA SMOOTHING (il contenuto di ogni canale è sostituito dalla MEDIA PESATA di un certo n. di canali adiacenti)

Attenzione! OCCORRE NON DISTRUGGERE LE STRUTTURE DELLO SPETTRO

APPLICAZIONE DELLA TECNICA DI DECONVOLUTION

- ① spettroscopia di n con rivelatori a rinculo di protoni
- ② spettroscopia γ con NaI o HPGe in presenza di picchi multipli

PIÙ FACILE SE LA SORGENTE EMETTE SOLO POCHE RAD. MONOENERG.

In questo caso posso pensare di MISURARE IPERIMENTALMENTE ogni $R_i z$ d'interesse (sono pochi)

ALTRI MENTI (caso di spettro continuo di energie) si ricorre a:

- Calcoli e/o modelli analitici
- Interpolazioni fra funzioni di risposta misurate speriment.

LO "STRIPPING" DELLO SPETTRO

- Se lo spettro di E incidente è in realtà composto da poche ENERGIE DISCRETE si può pensare di risolvere a $S(E)$ da $\frac{dN}{dH}$ trovando SPERIMENTALMENTE o PER CALCOLO ANALITICO le funzioni di risposta $R(H, E_i)$ e i
- Lo spettro REGISTRATO viene quindi DENUDATO a partire dall' E_f sottraendo a $\frac{dN}{dH}$ la funzione $R(H, E_f)$ moltiplicata per un opportuno fattore F_f t.c. la parte ad alte en. di $\frac{dN}{dH}$ sia ridotta a 0
- Si procede in questo modo e i, in ordine DECRESCENTE di E
Alla fine
$$\frac{dN}{dH} - \sum_f F_f R(H, E_f) = 0$$

e F_f è l'intensità relativa dei quanti di energia E_f

ANALISI DI SPETTRI CON PICCHI

- Negli spettri γ RARAMENTE si procede a questa tecnica di deconvoluzione
- Gli spettri γ sono spesso caratterizzati da una serie di picchi di energia discreta, e la funzione di risposta presenta un picco DOMINANTE (o solo quello) per cui ad ogni picco E (γ monoenergetico) DEVE corrispondere 1 (ed uno solo) picco in $H \rightarrow$ CORRISPONDENZA BIUNIVOCAL
- L'analisi è quindi ridotta al riconoscimento e alla valutazione del "vero statistico" di tali picchi

\exists PACCHETTI SOFTWARE SVILUPPATI A QUESTO SCOPO

Tecnica:

① Localizzazione dei picchi

DIFFICOLTÀ: - rischi di picchi FALSI
- risoluzione di doppietti

La ricerca avviene spesso tramite $\frac{d^2}{dx^2}$ (devo oss. una variazione NOTTA NEGATIVA)

+ CRITERI DI VERIFICA: • forma gaussiana
• FWHM come aspettato

se troppo larga \rightarrow tentativo di riconoscimento di un doppietto

② Determinazione dell'area del picco

- 2 TECNICHE : (A) somma del contenuto dei canali interessati
(B) area sotto il pic (Gauss + exp sulla sinistra)
raccolta incompleta delle q

In entrambi i casi occorre poi sottrarre il **FONDO**:
Stima tramite i canali CONTIGUI al picco a dx e a sin.
con ipotesi di FONDO LINEARE o QUADRATICO

- Nel caso (A) occorre sapere su QUALI CANALI applicare la somma
 - tutti i canali con contenuto SIGNIFICATIVI, > Fondo
 - n. di canali a dx e sin FISSATO dalla FWHM attesa

- Nel caso (B) dal fit (metodo dei minimi quadrati) si estraggono:
 - valore del centroide del picco
 - larghezza σ della gaussiana
 - area A del picco (dopo sottrazione del fondo)

Le deviazioni standard % da associare a tali valori sono:

$\frac{1}{\sqrt{A}}$ per l'area

$\frac{\sigma}{\sqrt{A}}$ per il centroide

$\frac{W}{\sqrt{2A}}$ per la FWHM (e la W è la FWHM estratta dal fit)