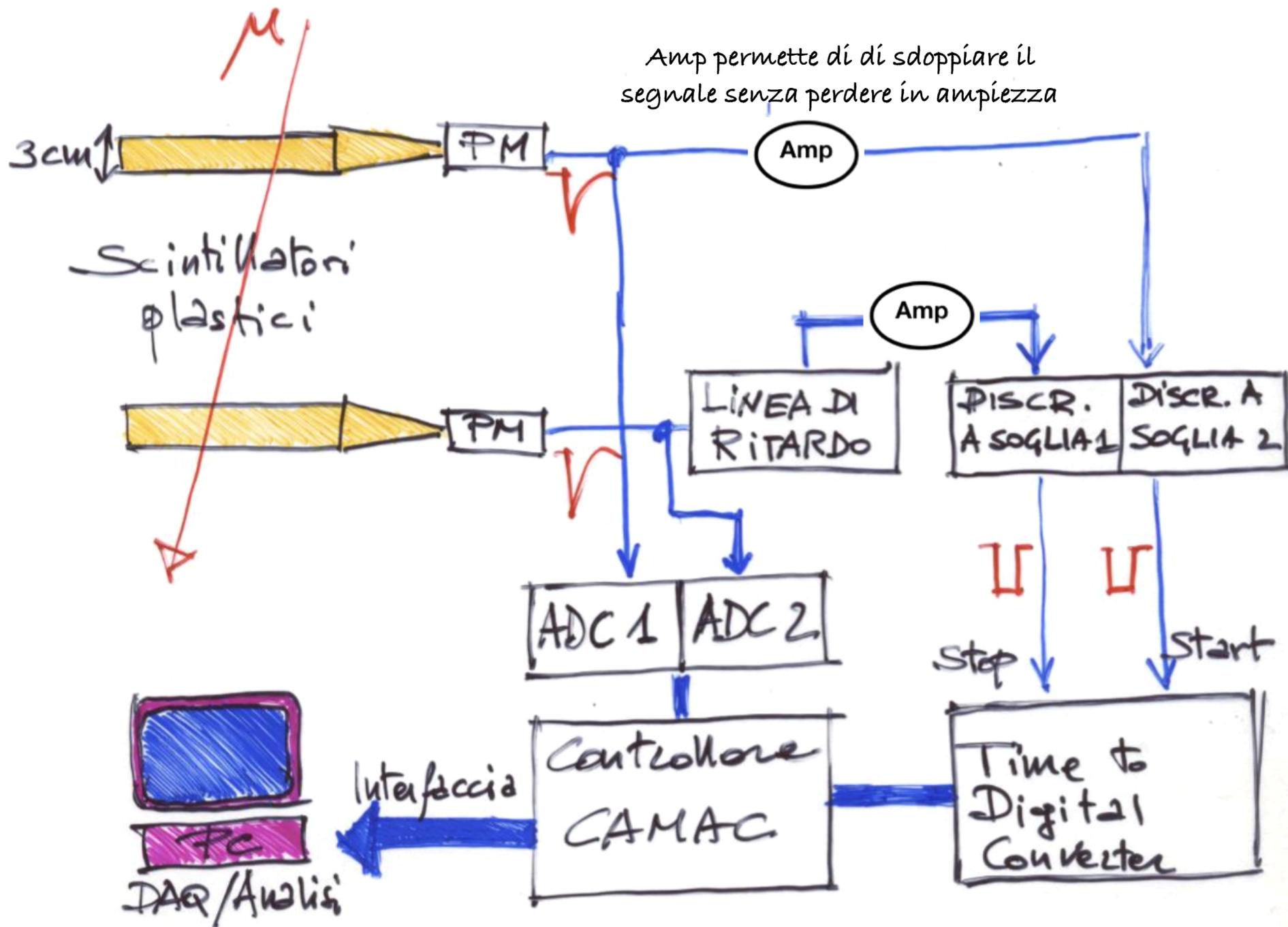


# MISURE DI TEMPO

- Misura di tempo di volo/velocità dei  $\mu$
- Misure in coincidenza

# Misura della velocità dei muoni

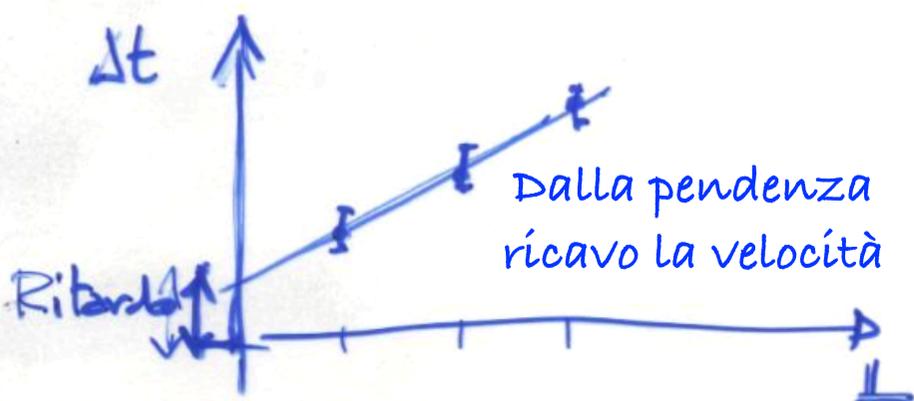
## Schema semplificato senza coincidenza



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

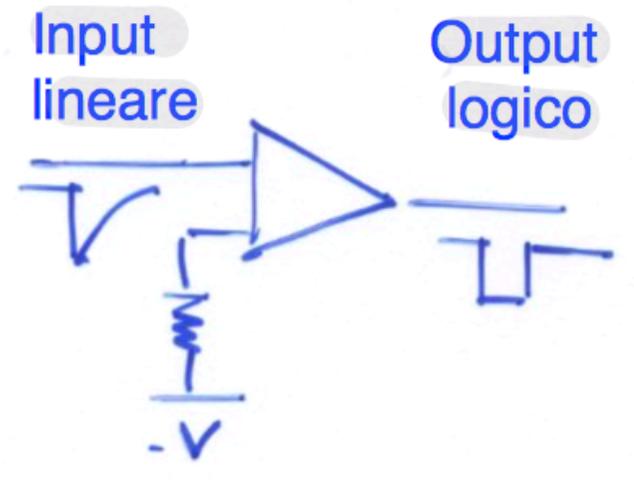
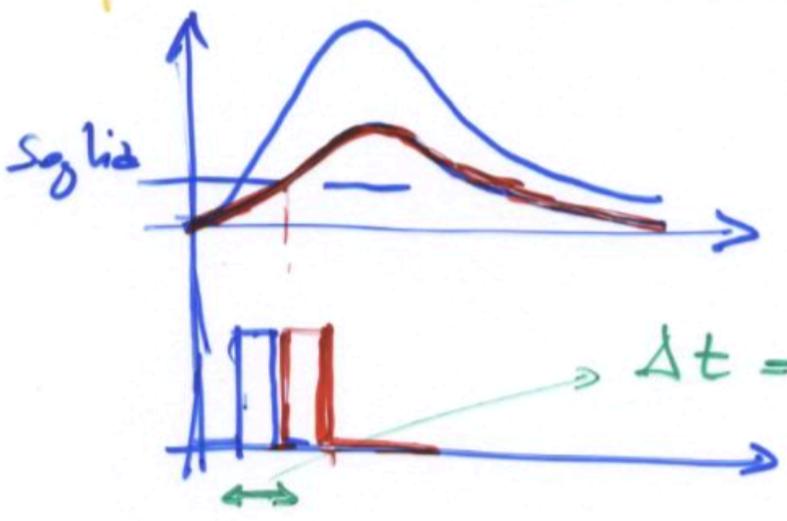
Distanza di volo  $0 \div 3 \text{ m}$

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



# STRUMENTAZIONE

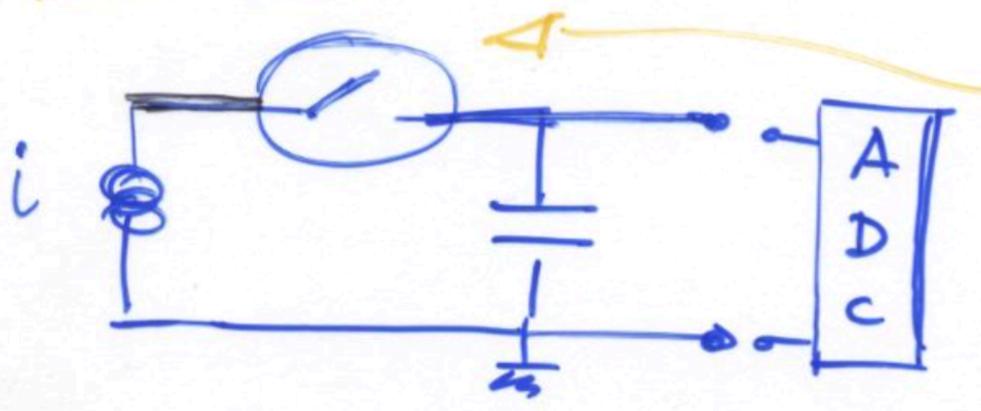
## Discriminatori a soglia:



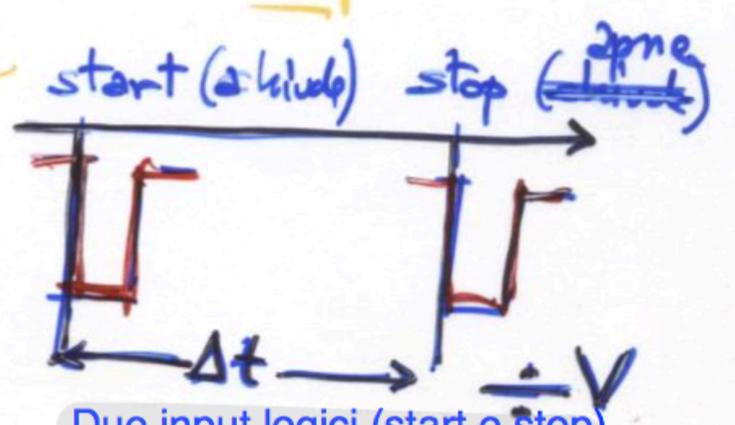
$\Delta t =$  "Amplitude walk"  
 contribuisce alla risoluzione temporale.

- 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  $\Delta t$  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"

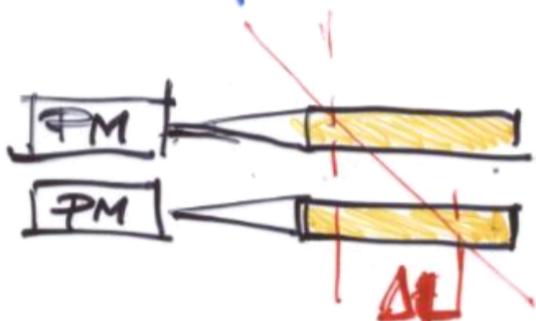
Le fluttuazioni random sovrapposte agli impulsi di segnali di identica forma e ampiezza causano il superamento della soglia di trigger in istanti diversi, e quindi la produzione dell'impulso logico di out a tempi diversi

## • "Amplitude walk"

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

- angolo di incidenza ( $S_{px}/\cos\theta$ )
- 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

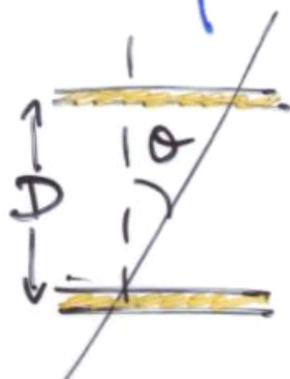
Metodo per stimare  $\Delta t$ :



$$t_1 \sim t_2$$

$$t_2 \sim t_1 + \Delta t$$

## • 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:

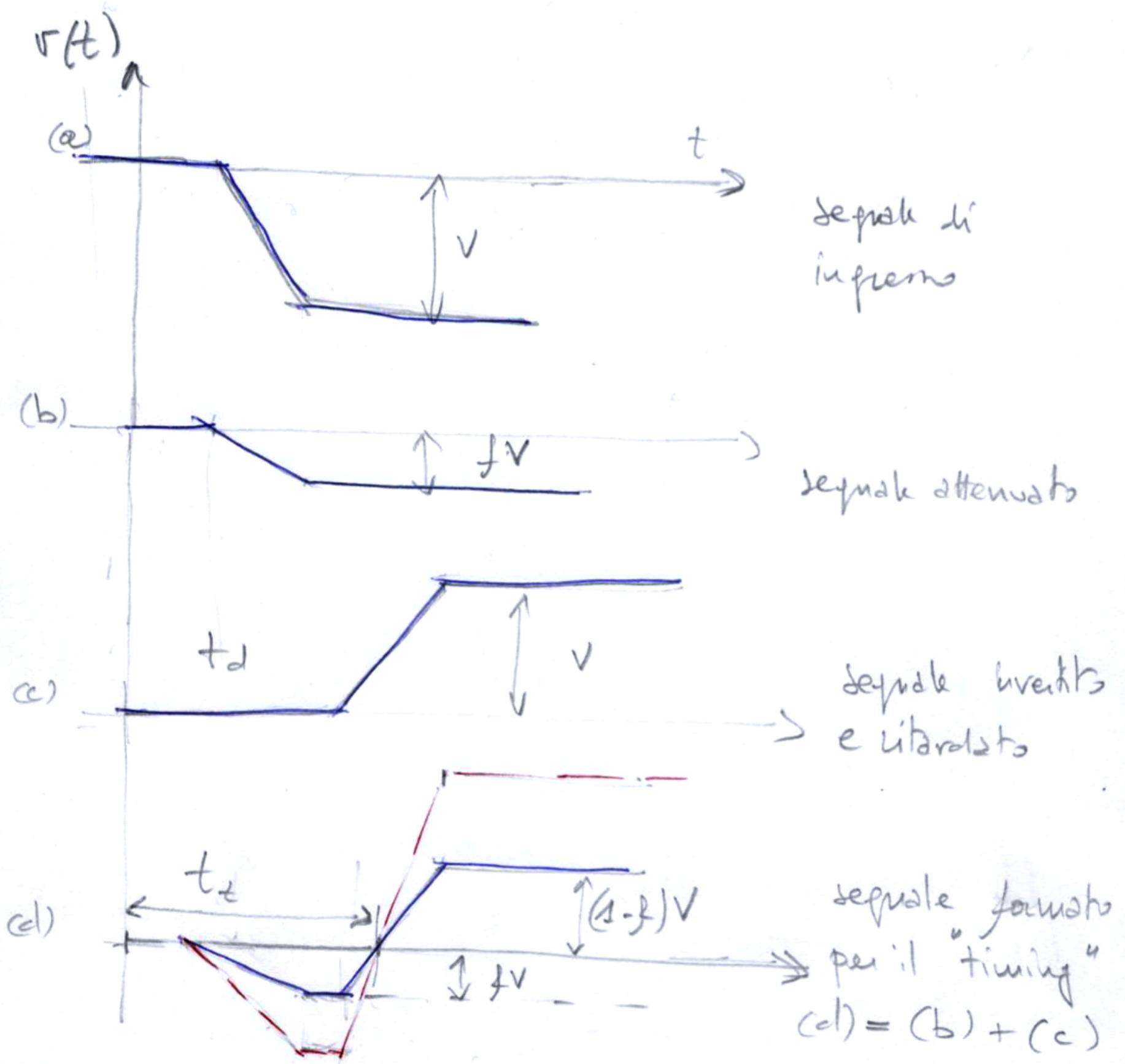
$$A \left( 1 - e^{-\frac{t_s - t_0}{RC}} \right) = A_s$$

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

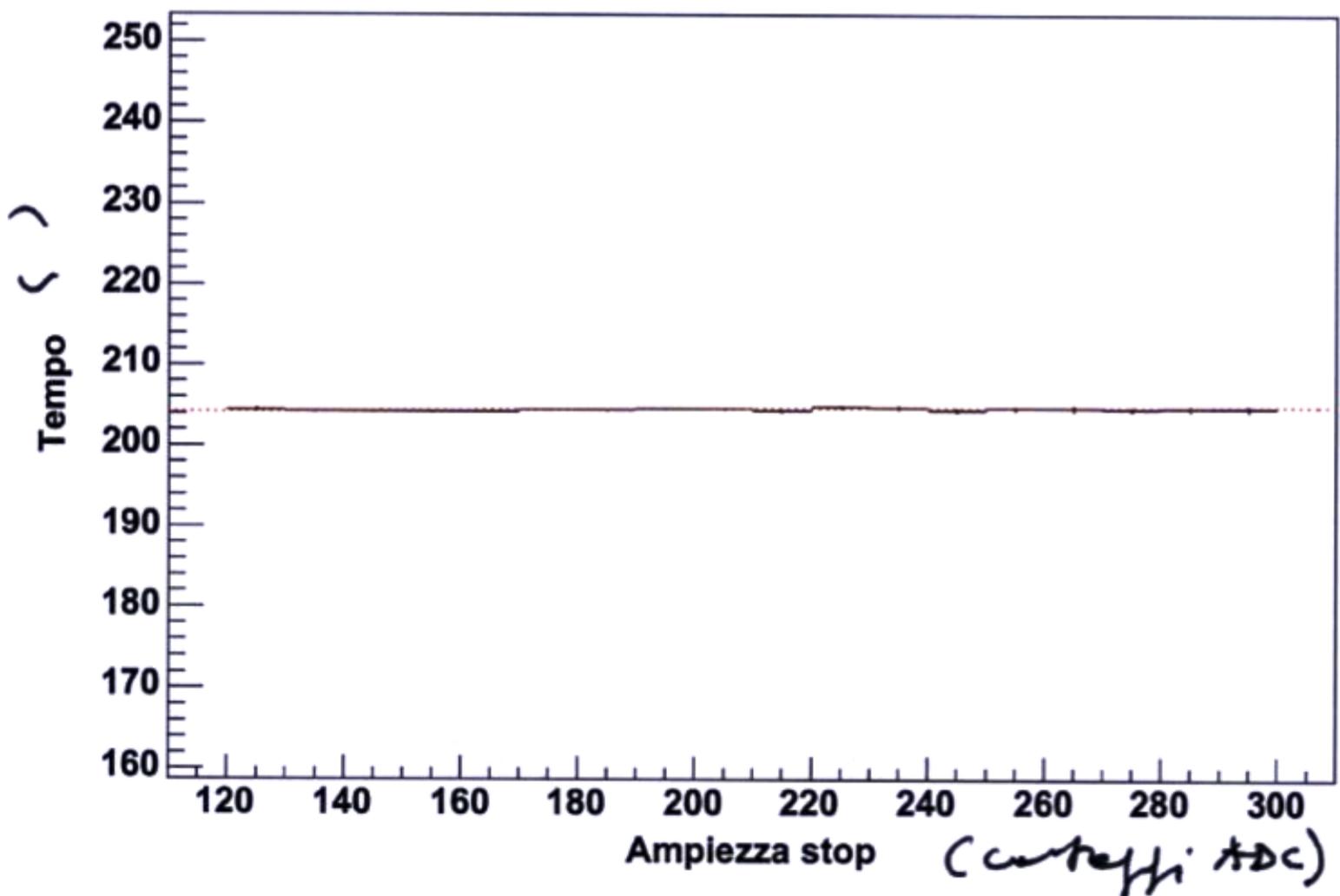
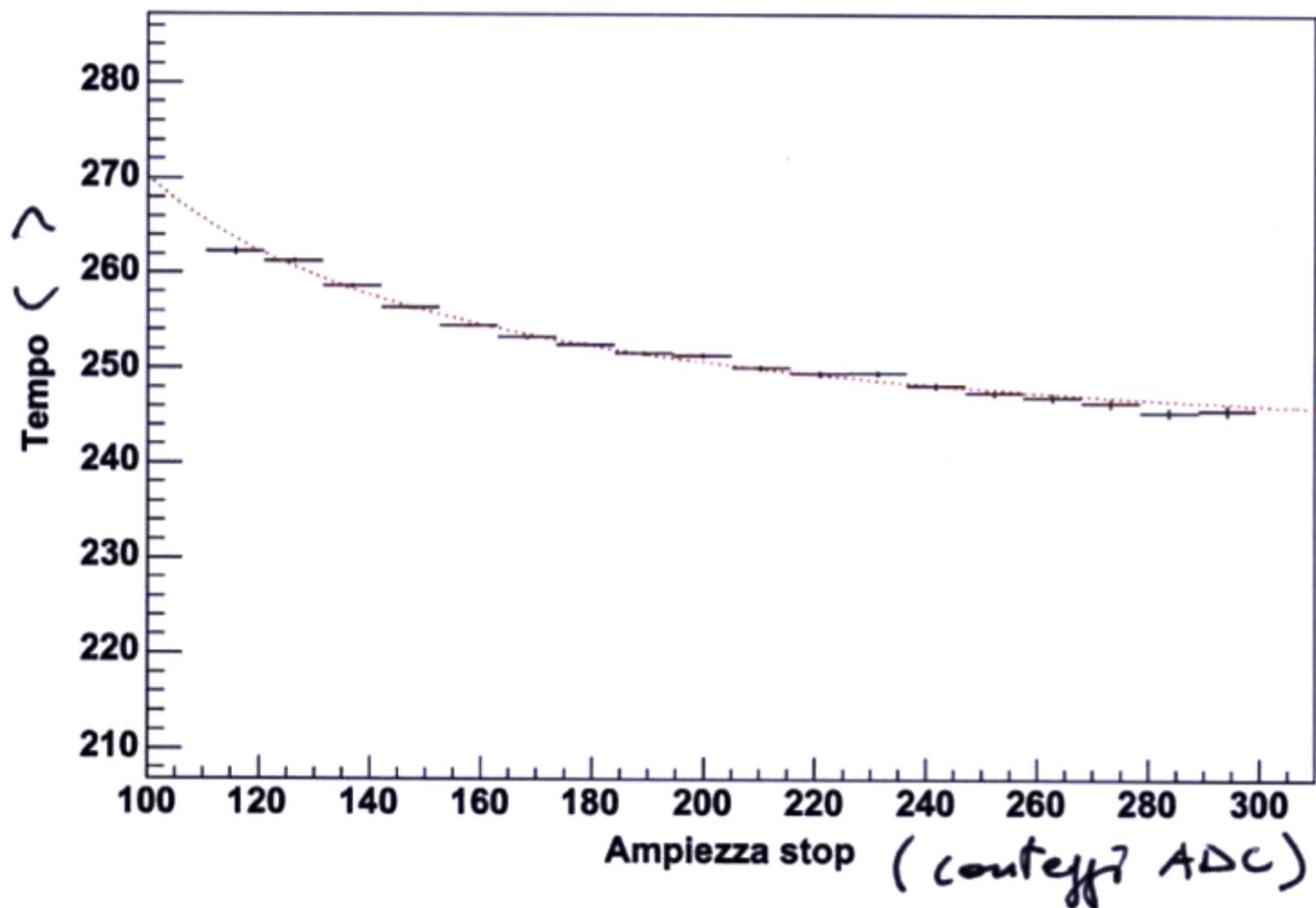


Figura 9: Dipendenza dall'ampiezza con solo discriminatore (alto) e con aggiunta del Constant Fraction (basso)

# Algebra di Boole e coincidenza

**"AND"**  
(coincidente)

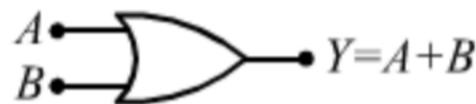
AND



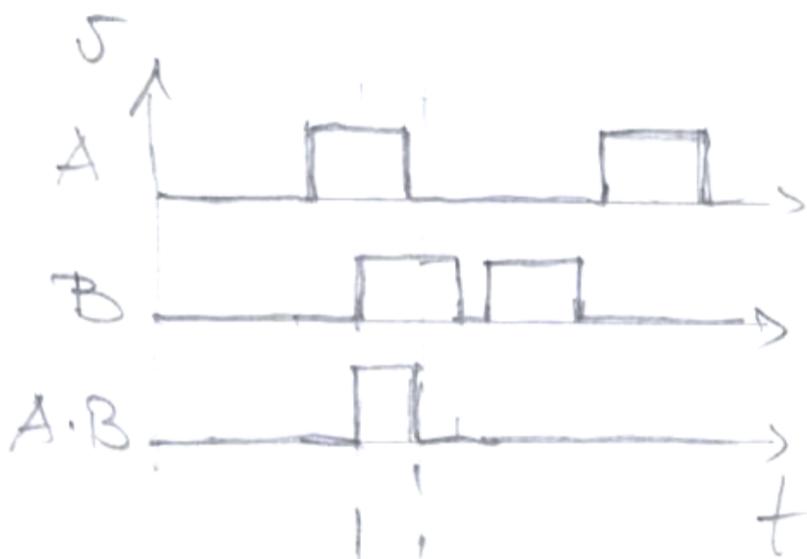
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

**"OR"**

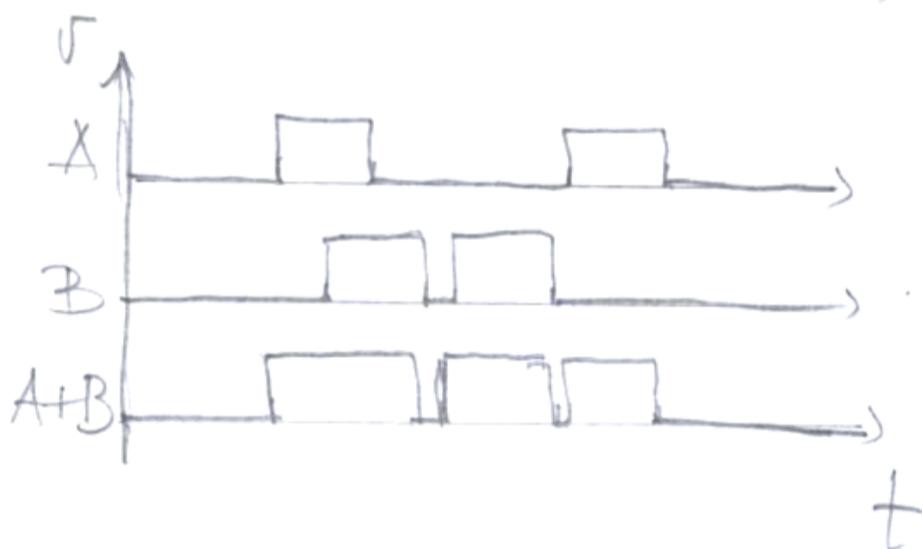
OR



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

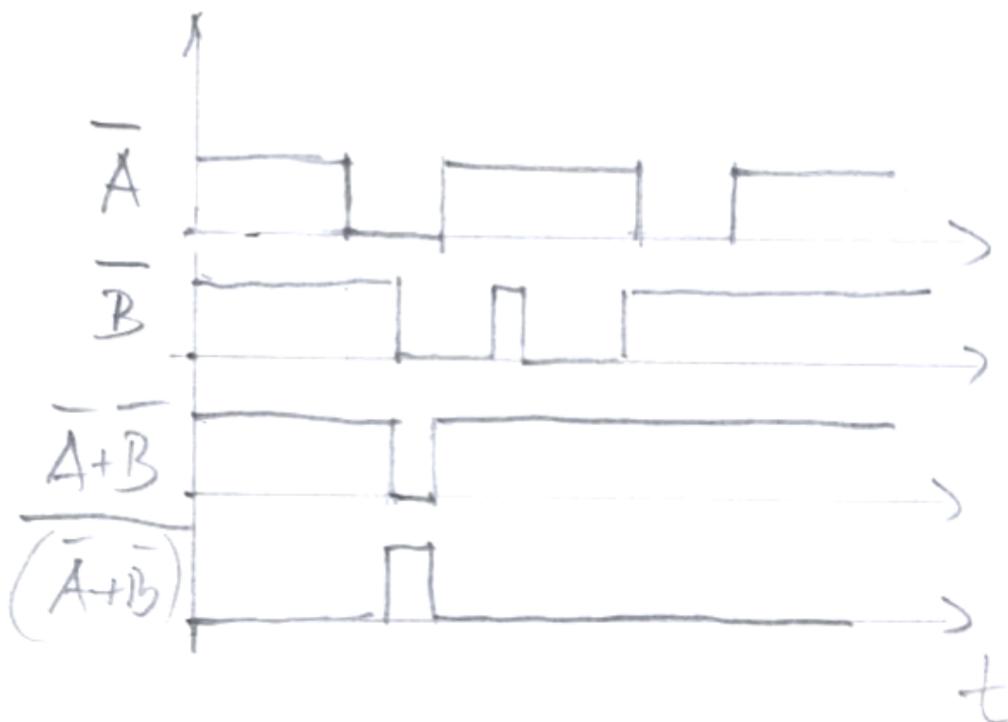


coincidenza temporale  
di input logici



legge di De Morgan

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



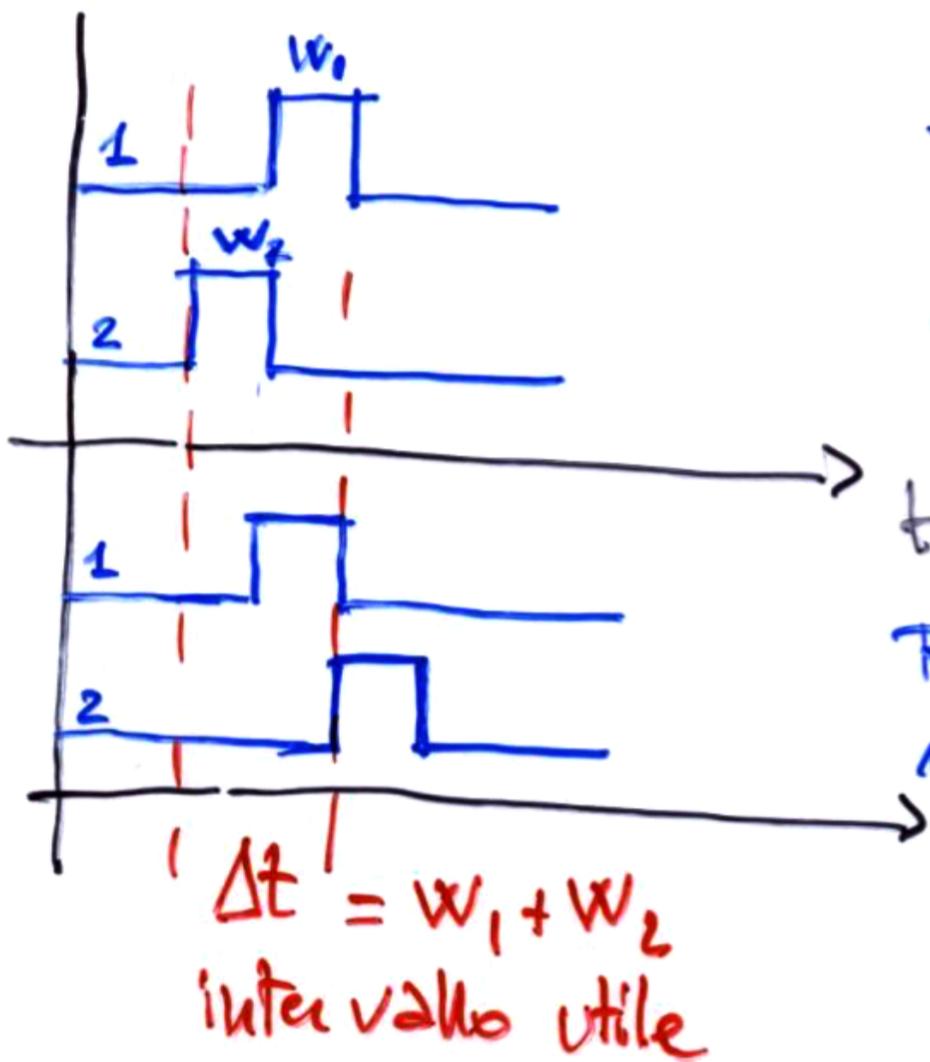
Algebra di Boole

# 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



$$T = R_1 \Delta t$$

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

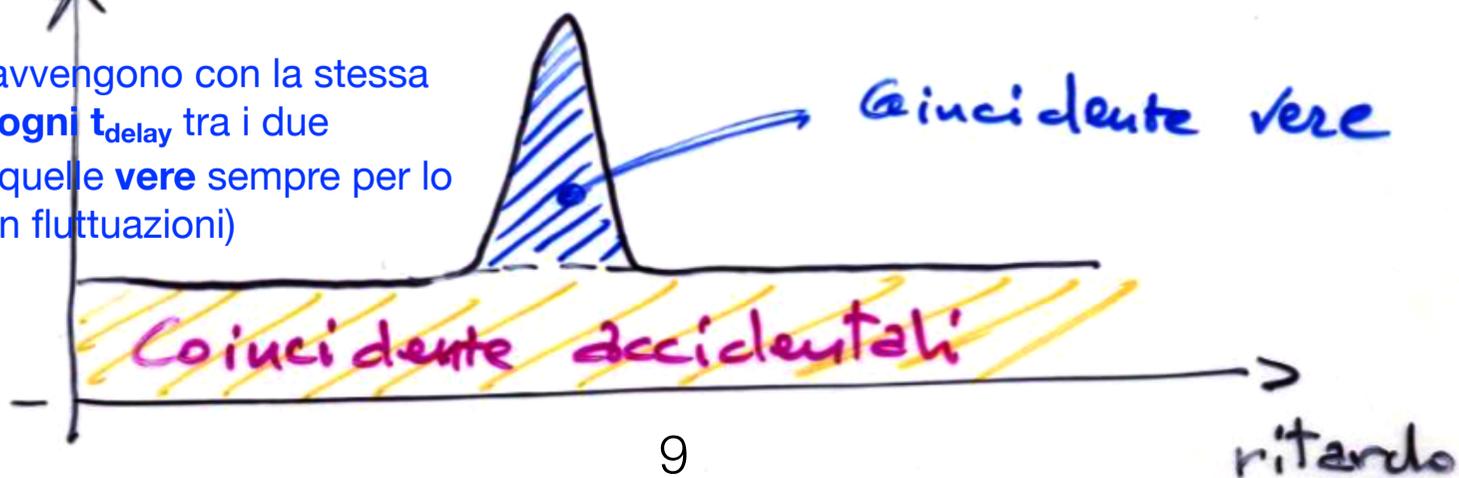
Hp)  $R_2 \ll 1/T$

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

Coincidente accidentali:  $R_1 R_2 \Delta t$

Coincidente

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



# FLUSSO E DISTRIBUZIONE ANGOLARE

11

## DI MUONI PENETRANTI

Intensità integrale per  $P_{\mu} \geq 1 \text{ GeV}/c$

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

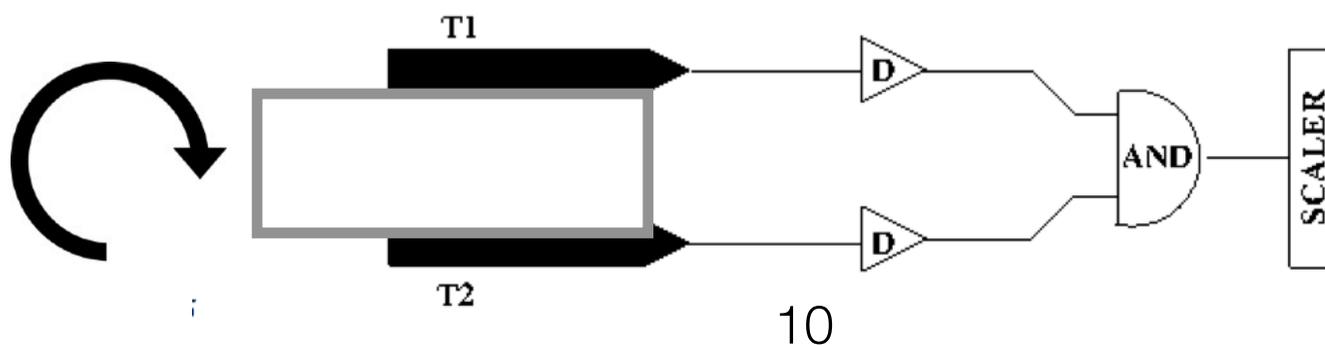
$\theta$  = angolo zenitale,  $I_{\nu} = I(\theta=0)$

Flusso su una superficie orizzontale

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

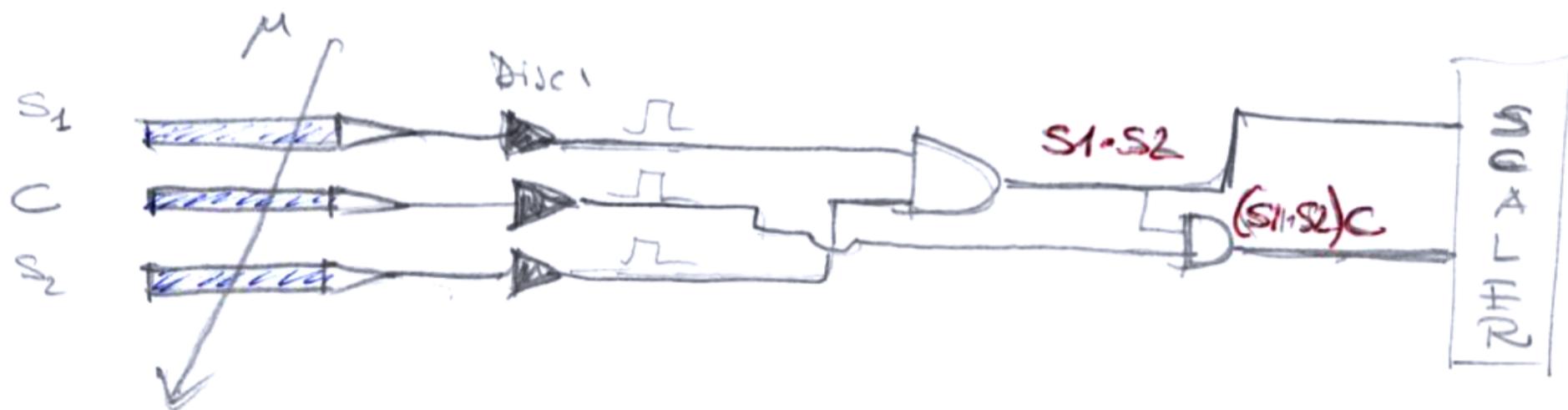
$$= \frac{2\pi}{3} I_{\nu} \approx 1 \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$$

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  $\mu$  visti da  $S1$  e  $S2$  e che, dunque, attraversano  $C$

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

Efficienza del contatore  $C$  :

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

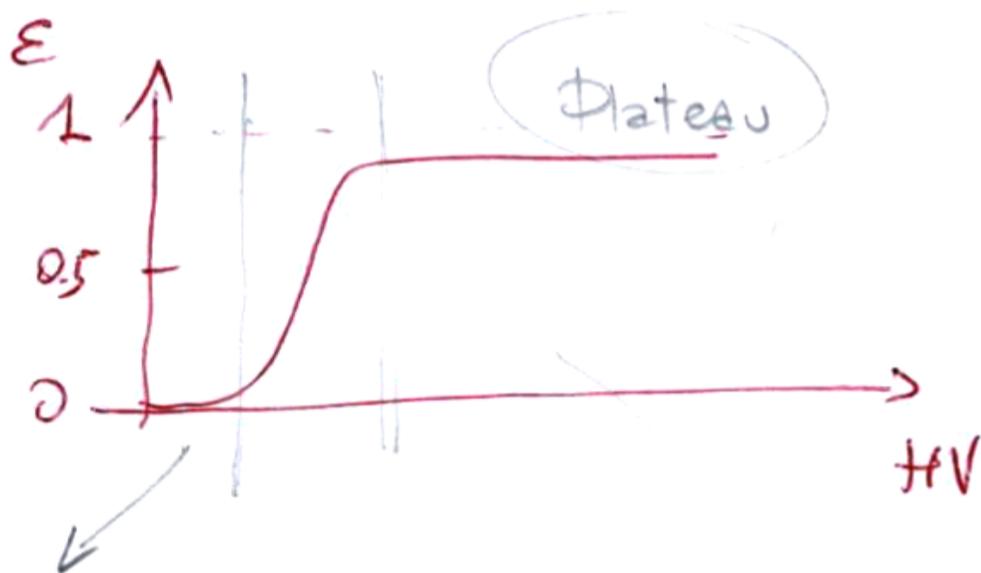
Nota: 1) Non serve conoscere l'efficienza di  $S1$  e  $S2$

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:

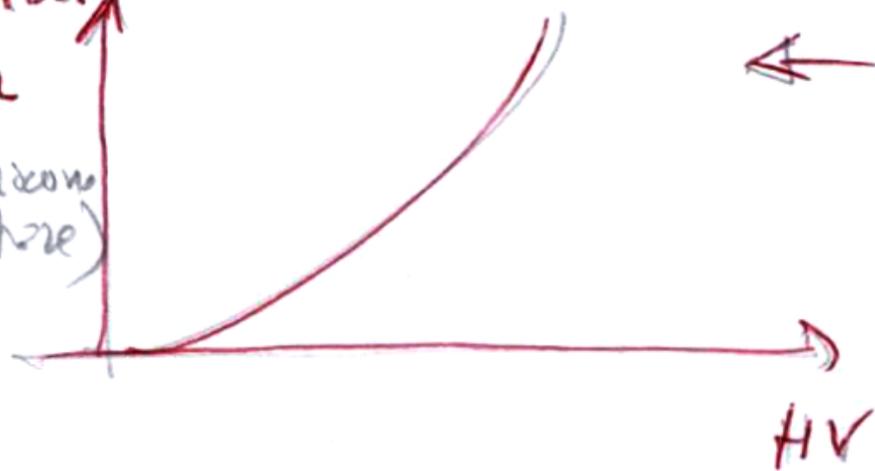


Rappresenta l'integrale dello spettro della soglia in  $\epsilon$

Segnali di ampiezza inferiore alla soglia del discriminatore

Tutti i segnali hanno ampiezza superiore alla soglia del discriminatore

Conteggi di singola  
(Per ciascun scintillatore)



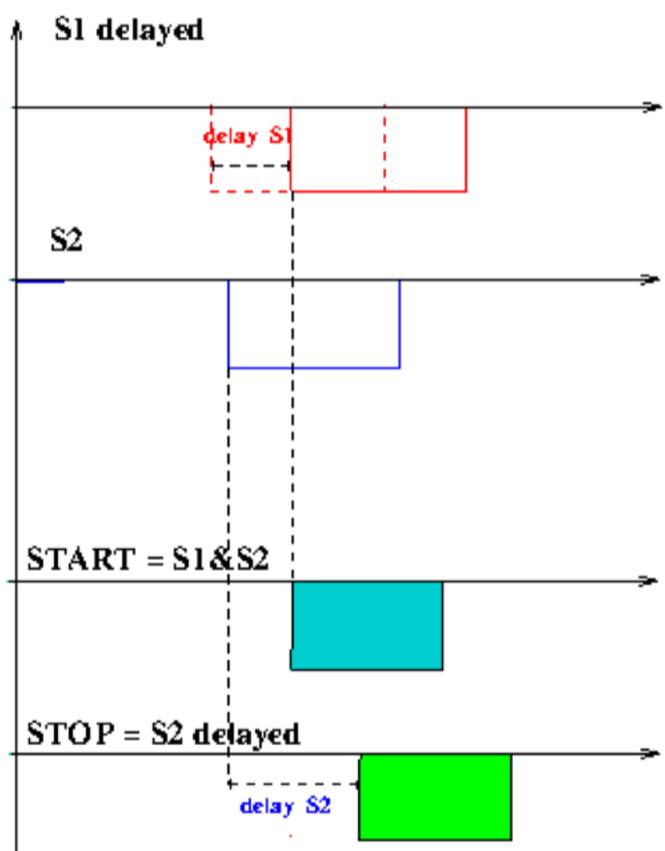
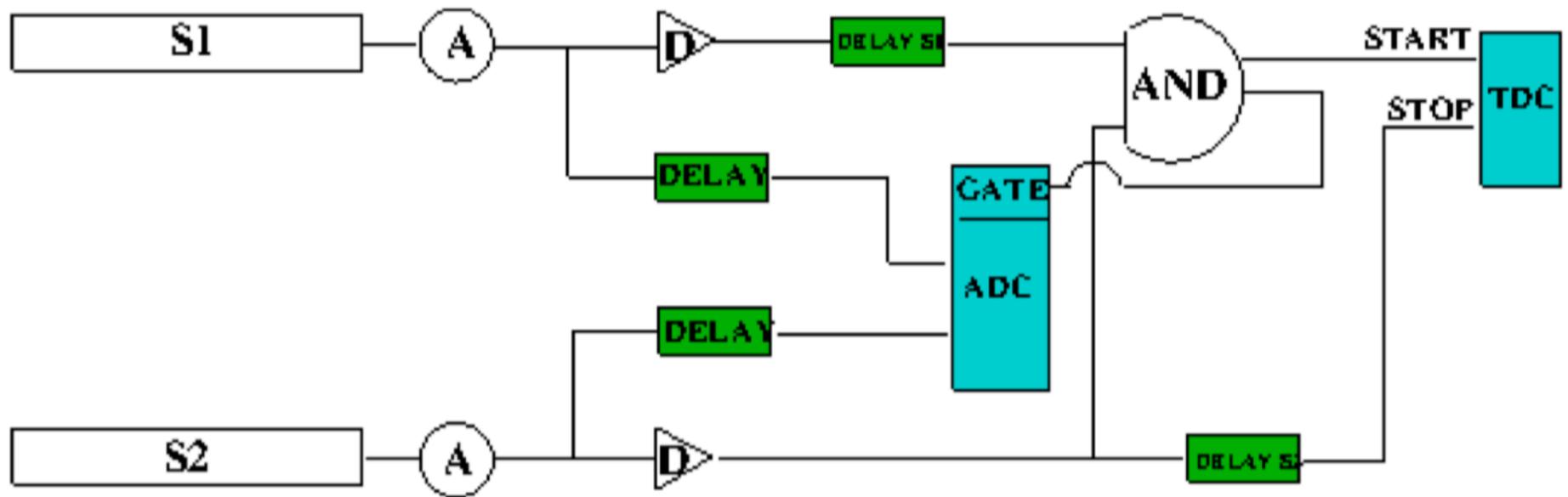
elevati conteggi di singola = alta prob. di coincidenze accidentali

Compromesso in HV e livello di soglia

→ efficienza in plateau  
→ 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.

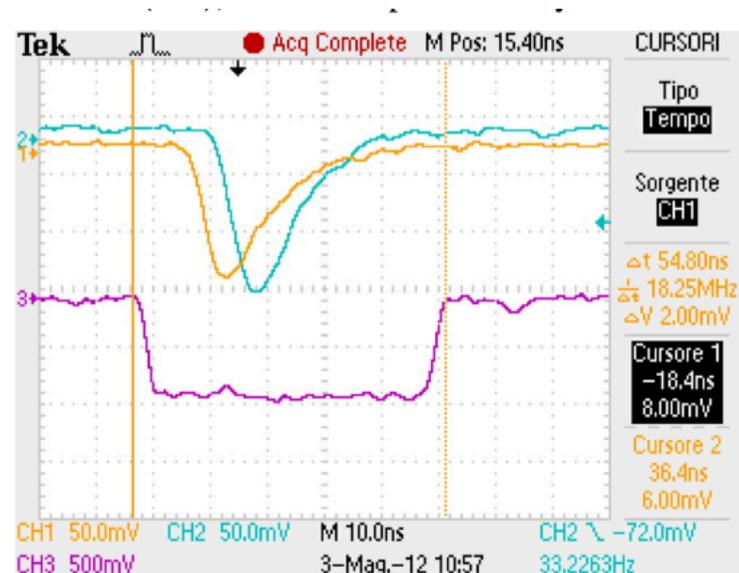
=> è **più efficiente** come metodo:

- 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.

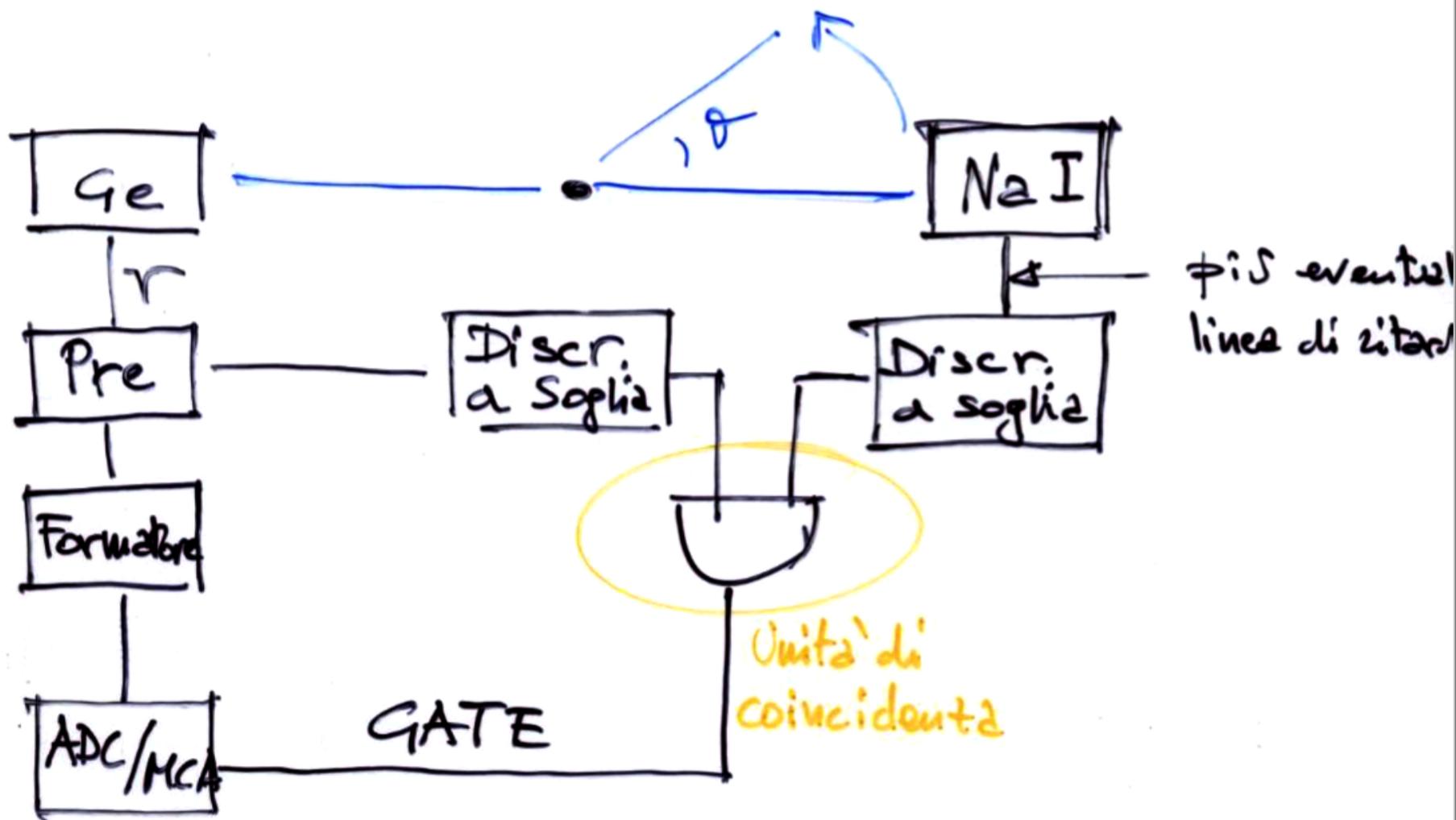
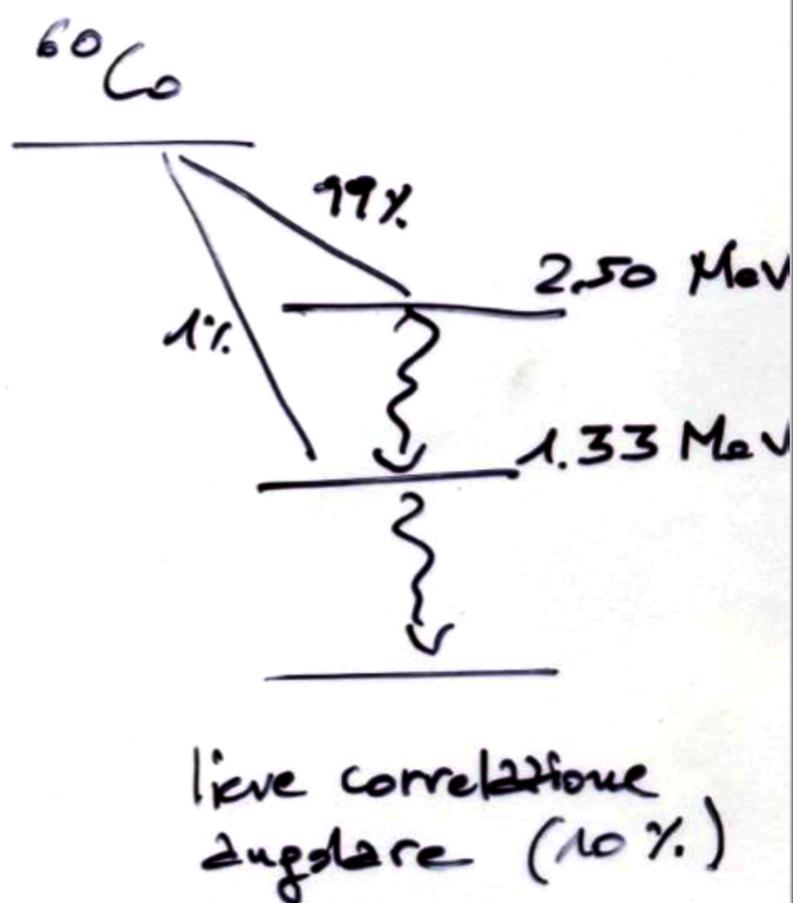
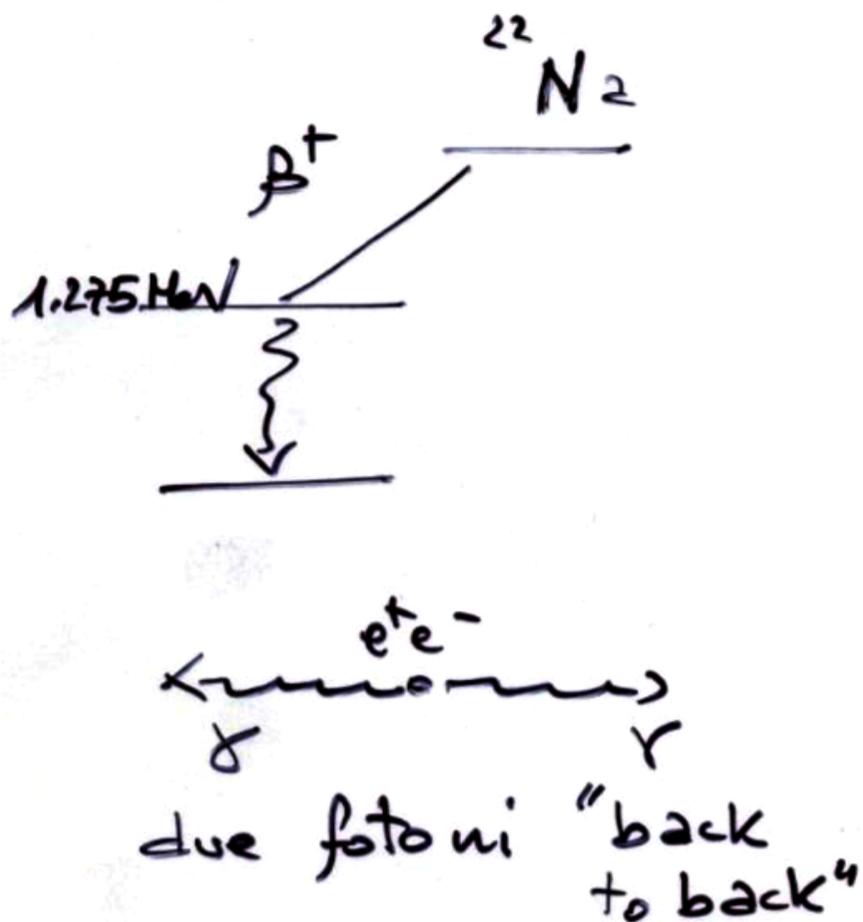
=> Devo assicurarmi che finiscano nella finestra di gate i massimi degli impulsi.

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



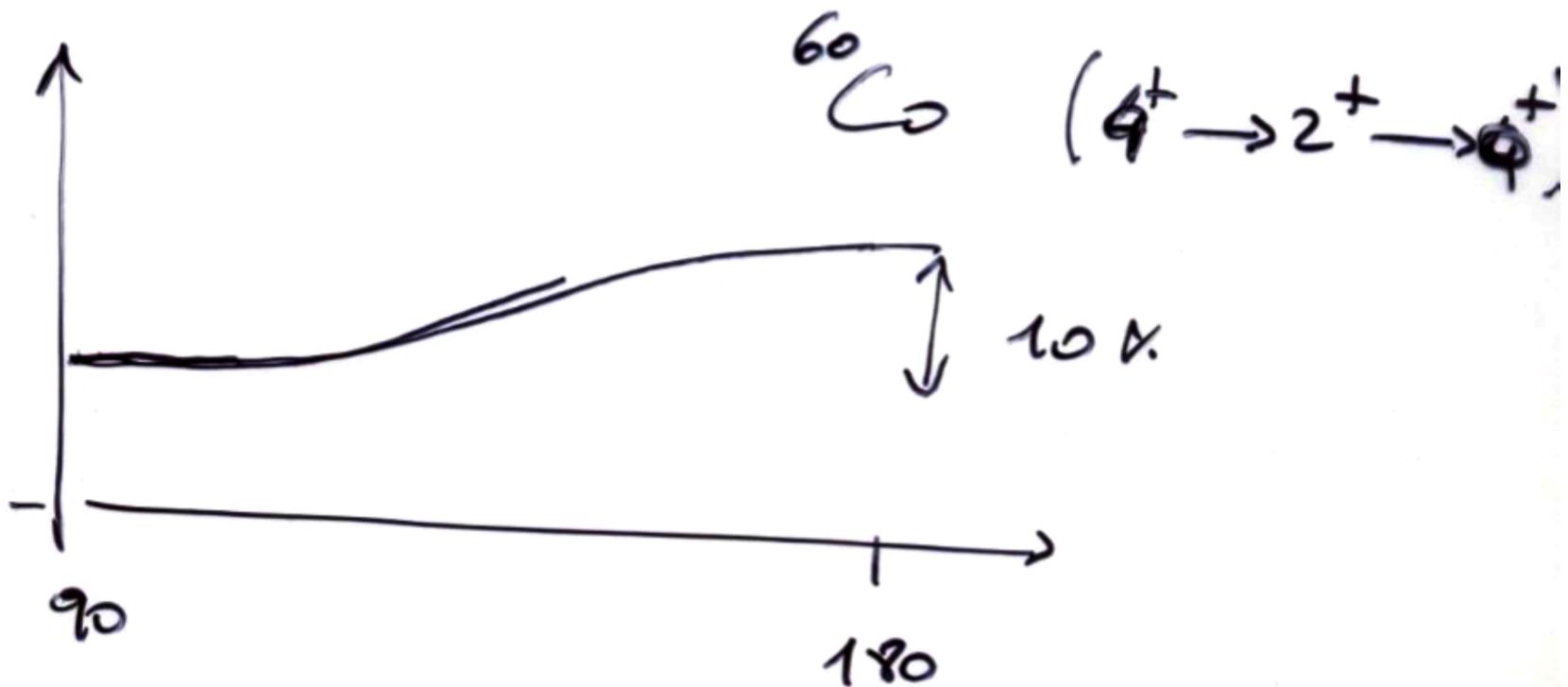
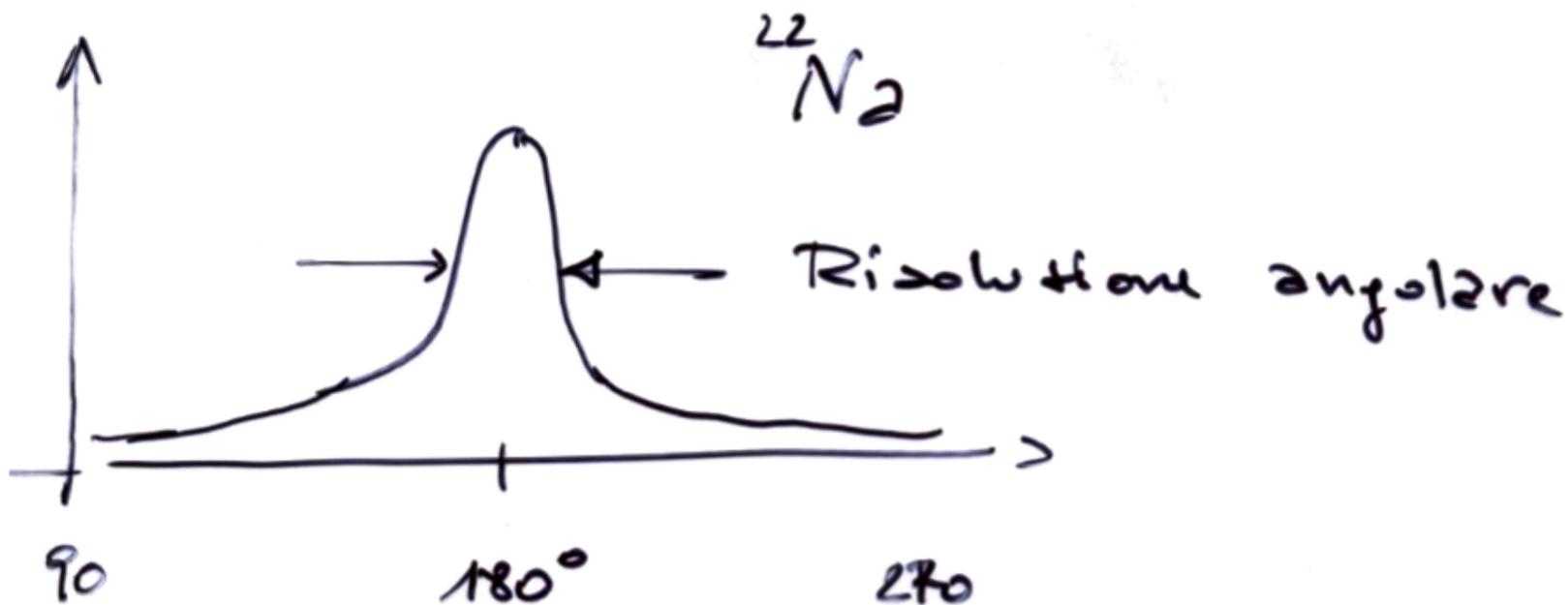
# Misure in coincidenza per studio di correlazioni angolari

# 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 **analogica** a quella precedentemente descritta per **HPGe vs. NaI(Tl)** con sorgente di  $^{22}\text{Na}$ , 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.

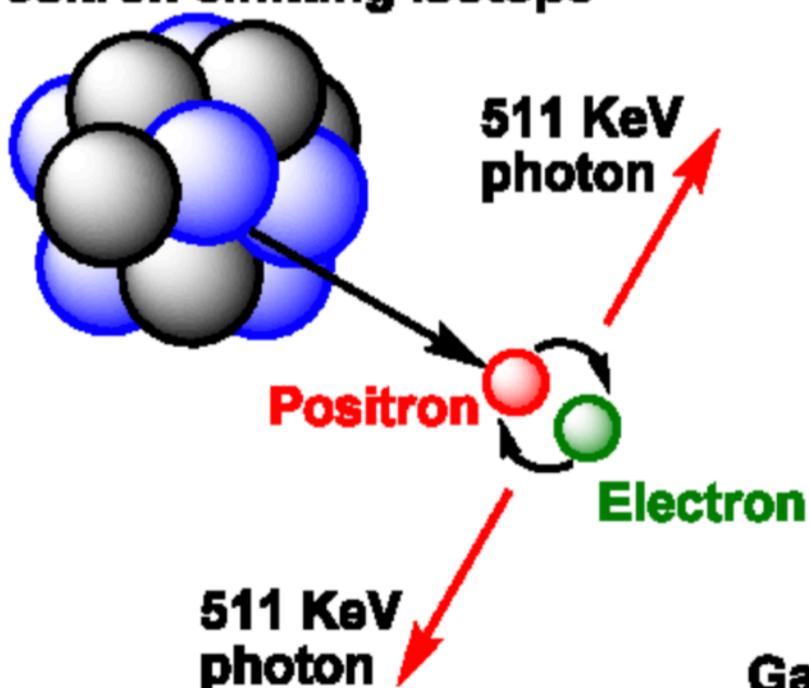
Dovrete analizzare l'**intensità del picco a 511 keV** al variare **dell'angolo** per diverse posizioni della sorgente, per ricavare l'angolo a cui si trova il **massimo**.

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*

**$^{11}\text{C}$**

**Positron emitting isotope**



**PET scan**

**Detector**

