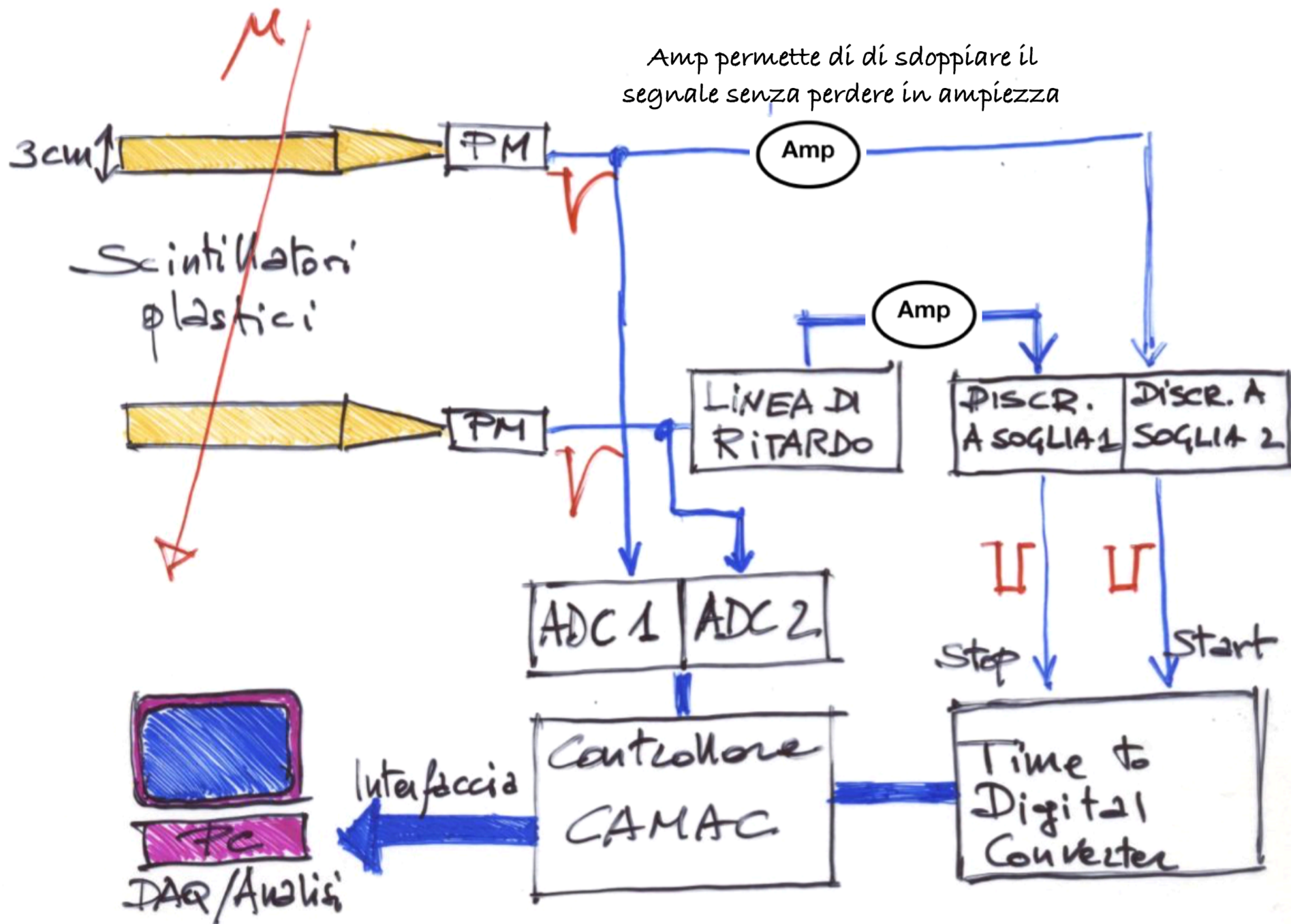


MISURE DI TEMPO

- Misura di tempo di volo/velocità dei μ
- Misure in coincidenza

Misura della velocità dei muoni

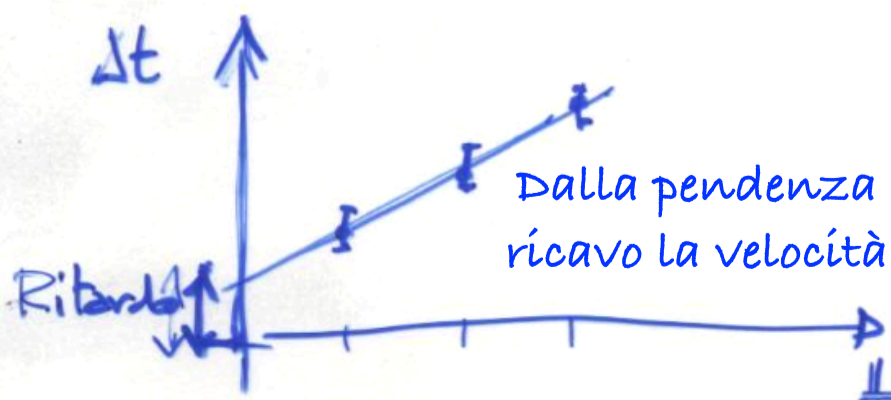
Schema semplificato senza coincidenza



- Misura della diff temporale $t_2 - t_1$
- Misura della carica (energia depositata)

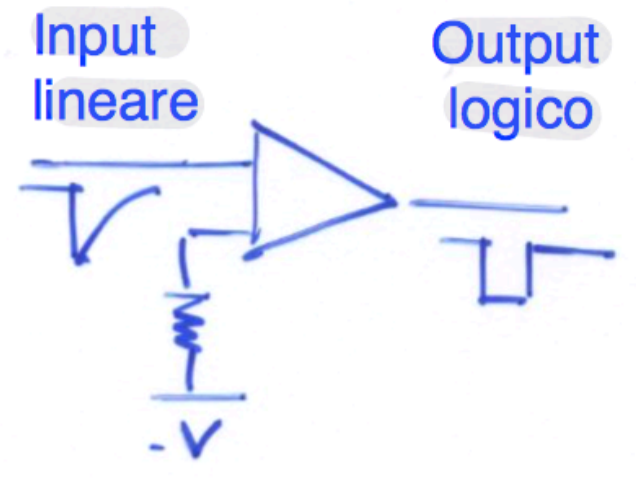
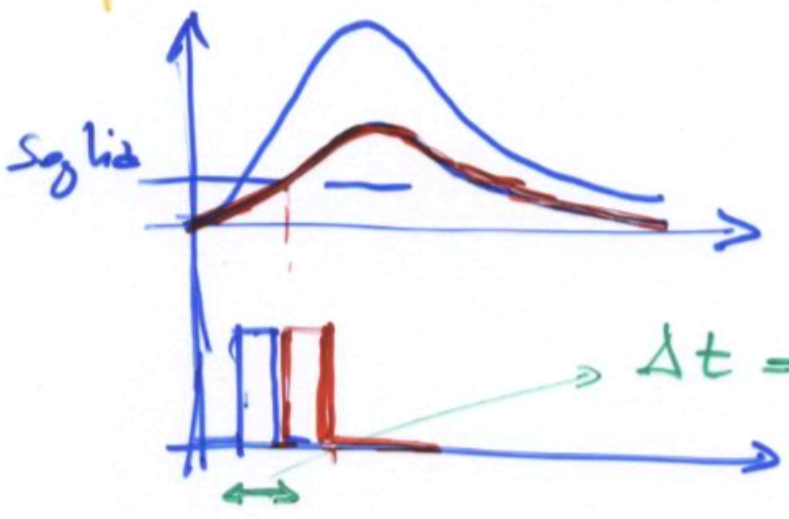
Distanza di volo $0 \div 3 \text{ m}$

$$\Delta t \leq 10 \text{ ns} !!$$



STRUMENTAZIONE

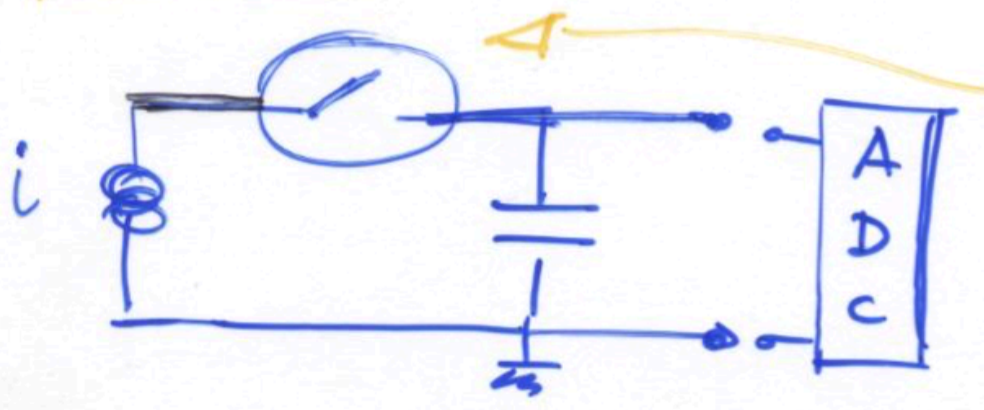
Discriminatori a soglia:



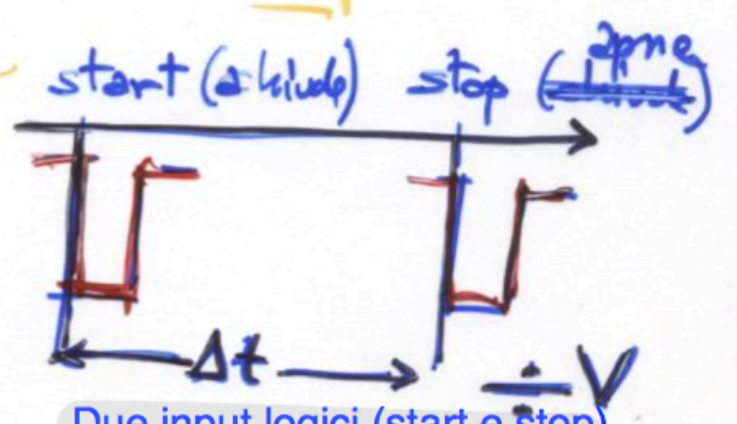
$\Delta t =$ "Amplitude walk"
 contribuisce alla risoluzione temporale.

- Rimedi:
- 1) Soglia bassa (compatibilmente con il ~~segnal~~ rumore)
 - 2) Constant Fraction Discriminator

TDC (time to digital converter)



(oppure con un oscillatore)



Due input logici (start e stop)
 Output prop. al Δt tra start e stop

ADC di carica

Campiona il segnale di input caricando via via una capacità. Dopo un certo tempo questa viene fatta scaricare a rate costante => il tempo che ci mette per scaricarsi è proporzionale all'ampiezza

RISOLUZIONE TEMPORALE

• "Time jitter"

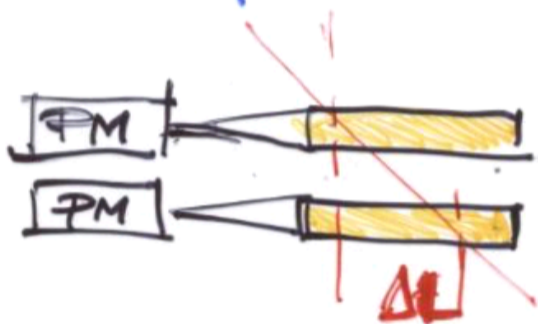
Le fluttuazioni random sovrapposte agli impulsi di segnali di identica forma e ampiezza causano il superamento della soglia di trigger in istanti diversi, e quindi la produzione dell'impulso logico di out a tempi diversi

• "Amplitude walk"

Dipendenza del timing dall'ampiezza del segnale
L'ampiezza può variare a seconda di:

- angolo di incidenza ($S_p \times / \cos \theta$)
- attenuazione della luce

• Dispersione nei tempi di raccolta



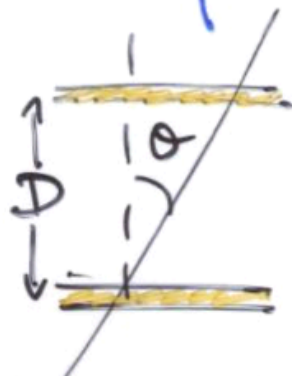
$$\Delta t \sim \frac{n}{c} \Delta L \quad (n/c = 1/v)$$

n = indice di rifrazione

metodo per stimare Δt :



• Dispersione nei tempi di transito



$$\Delta T = \frac{D}{\cos \theta} \frac{1}{v}$$

Effetto geometrico

Dipendenza delle risposte temporali
dall'ampiezza ("Amplitude Walk")

Modello semplice:

per formatore veloce ($RC \ll \tau_{scint.}$)

l'andamento del fronte di salita del
segnale è approssimabile:

$$V(t) \cong A \left(1 - e^{-\frac{t-t_0}{RC}} \right)$$

dove t_0 è l'istante di inizio del segnale

Il discriminatore a soglia scatta ad un tempo
 t_s quando $V(t_s) = A_s$ (ampiezza di soglia)

cioè:

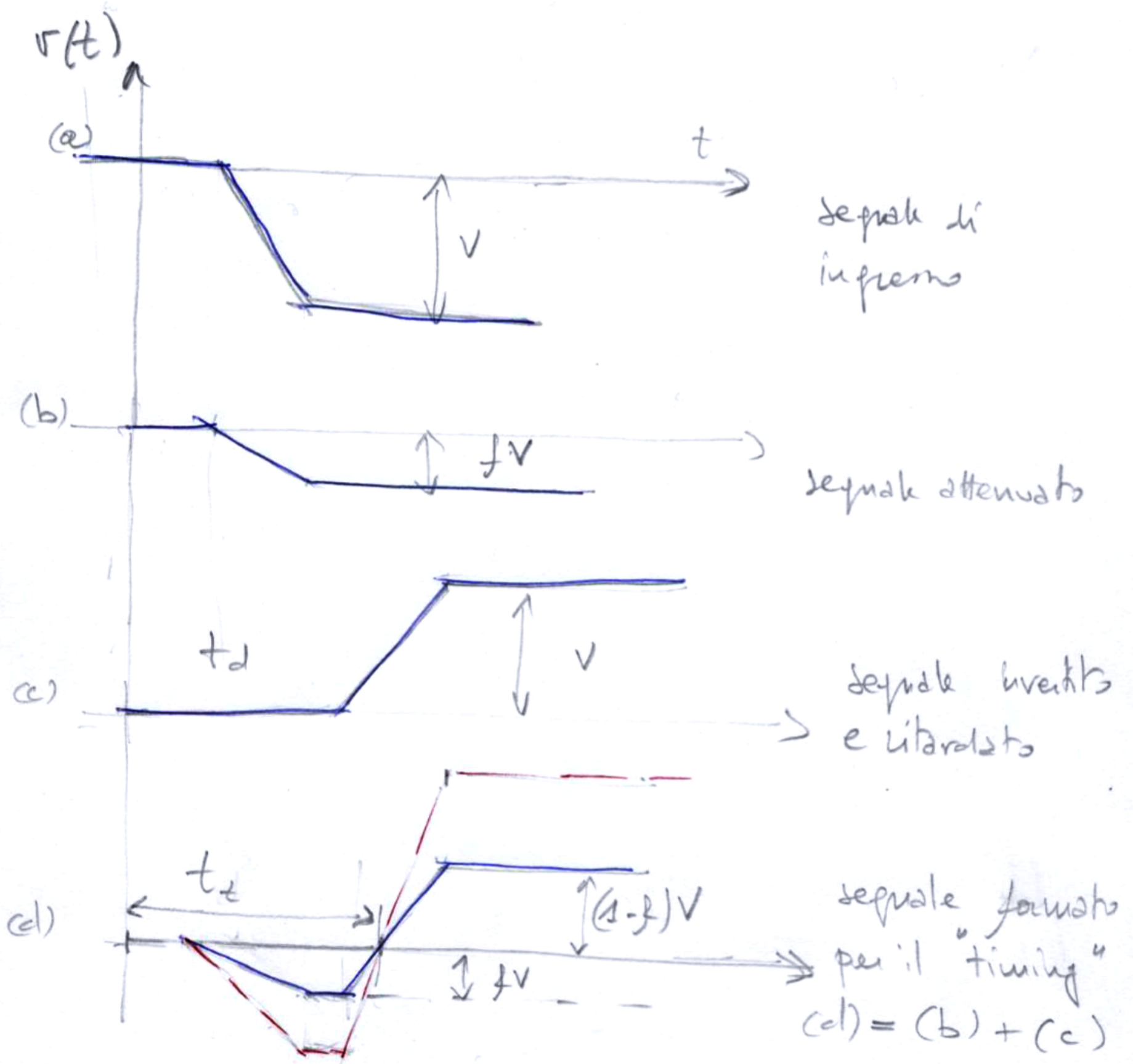
$$A \left(1 - e^{-\frac{t_s - t_0}{RC}} \right) = A_s$$

Da cui si ricava:

$$t_s = t_0 + RC \ln \left(\frac{A}{A - A_s} \right)$$

Registando contemporaneamente t_s (TDC) e
l'ampiezza del segnale A (ADC) si può risalire a t_0
il tempo effettivo del segnale

Discriminatore "Constant Fraction"



t_z = "zero crossing time"

indipendente dall'ampiezza (e dalla forma)

Es. Dimostrare per il caso in figura che t_z non dipende da V
 (Suggerimento: si scrive l'eq. della rampa e si risolve per $v(t_z) = 0$)

Esempio: Laboratorio 05-'06

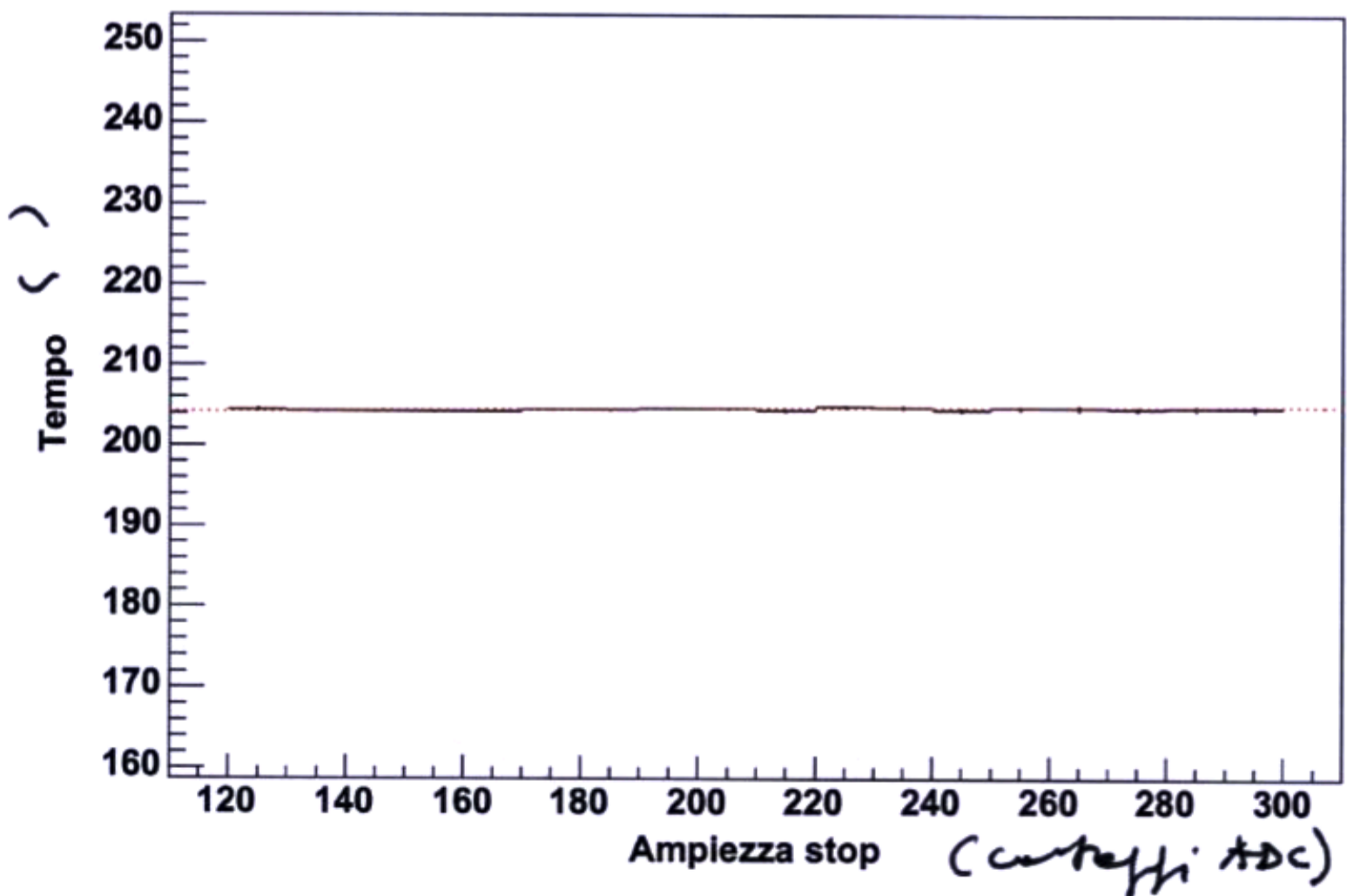
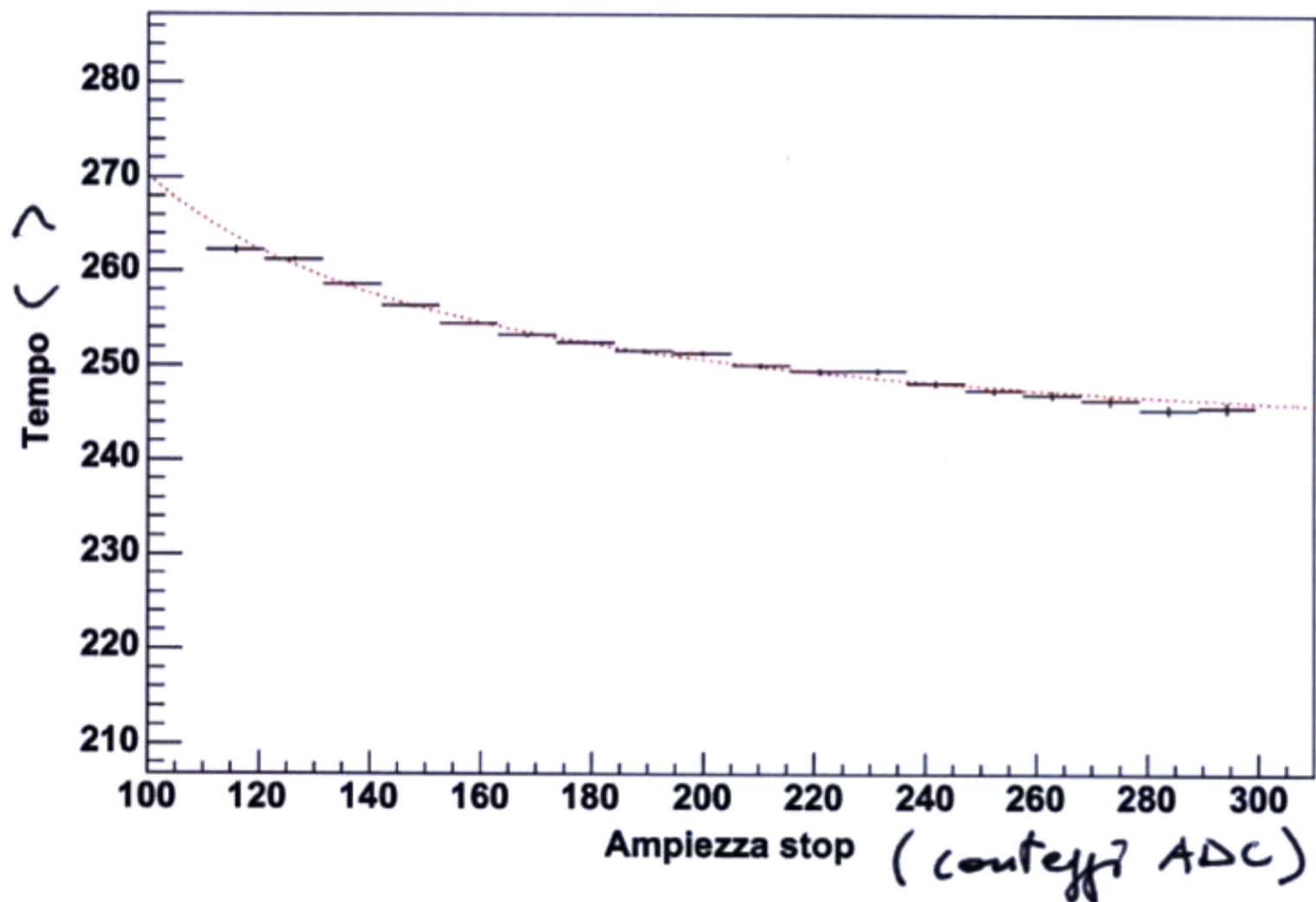


Figura 9: Dipendenza dall'ampiezza con solo discriminatore (alto) e con aggiunta del Constant Fraction (basso)

Algebra di Boole e coincidenza

"AND"
(coincidente)

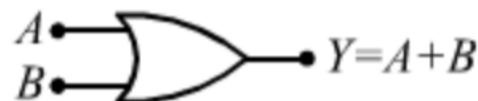
AND



A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

"OR"

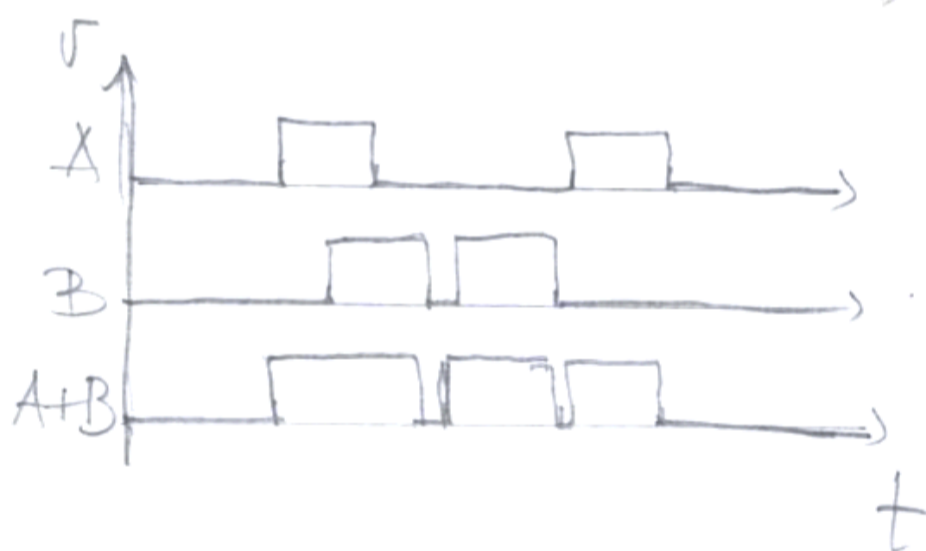
OR



A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

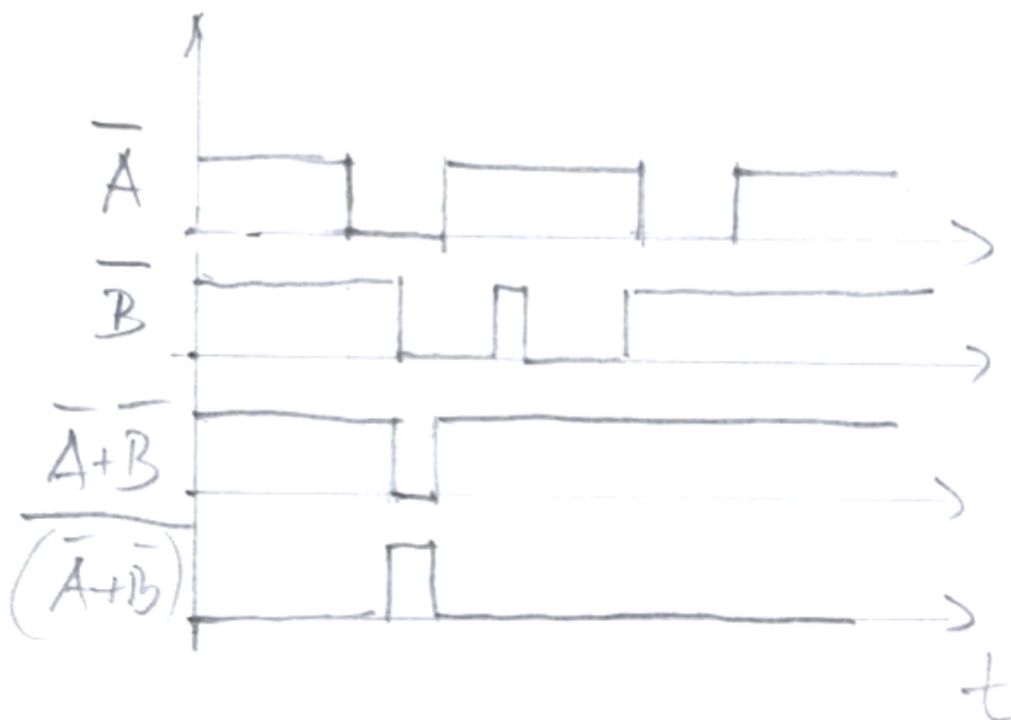


coincidenza temporale
di input logici



Legge di De Morgan

$$A \cdot B = \overline{(\bar{A} + \bar{B})}$$



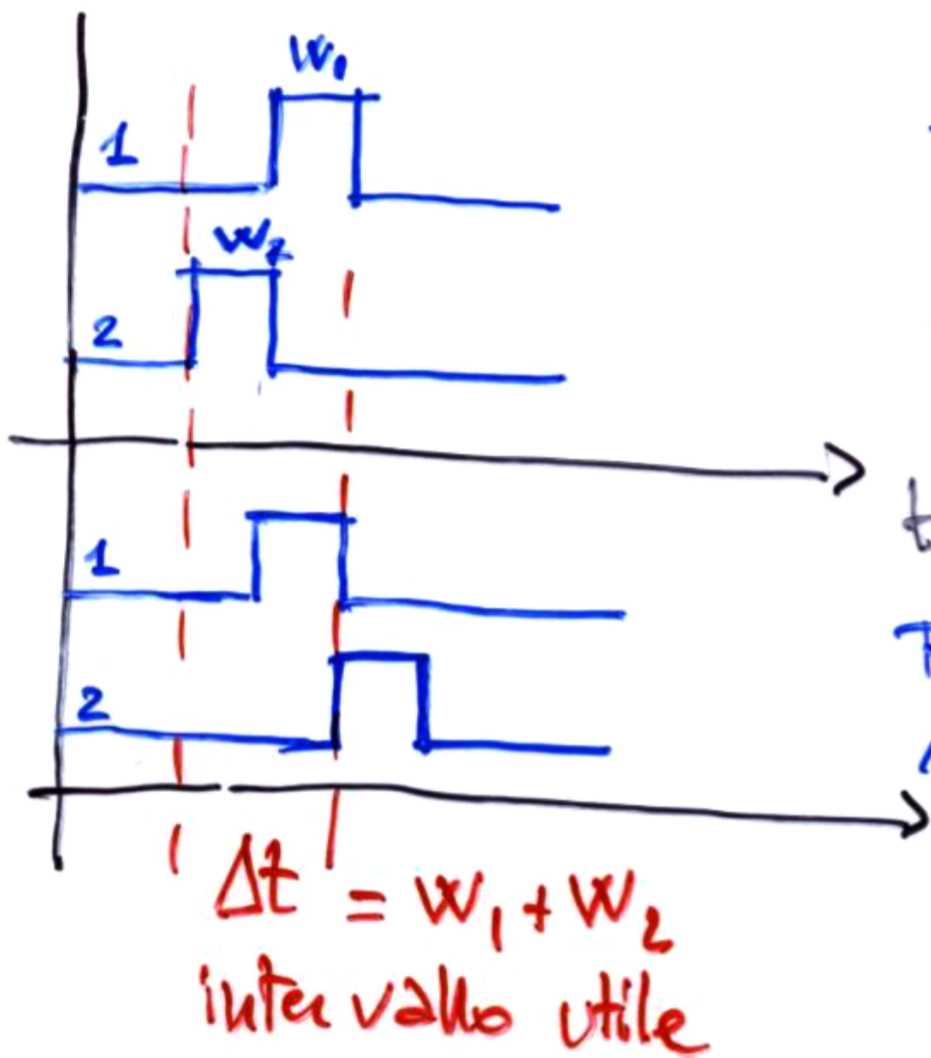
Algebra di Boole

Coincidente accidentali

11

Siano R_1 e R_2 la frequenza degli eventi registrati nei rivelatori ① e ②

Esiste la possibilità di coince. accidentali



$$T = R_1 \Delta t$$

frazione di tempo in cui si osserva un evento nel rivelatore.

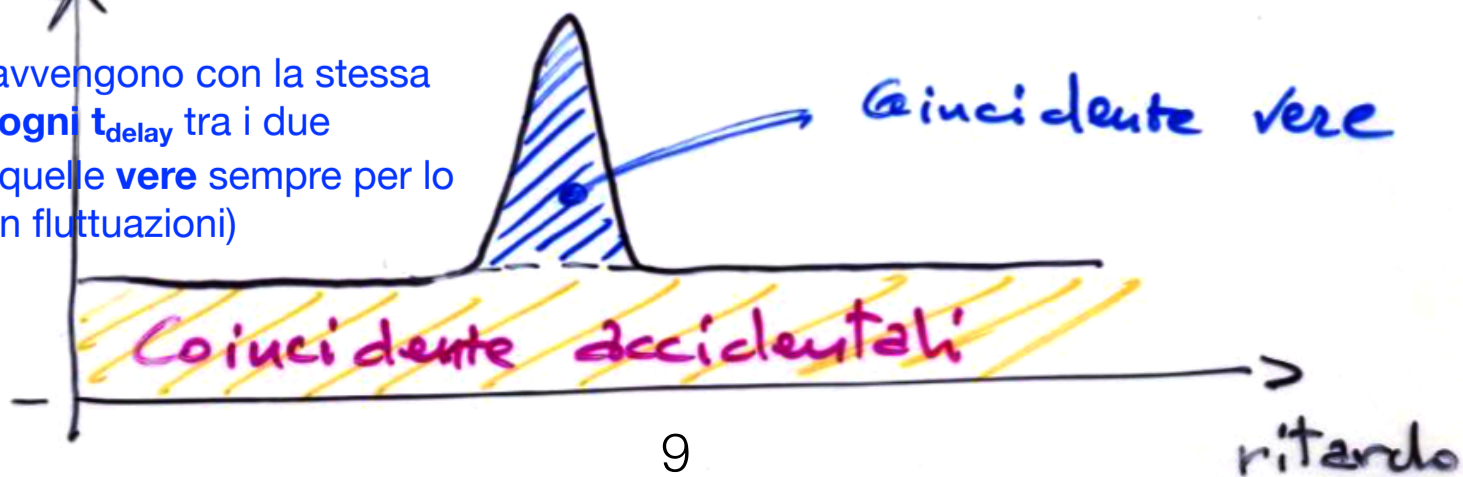
Hp) $R_2 \ll 1/T$

$R_2 T$ = rate di eventi nel rivelatore 2 durante il tempo T (frazione di tempo)

Coincidente accidentali: $R_1 R_2 \Delta t$

Coincidente

Le accidentali avvengono con la stessa probabilità per ogni t_{delay} tra i due segnali, mentre quelle vere sempre per lo stesso t_{delay} (con fluttuazioni)



FLUSSO E DISTRIBUZIONE ANGOLARE

DI MUONI PENETRANTI

Intensita' integrale per $P_{\mu} \approx 1 \text{ GeV}/c$

$$I(\theta) = I_{\nu} \cdot \cos^2 \theta$$
$$I_{\nu} = 70 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$$

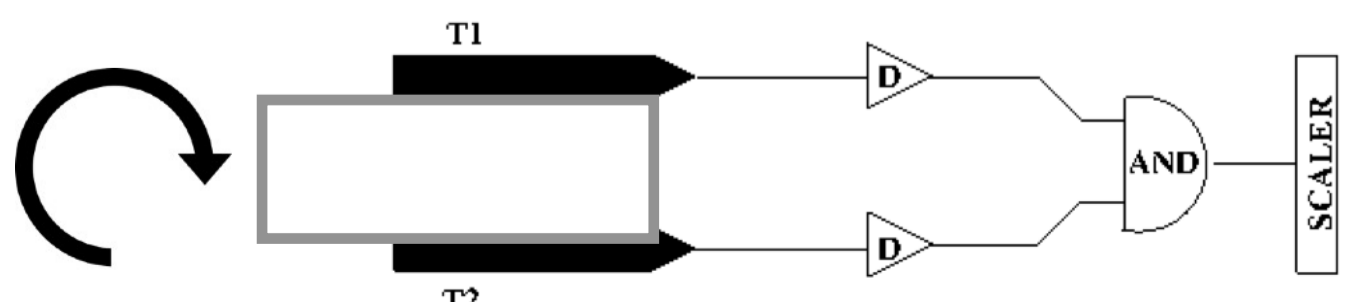
θ = angolo zenitale, $I_{\nu} = I(\theta=0)$

Flusso su una superficie orizzontale

$$I = I_{\nu} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi/2} \cos^2 \theta d(\cos \theta) \rightarrow \text{solo dall'alto}$$

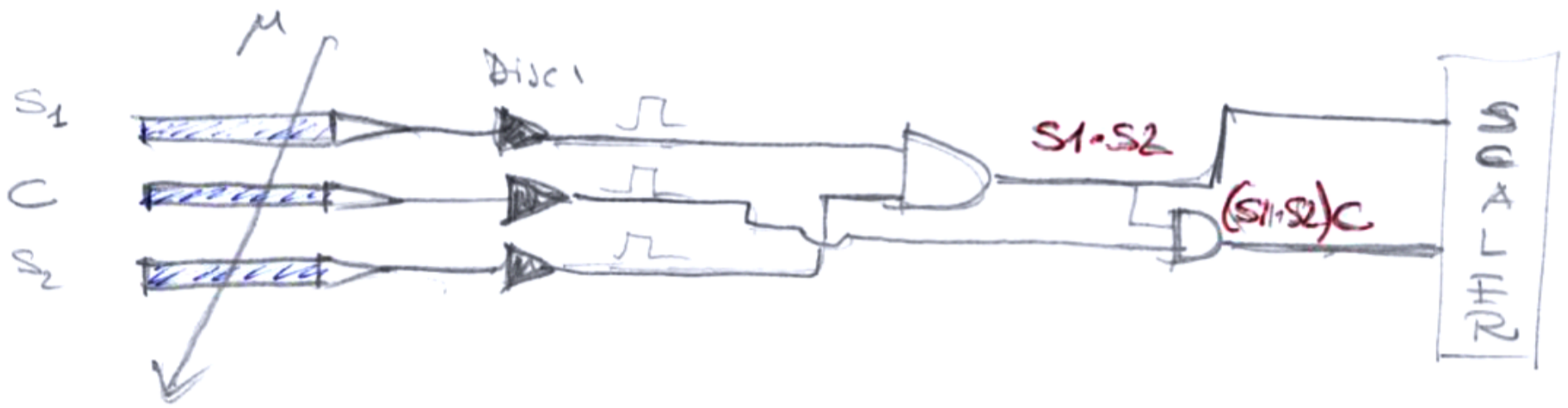
$$= \frac{2\pi}{3} I_{\nu} \approx 1 \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$$

La misura viene eseguita misurando il flusso di muoni al variare dell'angolo zenitale vincolando **due scintillatori** ad una struttura rotante e ponendoli **in coincidenza** tra loro



Misure di efficienza tramite coincidenze

$$\text{Efficienza} = \frac{N^{\circ} \text{ particelle rivelate}}{N^{\circ} \text{ particelle incidenti}}$$



$N_{S1.S2}$ = n° di μ visti da $S1$ e $S2$ e che, dunque, attraversano C

$N_{S1.S2.C}$ = n° di μ visti da $S1, S2$ e C

Efficienza del contatore C :

$$E_C = \frac{N_{S1.S2.C}}{N_{S1.S2}}$$

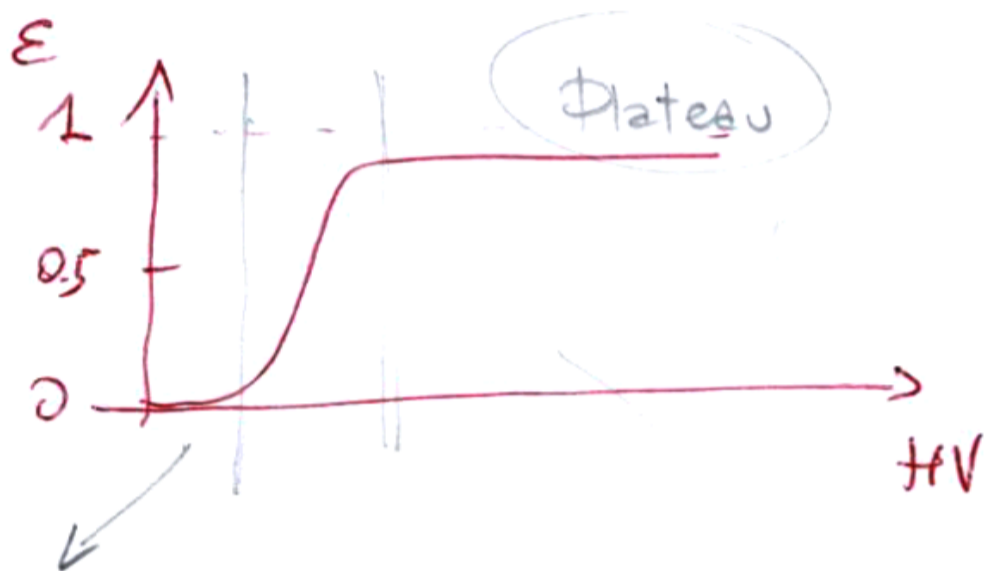
Nota: 1) Non serve conoscere l'efficienza di $S1$ e $S2$

2) La misura è affetta da errore legato alla statistica di conteggio -

Esercizio: Trovare l'espressione dell'errore -

Curve di efficienza e conteggi di singola

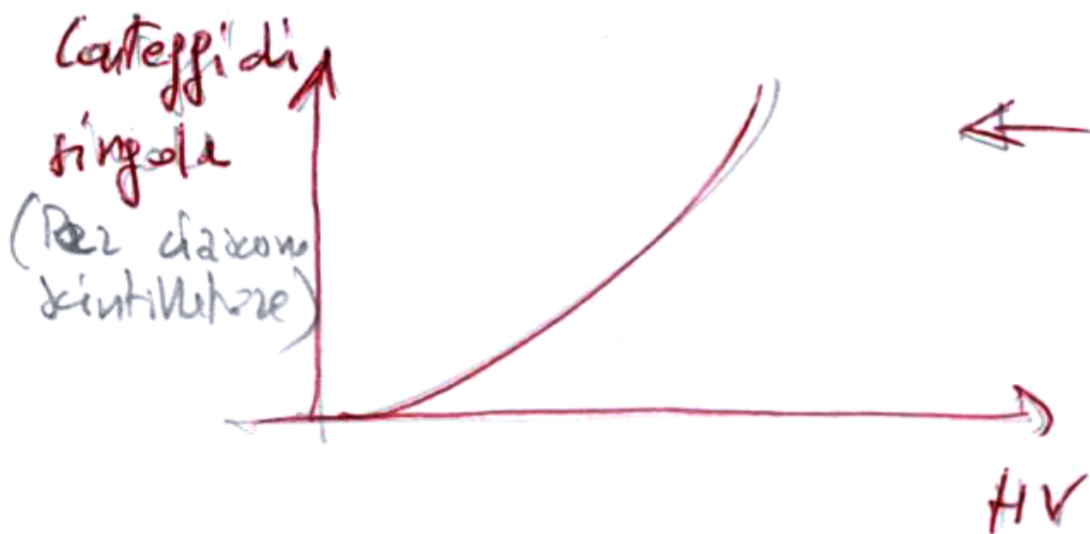
Misure a soglia fissa:



Rappresenta l'integrale dello spettro della soglia in su -

Segnali di ampiezza inferiore alla soglia del discriminatore

Tutti i segnali hanno ampiezza superiore alla soglia del discriminatore

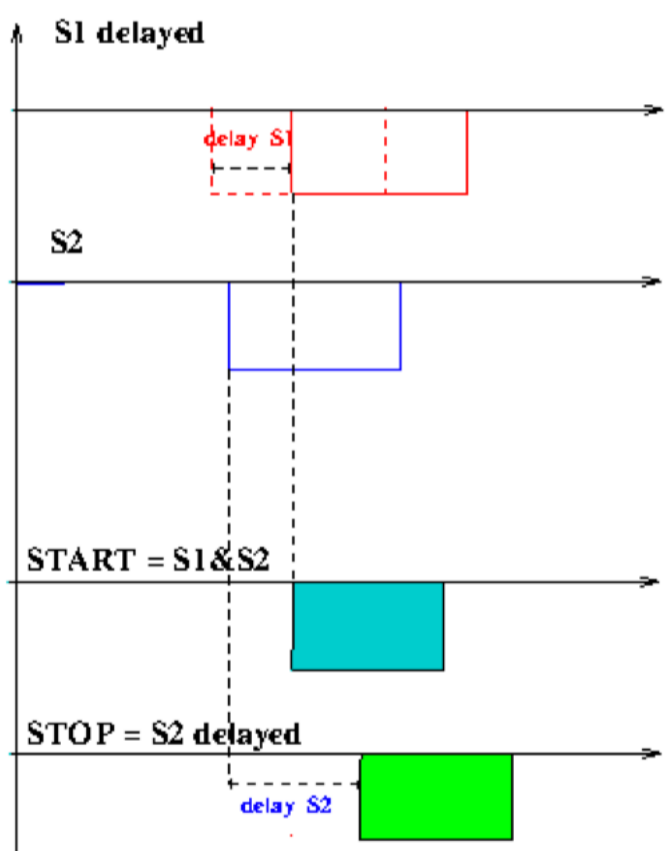
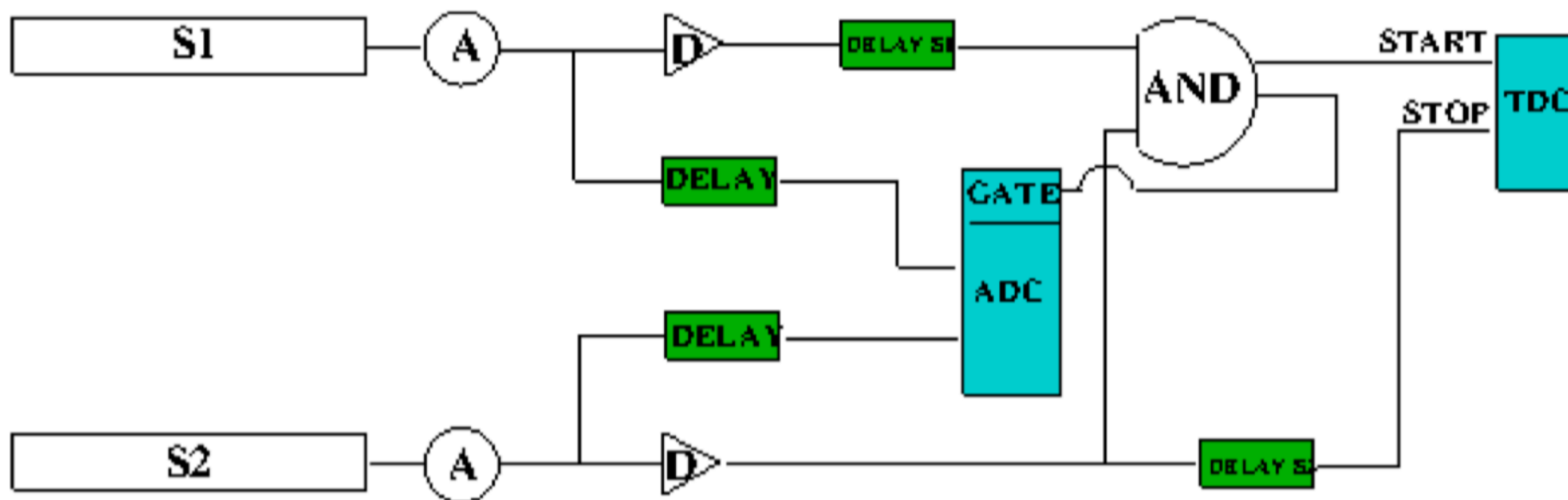


elevati conteggi di singola = alta prob. di coincidenze accidentali

Compromesso in HV \rightarrow efficienza in plateau
 e livello di soglia \rightarrow conteggi di singola limitati

Misura della velocità dei muoni

Schema completo



Start: coincidenza tra S1 ritardato e S2.
NB: la finestra di coincidenza viene aperta da S2.

Stop: S2 opportunamente ritardato per arrivare dopo lo start.

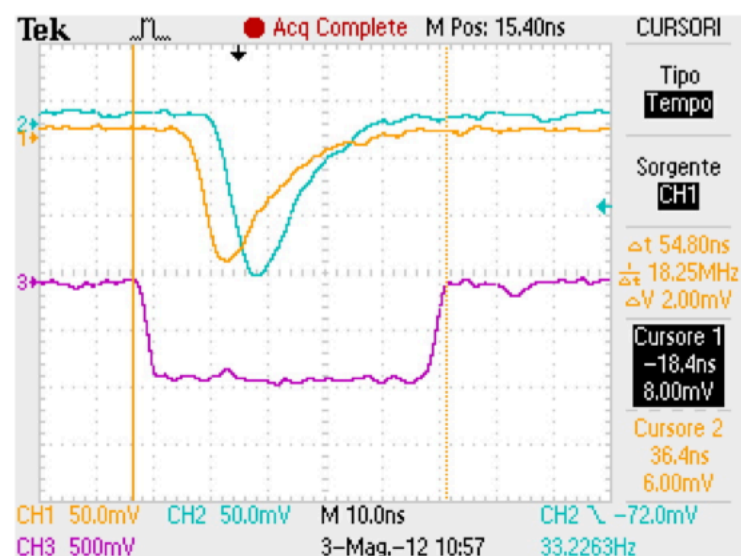
=> è **più efficiente** come metodo:

- apro la finestra di coincidenza solo quando sono sicura che è arrivato segnale su S2, e quindi con alta probabilità anche su S1;
- faccio partire lo start solo quando c'è la coincidenza.

ADC: acquisisco S1 e S2 solo se il gate è aperto.

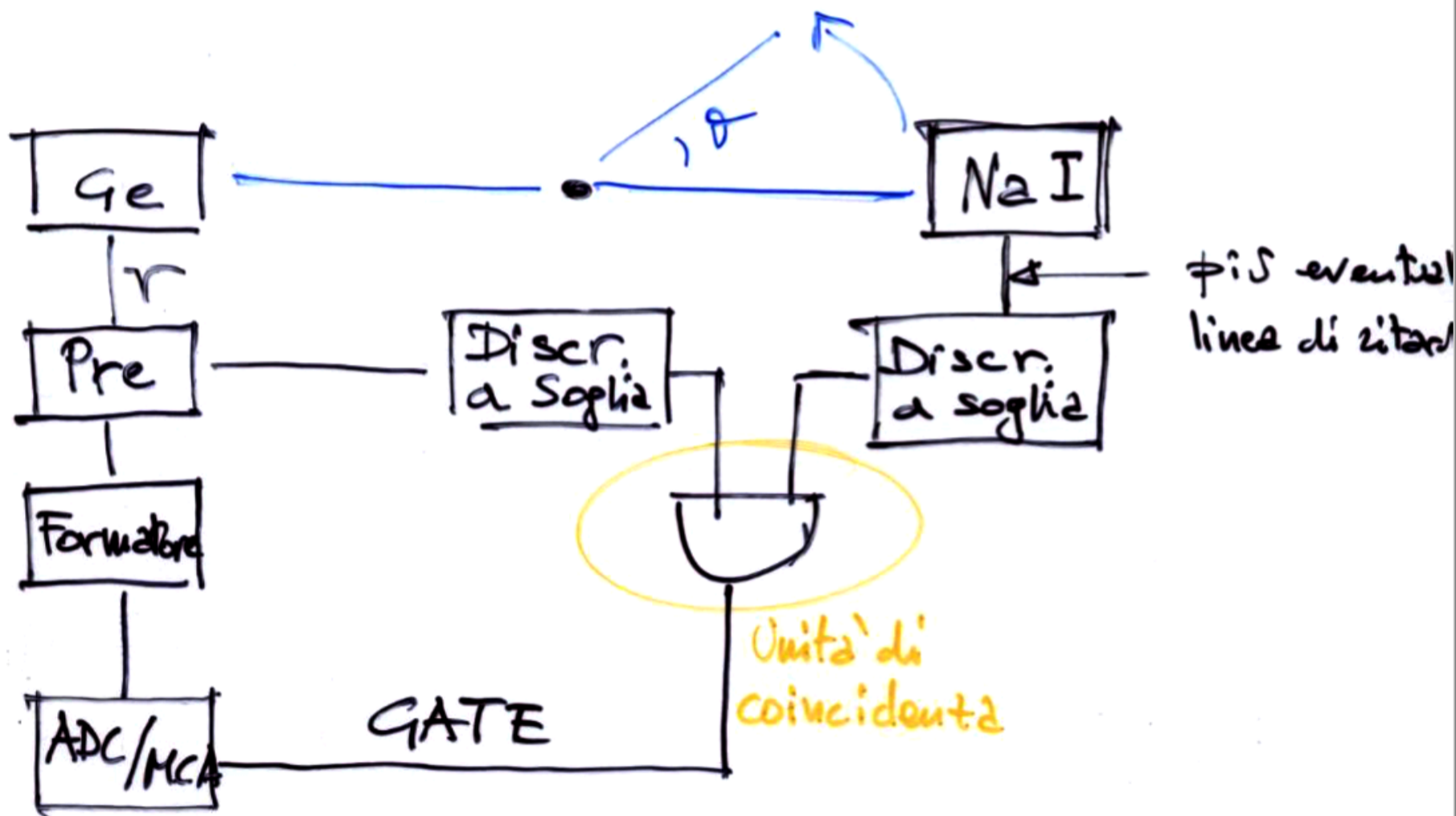
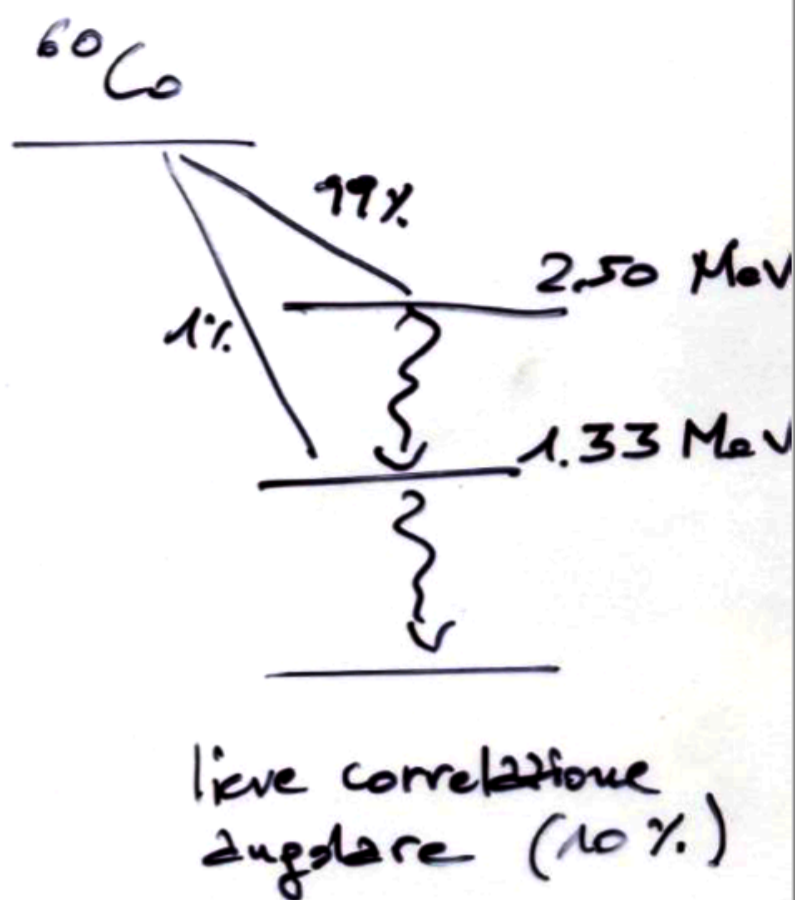
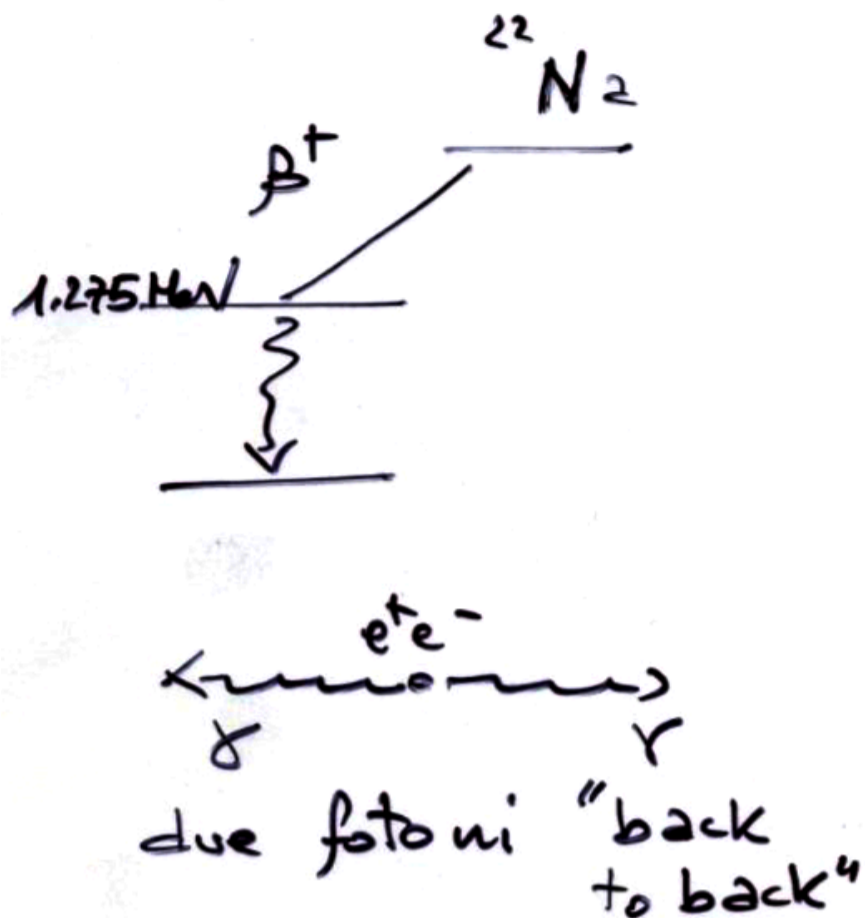
=> Devo assicurarmi che finiscano nella finestra di gate i massimi degli impulsi.

Il **gate** è dato dalla **coincidenza**



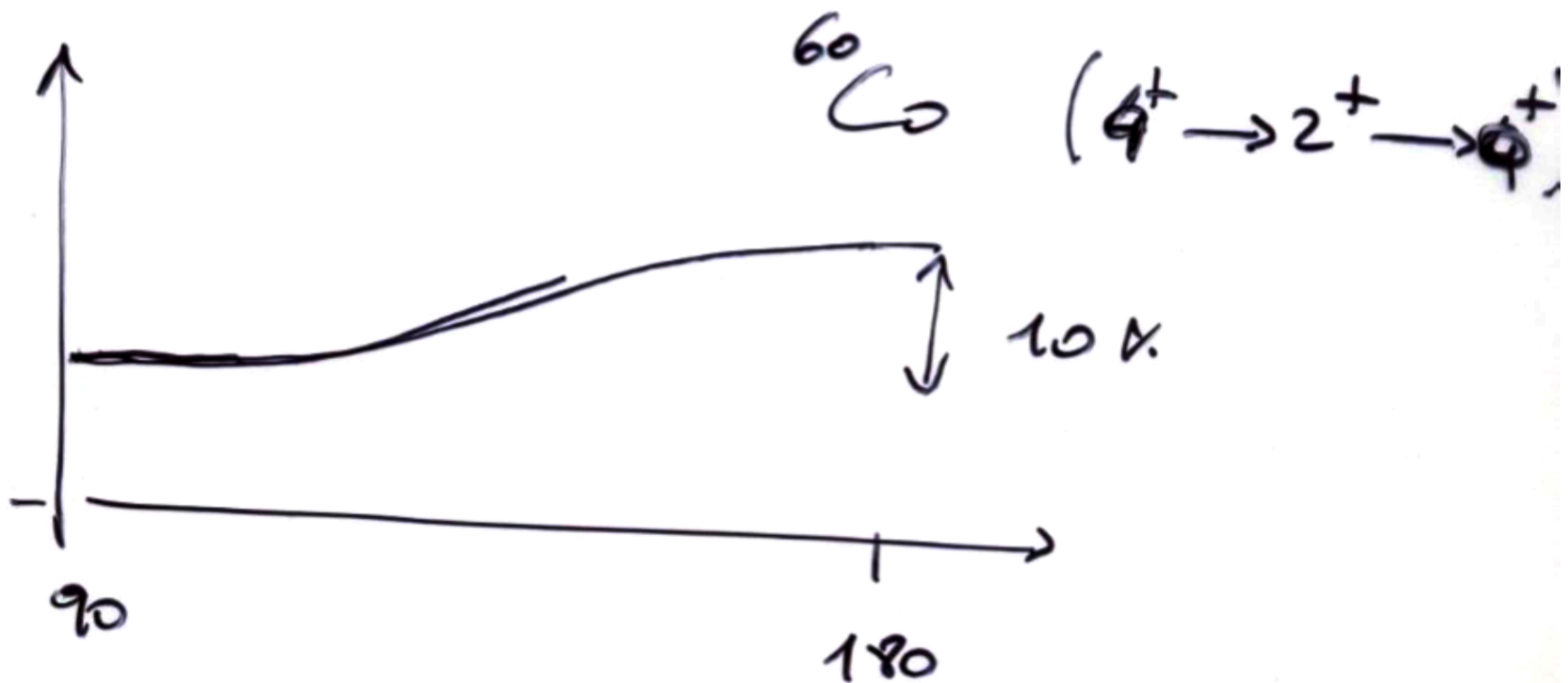
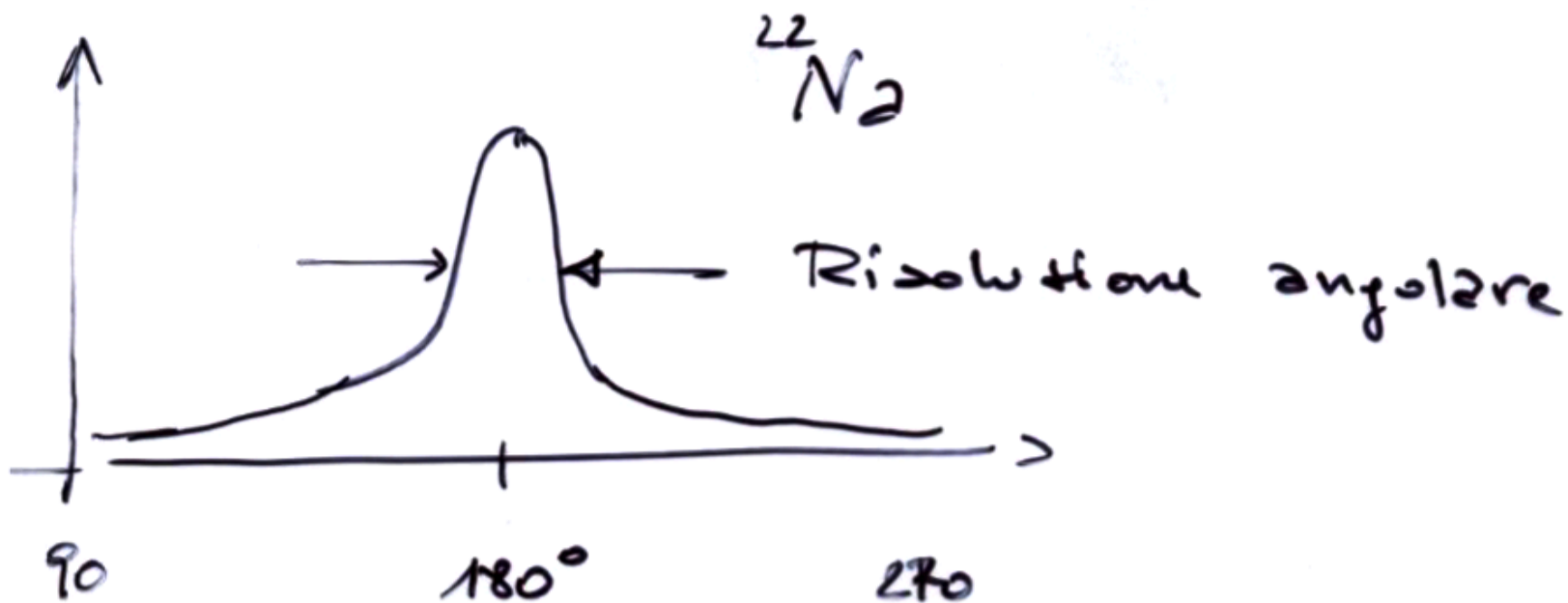
Misure in coincidenza per studio di correlazioni angolari

Coincidenze e correlazioni angolari $\gamma\gamma$



Analisi spettrale dei fotoni incidenti sul Ge condizionata dalla richiesta di coincidenza tra i due rivelatori

CORRELAZIONI ANGOLARI



$$W(\theta) = F \left[1 + \frac{1}{8} \cos^2 \theta + \frac{1}{24} \cos^4 \theta \right]$$

Correlazione angolare tra i due fotoni

Coefficienti dei polinomi di Legendre per transizioni di quadrupolo

MISURA PET

È una misura **analoga** a quella precedentemente descritta per **HPGe vs. NaI(Tl)** con sorgente di ^{22}Na , solo che qui si utilizzano **due NaI**:

- uno dei due è utilizzato per aprire il gate dell'ADC in corrispondenza della rivelazione di un gamma da 511 keV;
- l'altro per misurare tutti gli eventi in coincidenza con il primo.

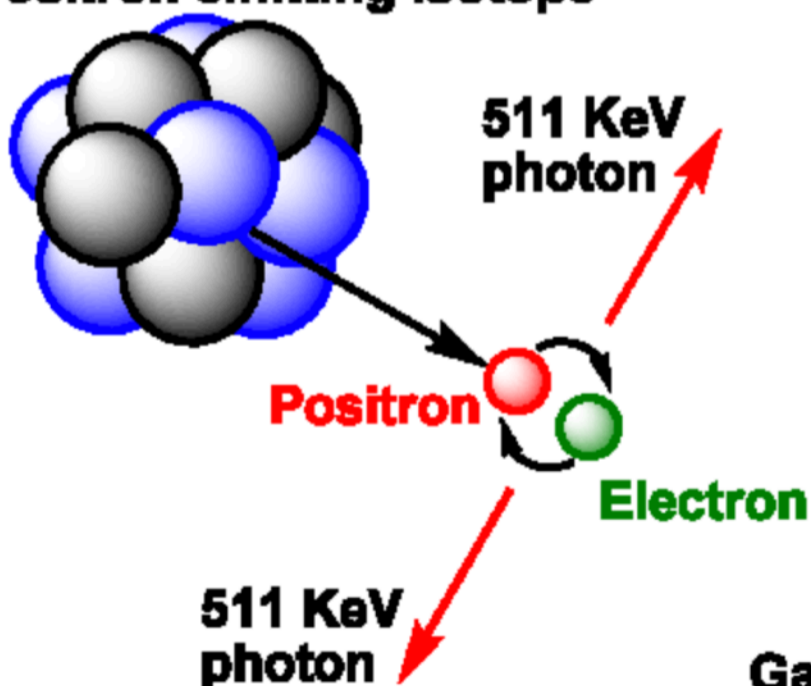
Dovrete analizzare l'**intensità del picco a 511 keV** al variare **dell'angolo** per diverse posizioni della sorgente, per ricavare l'angolo a cui si trova il **massimo**.

Questo lo farete senza **materiale interposto**, ma anche interponendo materiali (acqua, sale..) per valutare come cambia il risultato.

Nella realtà ci sono tanti rivelatori disposti su una corona circolare

^{11}C

Positron emitting isotope



PET scan

Detector

