

studio delle distribuzioni

- del numero di eventi in un intervallo di tempo fissato
- dei tempi di attesa di un evento

evento casuale:

rivelazione di una particella carica dei raggi cosmici

- **raggi cosmici** (per informazione)
- **rivelatori** (per informazione)
- **misure**

Laboratorio 2, novembre 2018

raggi cosmici

Laboratorio 2, novembre 2018

RAGGI COSMICI



RAGGI COSMICI

termine coniato nel 1920 per indicare la “radiazione”
ionizzante rivelata sulla superficie terrestre

studiata dall’inizio del 1900, identificata con radioattività
ambientale prima, radiazione em di alta energia poi, ha
permesso scoperte importantissime

Laboratorio 2, novembre 2018

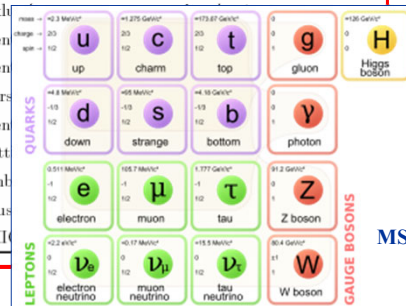
RAGGI COSMICI

termine
ionizzante

studia
nuove
scoperte

Table 1. Discovery of elementary particles

Particle	Year	Discoverer (Nobel Prize)	Method
e^-	1897	Thomson (1906)	Discharges in gases
p	1919	Rutherford	Natural radioactivity
n	1932	Chadwick (1935)	Natural radioactivity
e^+	1933	Anderson (1936)	Cosmic Rays
$\mu^\pm$	1937	Neddermeyer, Anderson	Cosmic Rays
$\pi^\pm$	1947	Powell (1950) , Occhialini	Cosmic Rays
$K^\pm$	1949	Powell (1950)	Cosmic Rays
π^0	1949	Bjorklund	
K^0	1951	Armen	
A^0	1951	Armen	
Δ	1932	Anders	
Ξ^-	1932	Armen	
$\Sigma^\pm$	1953	Bonetti	
p^-	1955	Chambers	
anything else	1955 $\Rightarrow$ today	various	
$m_\nu \neq 0$	2000	KAMIOKANDE	



Laboratorio 2, novembre 2018

RAGGI COSMICI

termine coniato nel 1920 per indicare la “radiazione”
ionizzante rivelata sulla superficie terrestre

studiata dall’inizio del 1900, identificata con radioattività
nucleare prima, radiazione em di alta energia poi, ha permesso
scoperte importantissime

e’ ancora oggetto di studio con esperimenti sofisticati su
navicelle spaziali e satelliti (AMS, PAMELA, ...), sulla superficie
terrestre (MAGIC, ...), sotto il mare o sotto i monti (... , LNGS)

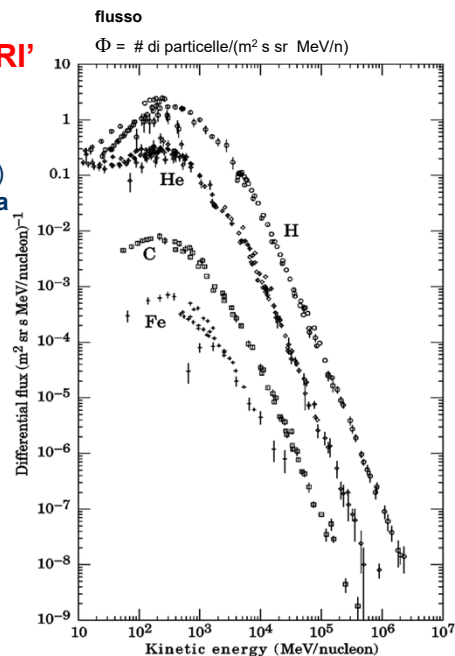
- radiazione cosmica primaria
- radiazione cosmica secondaria

Laboratorio 2, novembre 2018

RAGGI COSMICI 'PRIMARI'

radiazione (particelle e nuclei atomici) di alta energia proveniente dallo spazio ("cosmo") alla quale è esposta anche la Terra

la sua **composizione** rispecchia l'abbondanza degli elementi nell'Universo (e nella Terra):
e' costituita soprattutto da protoni di **energia molto elevata**



Laboratorio 2, novembre 2018

energia

l'elettronvolt (eV) è l'energia guadagnata (o persa) da un elettrone quando si muove tra due punti tra i quali c'è una differenza di potenziale di 1 V

$$1 \text{ eV} = 1.602176565 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$e = 1.602176565 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{keV, MeV, GeV, TeV } 10^3, 10^6, 10^9, 10^{12} \text{ eV} \quad 1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$$

$$E = mc^2$$

$$m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0.511 \text{ MeV}/c^2$$

$$m_p = 938 \text{ MeV}/c^2$$

LHC dal 2015 due fasci di p di
7 TeV = $7 \cdot 10^6$ MeV ciascuno

Laboratorio 2, novembre 2018

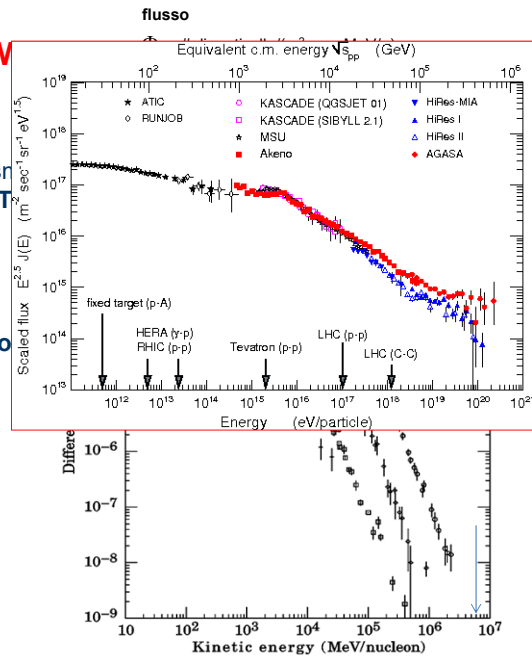
RAGGI COSMICI 'PRIM

radiazione (particelle e nuclei atomici) di alta energia proveniente dallo spazio ("cosmi") alla quale è esposta anche la Terra

la sua **composizione** rispecchia l'abbondanza degli elementi nell'Universo (e nella Terra):
e' costituita soprattutto da protoni di **energia molto elevata**

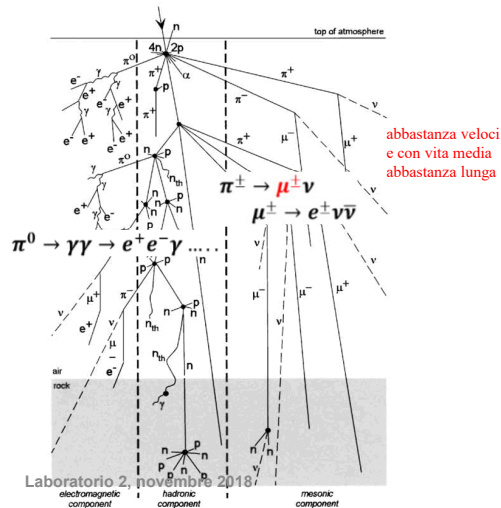
'MeV/nucleone' perche' nuclei

Laboratorio 2, novembre 2018



RAGGI COSMICI

la maggior parte dei raggi cosmici interagisce con i nuclei dell'atmosfera, producendo *particelle secondarie* che possono arrivare fino alla superficie terrestre



continuamente

Laboratorio 2, novembre 2018

RAGGI COSMICI

la maggior parte dei raggi cosmici interagisce con i nuclei dell'atmosfera, producendo *particelle secondarie* che possono arrivare fino alla superficie terrestre

flusso

$\Phi = \# \text{ di particelle}/(\text{m}^2 \text{ s sr})$
in funzione di

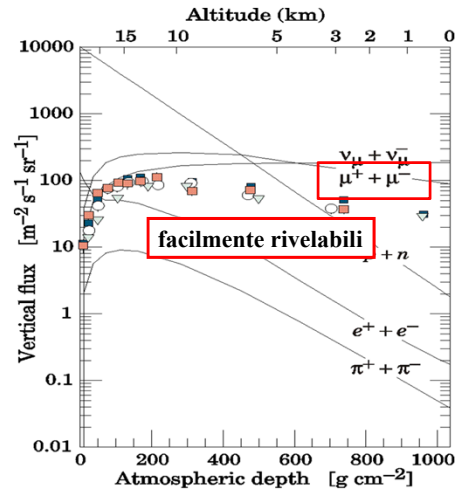
profondita' atmosferica
espressa in g/cm^2 ($\rho \times l$)

tutta l'atmosfera equivale
a 10 m di H_2O ,
circa $1000 \text{ g}/\text{cm}^2$

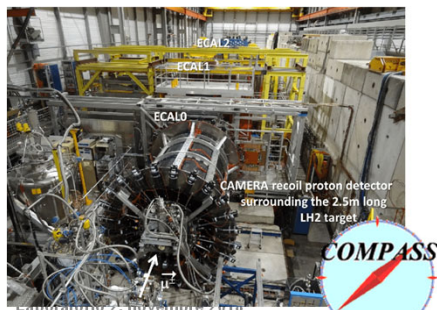
**($1 \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ per rivelatori
orizzontali).**

Punti sperimentali: misure di muoni negativi
con $E > 1 \text{ GeV}$
Curve: calcoli di MC con flusso
radiazione primaria e equazioni cascata

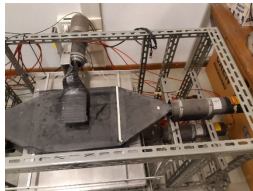
Laboratorio 2, novembre 2018



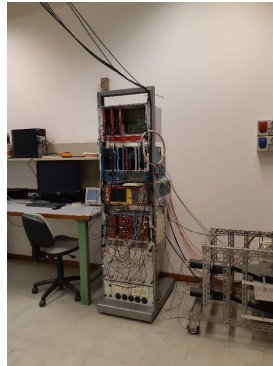
rivelatori di particelle



rivelatori di particelle



Laboratorio 2, novembre 2018



qualche informazione sui

RIVELATORI A SCINTILLAZIONE

caratterizzati da una risposta temporale molto breve

per questo sono ampiamente impiegati negli esperimenti ove sono richieste misure accurate di intervalli temporali con risoluzioni inferiori alla frazione di nano secondo

NB: uno dei tantissimi tipi di rivelatori !!!
e solo qualche informazione estremamente semplificata,
senza alcuna pretesa di completezza

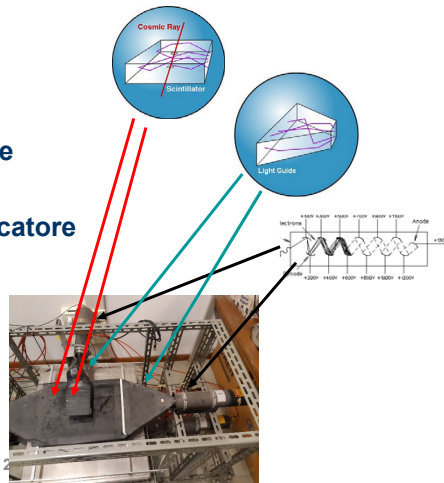
dimensioni e forma molto diverse, a seconda dell'applicazione

Laboratorio 2, novembre 2018

CONTATORI A SCINTILLAZIONE ~1940

sono costituiti da

- scintillatore
- guida di luce
- fotomoltiplicatore



Laboratorio 2, novembre 2018

scintillatore

una particella carica che attraversa materiale perde energia per ionizzazione

scintillatore: trasforma l'energia persa in radiazione em nel visibile

diversi tipi di materiali, liquidi o solidi *plastico (pratico, robusto, veloce)*

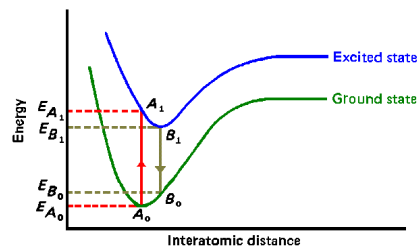
in due parole:

l'energia depositata da una particella carica causa una transizione da A_0 a A_1 in un tempo $\sim 0.1\text{ps}$

parte dell'energia viene dissipata in vibrazioni reticolari e la molecola si porta nel minimo della curva di energia potenziale B_1

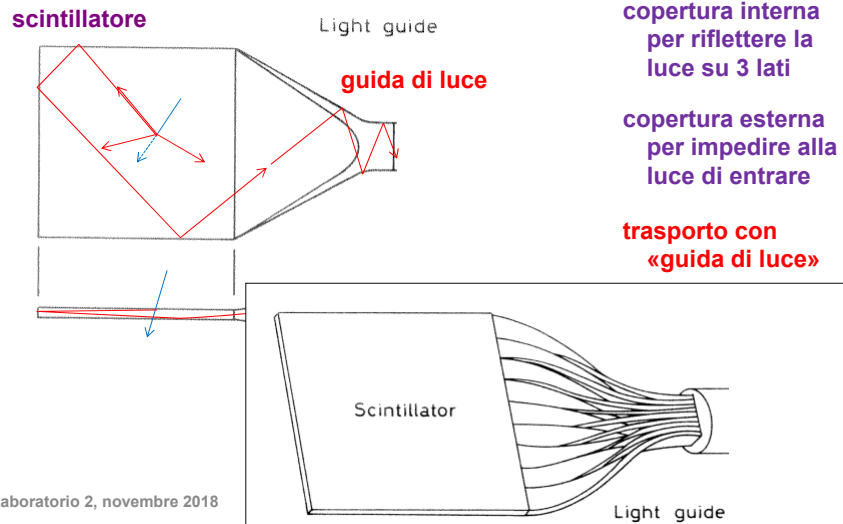
dopo $\sim 10\text{ns}$, la molecola decade nello stato fondamentale B_0 con l'emissione di un fotone di energia $E_\gamma = E(B_1) - E(B_0)$

questa emissione fluorescente produce $\sim$ un fotone ogni 100eV di energia depositata dalla particella incidente ($1\text{cm} \rightarrow 2 \cdot 10^4$)

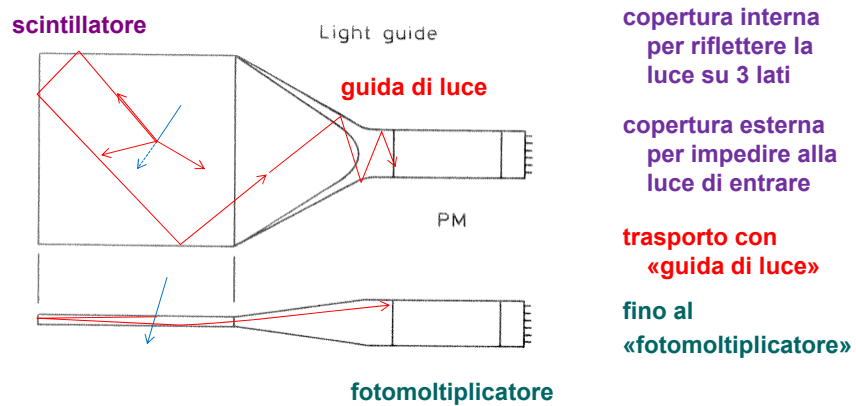


Laboratorio 2, novembre 2018

CONTATORI A SCINTILLAZIONE



CONTATORI A SCINTILLAZIONE



CONTATORI A SCINTILLAZIONE

(tubo) fotomoltiplicatore o PMT

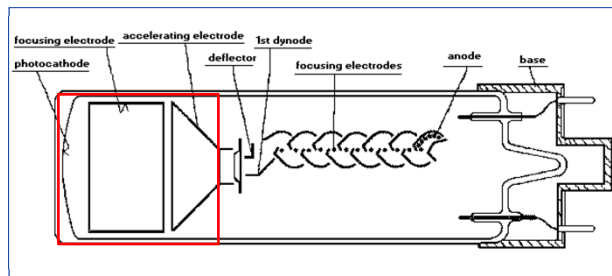
trasforma la luce trasmessa dalla guida in un segnale elettrico, per poterlo trattare e registrare in modo conveniente

tubo di vetro in cui è stato praticato un vuoto spinto

fotocatodo superficie interna della finestra d'ingresso film semitrasparente di una lega semiconduttrice dal quale ogni fotone può estrarre un elettrone per effetto fotoelettrico

una serie di **elettrodi (dinodi)**, che mantengono un forte campo elettrico, in grado di moltiplicare la debole corrente iniziale di elettroni
permette di **moltiplicare** il numero dei fotoelettroni primari (milioni di volte)

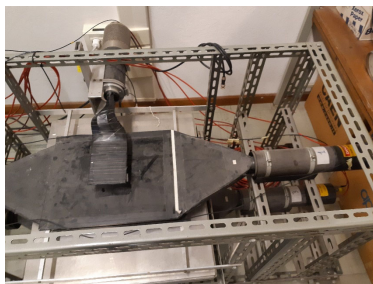
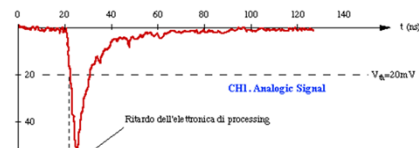
il "segnale" viene amplificato ad ogni dinodo successivo fino all'ultimo dinodo (**anodo**)



Laboratorio 2, novembre 2018

CONTATORI A SCINTILLAZIONE

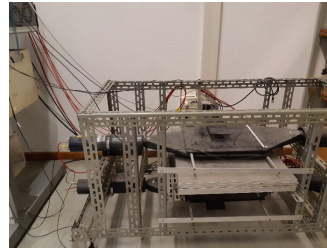
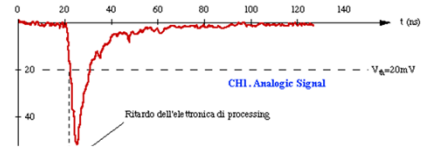
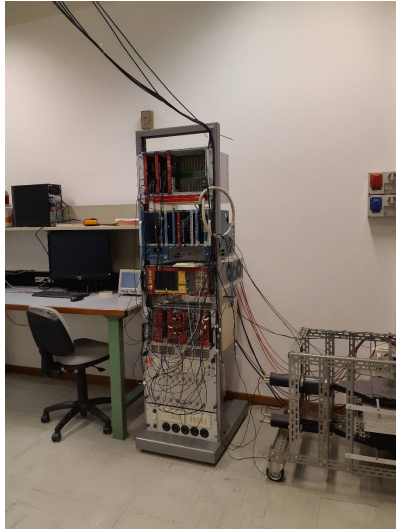
segnale in uscita dal PMT



Laboratorio 2, novembre 2018

CONTATORI A SCINTILLAZIONE

segnale in uscita dal PMT

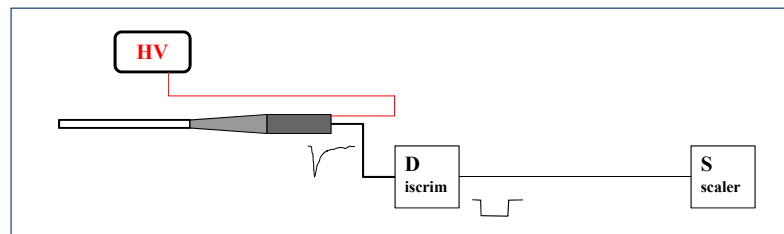
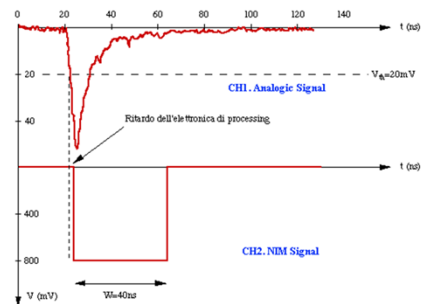


CONTATORI A SCINTILLAZIONE

segnale in uscita dal PMT

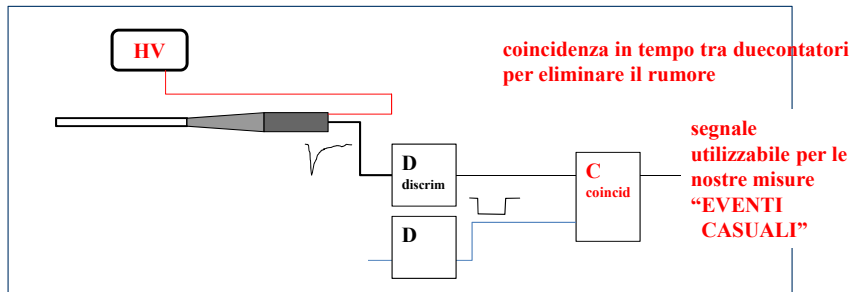
per trasformare il segnale analogico
in uno digitale si usa il
discriminatore a soglia:
produce un segnale in logica NIM (-800mV)
quando al suo ingresso é presente un
segnale che permane oltre la soglia
imposta per un tempo non inferiore a
5ns

segnale in uscita dal D



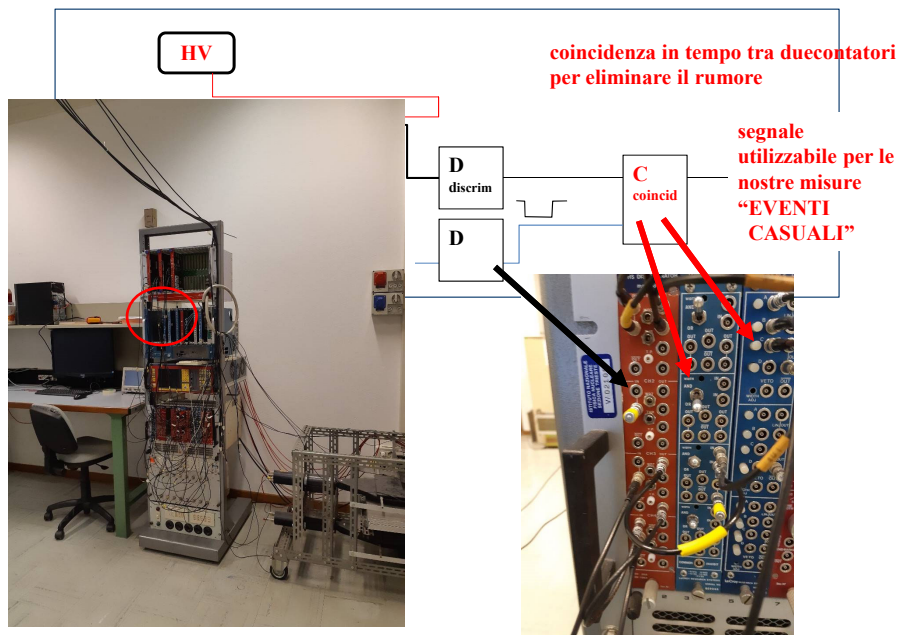
Laboratorio 2, novembre 2018

MISURE

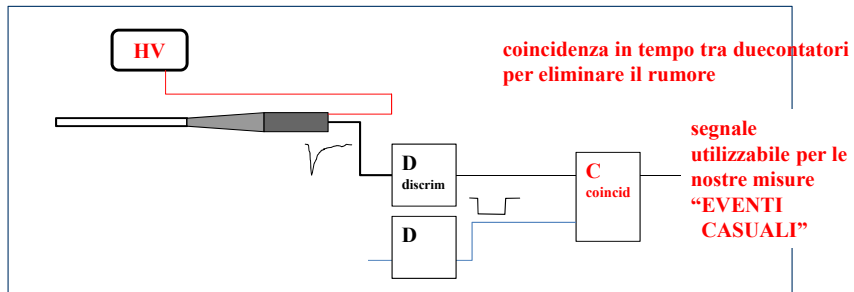


Laboratorio 2, novembre 2018

MISURE

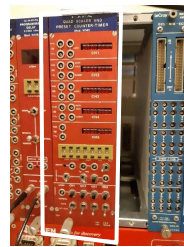


MISURE



avremo anche bisogno di una “SCALA”
(scaler) che conti il numero di segnali in
un certo intervallo di tempo

e di un “generatore di impulsi” che
invii segnali con frequenza costante
da usare come “orologio”

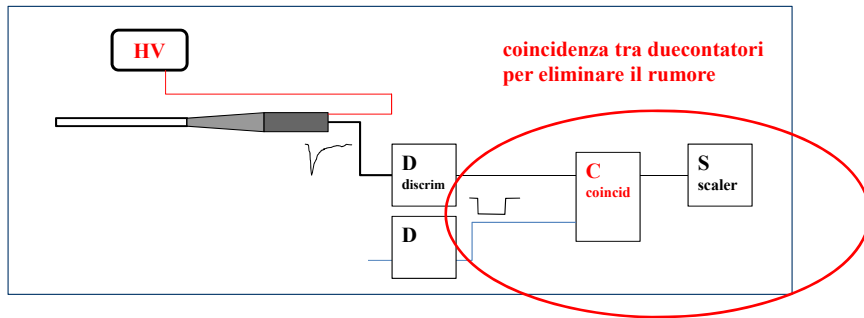


Laboratorio 2, novembre 2018

misure

Laboratorio 2, novembre 2018

CONTEGGI IN INTERVALLI DI TEMPO FISSATI



la scala conta i segnali elettrici che arrivano in un certo intervallo di tempo

- fare una misura su 2'
- determinare Δt in modo da avere $\sqrt{N} \sim 2$ e $\sqrt{N} \sim 8$
- eseguire in entrambi i casi ~ 300 misure
- costruire gli istogrammi corrispondenti
- confrontarli con la distribuzione di Poisson

eventi casuali?

Laboratorio 2, novembre 2018

DISTRIBUZIONE DEGLI INTERVALLI

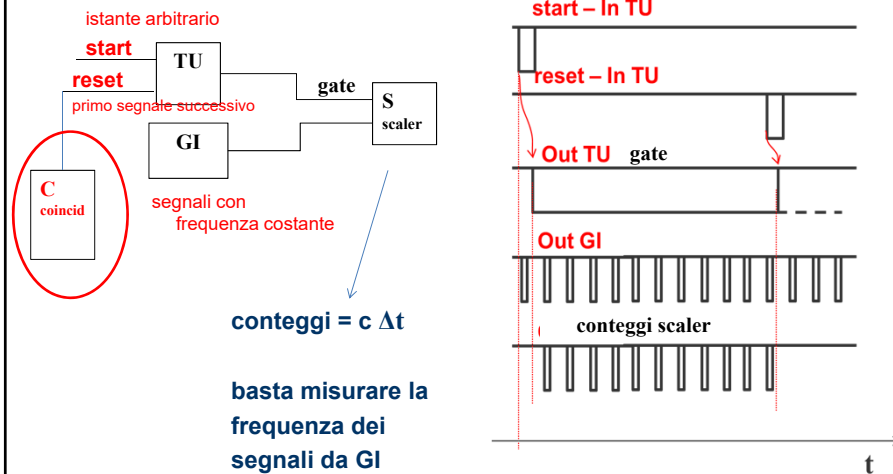
intervallo di tempo tra un istante arbitrario e
rivelazione della prima (o seconda o terza) particella successiva

distribuzione esponenziale?

un modo semplice per misurare $\Delta t = t_{\text{start}} - t_{\text{reset}}$

Laboratorio 2, novembre 2018

DISTRIBUZIONE DEGLI INTERVALLI



Laboratorio 2, novembre 2018

misure

tre diversi gruppi per ogni turno

1. conteggi in intervalli di tempo fissati
con $v \sim 2$ (almeno 100 misure) e $v \sim 8$ (almeno 300 misure)
verifica distribuzione di Poisson – istogrammi subito
2. distribuzione dei tempi di attesa del I evento (almeno 300 misure)
verifica funzione di distribuzione esponenziale – istogramma subito
3. come 2. oppure:
distribuzioni dei tempi di attesa del I (100 misure), II (100 misure), III (100 misure) evento
verifica funzioni di distribuzione di Erlang – istogrammi subito

Laboratorio 2, novembre 2018