

Rivelazione e studio di raggi cosmici

**TUTORI: Davide Piccolo, Luciano Passamonti
Alessandro Russo, Daniele Pierluigi**

- Cosa sono i raggi cosmici?
- Come si studiano?
- Come funzionano i rivelatori?
- Misura della velocità dei raggi cosmici
- Brevi cenni sul trattamento statistico dei dati (teoria degli errori)



Preambolo



La materia e' composta da diversi elementi

Tavola periodica degli elementi

1	IA																0									
1	H																	He								
2	Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne		
3	Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar		
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr								
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe								
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn								
7	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110	111	112														

Naming conventions of new elements

Gli elementi possono essere descritti in termini di molecole e atomi

Lantanidi
Attinidi

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

... i fisici moderni hanno pero' scoperto che le unita' Fondamentali non sono gli atomi

SAPORE	MASSA [GeV/c ²]	CARICA ELETTRICA
u up	.005	+2/3 e
d down	.01	- 1/3 e
c charm	1.5	+2/3 e
s strange	0.2	- 1/3 e
t top	180	+2/3 e
b bottom	4.7	- 1/3 e

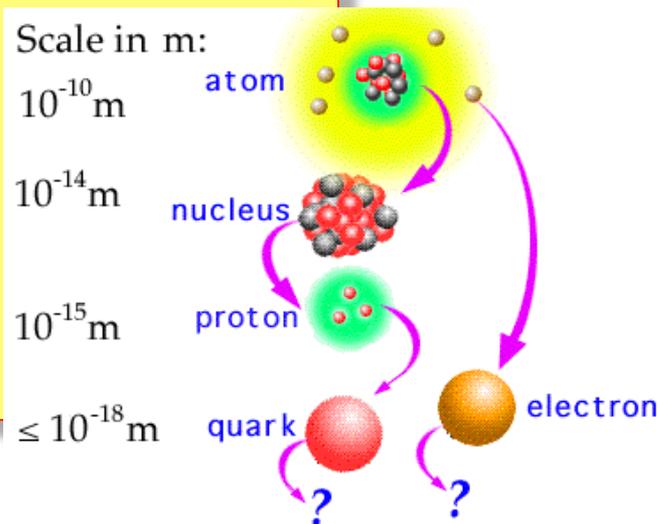
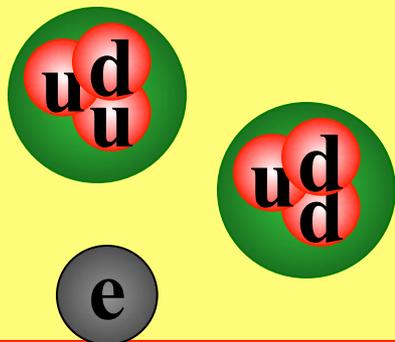


Preambolo

Gli atomi sono composti da un nucleo centrale (composto da protoni e neutroni) e da elettroni che gravitano attorno.

La materia conosciuta e' fatta di

protoni
neutroni
ed elettroni



protoni e neutroni sono
"sacche" di quarks.

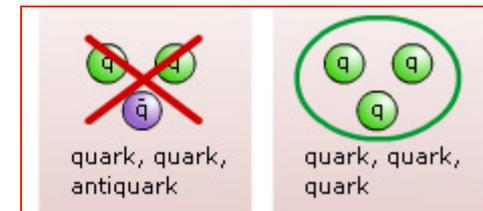
Preambolo

Ma esistono anche altre forme di materia...

mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs boson
QUARKS	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
LEPTONS	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
					GAUGE BOSONS

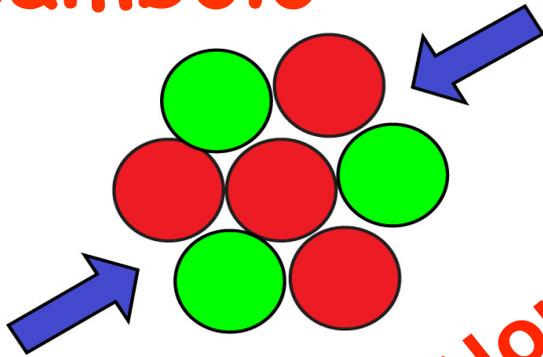


Mesoni: pioni, Kaoni ..



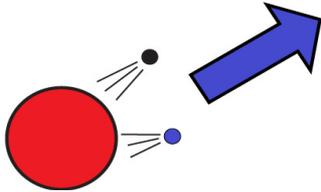
Barioni: protoni, neutroni, Hyperoni..

Preambolo



Forza forte:
Mantiene il nucleo assieme

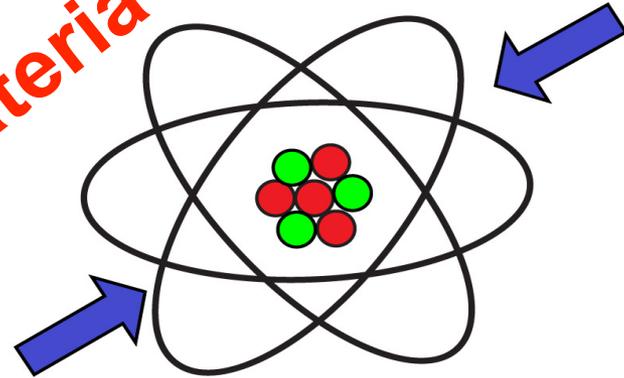
Esempi di applicazione:
Fusione nucleare
Bomba termonucleare



Forza debole:
Responsabile della radioattività

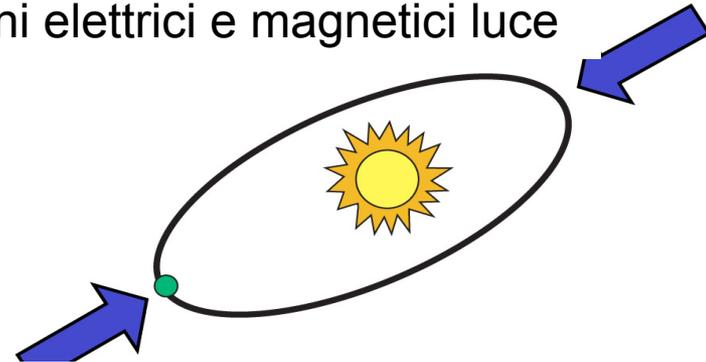
Esempi di applicazione:
Fissione nucleare
Bomba atomica

Non solo Materia



Forza elettromagnetica:
Mantiene l'atomo legato

Esempi di applicazione:
Reazioni chimiche
Fenomeni elettrici e magnetici luce

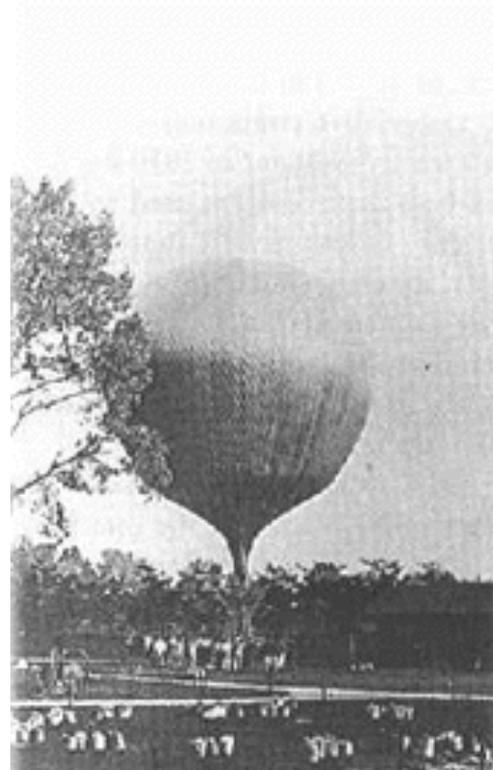


Forza gravitazionale:
Mantiene i corpi celesti legati

Esempi di applicazione:
Movimento della terra attorno al sole
Caduta dei gravi sulla terra

Le interazioni fondamentali

La scoperta dei raggi cosmici



1912

Piu' di 100 anni fa
Victor HESS a bordo
di un pallone aerostatico
Scopri' i raggi cosmici

A rischio della vita, viaggiando senza ossigeno a quote di piu' di 4000m, dimostro' che la radiazione misurata cresceva con la quota. Questo dimostro' che la sorgente della radiazione era "Cosmica".

Cosa sono I raggi cosmici

Sono particelle che provengono dallo spazio con velocità prossime a quella della luce

una “pioggia” che colpisce continuamente la nostra Terra da ogni direzione

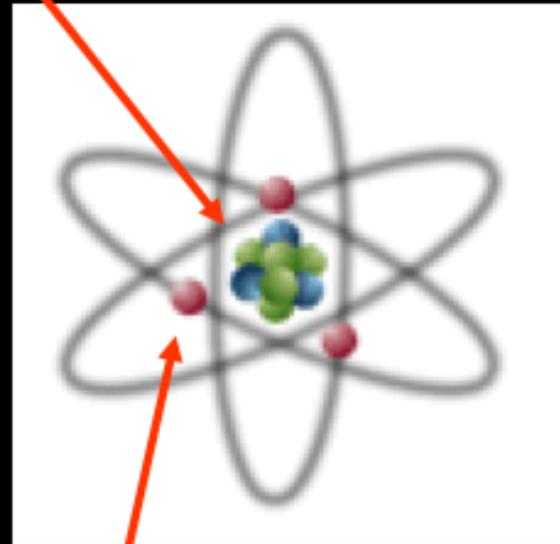


Fuori dall'atmosfera terrestre su ogni metro quadrato cadono circa 30000 raggi cosmici ogni secondo

Di cosa sono fatti i raggi cosmici

I raggi cosmici sono nuclei di atomi di materia ordinaria che vengono accelerati a velocità relativistiche

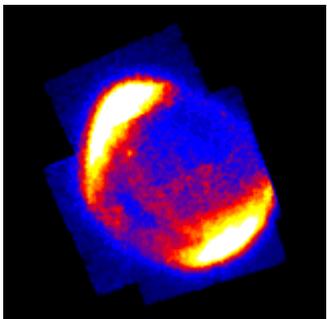
Nucleo (protoni + neutroni)



L' atomo più comune nell' Universo è l' atomo di Idrogeno
Il suo nucleo è formato da un unico protone

Elettrone

Cosa sono i raggi cosmici



I raggi cosmici sono prodotti da diverse sorgenti :

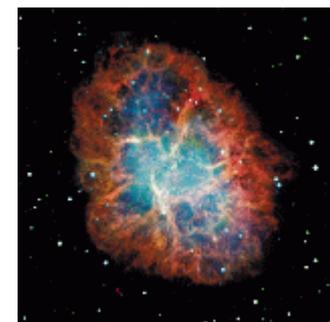
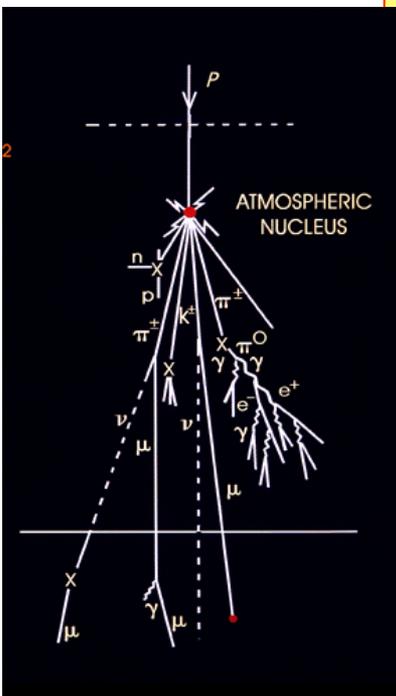
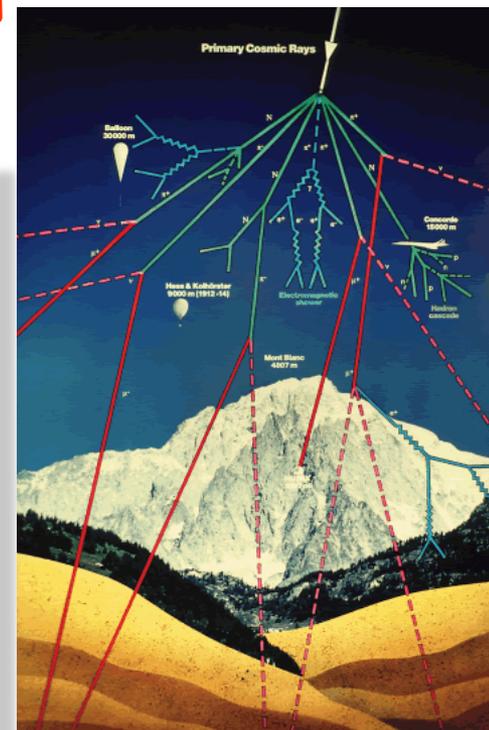
stelle (come il sole)

buchi neri,

stelle di neutroni,

quasar.

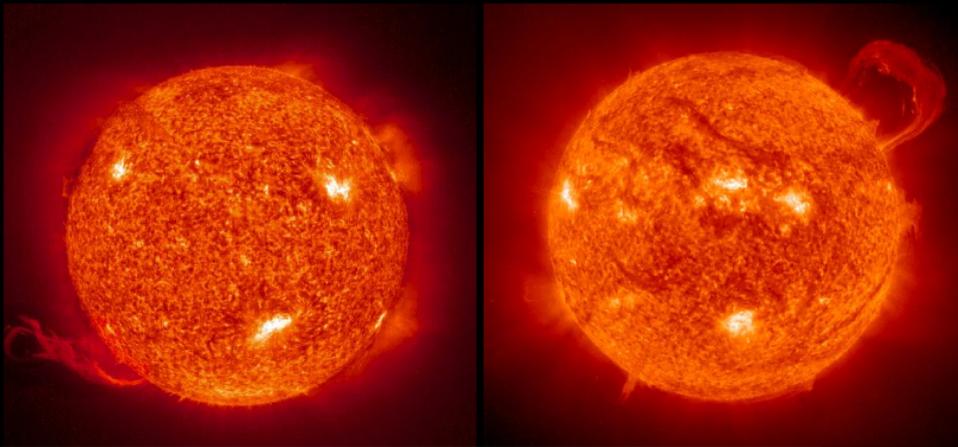
A livello del mare la gran parte dei raggi cosmici sono muoni prodotti dall'interazione di protoni con atomi dell'atmosfera. La loro frequenza media e' pari a $100 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$



Nella radiazione cosmica primaria sono presenti praticamente tutti gli elementi della tavola periodica: 89% nuclei di idrogeno (protoni), 10% elio, 1% elementi pesanti. Gli elettroni sono circa l' 1% dei raggi cosmici galattici.

Da dove vengono I Raggi Cosmici ?

I raggi cosmici di bassa energia vengono prodotti nelle eruzioni solari



Si pensa che I raggi cosmici siano accelerati dai **resti di Supernove**



Tycho, resto di Supernova

Credit: NASA/Chandra

Lo Studio dei Raggi Cosmici si concentra oggi sulla loro origine e sui meccanismi che li accelerano a energie elevatissime

E' difficile capire da dove arrivano i raggi cosmici perché i campi magnetici galattici deflettono le loro traiettorie...

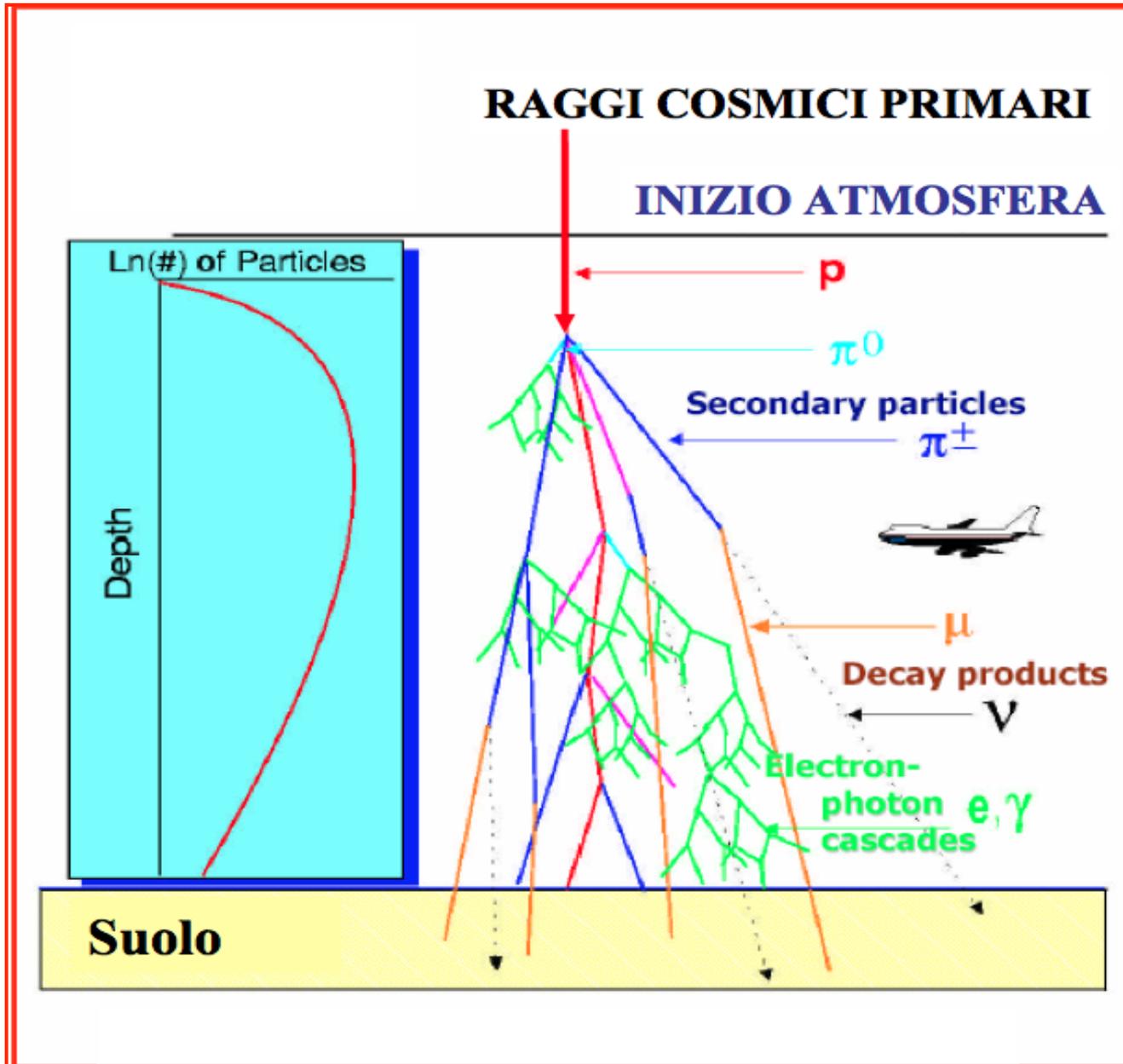


... e l'informazione della direzione della sorgente si perde

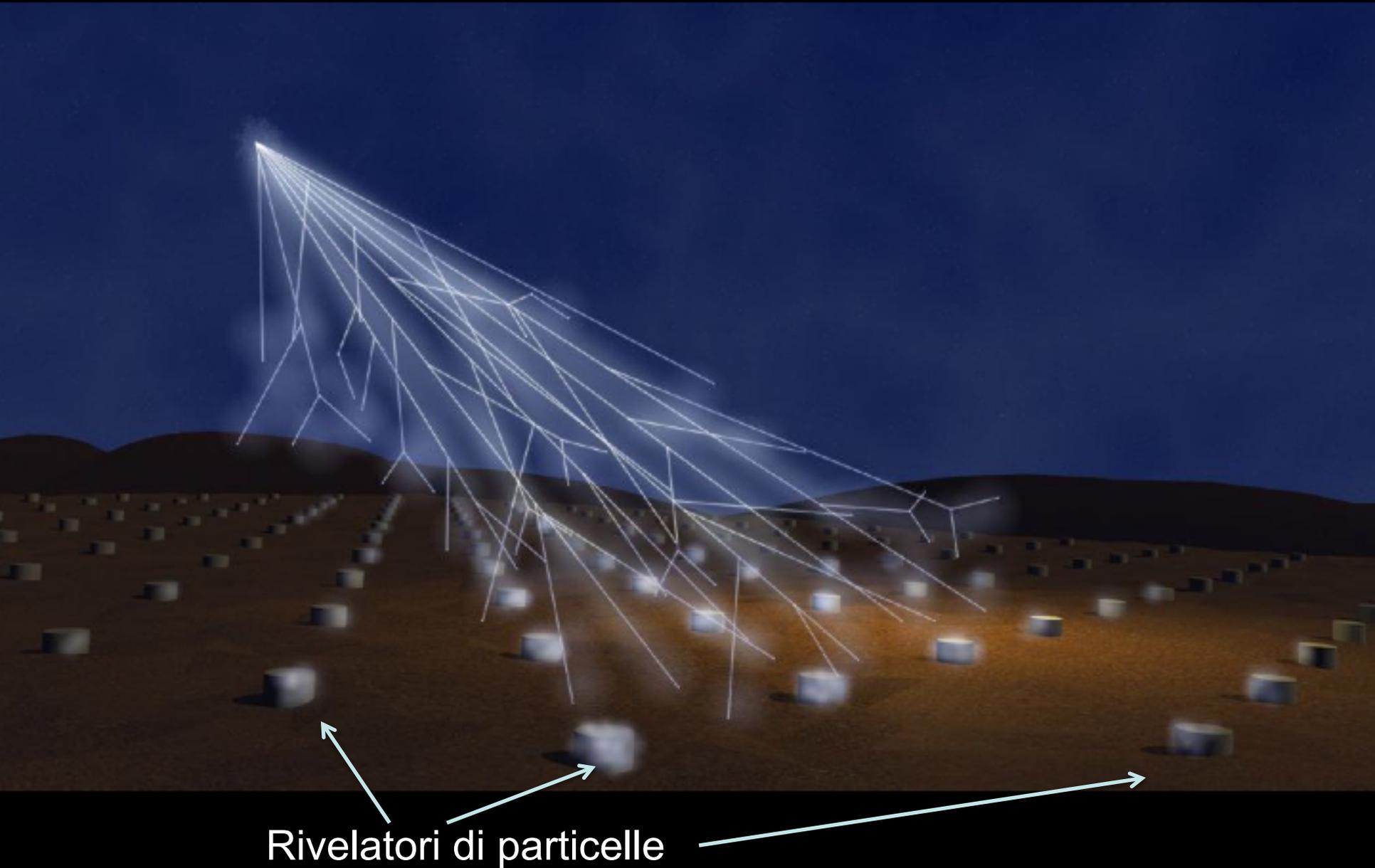
Entrando nell'atmosfera terrestre i raggi cosmici formano sciami di particelle secondarie



Cosa sono i raggi cosmici



Gli scienziati usano strumenti speciali per catturare le particelle degli sciami e studiarle



Un esempio d'esperimento per osservare gli sciami.
I rivelatori di particelle sono disposti su una grande area
e catturano le particelle che li colpiscono



KASCADE-Grande, Karlsruhe, Germania

**Il laboratorio sul tetto del mondo
Yangbajing, TIBET, a 4300 metri**



ARGO - TIBET



**Un tappeto di rivelatori di particelle
grande come un campo di calcio**

Il laboratorio più freddo...



ICECUBE, ICETOP - Polo SUD

**AUGER: l'esperimento più grande del mondo
nella pampa argentina**



**1600 rivelatori
come questo,
distribuiti su
un'area di 3000
chilometri
quadrati**

Raggi cosmici... sorgente di particelle

Hess scopre i raggi cosmici (Nobel nel 1936) [1912](#)

I raggi cosmici sono carichi risentono del campo magnetico terrestre [1930](#)

Anderson scopre l' antimateria e^+ nei raggi cosmici [1932](#)

Auger scopre gli "extensive air showers" [1938](#)

Teoria di Fermi sui raggi cosmici [1949](#)

Primi esperimenti sotterranei [1966](#)

Evento di alta energia AGASA [1994](#)

[1927](#) Raggi cosmici osservati in camere a nebbia

[1937](#) Scoperta del muone

[1946](#) Primo esperimento che studia sciami aerei

[1962](#) Rivelazione del primo raggio cosmico 10^{20} eV

[1982](#) Costruzione laboratorio del Gran Sasso

[1995](#) Inizio progetto Pierre Auger

Raggi cosmici... sorgente di particelle

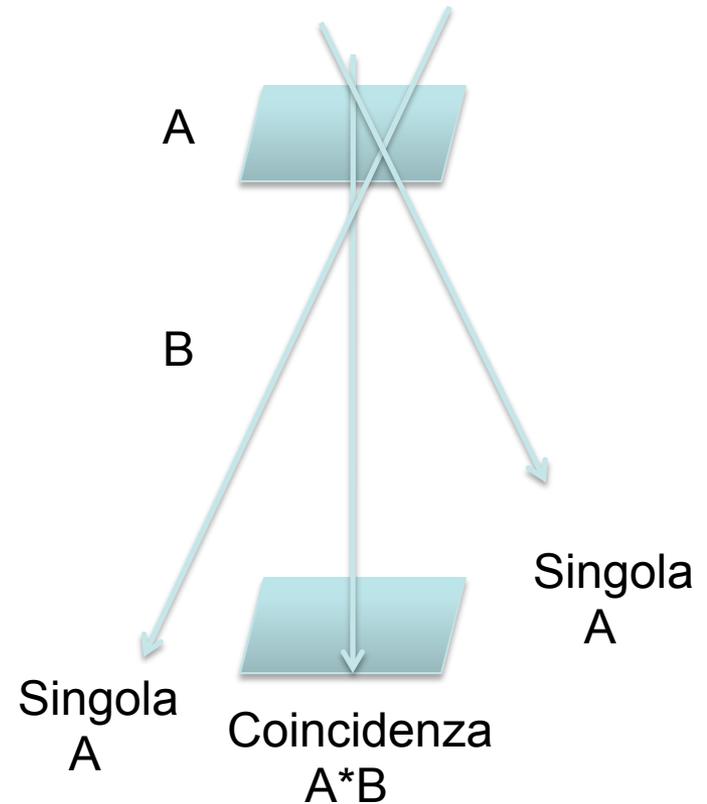
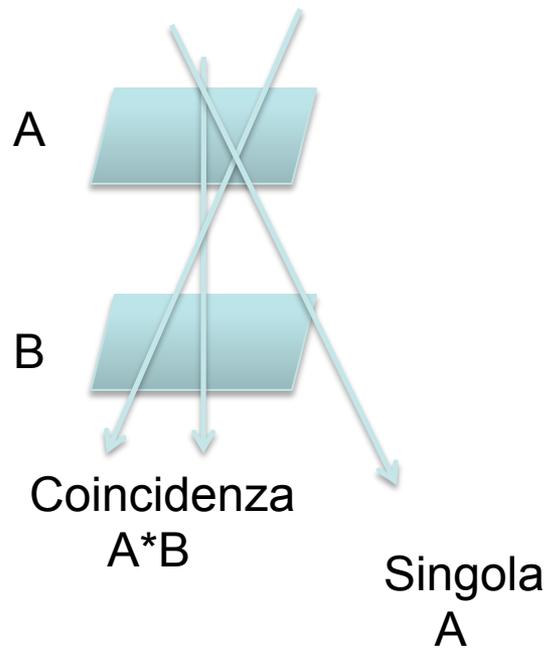
Come illustrato in precedenza numerosi esperimenti in varie parti del mondo utilizzano tappeti di rivelatori per studiare le caratteristiche di questa radiazione.

Nel nostro piccolo, i raggi cosmici possono essere utilizzati come una sorgente Gratis di particelle di alta energia per testare/calibrare i nostri rivelatori in Laboratorio.

Piccoli esperimenti possono essere realizzati anche con dispositivi molto semplici
Del tipo disponibile nel nostro laboratorio

Cosa si potra' fare qui

1) Misura del flusso di raggi cosmici al variare della distanza tra i rivelatori



Il conteggio delle coincidenze e' inversamente proporzionale alla distanza tra i contatori

2) Calcolo della velocità dei raggi cosmici

La grande maggioranza dei raggi cosmici sono muoni relativistici;

$$E^2 = (pc)^2 + m^2$$

$$\beta = pc / E$$

$$\gamma = E / m$$

Legenda: E = energia (MeV)

p = impulso (MeV/c)

m = massa (MeV)

secondo le trasformazioni di Lorentz

$$\beta = v/c \quad [c = 299792458 \text{ m/s} = 299.792458 \cdot 10^6 \text{ m/s}]$$

$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - \beta^2}$$

sapendo che l'impulso dei muoni p_μ e la massa m_μ :

$$p_\mu = 2 \text{ GeV}/c = 2000 \text{ MeV}/c \quad [1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV, Megaelettronvolt}]$$

$$m_\mu = 105.698389 \pm 0.000034 \text{ MeV}$$

possiamo ottenere l'energia dei muoni e da qui, il valore di β :

$$E^2 = (4000000 + 11163.69517) \text{ MeV}^2 = 4011163.695 \text{ MeV}^2$$

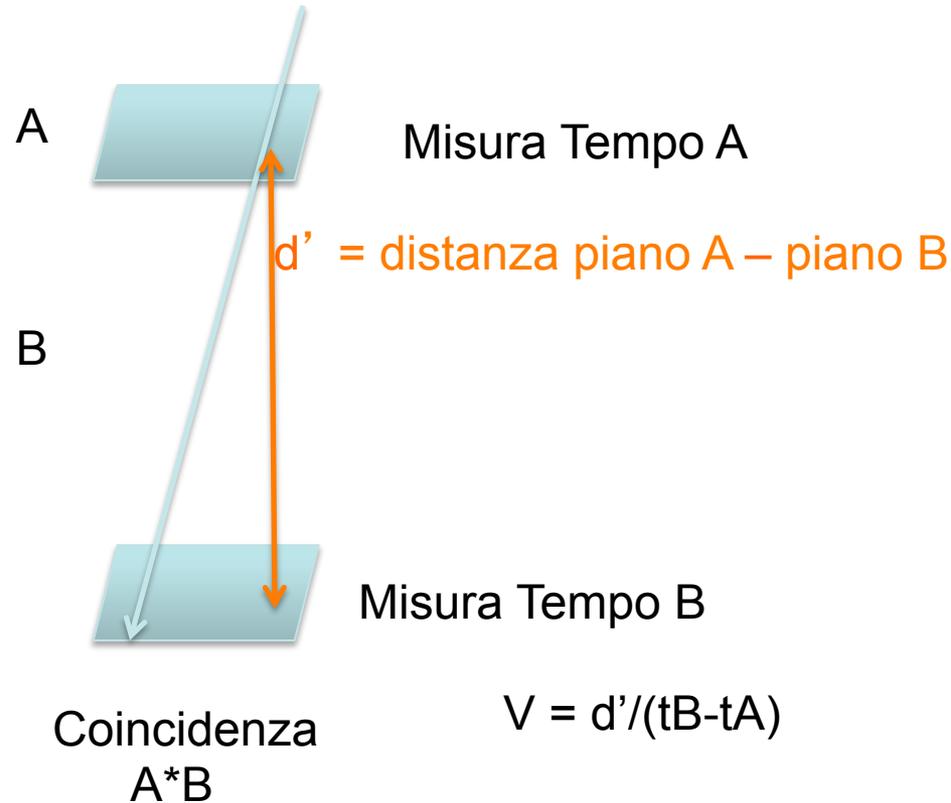
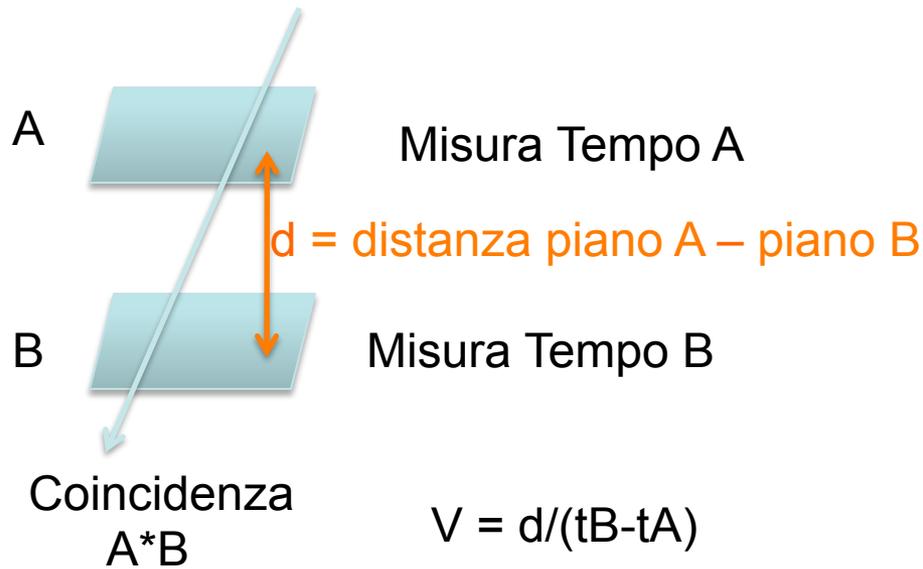
$$E = 2002.788979 \text{ MeV}$$

$$\beta = (2000 \text{ MeV}/c) \cdot c / (2002.788979 \text{ MeV}) = 0.998607452$$

Questo valore è molto prossimo a 1, cioè viaggiano quasi alla velocità della luce

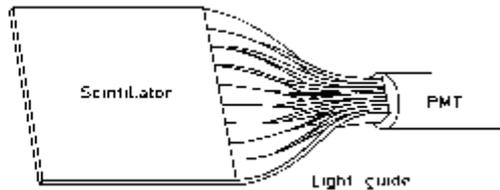
Cosa si potra' fare qui

1) Misura della velocita' del raggio cosmico



Rivelatori di raggi cosmici

Rivelatori di raggi cosmici



Gli **scintillatori** sono materiali capaci di rivelare il passaggio di una particella carica che lo attraversa.

Il fenomeno alla base e' la **scintillazione** che si origina per effetto del rilascio di energia da parte delle particelle che lo attraversano.

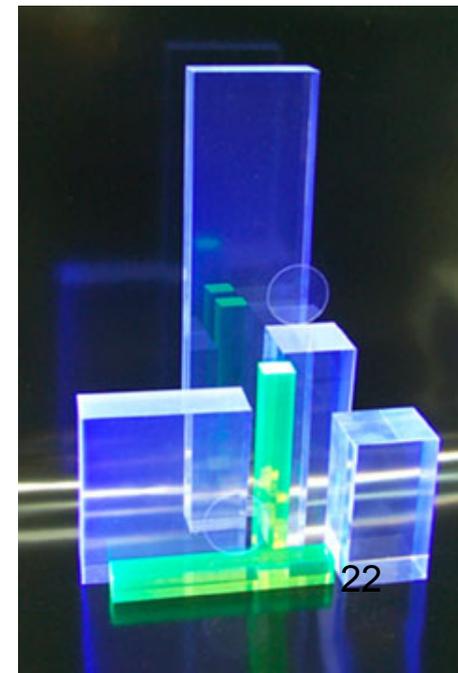
Lo scintillatore è avvolto con **nastro adesivo nero** per renderlo "cieco" alla luce esterna piu' intensa del debole segnale prodotto dal passaggio delle particelle.

La **luce di scintillazione** è convogliata, da guide di luce in plexiglass, verso appositi strumenti che la convertono in impulsi elettrici....



Scintillatore

Guida di luce



Fotomoltiplicatori

La luce di scintillazione viene amplificata e raccolta da **Fotomoltiplicatori**, strumenti che convertono un segnale luminoso in un segnale elettrico utilizzando **l'effetto fotoelettrico**.

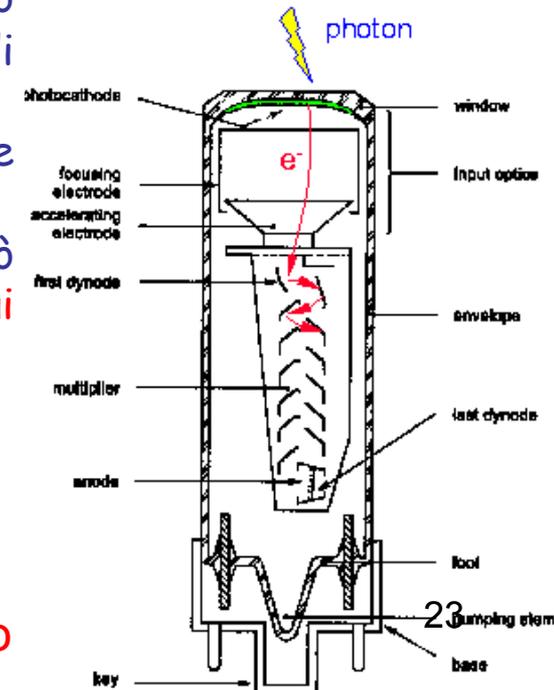
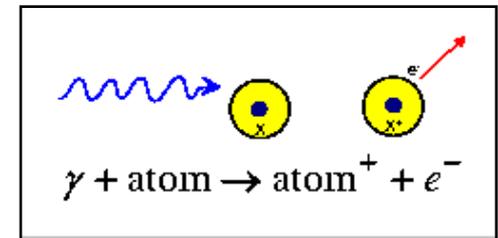
La **luce di scintillazione** è in genere costituita da **qualche centinaia di fotoni**, il fotomoltiplicatore la amplifica di un fattore $10^6 \div 10^7$

Il fotomoltiplicatore è costituito da: un **fotocatodo**, dove la luce viene convertito in una corrente elettrica, e da una **sequenza di dinodi** ($10 \div 15$). I dinodi hanno il compito di **moltiplicare la corrente prodotta sul fotocatodo**. I dinodi sono placchette metalliche poste a valori di campo elettrico via via crescenti.

Nel cammino fra un dinodo e il successivo, per effetto del campo elettrico, gli elettroni acquistano energia che permette loro di "estrarre" altri elettroni amplificando l'impulso di corrente.

Il tempo di transito dell'intero fotomoltiplicatore è di qualche decina di nanosecondi (10^{-9} s).

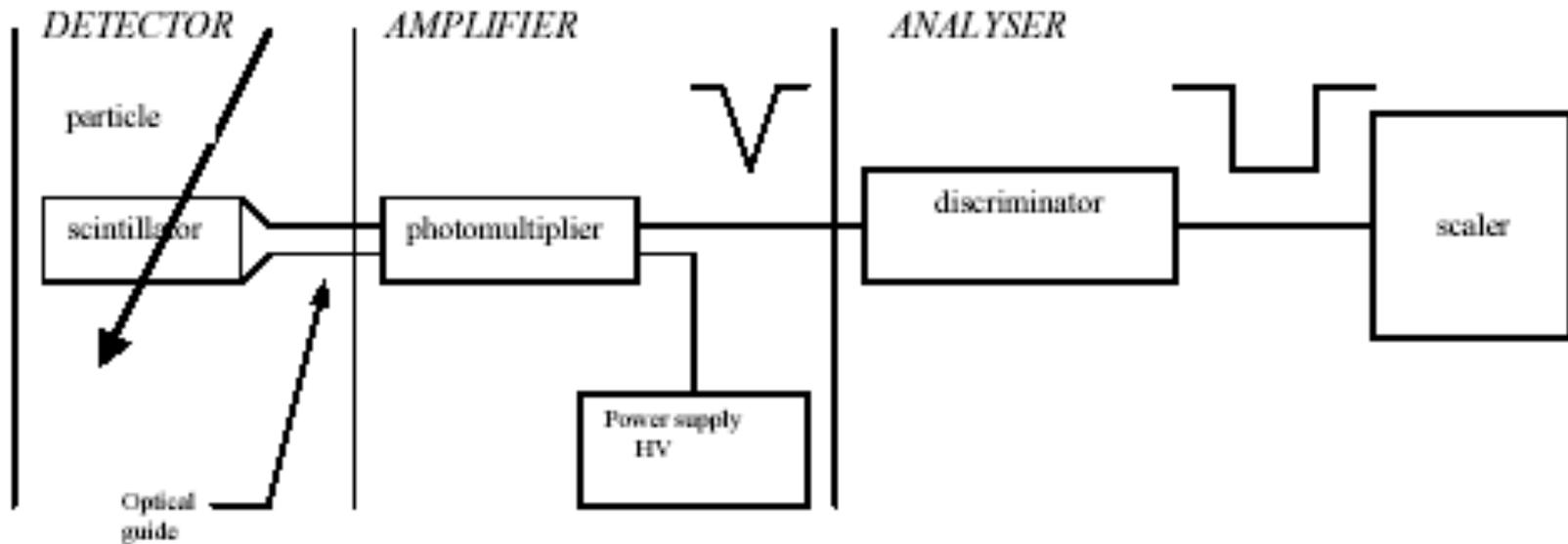
Grazie a questo, con **scintillatori e fotomoltiplicatori**, si può misurare sia **l'energia depositata dalla particella**, sia **l'istante in cui si è verificato l'attraversamento**.



Rivelatori di raggi cosmici

I rivelatori di particelle sono costituiti da 3 elementi:

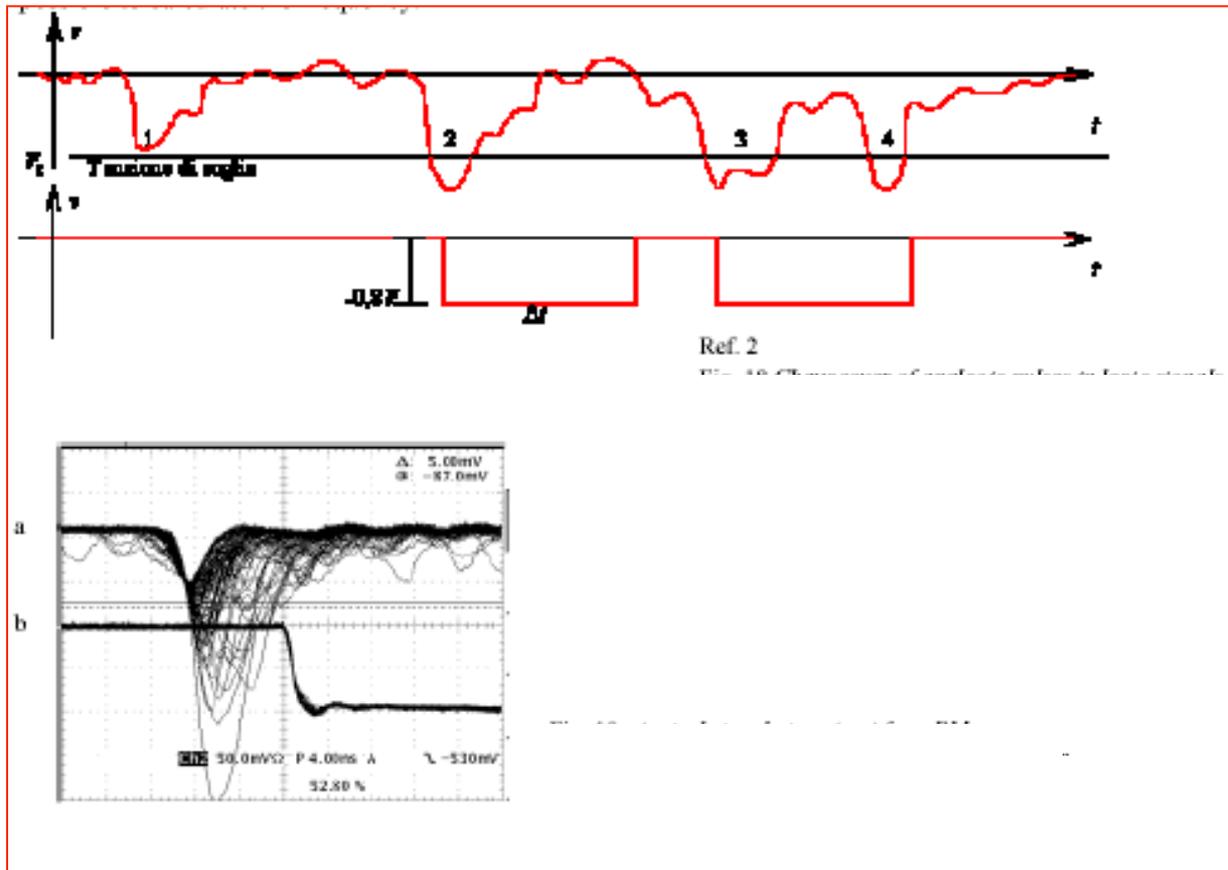
- rivelatore, che produce il segnale da misurare al passaggio delle particelle;
- amplificatore, che rende misurabile l'intensità del segnale prodotto nel rivelatore;
- analizzatore, che discrimina e conta i segnali prodotti.



Discriminatori

Il **discriminatore** è uno strumento capace di **selezionare un impulso** "interessante" eliminando i segnali "di fondo". Questo è fatto per mezzo di una **soglia** che discrimina l'ampiezza del segnale di ingresso. Non appena il segnale di ingresso supera il livello della soglia impostata, un segnale "standard" è prodotto in uscita.

Il discriminatore elimina i **segnali dovuti al rumore** e produce un impulso in grado di essere processato da altri moduli di elettronica (TDC, etc...)



Time to Digital Converter (TDC)

Un TDC (Time to Digital Converter) è un circuito elettronico in grado di misurare il tempo intercorso fra due segnali e di convertirlo in un numero digitale.

L'idea alla base di un TDC è :

Un primo segnale **START** entrando nel TDC fa partire un "orologio" che viene poi fermato dall'arrivo del secondo segnale **STOP**. L'uscita del TDC è un **numero intero** corrispondente al numero di unità di tempo (tipicamente nanosecondi) intercorsi fra start and stop

Time to Digital Converter (TDC)

Un TDC (Time to Digital Converter) è un circuito elettronico in grado di misurare il tempo intercorso fra due segnali e di convertirlo in un numero digitale.

L'idea alla base di un TDC è :

Un primo segnale **START** entrando nel TDC fa partire un "orologio" che viene poi fermato dall'arrivo del secondo segnale **STOP**. L'uscita del TDC è un **numero intero** corrispondente al numero di unità di tempo (tipicamente nanosecondi) intercorsi fra start and stop

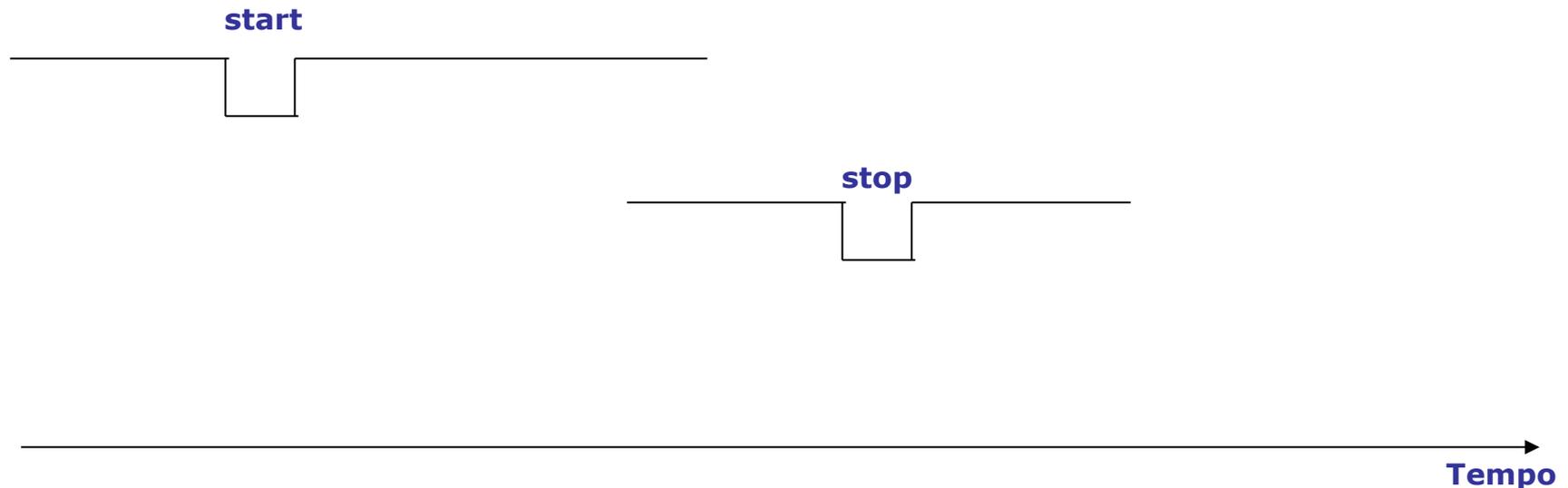


Time to Digital Converter (TDC)

Un TDC (Time to Digital Converter) è un circuito elettronico in grado di misurare il tempo intercorso fra due segnali e di convertirlo in un numero digitale.

L'idea alla base di un TDC è :

Un primo segnale **START** entrando nel TDC fa partire un "orologio" che viene poi fermato dall'arrivo del secondo segnale **STOP**. L'uscita del TDC è un **numero intero** corrispondente al numero di unità di tempo (tipicamente nanosecondi) intercorsi fra start and stop

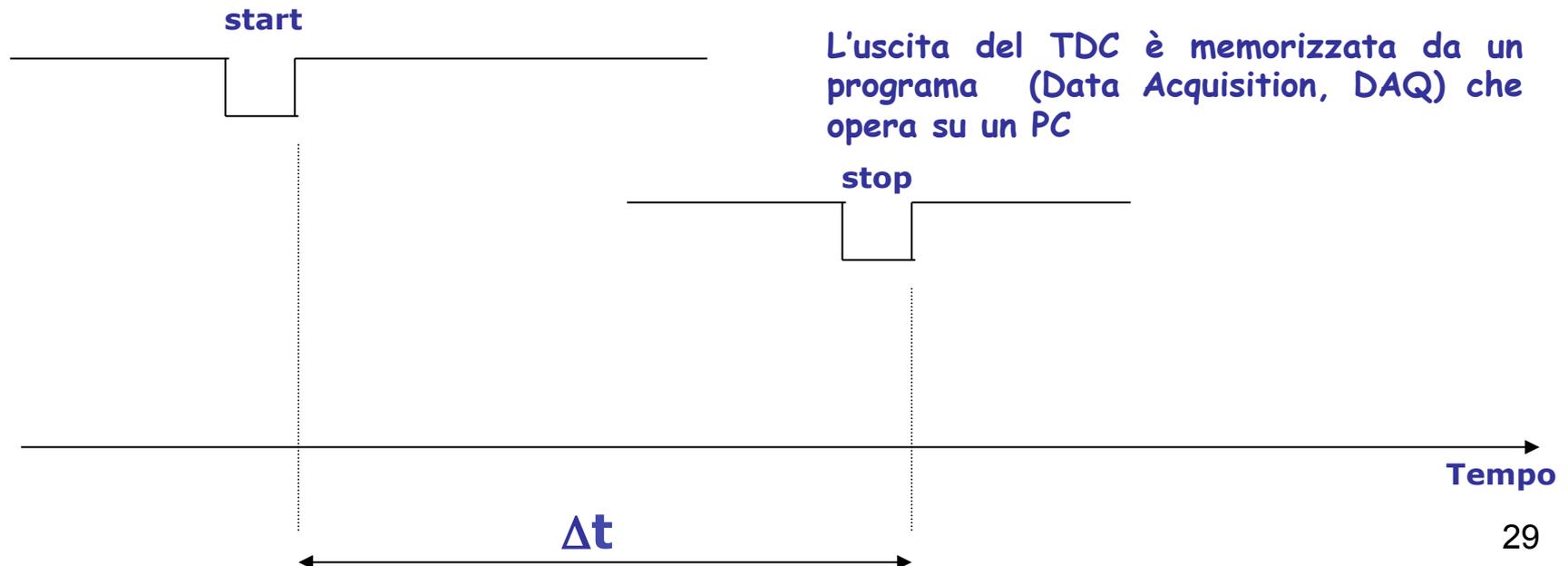


Time to Digital Converter (TDC)

Un TDC (Time to Digital Converter) è un circuito elettronico in grado di misurare il tempo intercorso fra due segnali e di convertirlo in un numero digitale.

L'idea alla base di un TDC è :

Un primo segnale **START** entrando nel TDC fa partire un "orologio" che viene poi fermato dall'arrivo del secondo segnale **STOP**. L'uscita del TDC è un **numero intero** corrispondente al numero di unità di tempo (tipicamente nanosecondi) intercorsi fra start and stop



Risoluzione del TDC

Il modulo TDC da noi utilizzato (mod.LeCroy 2228) converte in un numero binario di 11bits l'intervallo di tempo misurato.

Il fondoscala del TDC è regolabile e per la nostra misura è stato scelto il valore di $1\mu s$.

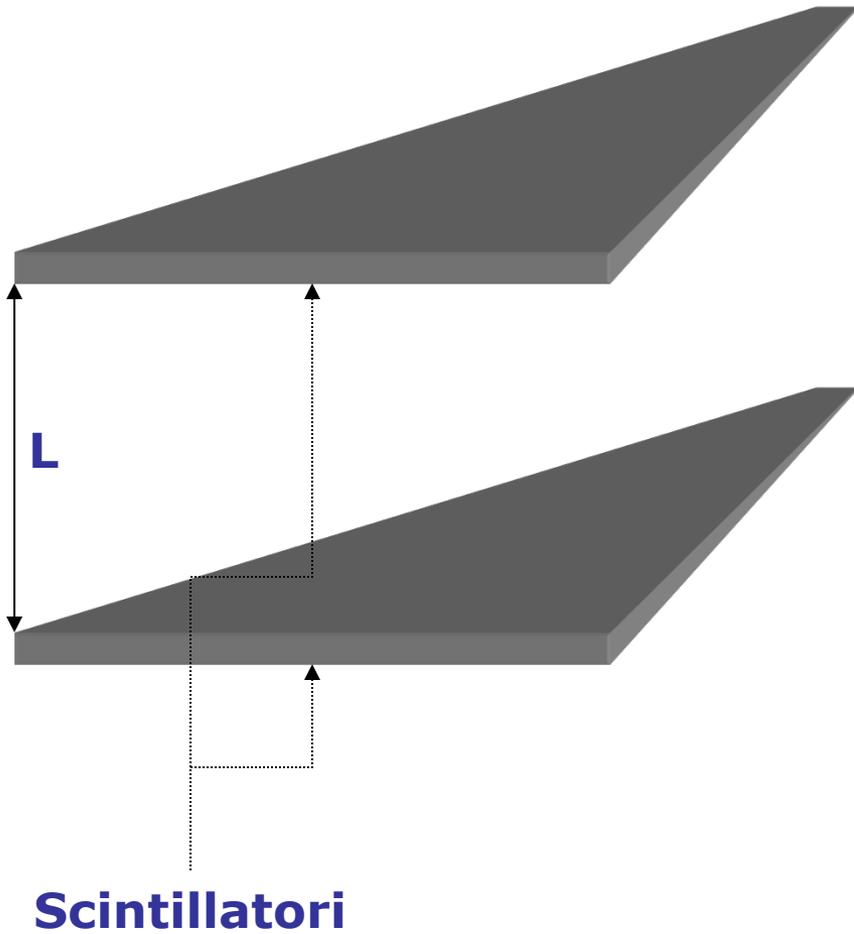
$$r = \frac{\text{fondoscala}}{n_{ch}}$$

Il numero di canali del modulo è fisso e dipende dal numero di bit a disposizione per la conversione, nel nostro caso 11 bits = 1024 canali.

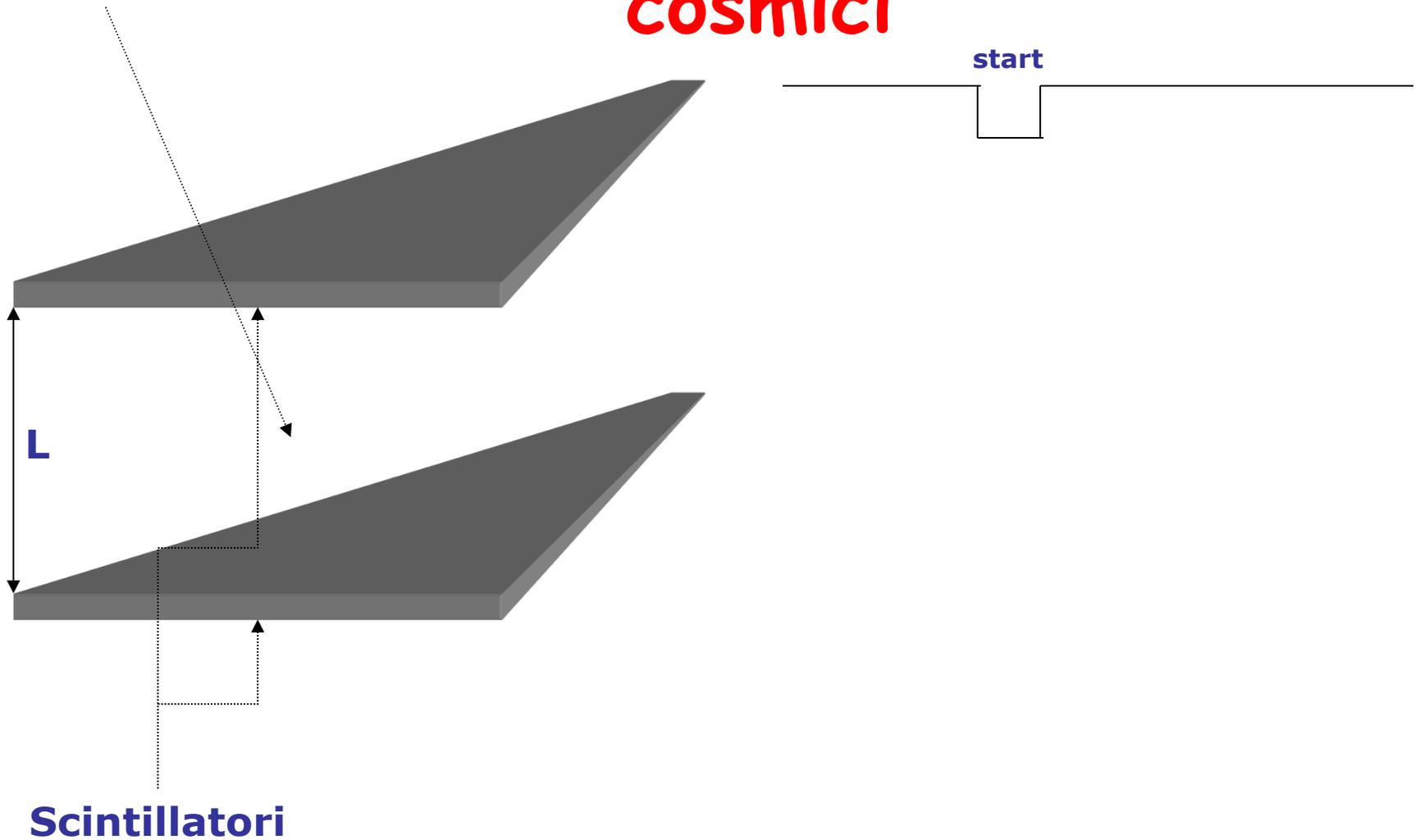
A seconda del fondoscala impostato avremo quindi una diversa risoluzione dello strumento:

$$r = \frac{1000ns}{1024ch} = 0.98ns / ch$$

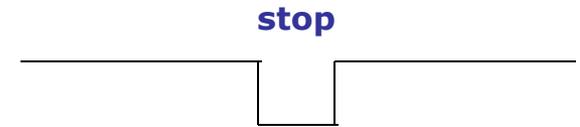
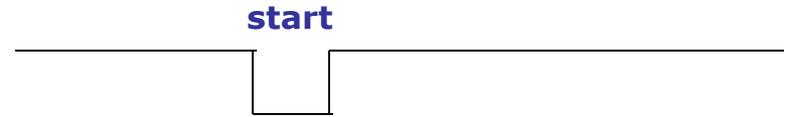
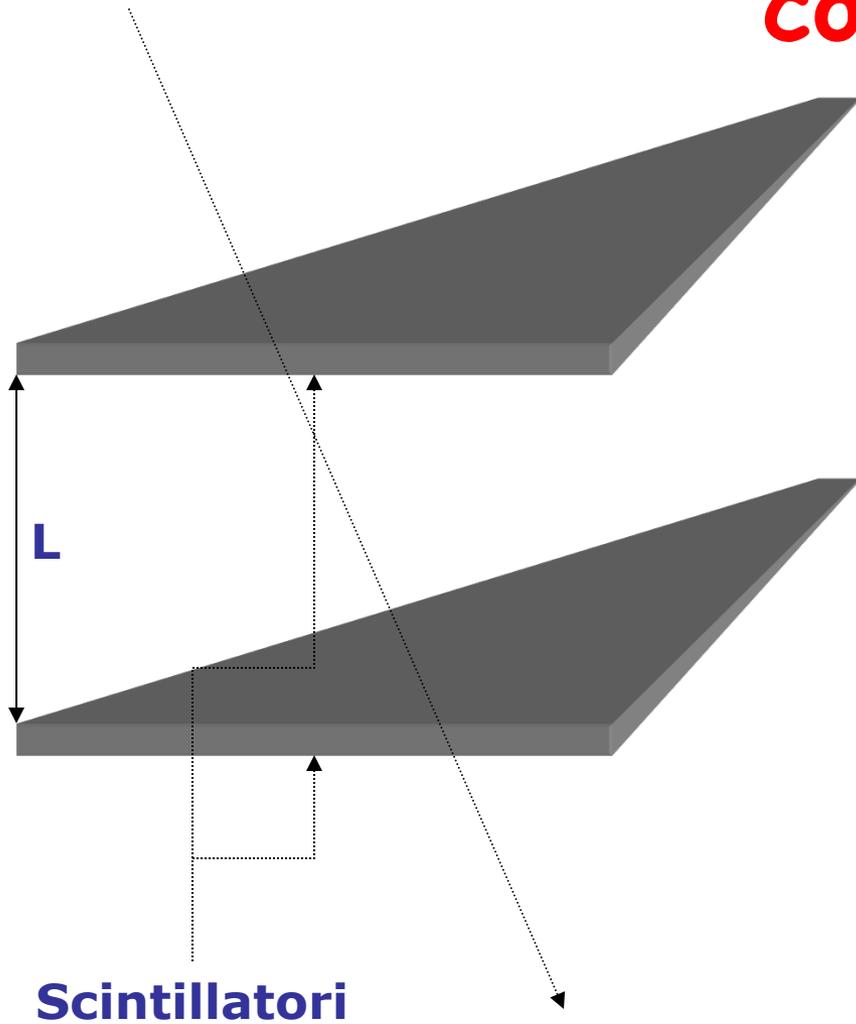
Misura della velocità dei raggi cosmici



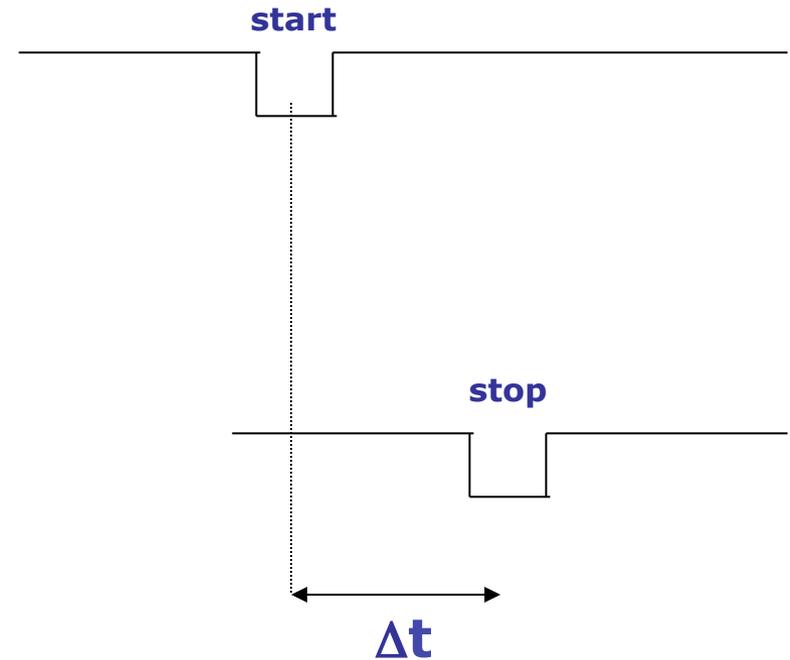
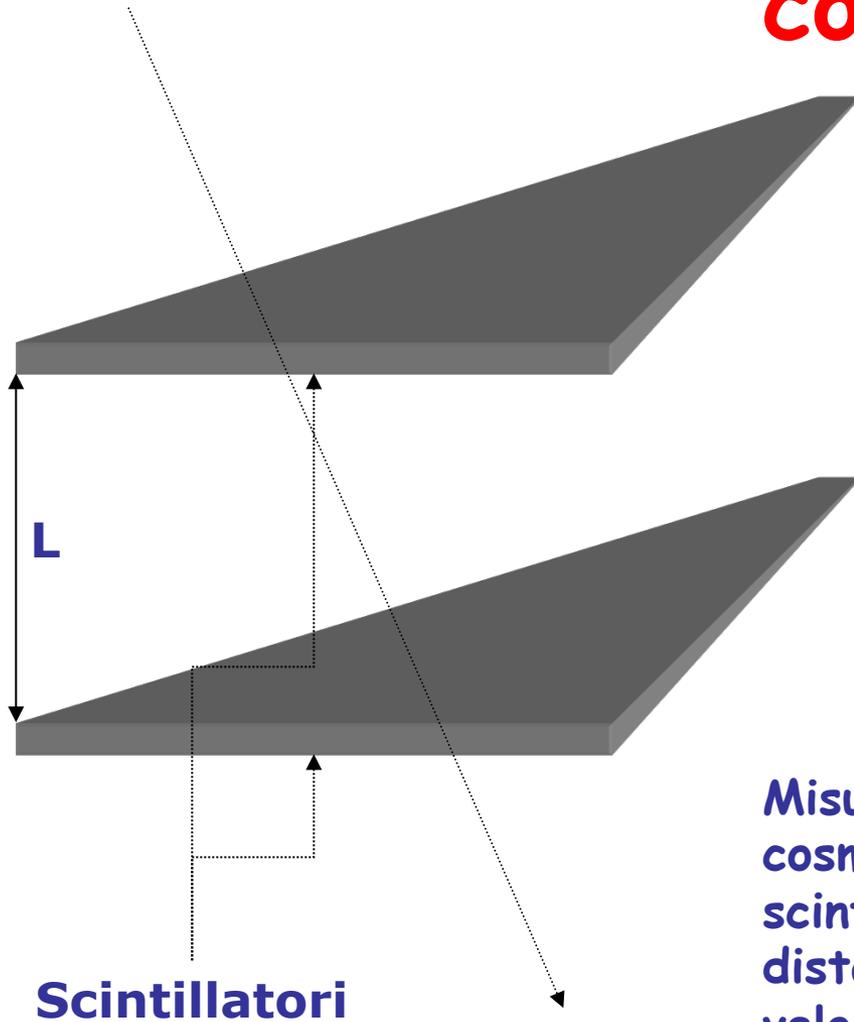
Misura della velocità dei raggi cosmici



Misura della velocità dei raggi cosmici



Misura della velocità dei raggi cosmici



Misurando il tempo che il raggio cosmico impiega a "viaggiare" fra i 2 scintillatori, conoscendo la loro distanza L , possiamo calcolare la sua velocità:

$$v = L/\Delta t$$

L'esperimento

L' esperimento

L'esperimento è così organizzato:

- **2 rivelatori a scintillazione**, composti da uno scintillatore ($30 \times 30 \times 0.5 \text{ cm}^3$) NE110, una guida di luce (22cm), un fotomoltiplicatore Philips 56AVP equipaggiato di partitore di tensione.
- **1 Crate NIM**, equipaggiato con un discriminatore (mod.CAEN 417), una coincidenza (mod.CAEN 455), un contatore scaler Quad (mod.CAEN 145), 4 canali di alta tensione programmabili (mod.CAEN 470) un ritardo (mod.CAEN 108).
- **1 crate CAMAC**, equipaggiato con: Status A (mod.CAEN 236), TDC (mod.LeCroy 2228) e un interfaccia SCSI per la connessione al PC.
- **PC software**: Microsoft Word, per l' "editing"; LabVIEW 6.1, per acquisizione dati; Origin, per l'elaborazione dei dati raccolti; Internet explorer.

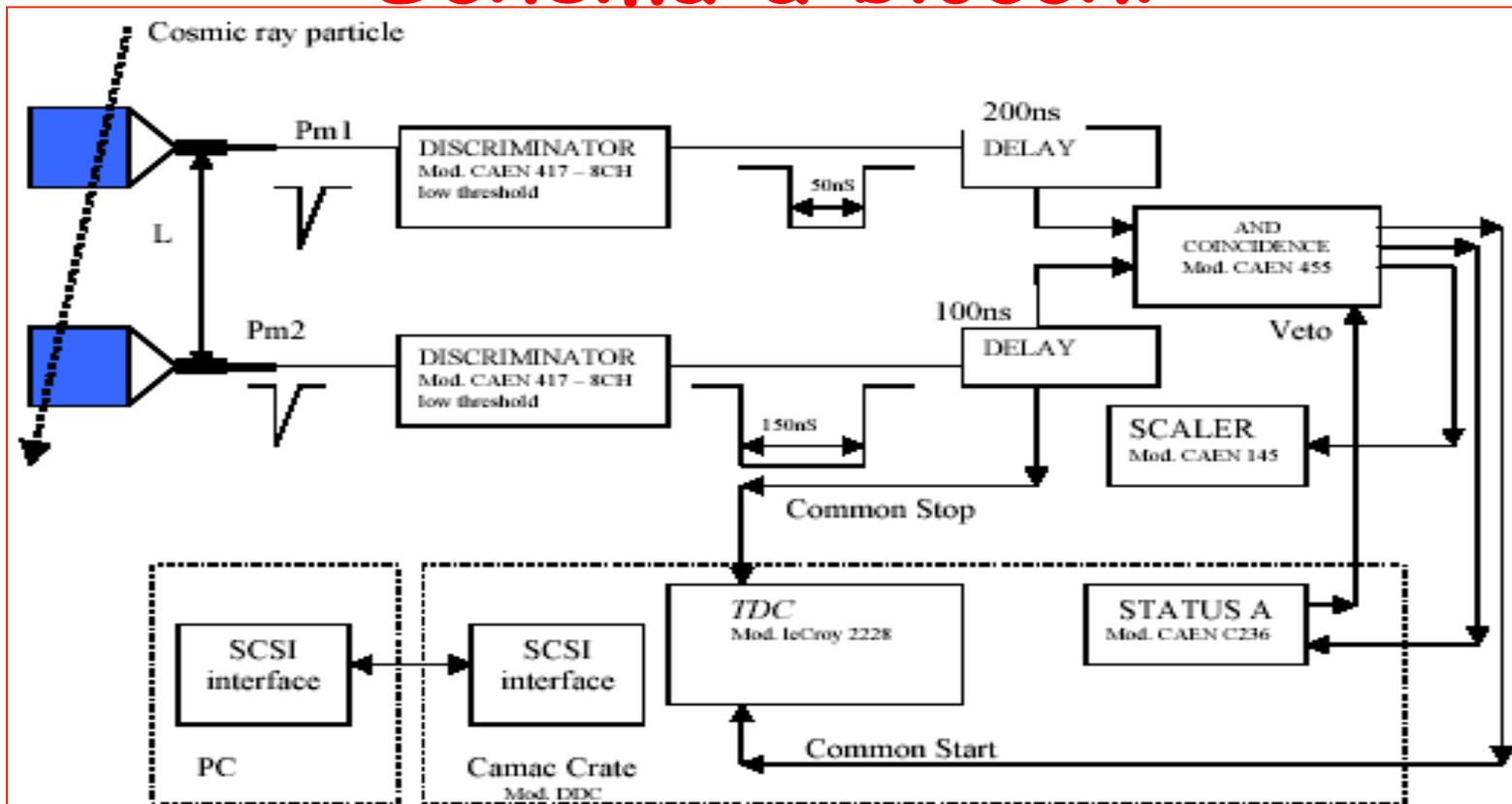
I rivelatori sono allineati in verticale e posti a distanza L , regolabile. Quando un raggio cosmico attraversa lo scintillatore produce un impulso luminoso convertito in un segnale elettrico dal fotomoltiplicatore. Il segnale del fotomoltiplicatore, opportunamente discriminato, viene ritardato di 200 ns per il rivelatore in alto (PM1) e di 100 ns per quello in basso (PM2). I due segnali sono inviati all'unità di coincidenza che effettua un'operazione logica di AND. Questa operazione è necessaria per selezionare solo cosmici veri che attraversano entrambi i rivelatori.

L'unità logica ha 3 uscite: la prima è inviata ad un contatore scaler, la seconda viene inviata al modulo Status A, la terza arriva all'ingresso "common start" del TDC.

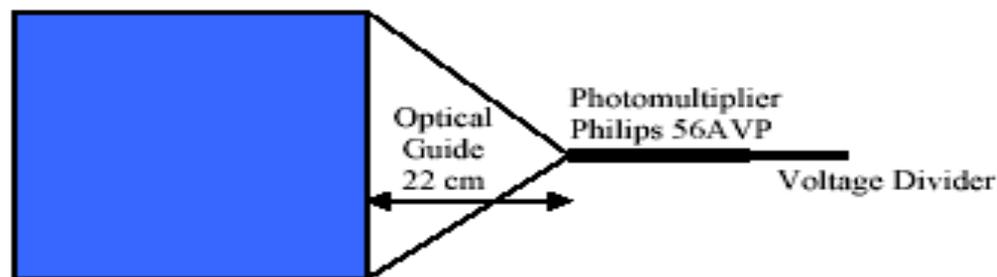
Il segnale PM2 va anche all'input "common stop" del TDC.

Il TDC e lo Status A, alloggiati nel crate CAMAC, vengono "letti" dal PC attraverso l'interfaccia SCSI.

Schema a blocchi



Scintillator $30 \times 30 \times 0.5 \text{ cm}^3$
Mod. NE110



Brevi cenni di teoria degli errori

Brevi cenni di teoria degli errori

Ogni misura sperimentale di una variabile è affetta da errore che determina la “quantità di informazione” che possiamo ottenere.

Due tipi di errore affliggono la nostra misura

Errore statistico

Errore sistematico o strumentale

L'errore statistico di un misura si valuta attraverso la deviazione standard σ dalla media di un set di N misure:

$$x = (x_{\text{medio}} \pm \sigma)$$

$$x_{\text{medio}} = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_N) / N = \left(\sum_{i=1}^N x_i \right) / N \quad (\text{media aritmetica})$$

$$\sigma^2 = [(x_1 - x_{\text{medio}})^2 + (x_2 - x_{\text{medio}})^2 + (x_3 - x_{\text{medio}})^2 + \dots + (x_N - x_{\text{medio}})^2] / (N-1) \quad \text{Varianza}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{\text{medio}})^2}{N - 1}}$$

la deviazione standard e' la media degli scarti

Gli errori statistici variano in modo imprevedibile da una misura all'altra e influenzano il risultato qualche volta per eccesso qualche volta per difetto 39

Deviazione standard

Formula semplificata

Il calcolo può essere semplificato come segue:

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^N (x_i - \langle x \rangle)^2 &= \sum_{i=1}^N (x_i^2 - 2x_i \langle x \rangle + \langle x \rangle^2) \\ &= \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right) - \left(2\langle x \rangle \sum_{i=1}^N x_i \right) + N\langle x \rangle^2 \\ &= \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right) - 2\langle x \rangle (N\langle x \rangle) + N\langle x \rangle^2 \\ &= \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right) - 2N\langle x \rangle^2 + N\langle x \rangle^2 \\ &= \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right) - N\langle x \rangle^2.\end{aligned}$$

cioè, applicando il tutto alla formula originale:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 - N\langle x \rangle^2 \right)} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 - \langle x \rangle^2}.$$

Poiché il primo addendo sotto radice può essere visto come il valore atteso degli x quadrati, spesso si scrive:

$$\sigma^2 = \mathbb{E}[x^2] - (\mathbb{E}[x])^2$$

L'errore sistematico è quello dovuto all'impiego di strumenti poco precisi, mal tarati, o inadatti alla misura in questione. Di questo tipo di errori fanno parte anche quelli dovuti all'imperizia o alla negligenza dello sperimentatore o quelli che derivano dall'aver trascurato l'influenza, sul risultato, di fattori esterni come ad esempio la pressione nel caso della misurazione della temperatura dell'acqua.

Gli errori sistematici influenzano il risultato sempre per eccesso o sempre per difetto

Se conoscessimo la causa dell'errore sistematico potremmo correggere le misure

Se non la conosciamo dobbiamo considerare tale errore come un'incertezza sul

Risultato che non possiamo prevedere essere per eccesso o per difetto

Es:

Metro mal tarato

tempo di reazione nel far partire un cronometro

Esempio pratico

Con un righello, che ha la precisione di 1mm, misuriamo la lunghezza di un tavolo:

$$X_1 = 56.5 \text{ cm}$$

$$X_2 = 56.6 \text{ cm}$$

$$X_3 = 56.3 \text{ cm}$$

$$X_4 = 56.4 \text{ cm}$$

$$X_{\text{medio}} = 56.45 \text{ cm}$$

$$\sigma = 0.13 \text{ cm}$$

La lunghezza del tavolo è $56.5 \pm 0.13(\text{stat}) \pm 0.1(\text{sist}) \text{ cm}$

Perchè ho scritto 56.5? ...

Cifre significative

Le cifre ottenute da una misurazione si chiamano cifre significative, perché sono quelle che hanno significato in quanto effettivamente registrate dallo strumento utilizzato per compiere la misura. Il numero di tali cifre è dato da quelle note con sicurezza più una incerta.

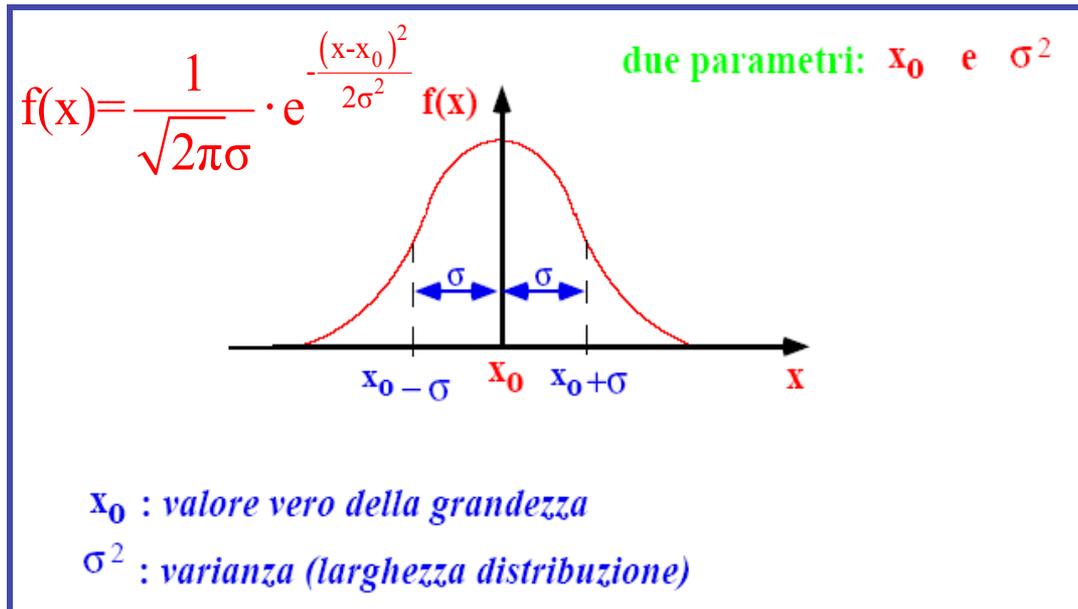
Il numero delle cifre significative dipende dalla scala dello strumento di misura utilizzato, cioè dal limite di sensibilità dell'apparecchio.

Questo limite corrisponde alla minima quantità che l'apparecchio riesce ad apprezzare.

Ad esempio non si possono pretendere misure di lunghezza con cinque o sei cifre significative usando un metro da sarto (uno strumento di misura, che ha precisione di 1mm) perché molte di quelle cifre non avrebbero alcun significato.

Distribuzione di Gauss

Misure ripetute di una stessa grandezza fisica tendono ad avere una "distribuzione" a forma di *campana* rappresentabile con la funzione di Gauss



- ~ 68% misure entro $|x_0 - \sigma|$
- ~ 95% misure entro $|x_0 - 2\sigma|$
- ~ 99.7% misure entro $|x_0 - 3\sigma|$

Misure di conteggi

Le misure di conteggio seguono una distribuzione di probabilità chiamata di Poisson. Lambda è il parametro che indica quanti eventi avvengono in un Intervallo di tempo

$$P(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda} \quad (\text{con } 0 < \lambda < \infty)$$

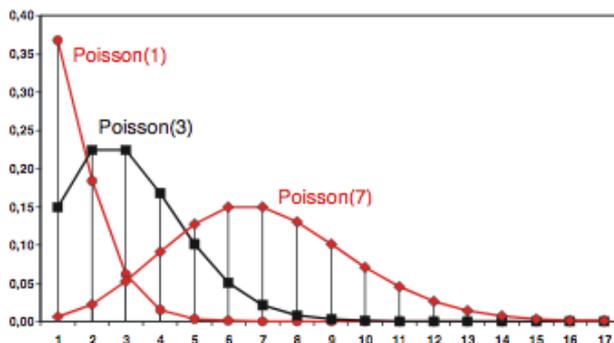
Il numero di guasti che in un anno si verificano in una centralina telefonica si distribuiscono secondo la legge di Poisson, con $\lambda=3$. Qual è la probabilità che in un anno si verifichino tre guasti?



$$P(X = 3) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda} = \frac{3^3}{3!} e^{-3} = \frac{27 \cdot 0,0497}{6} = 0,224$$

$X_{\text{medio}} = \lambda$

Varianza = λ



Al crescere di λ la distribuzione della variabile X è sempre più schiacciata e il centro spostato verso destra

Misure di conteggi

Se faccio misure ripetute di conteggi, esse si distribuiranno secondo la distribuzione di Poisson.

Se faccio una Singola misura di conteggio assumo che il valore giusto (λ) sia la misura x e l'errore e' quindi \sqrt{x}

$$\lambda = x \pm \sqrt{x}$$

Misure di tempo e della velocita

Le misure di tempo che realizzate con gli scintillatori sono affette da un errore gaussiano

La misura della velocita' e' data da

$$v = d/t$$

$$\sigma(v)/v = dt/t$$

Assumete d (distanza tra gli scintillatori privo di errore)
L'errore su t e' l'errore sulla media delle misure