

Benvenuti a

International Cosmic Day

Perugia – 22 Novembre 2022

Claudio Brugnoli, Federico Donnini, Matteo Duranti, Francesco Faldi,
Maura Graziani, Andrea Serpola, Nicola Tomassetti, Alessio Ubaldi,
Giovanni Ambrosi, Bruna Bertucci

Dipartimento di Fisica e Geologia dell'Università di Perugia
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare INFN – Perugia
Centro CRISP – Accordo ASI-UniPG 2019-2-HH.0



ICD2022: La mappa mondiale



ANTARTIDE
Google My Maps

<https://icd.desy.de>

#ICD2022 @ INFN

Circa 4000 studenti da 70
scuole superiori da tutta Italia

Varie sezioni INFN
della rete OCRA

Bari, Catania, Cosenza, Genova, Lecce,
LNGS, Milano Bicocca, Napoli, Padova,
Pavia, Perugia, Roma, Sassari, Torino,
Trieste

<https://web.infn.it/OCRA>



Il programma della giornata

<https://agenda.infn.it/event/33480>

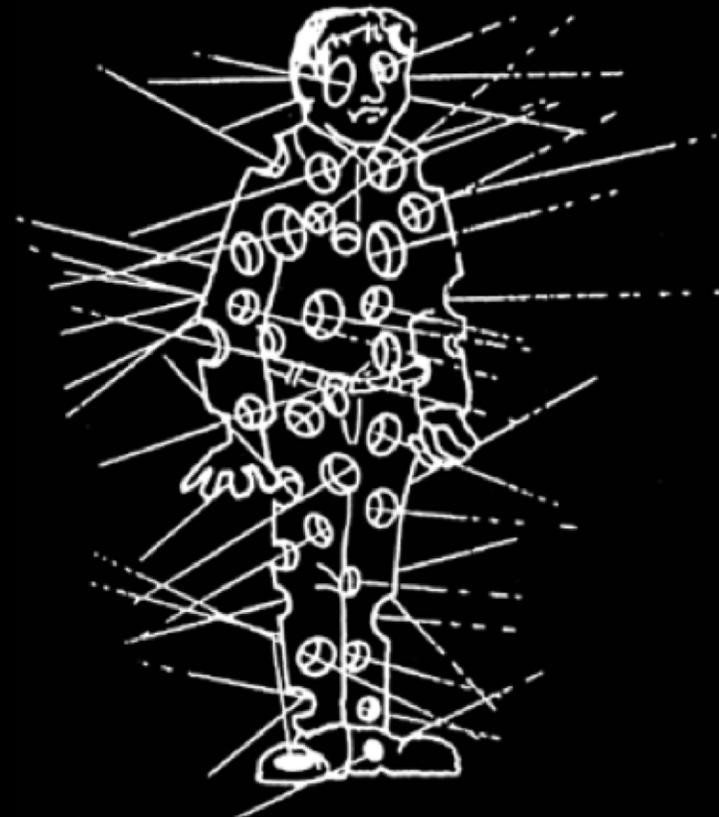
Quest'anno ICD – Perugia si svolgerà in presenza presso i locali del Dipartimento di Fisica e Geologia dell'Università di Perugia, nell'edificio di Via Pascoli

5 - Seminario: I raggi cosmici, le misure, le ricerche in corso		<i>Federico Donnini</i>	
<i>Aula Informatica, terzo piano, Dipartimento di Fisica e Geologia</i>		09:30 - 10:00	
2 - Assemblaggio Rivelatore	<i>Maura Graziani</i>	1 - Analisi Dati	<i>Federico Donnini</i>
<i>Laboratorio 1, terzo piano, Dipartimento di Fisica e Geologia</i>	10:00 - 12:00	<i>Aula Informatica, terzo piano, Dipartimento di Fisica e Geologia</i>	10:00 - 12:00
6 - Conclusione: Documentazione e comunicazione dei risultati		<i>Federico Donnini, Nicola Tomassetti</i>	
<i>Aula Informatica, terzo piano, Dipartimento di Fisica e Geologia</i>		12:00 - 12:30	
7 - Discussione e attestati di partecipazione		<i>Federico Donnini, Nicola Tomassetti</i>	
<i>Aula Informatica, terzo piano, Dipartimento di Fisica e Geologia</i>		12:30 - 13:00	

- Strumenti per assemblare Mazinga: cacciaviti, chiavi inglesi, chiavi a brugola
- Strumenti per elaborare i dati: quaderno e penna, calcolatrice, Excel etc.

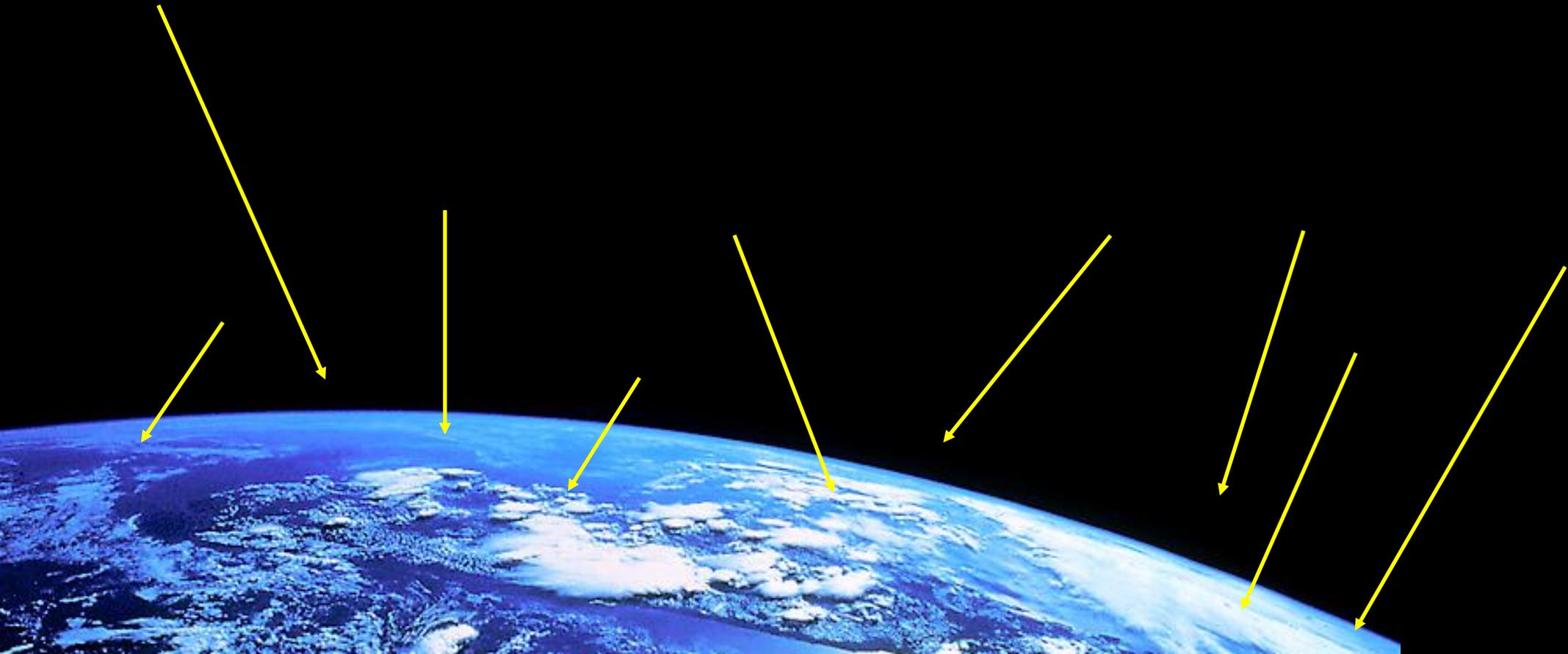
Da quando siamo entrati in questa sala
il nostro corpo è già stato attraversato
da migliaia di **Raggi Cosmici**

Benvenuti

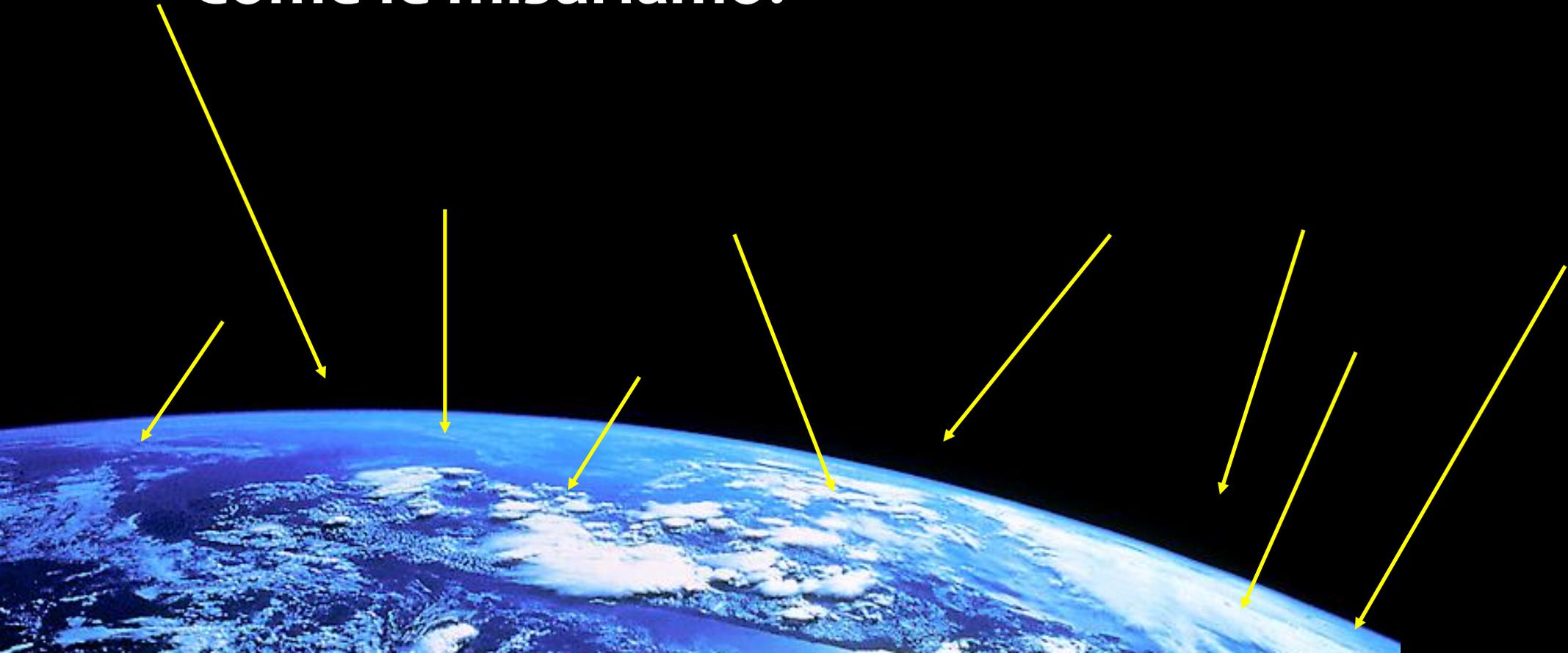


Ma cosa sono i Raggi Cosmici?

Una pioggia di «particelle extraterrestri» che bombarda incessantemente il nostro pianeta



**Ma come è fatta questa pioggia?
Quanto è intensa? Da dove viene? Come si genera?
Di quali particelle è fatta? Che energia hanno?
Come le misuriamo?**



Le proprietà osservabili della radiazione cosmica



Le determiniamo da misure condotte sulle particelle cosmiche che riveliamo. Misuriamo:

Le loro direzioni d'arrivo

La loro identità: massa, carica

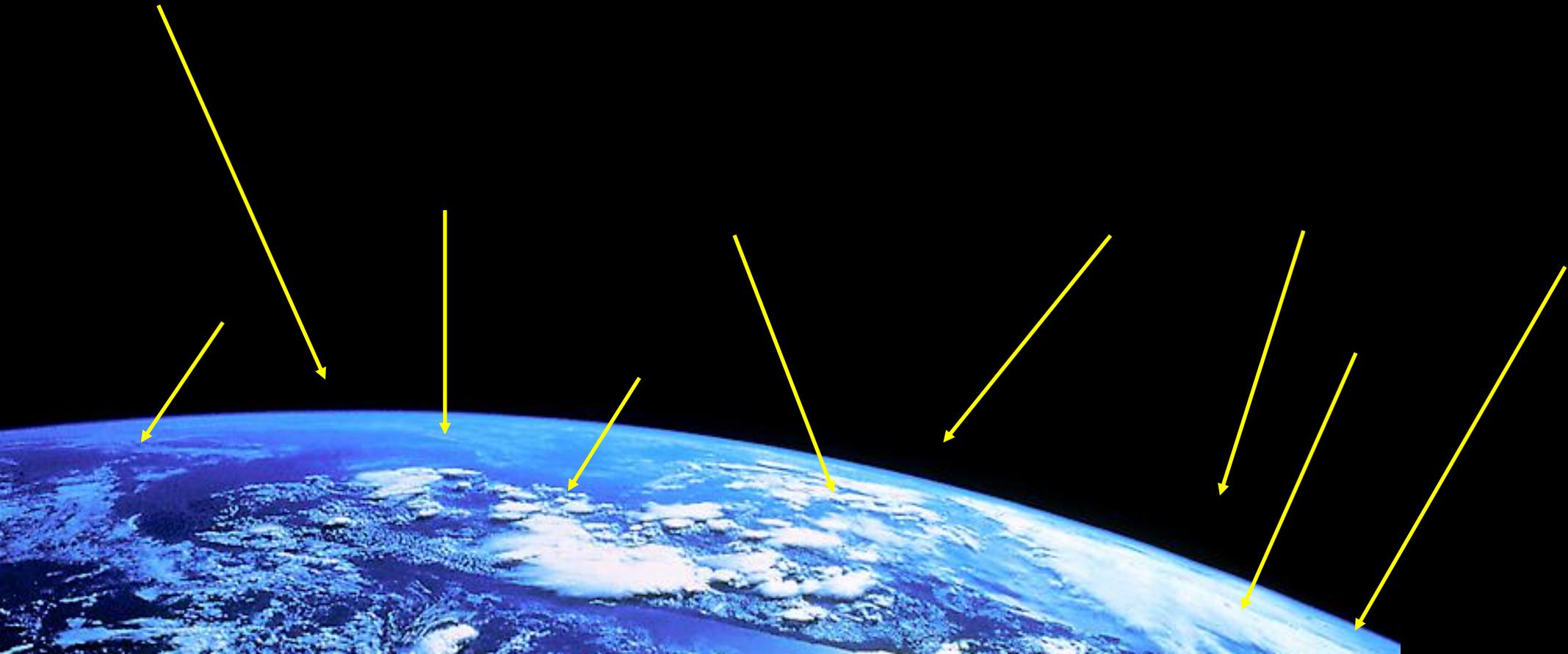
La loro energia cinetica

Sciami di particelle

Cosa succede ai Raggi Cosmici quando raggiungono la Terra?

→ **Attraversano l'atmosfera (fatta di atomi O, N), si disintegrano**

→ **Producono particelle secondarie. Queste producono altre particelle**

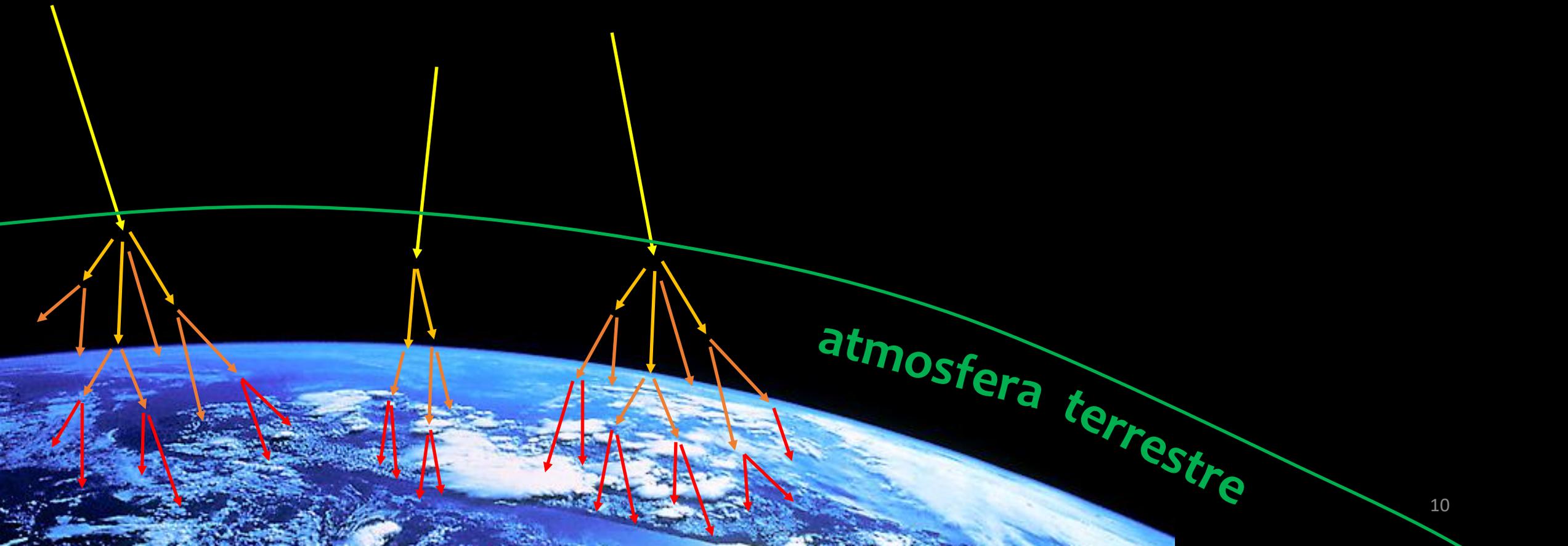


Sciami di particelle

Cosa succede ai Raggi Cosmici quando raggiungono la Terra?

→ Attraversano l'atmosfera (fatta di atomi O, N), si disintegrano

→ Producono particelle secondarie. Queste producono altre particelle...

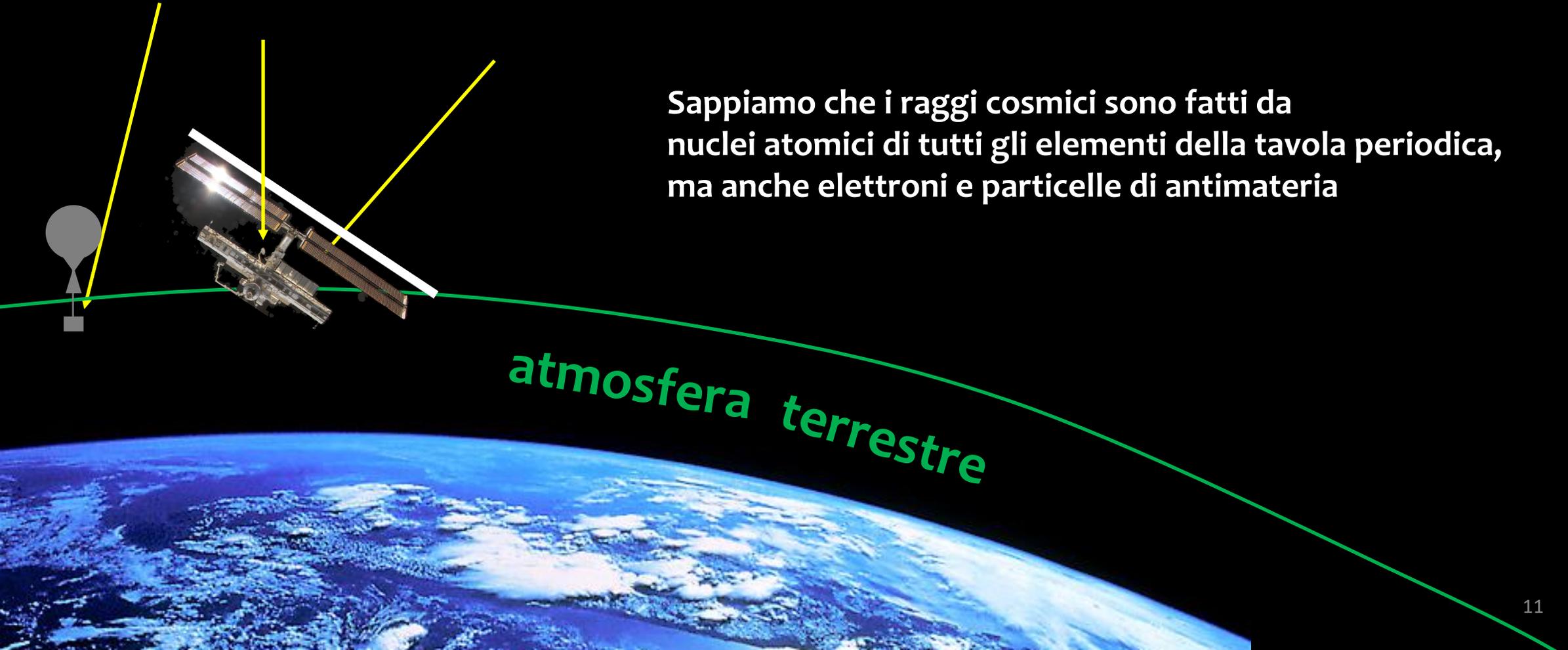


Raggi Cosmici primari: come li misuriamo?

1. Direttamente, nello spazio

Li intercettiamo prima che arrivino al contatto con l'atmosfera.

Sappiamo che i raggi cosmici sono fatti da nuclei atomici di tutti gli elementi della tavola periodica, ma anche elettroni e particelle di antimateria



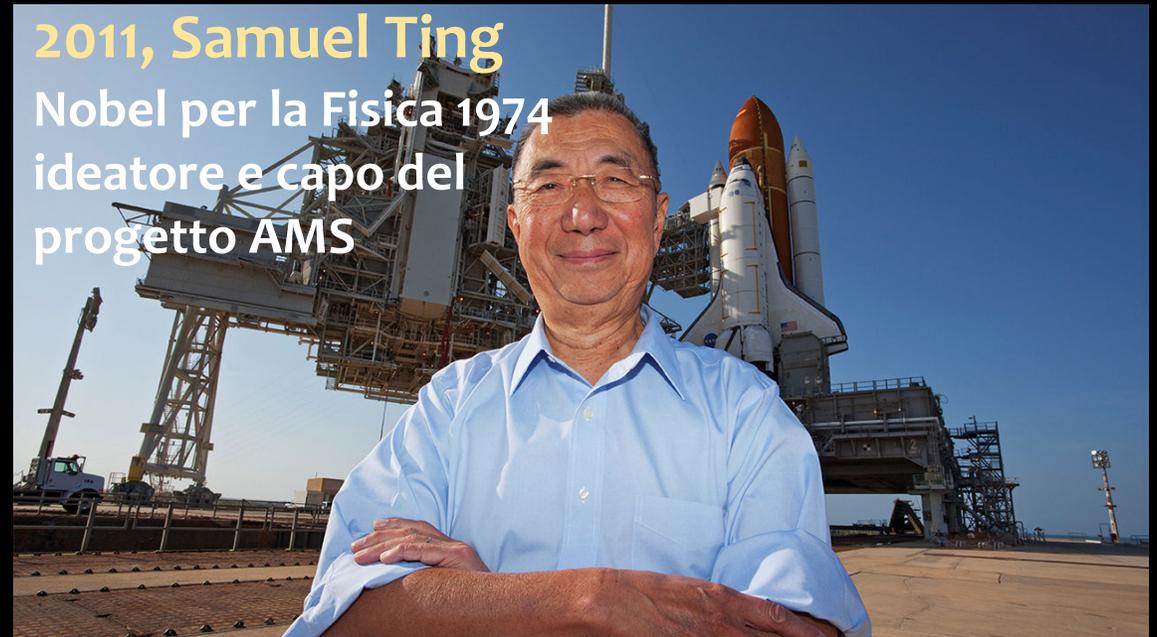
Misura diretta: esperimenti nello spazio

Dagli anni '90 studiamo in dettaglio composizione ed energia d Raggi Cosmici primari
Esperimenti nello spazio: su **satellite**, nella **ISS**, nello **Space Shuttle** o su **sonde spaziali**

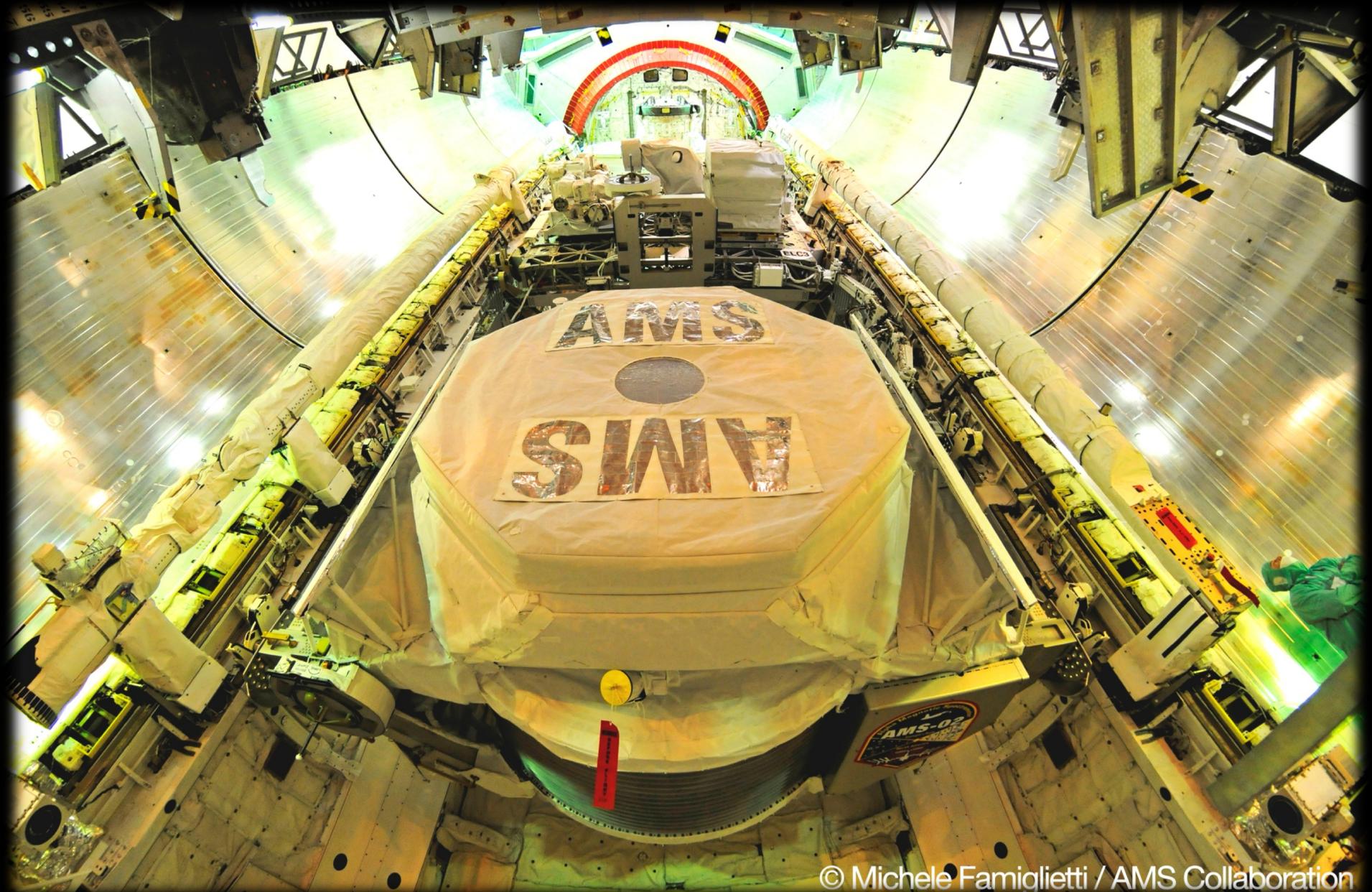


L'esperimento Alpha Magnetic Spectrometer

Il più importante esperimento nello spazio è **AMS-02**. Lanciato dalla NASA con lo *Space Shuttle Endeavour* nel 2011 è tuttora attivo sulla **Stazione Spaziale Internazionale**.



AMS nello Space Shuttle Endeavour



16 Maggio 2011 @KSC: il Lancio



*May 16, 2011 @ KSC, US
STS-134 / Endeavour on launchpad*

19 Maggio 2011: AMS è installato e attivato nella ISS



da 11 anni e 6 mesi in presa dati 7/24

7/24 full time monitored at POCC

AMS has collected

212,401,495,985

cosmic ray events

Last update: November 21, 2022, 11:04 PM



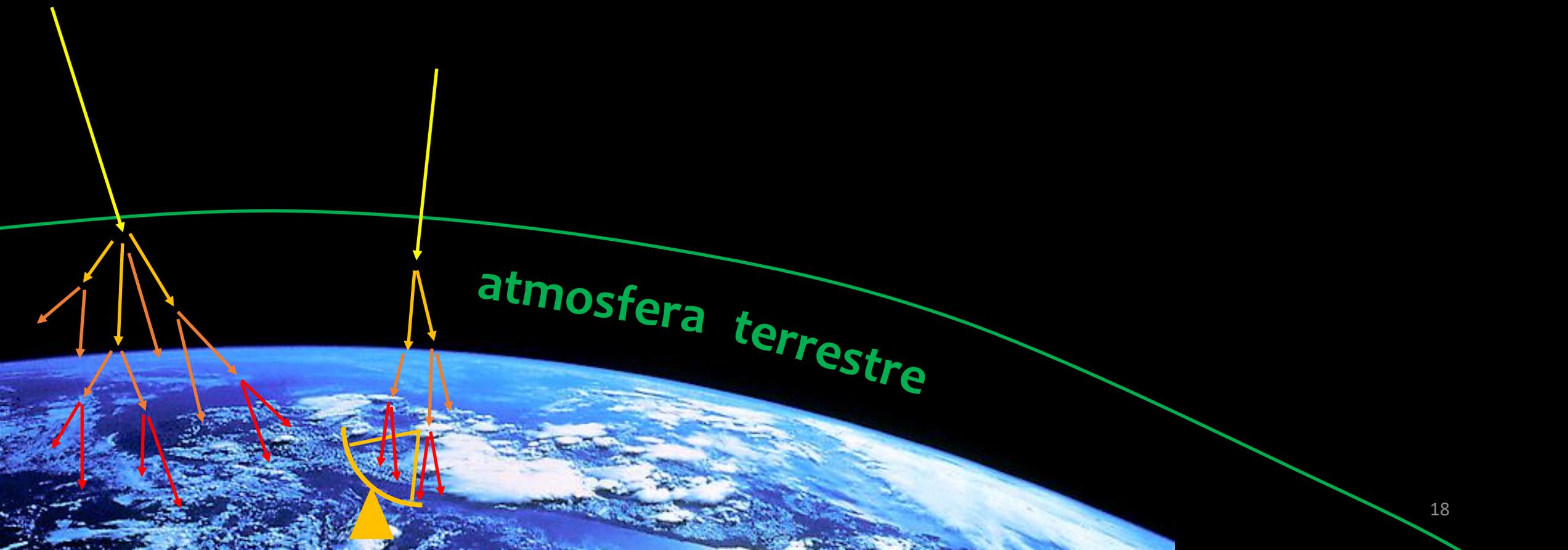
The Payload Operation Control Center (POCC) at CERN, Geneva

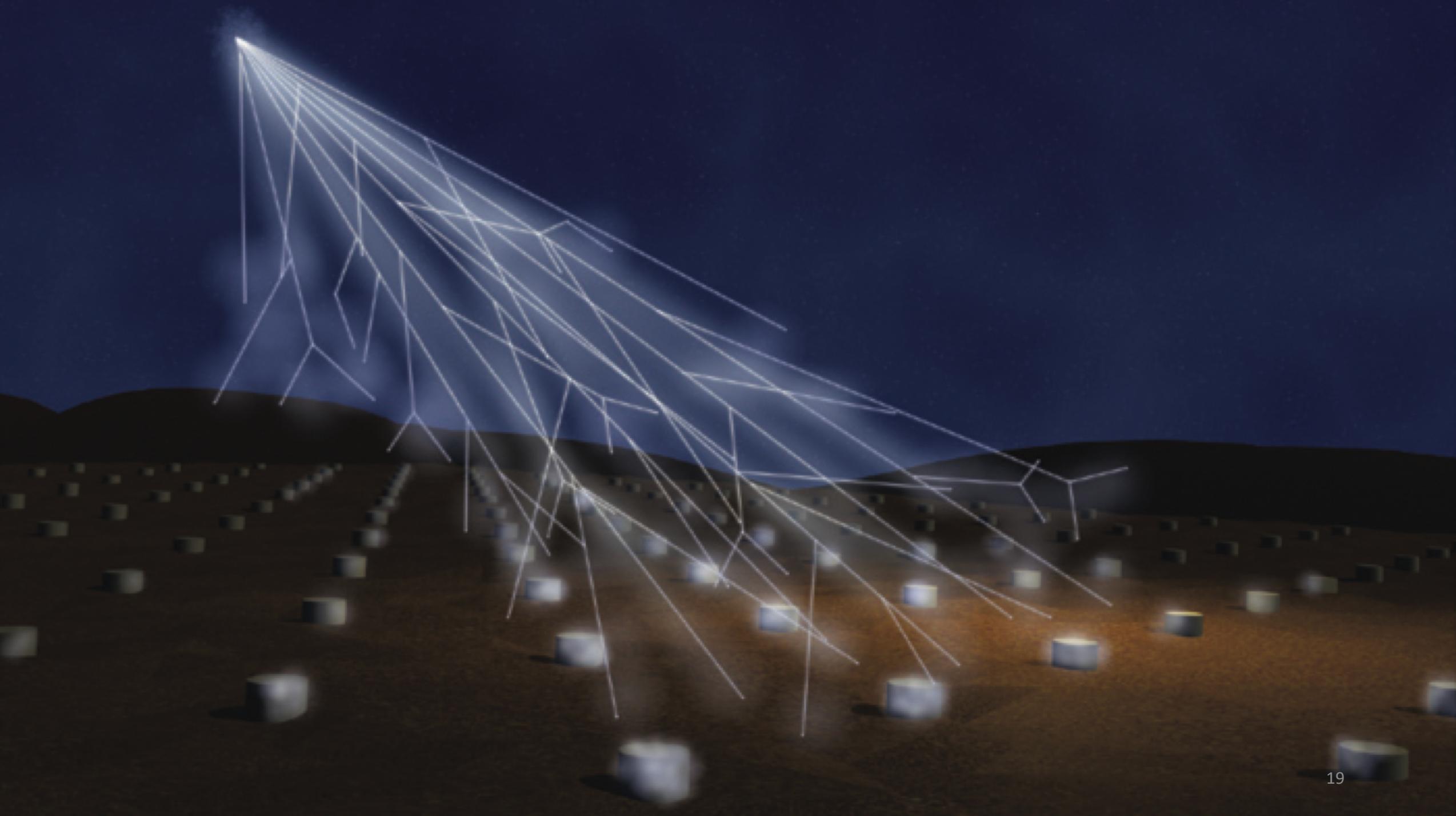
<https://ams02.space>

2. Indirettamente, a terra

Misuriamo gli sciami atmosferici di particelle secondarie.

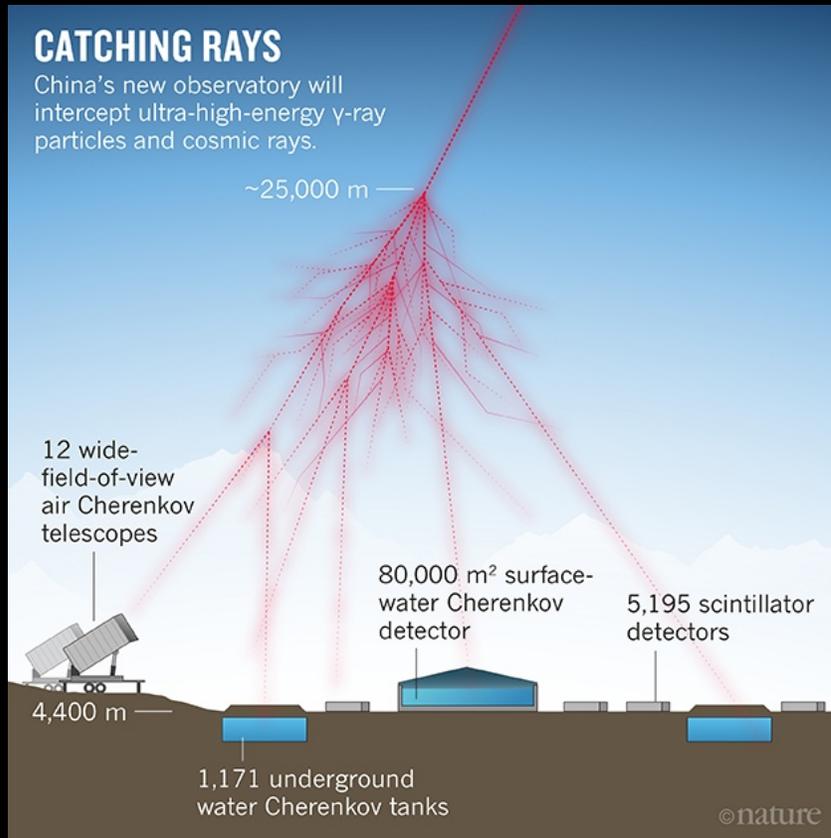
Cerchiamo di capire l'identità, l'energia, e la direzione del RC primario





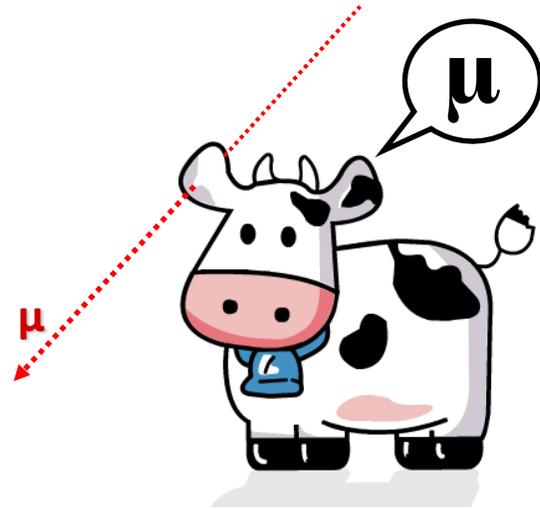
Misura indiretta di raggi cosmici: l'osservatorio Auger

Usa 1600 rivelatori posti su un'area di 3000 km² nella pampa argentina
(Provincia PG~6000 km²; Provincia TR~ 2000 km²)



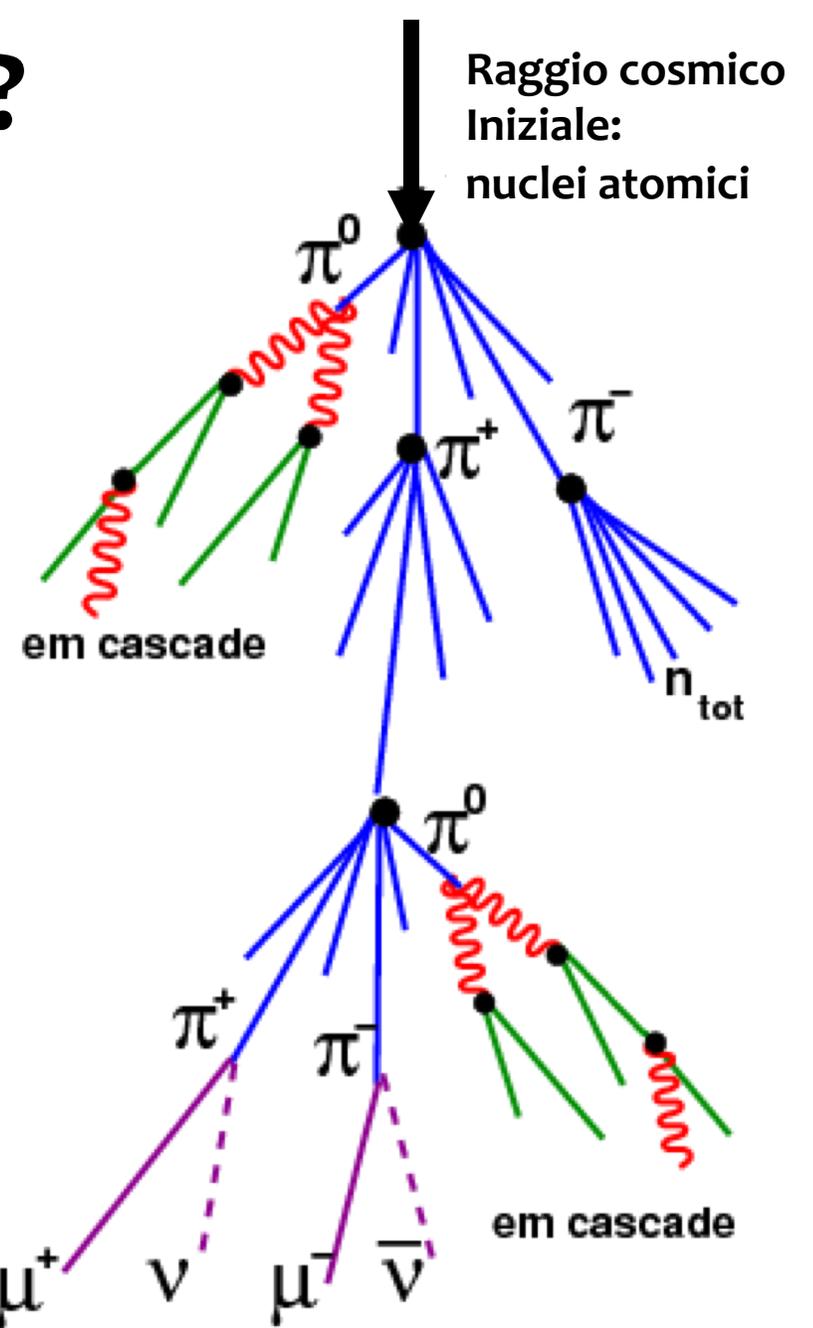
Quali particelle arrivano a Terra?

→ i muoni



Il muone è una versione pesante dell'elettrone.
I muoni attraversano le pareti degli edifici e i nostri corpi.
Cioè noi per i muoni siamo «trasparenti», o quasi.

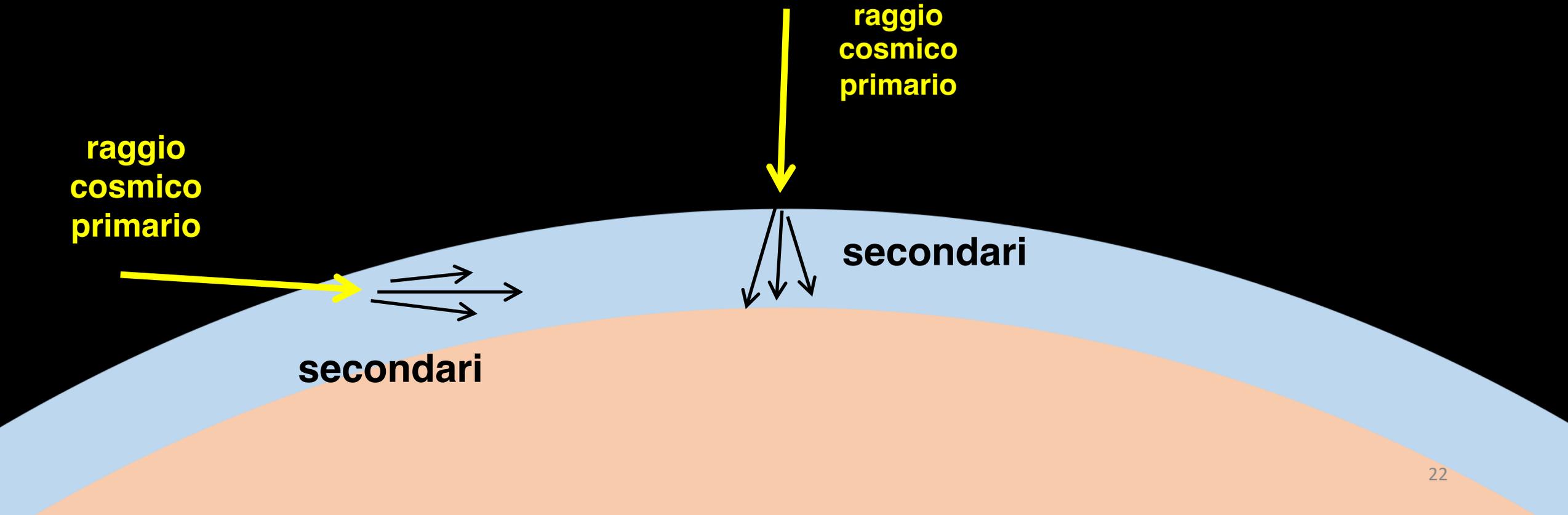
Ogni minuto veniamo attraversati da centinaia di muoni. Essi contribuiscono alla dose di radioattività naturale a cui siamo soggetti.



I RAGGI COSMICI A TERRA

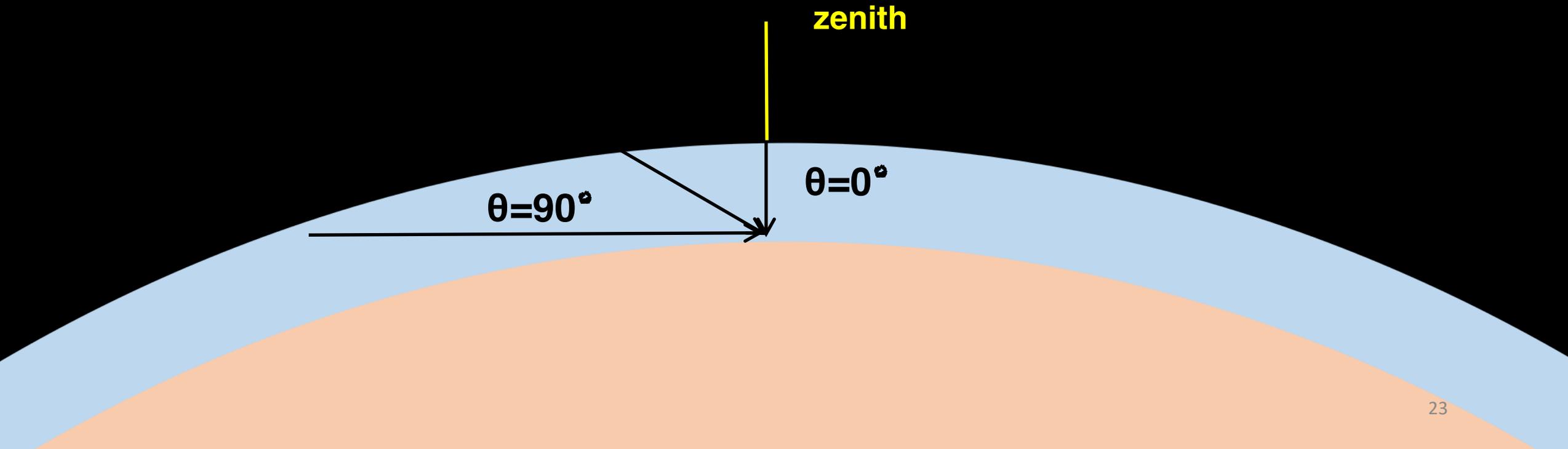
I raggi cosmici primari incidono l'atmosfera da ogni direzione

La quantità di atmosfera attraversata dipende dall'inclinazione della particella. (Inoltre, la Terra è rotonda)



I RAGGI COSMICI A TERRA

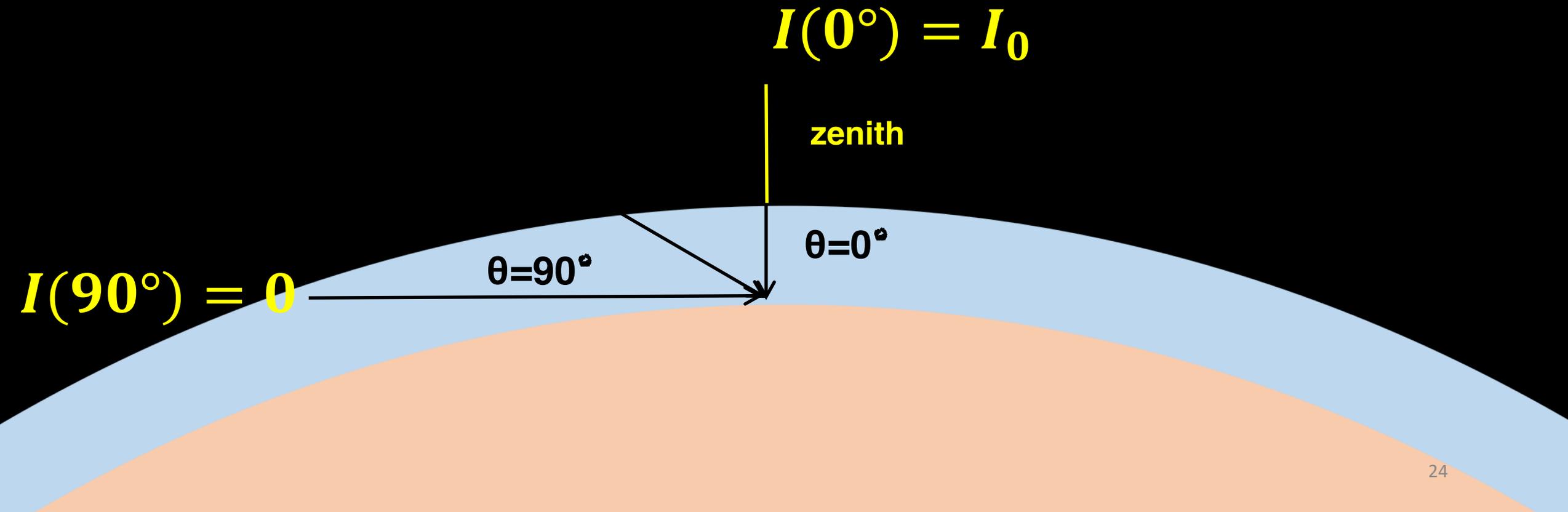
Ci aspettiamo una maggiore intensità di particelle verticali ($\theta=0^\circ$)
E poche particelle che arrivano lateralmente ($\theta=90^\circ$)



I RAGGI COSMICI A TERRA

Intensità = numero di particelle al secondo $I=N/T$

$$I = I_0 \cos^2(\theta)$$

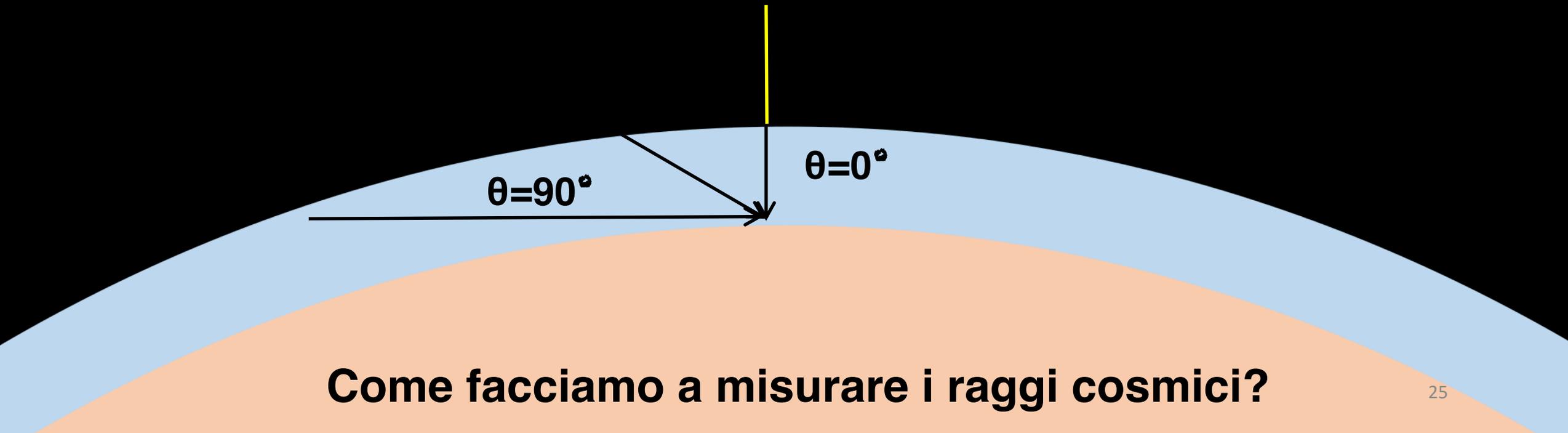


I RAGGI COSMICI A TERRA

Intensità = numero di particelle al secondo $I=N/T$

$$I = I_0 \cos^2(\theta)$$

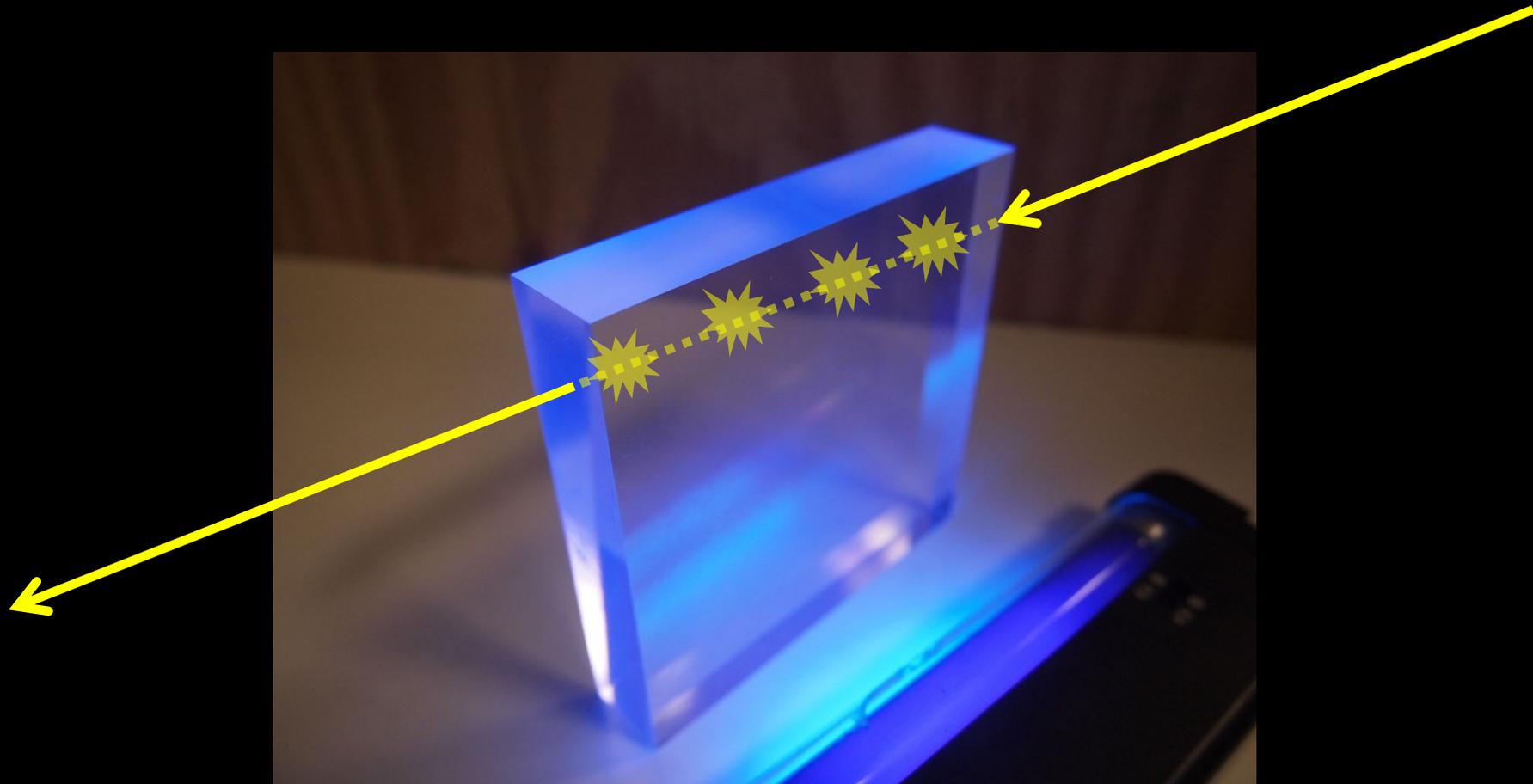
Vogliamo misurare l'intensità di raggi cosmici in funzione dell'angolo di provenienza, e verificare se questa legge è corretta



Come facciamo a misurare i raggi cosmici?

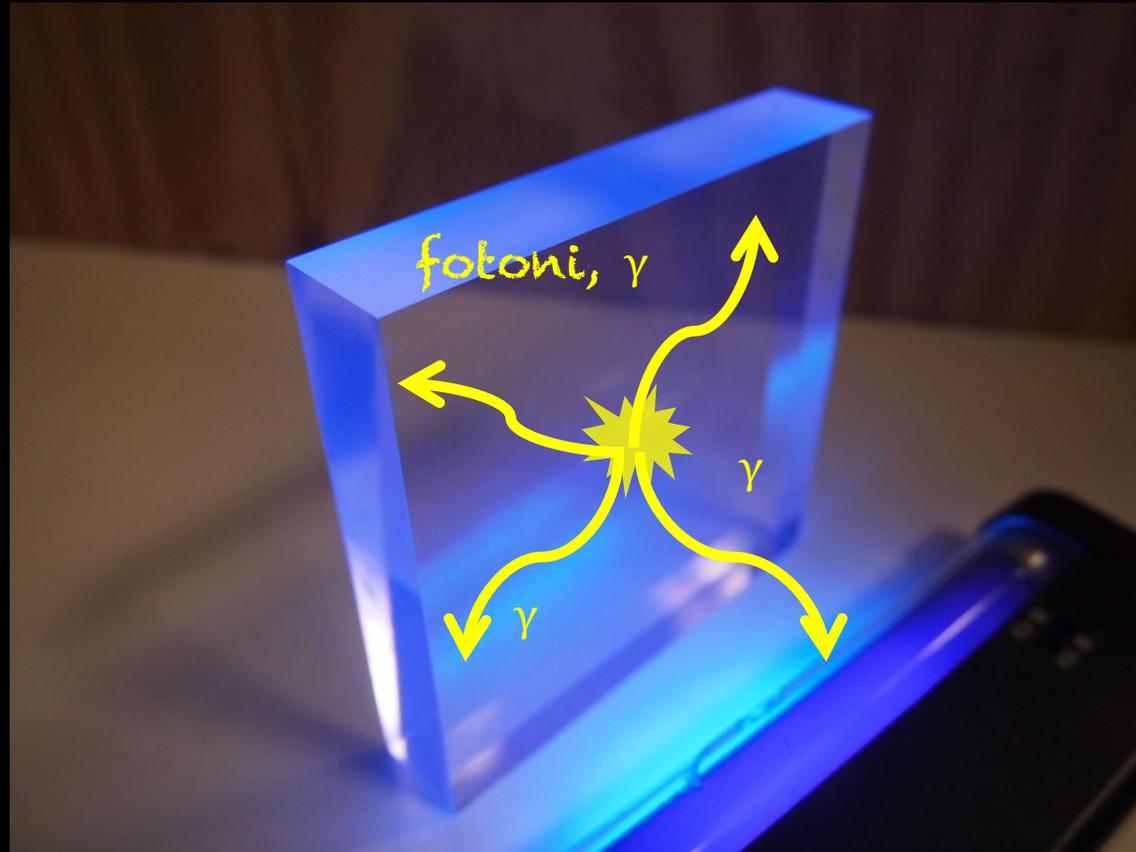
LA TECNICA SPERIMENTALE

Quando una **particella** (carica) attraversa un **materiale**, rilascia una certa quantità di **energia** che eccita gli atomi del materiale.



LA TECNICA SPERIMENTALE

In alcuni materiali, gli **scintillatori**, l'eccitazione degli atomi provoca **emissione di luce**, rivelabile.

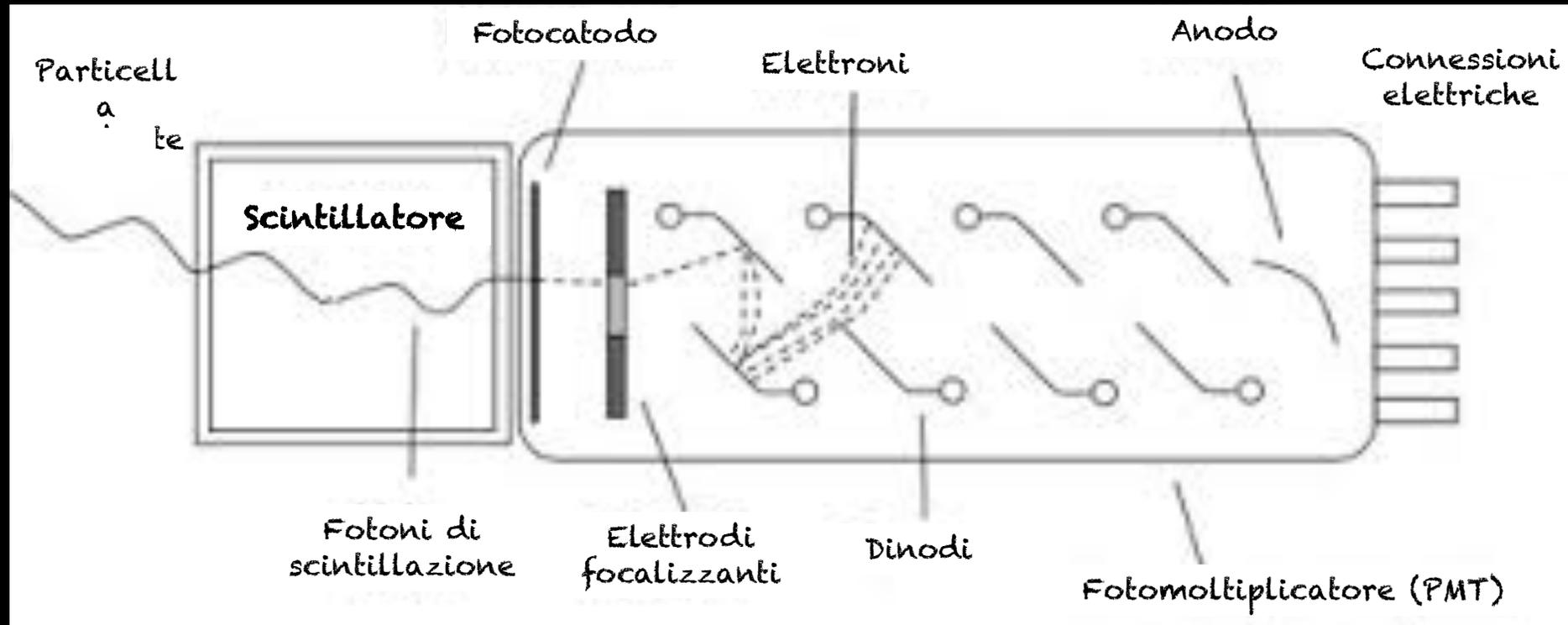


LA TECNICA SPERIMENTALE

Il pezzo di materiale scintillante va accoppiato ad un dispositivo che raccoglie la luce e la trasforma in **segnale elettrico**:

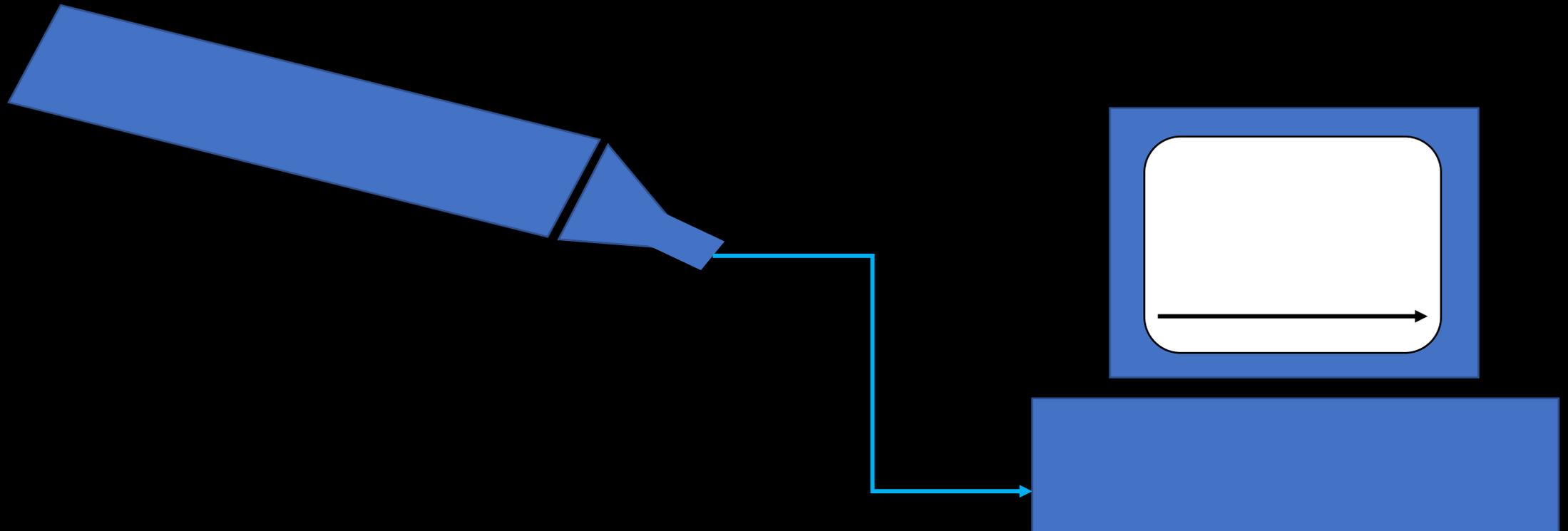
il fotomoltiplicatore (PMT)

Un PMT è un tubo a vuoto sottoposto ad alta tensione che converte la luce in elettroni, attraverso l'effetto fotoelettrico, e poi li moltiplica, generando una corrente.



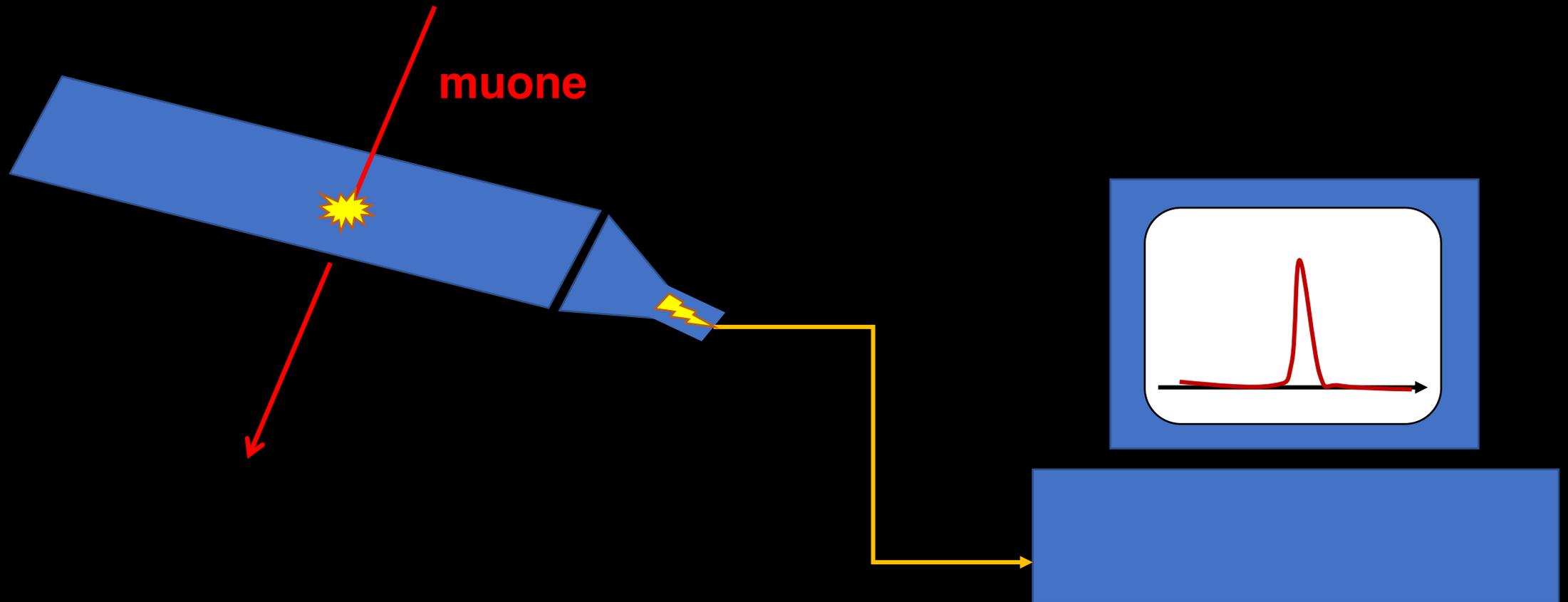
LA TECNICA SPERIMENTALE

Accoppiamo un materiale scintillante ad un dispositivo che raccoglie la luce e la trasforma in **segnale elettrico**



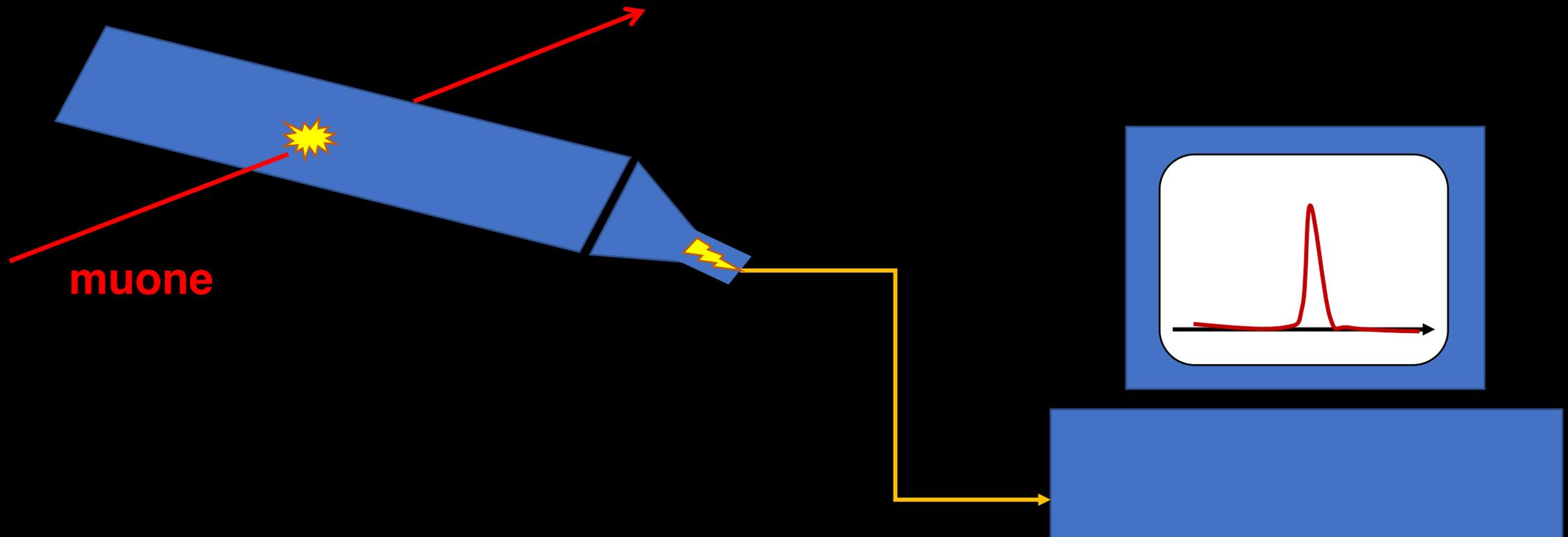
LA TECNICA SPERIMENTALE

Accoppiamo un materiale scintillante ad un dispositivo che raccoglie la luce e la trasforma in **segnale elettrico**



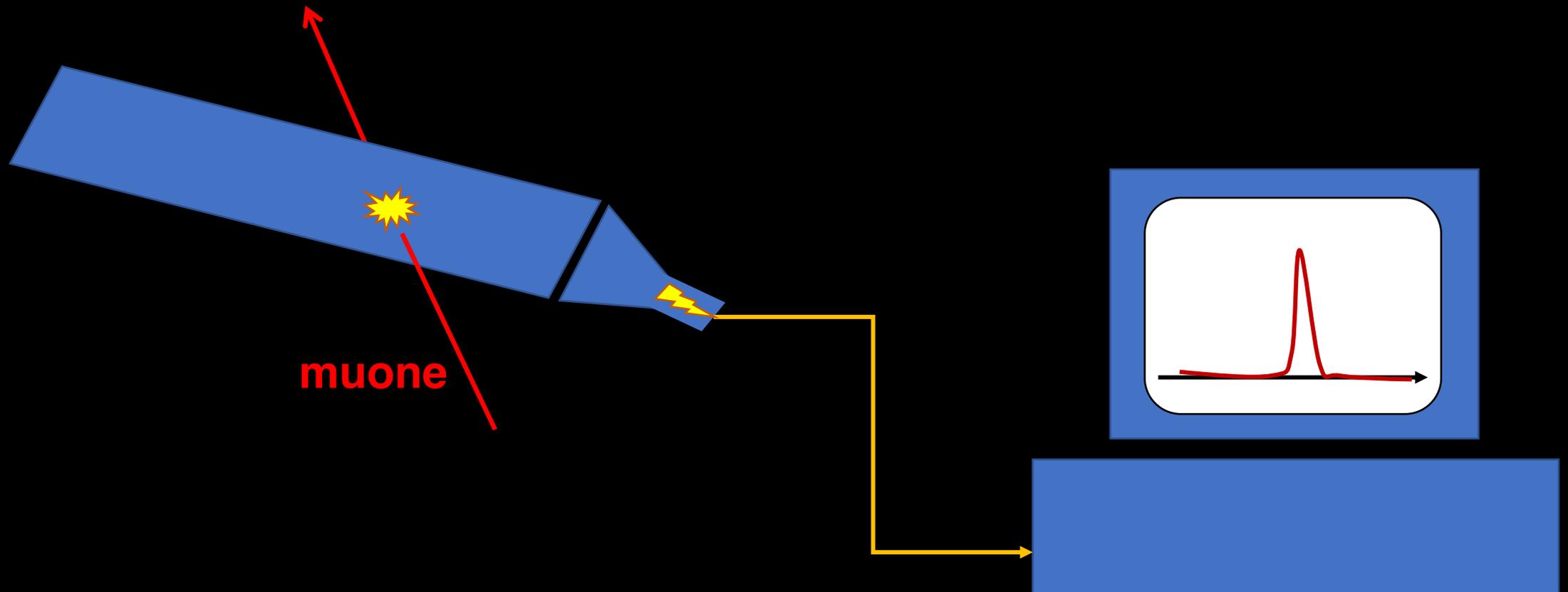
LA TECNICA SPERIMENTALE

Accoppiamo un materiale scintillante ad un dispositivo che raccoglie la luce e la trasforma in **segnale elettrico**



LA TECNICA SPERIMENTALE

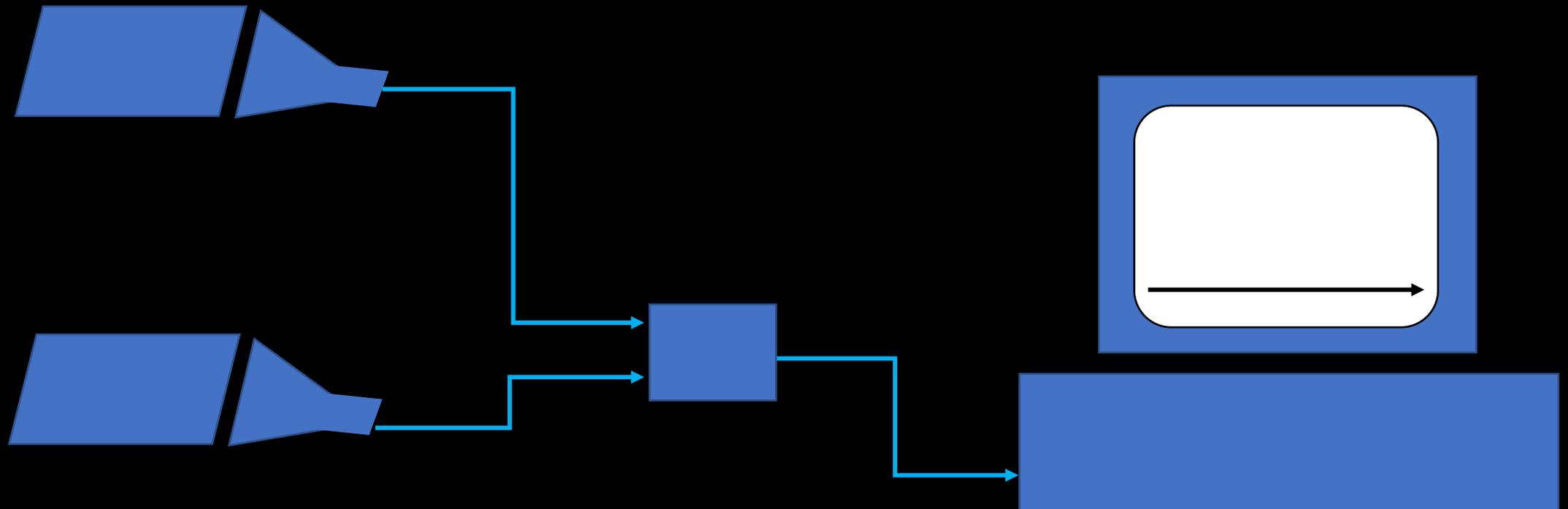
Accoppiamo un materiale scintillante ad un dispositivo che raccoglie la luce e la trasforma in **segnale elettrico**



LA TECNICA SPERIMENTALE

Possiamo fare di meglio: usiamo due piani di scintillatori

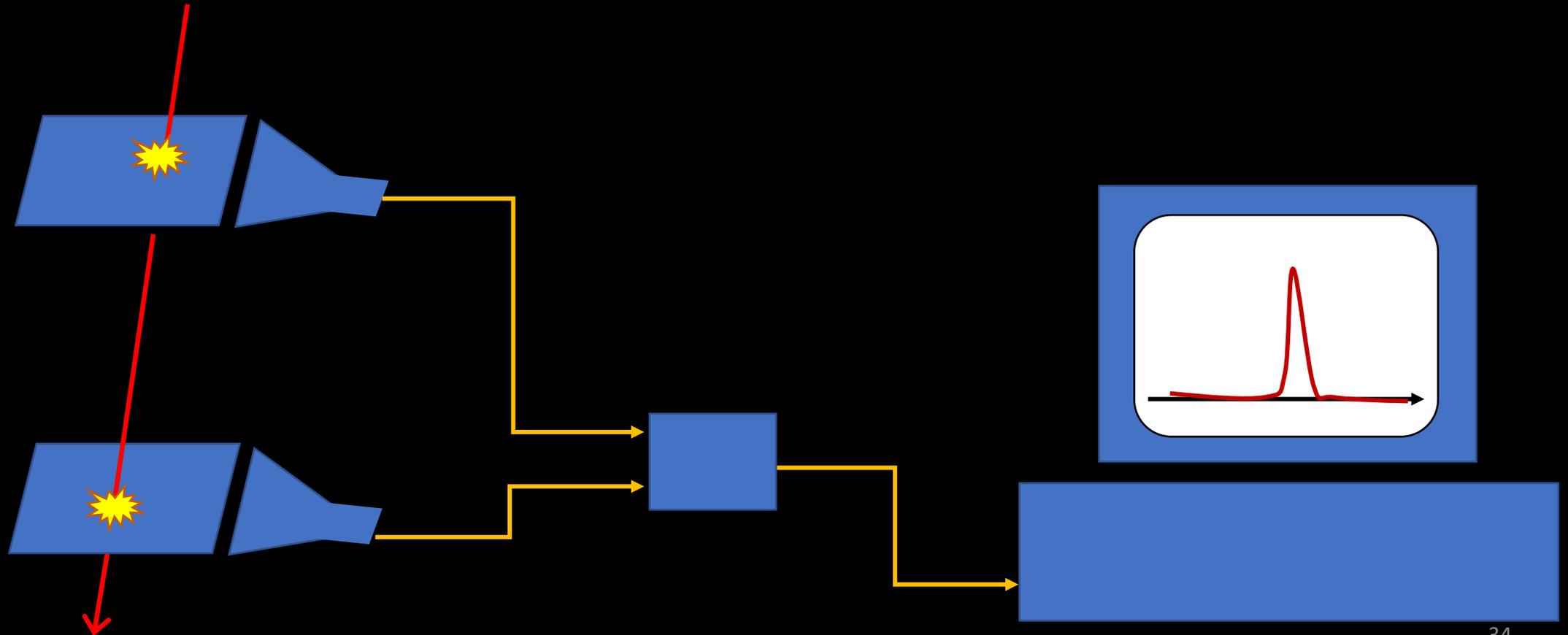
- Riveliamo il muone con maggior certezza
- Selezioniamo direzioni di arrivo (verticali)



LA TECNICA SPERIMENTALE

Usiamo due piani di scintillatori

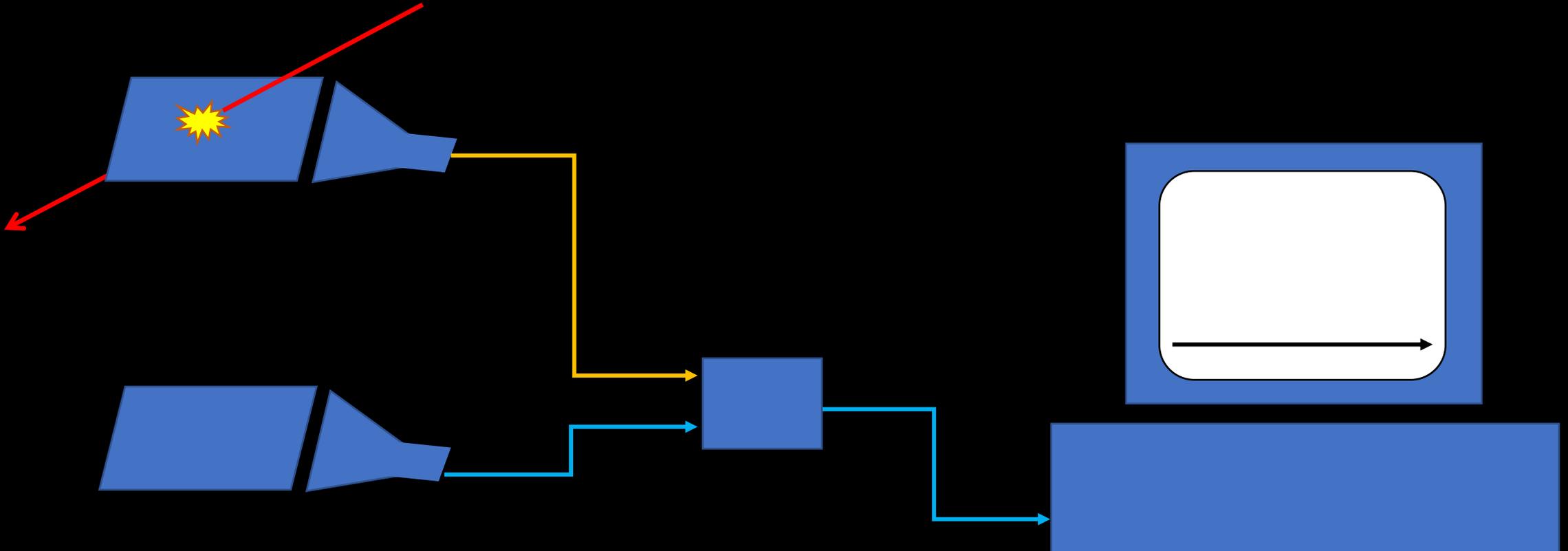
- Riveliamo il muone con maggior certezza
- Selezioniamo direzioni di arrivo (verticali)



LA TECNICA SPERIMENTALE

Usiamo due piani di scintillatori

- Riveliamo il muone con maggior certezza
- Selezioniamo direzioni di arrivo (verticali)

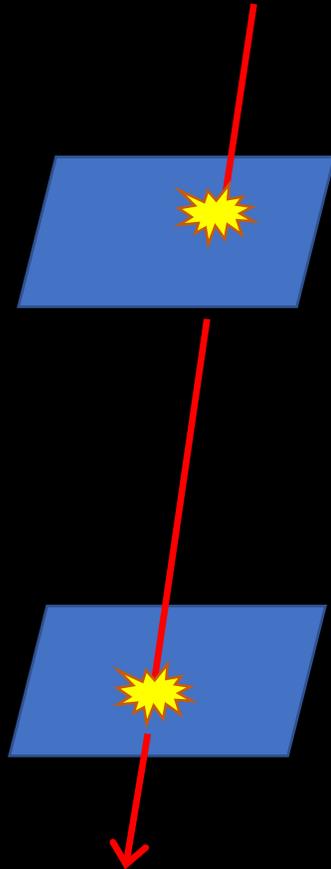


LA TECNICA SPERIMENTALE

Intensità di muoni incidenti

- Prendo dati per un tempo T
- Conto il numero di particelle registrate
- Calcolo l'intensità I del flusso di particelle:

→ $I = N / T$ (part/sec)



Esempio

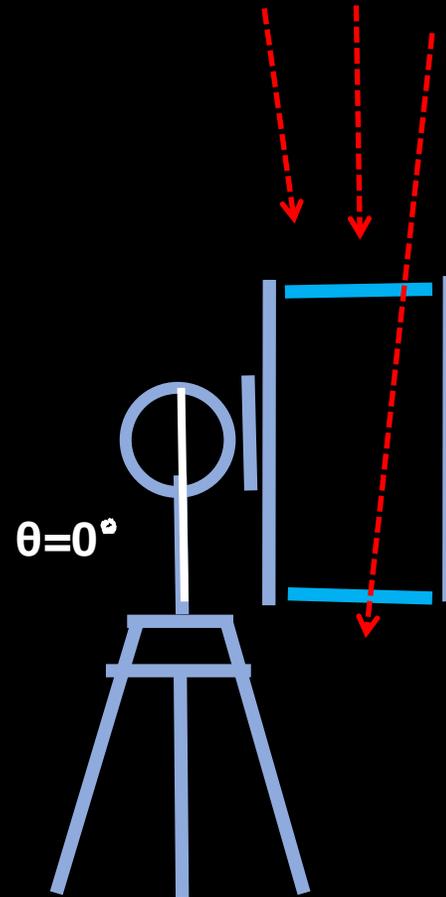
Prendo dati per un minuto (T=60 secondi)

Lo strumento registra N=600 particelle

$$I = N / T = 600 / 60 = 10 \text{ particelle/secondo}$$

LA TECNICA SPERIMENTALE

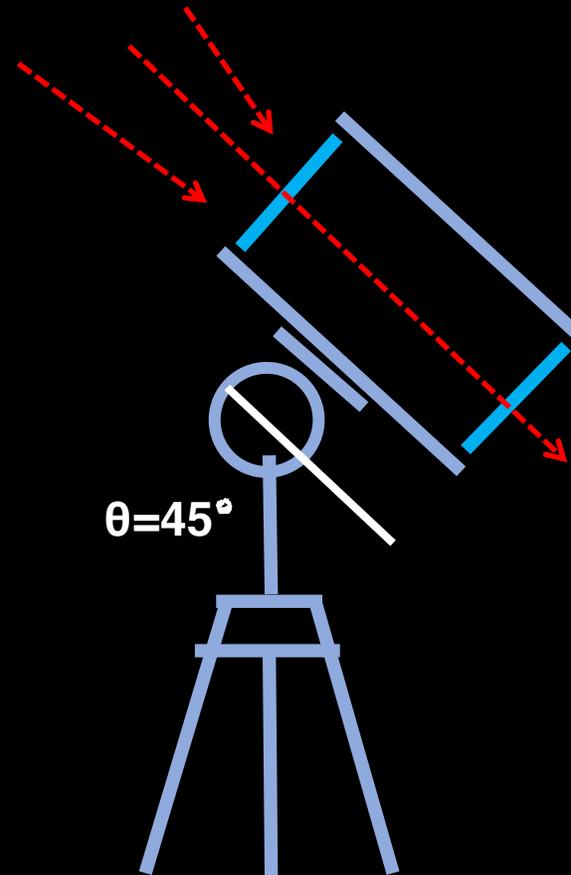
Ruotiamo il rivelatore di angolo θ con la verticale
Possiamo vedere se il flusso di particelle dipende dall'angolo



Il rivelatore guarda in alto, $\theta=0$
Seleziona particelle verticali

LA TECNICA SPERIMENTALE

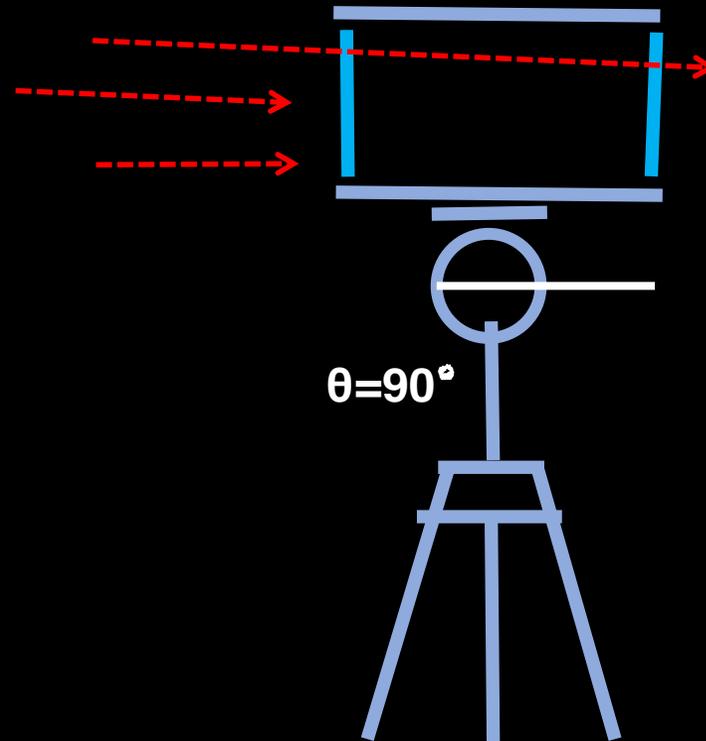
Ruotiamo il rivelatore di angolo θ con la verticale
Possiamo vedere se il flusso di particelle dipende dall'angolo



Guarda con inclinazione $\theta=45^\circ$
Seleziona particelle inclinate

LA TECNICA SPERIMENTALE

Ruotiamo il rivelatore di angolo θ con la verticale
Possiamo vedere se il flusso di particelle dipende dall'angolo

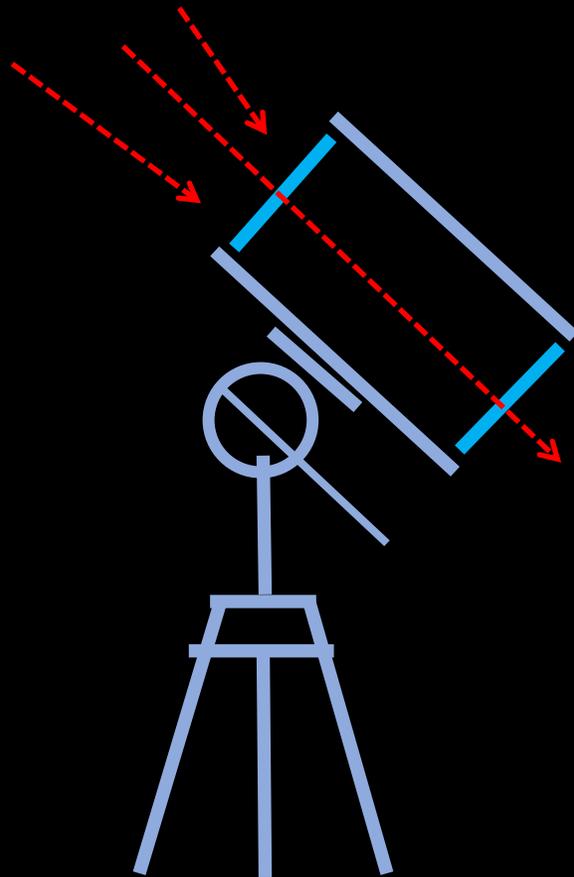


Guarda all'orizzonte $\theta = 90^\circ$
Seleziona particelle orizzontali

ANALISI DEI DATI – Basic

Acquisiamo i dati con il rivelatore a varie inclinazioni

- Per ogni sessione di acquisizione:
- Definiamo l'inclinazione del rivelatore (angolo θ)
 - Definiamo un tempo di acquisizione T
 - Contiamo le particelle rivelate dal telescopio N



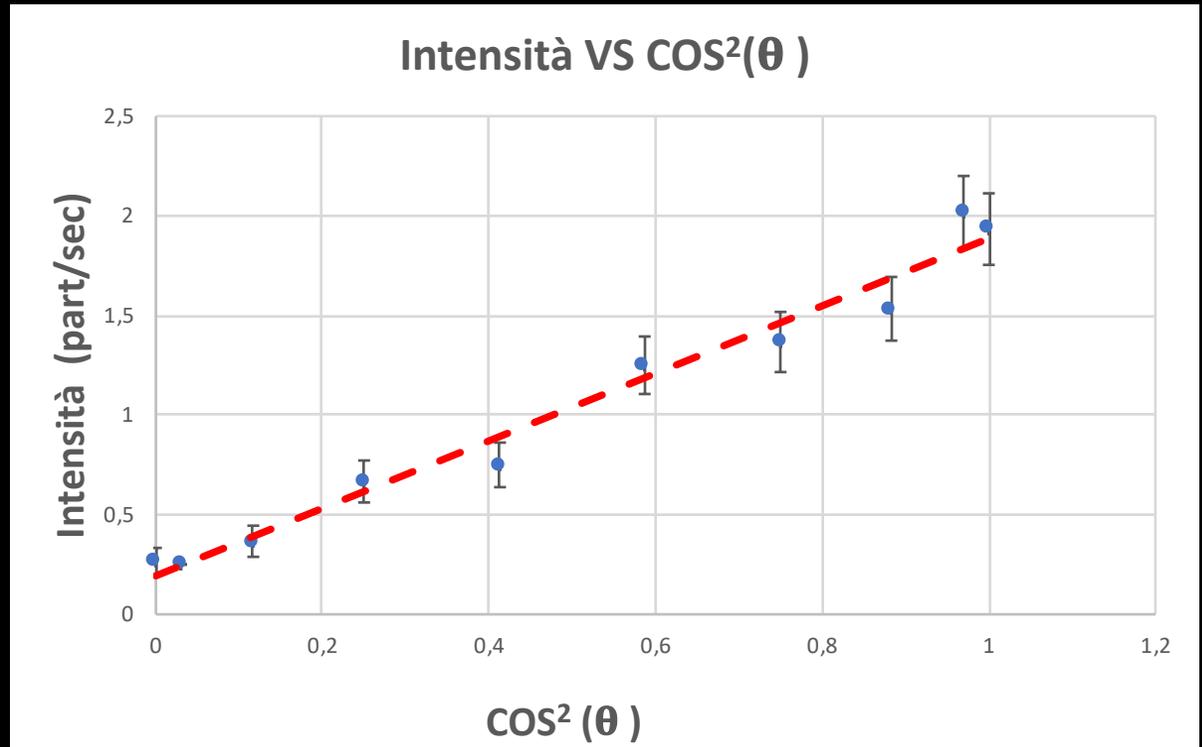
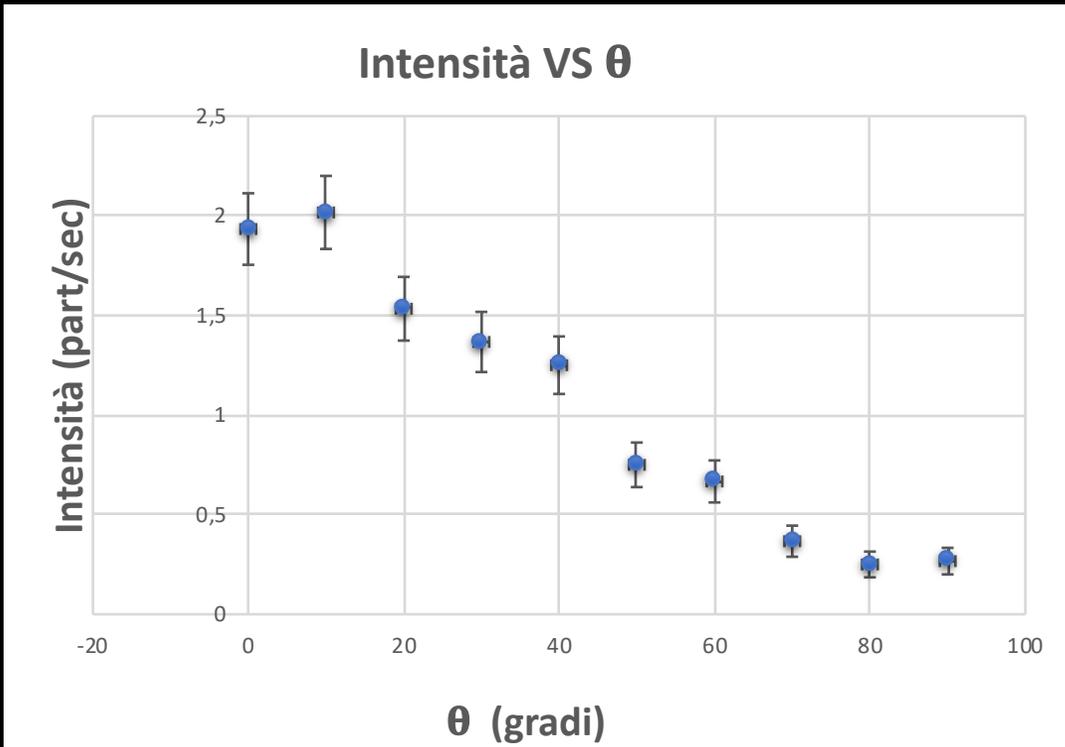
Otterremo una tabella di questo tipo

Inclinazione (gradi)	N. Particelle	Tempo (sec)
0	116	60
10	121	60
20	92	60
30	82	60
40	75	60
50	45	60
60	40	60
70	22	60
80	15	60
90	16	60

ANALISI DEI DATI

A questo punto otteniamo:

- Il grafico di intensità in funzione dell'angolo di inclinazione θ
- Il grafico di intensità in funzione di $\cos^2(\theta)$



Quest'ultimo ci permette di verificare se è vera la legge $I \propto \cos^2(\theta_{RAD})$ secondo cui l'intensità dei muoni cosmici è proporzionale al quadrato del coseno dell'angolo

Pagina di ICD-Perugia 2022, con agenda, materiale e informazioni

<https://agenda.infn.it/event/33480/>

Troverete:

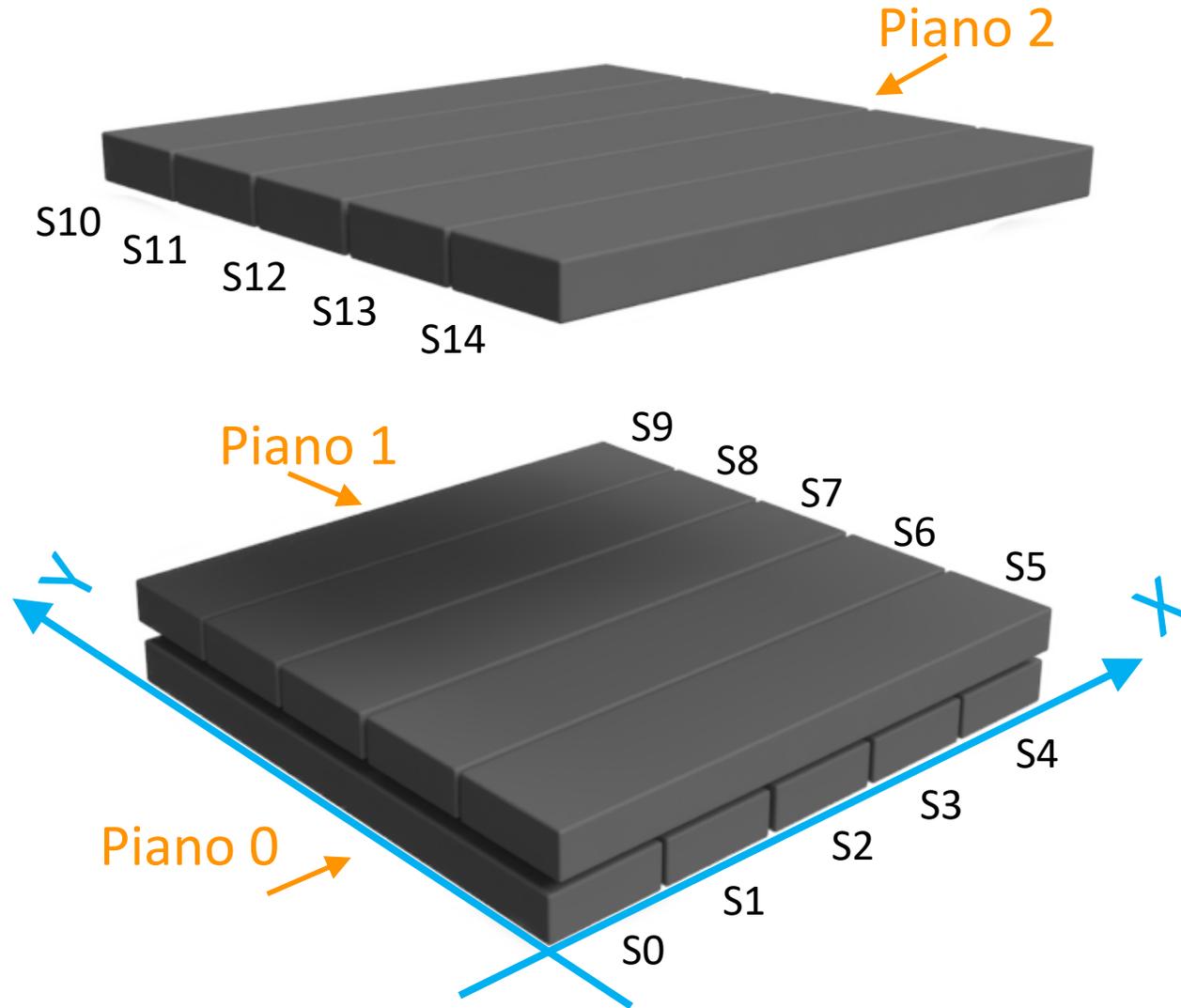
- I fogli elettronici in cui effettuare l'analisi: [uno per ogni postazione]
- Il foglio elettrico (sola lettura) in cui caricheremo i dati (unico)
- L'attestato di partecipazione (nei prossimi giorni):

Alla fine dell'evento vi sarà chiesto di completare il questionario al link:

<https://surveys.infn.it/index.php/818412?lang=it>



LA NOSTRA MISURA – Il rivelatore



Il rivelatore è costituito da **3 piani** su cui sono disposti degli **scintillatori rettangolari** la cui dimensione è $4 \times 20 \text{ cm}^2$.

I piani hanno una dimensione di $20 \times 20 \text{ cm}^2$.

I primi 2 piani, sono posti uno sopra all'altro:

- **piano 0:** contiene 5 scintillatori (S0, S1, S2, S3 e S4) messi in maniera tale da poter leggere la **coordinata x**.
- **piano 1:** contiene 5 scintillatori (S5, S6, S7, S8 e S9) messi in maniera tale da poter leggere la **coordinata y**.

Il **piano 2** dista dal piano 1 20 cm , contiene 5 scintillatori (S10, S11, S12, S13 e S14) messi in maniera tale da poter leggere la **coordinata y**.

LA NOSTRA MISURA – Il rivelatore

La scheda ADC ha un massimo di **32 canali di lettura**. Ogni SiPM è stato collegato ad un canale della scheda.

