

benvenuti a

International Cosmic Day

Perugia – 21 Novembre 2023

Chiara Campioni, Francesco Faldi, Maura Graziani, Nicola Tomassetti, Alessio Ubaldi

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



#ICD2023 @ 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>



La partecipazione Umbra

INFN – Sezione di Perugia
Dipartimenti di Fisica & Geologia
Università degli Studi di Perugia

Chiara Campioni, Francesco Faldi, Maura
Graziani, Nicola Tomassetti, Alessio Ubaldi

Liceo Scientifico G. Alessi

Contatto: prof.ssa Veronica Palli

Liceo Classico e Musicale A. Mariotti

Contatto: prof. Francesco Tondini

Discover Cosmic Particles

INTERNATIONAL COSMIC DAY

November 21 | 2023

Cosmic particles, these unnoticed particles that surround us all the time, are the focus of this day. Students, teachers and scientists get together to talk and learn about Cosmic particles from the cosmos and answer questions like:

What are cosmic particles?
Where do they come from?
How can they be measured?
And what can we learn from them?

Become a scientist for a day
Discover the world of cosmic rays

<https://web.infn.it/OCRA/international-cosmic-day>
<https://icd.desy.de>
<https://www.facebook.com/InternationalCosmicDay>



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Dipartimento di Fisica e Geologia
dell'Università degli Studi di Perugia
C.R.I.S.P. ASI-UNIPG-2019-2-HH.0
Contact: Nicola Tomassetti



A.D. 1308
unipg
DIPARTIMENTO
DI FISICA E GEOLOGIA
DIPARTIMENTO DI ECCELLENZA



Il programma della giornata

<https://agenda.infn.it/event/icd2023>

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

....

Cosa Serve

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

Post-ICD: il questionario

Alla fine della giornata vi chiederemo di compilare un breve questionario.

<https://l.infn.it/10e>



Post-ICD: il booklet e le relazioni

Nei prossimi giorni andrà preparata una pagina da inviare all'INFN / OCRA e poi al DESY entro Dicembre o Gennaio.

I contributi di tutte le scuole e gli istituti partecipanti verranno pubblicati in un booklet come atti della conferenza ICD2023

Gli studenti partecipanti, eventualmente a gruppi (es. gruppi di due) possono scrivere delle relazioni brevi (1-3 pagine) per raccontare l'esperienza e la misura. I due migliori studenti verranno selezionati per uno stage nazionale

Credit: DESY, Science Communication Lab

Headline

Institution or School, Country

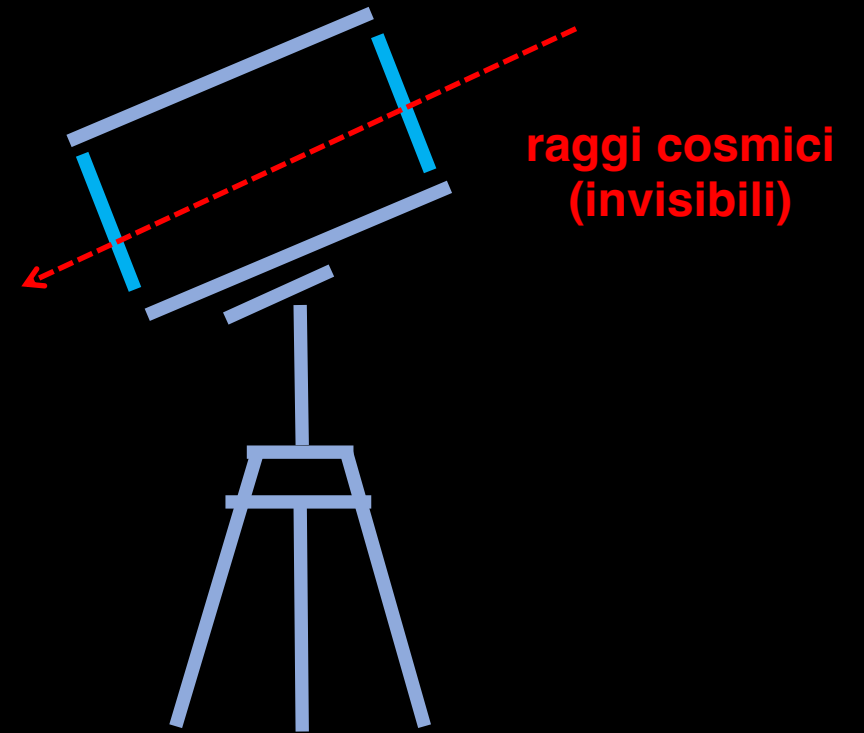
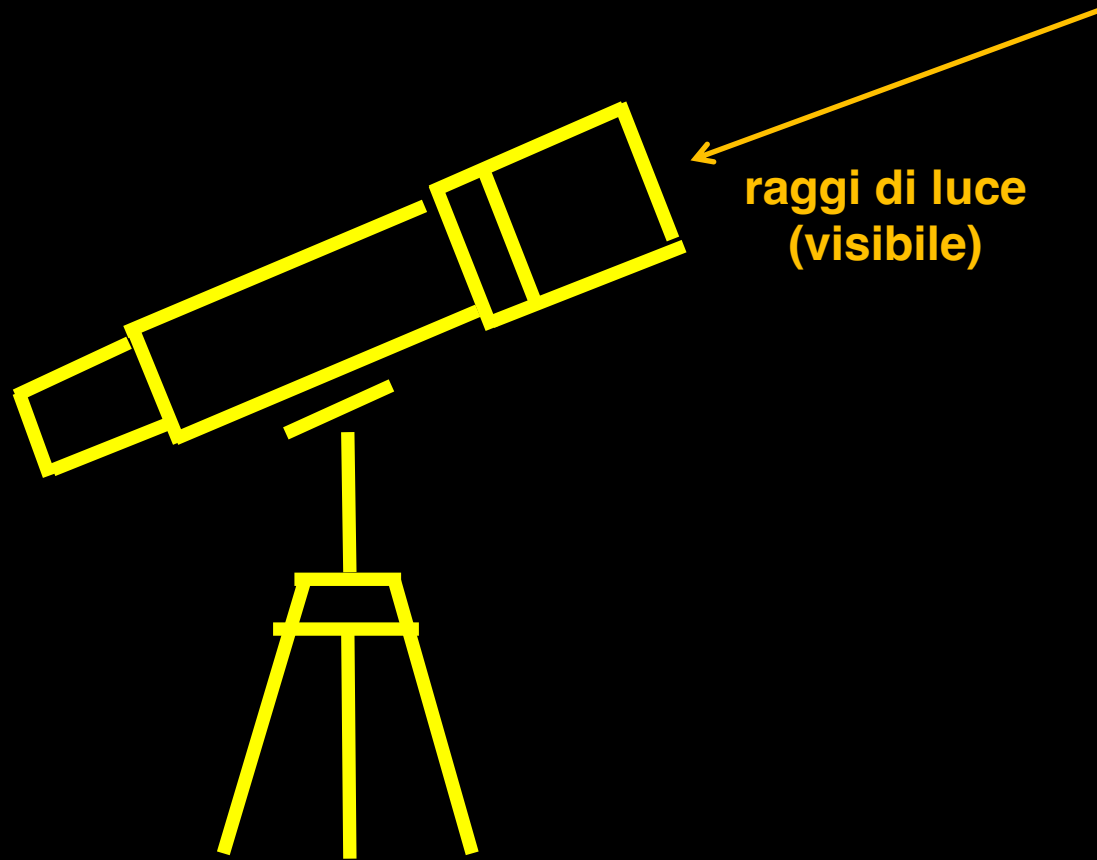
Who are you?

What have you done?

What did you find out?

What's your take-home message?

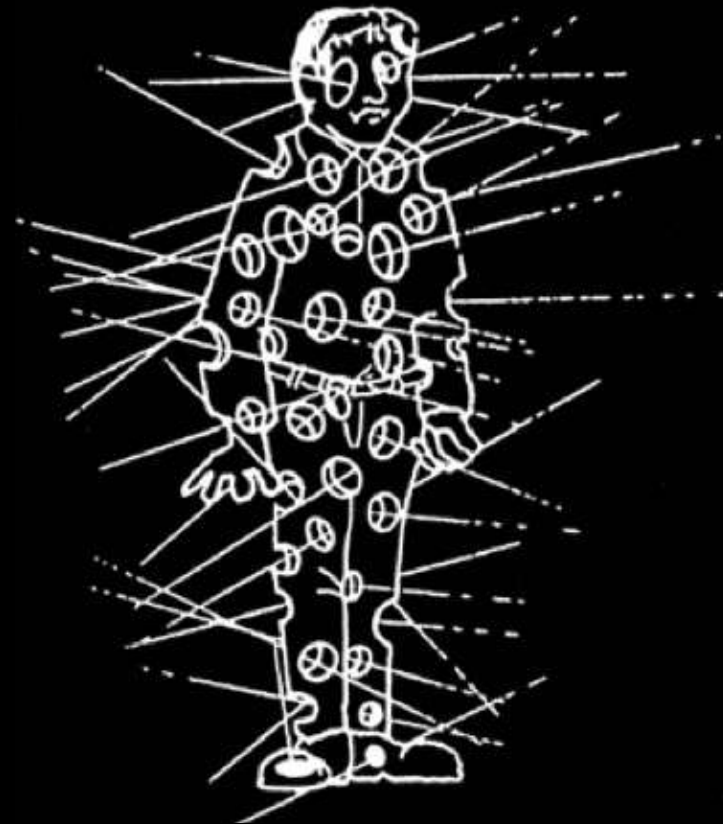
Astronomia con i raggi cosmici



È quello che faremo oggi

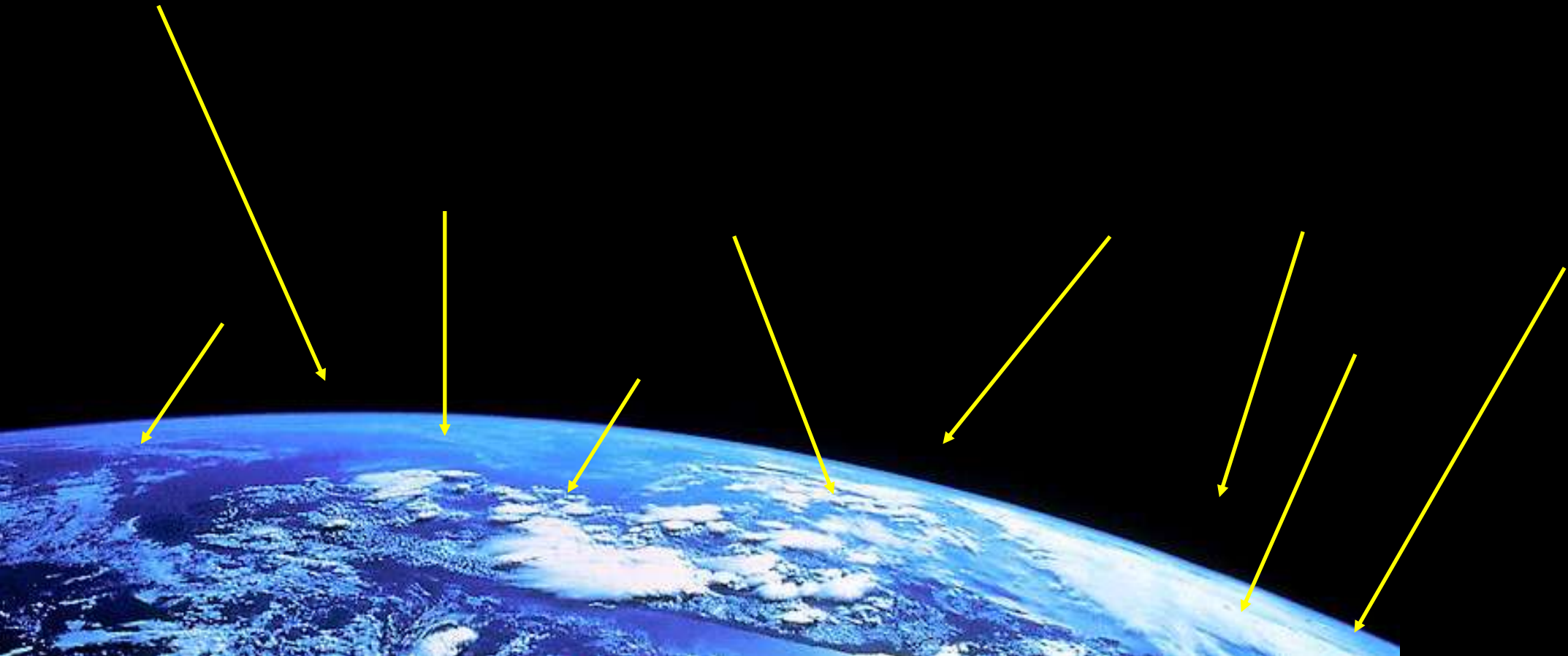
Da quando siamo entrati in questa sala
il nostro corpo è già stato attraversato
da migliaia di **Raggi Cosmici**

Benvenuti

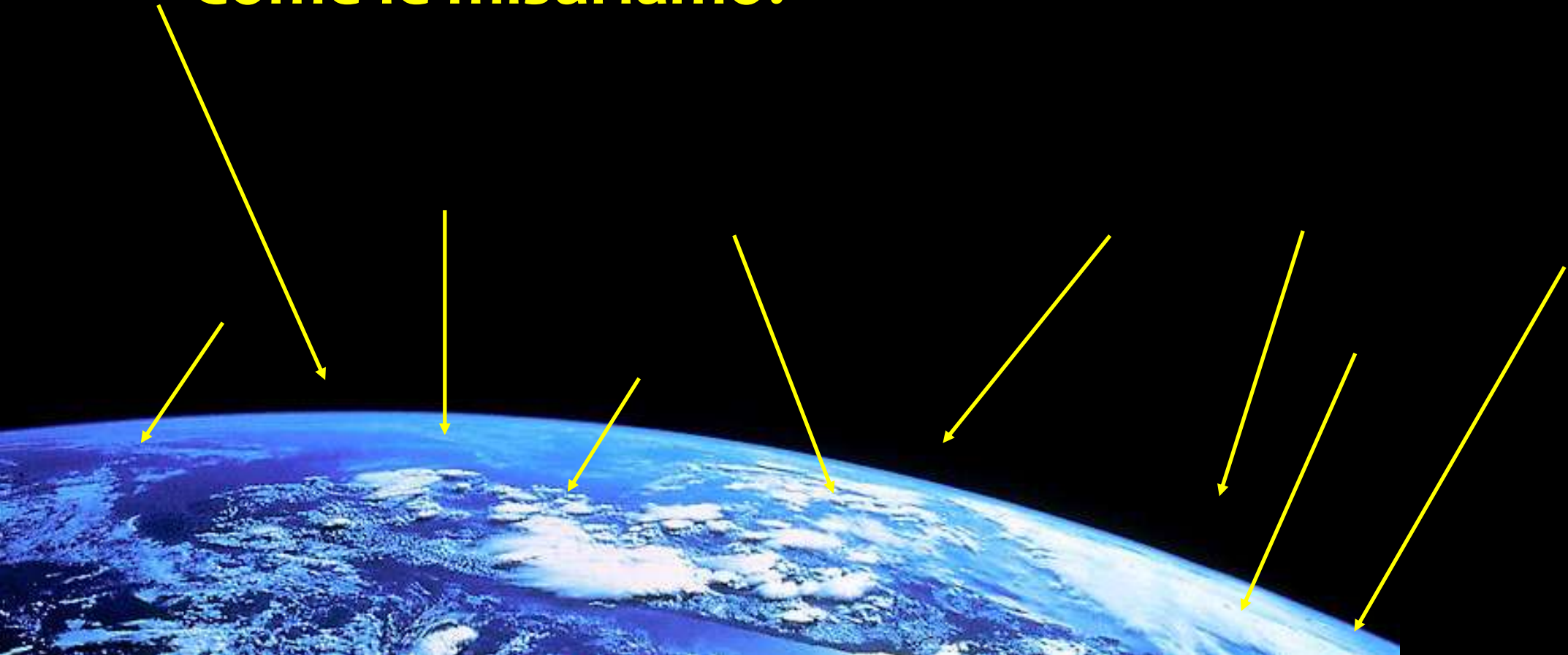


Ma cosa sono i Raggi Cosmici?

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?



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?

- ✓ **E' da un secolo che cerchiamo di rispondere a queste e altre domande**
- ✓ **Ci hanno portato molto lontano nella conoscenza dell'Universo**
- ✓ **Universo, il laboratorio in cui osserviamo le leggi della Natura all'opera**

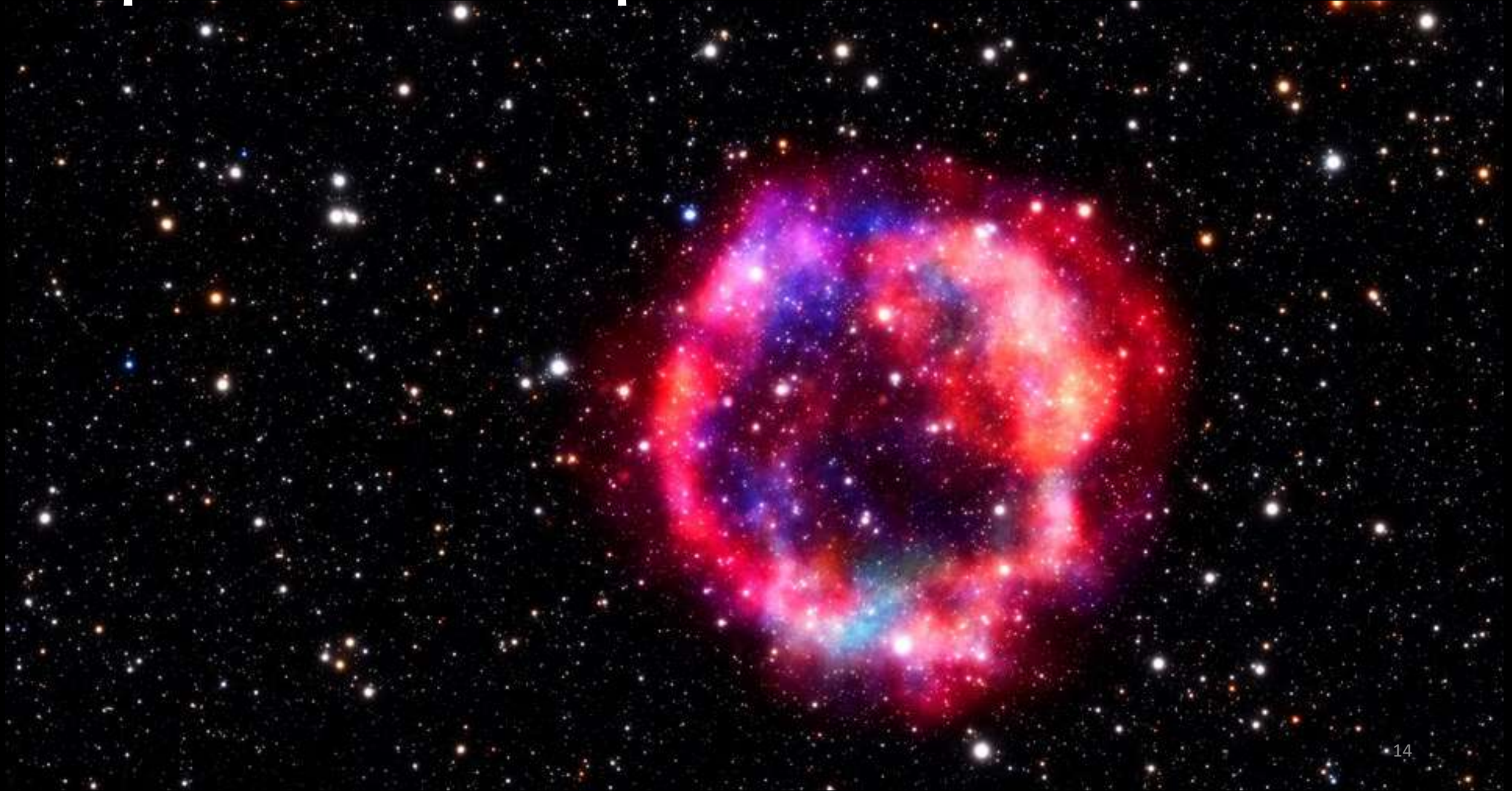
Ma come è fatta questa pioggia?
Quanto è intensa? **Da dove viene?** Come si genera?
Di quali particelle è fatta? Che energia hanno?
Come le misuriamo?

[spoiler]

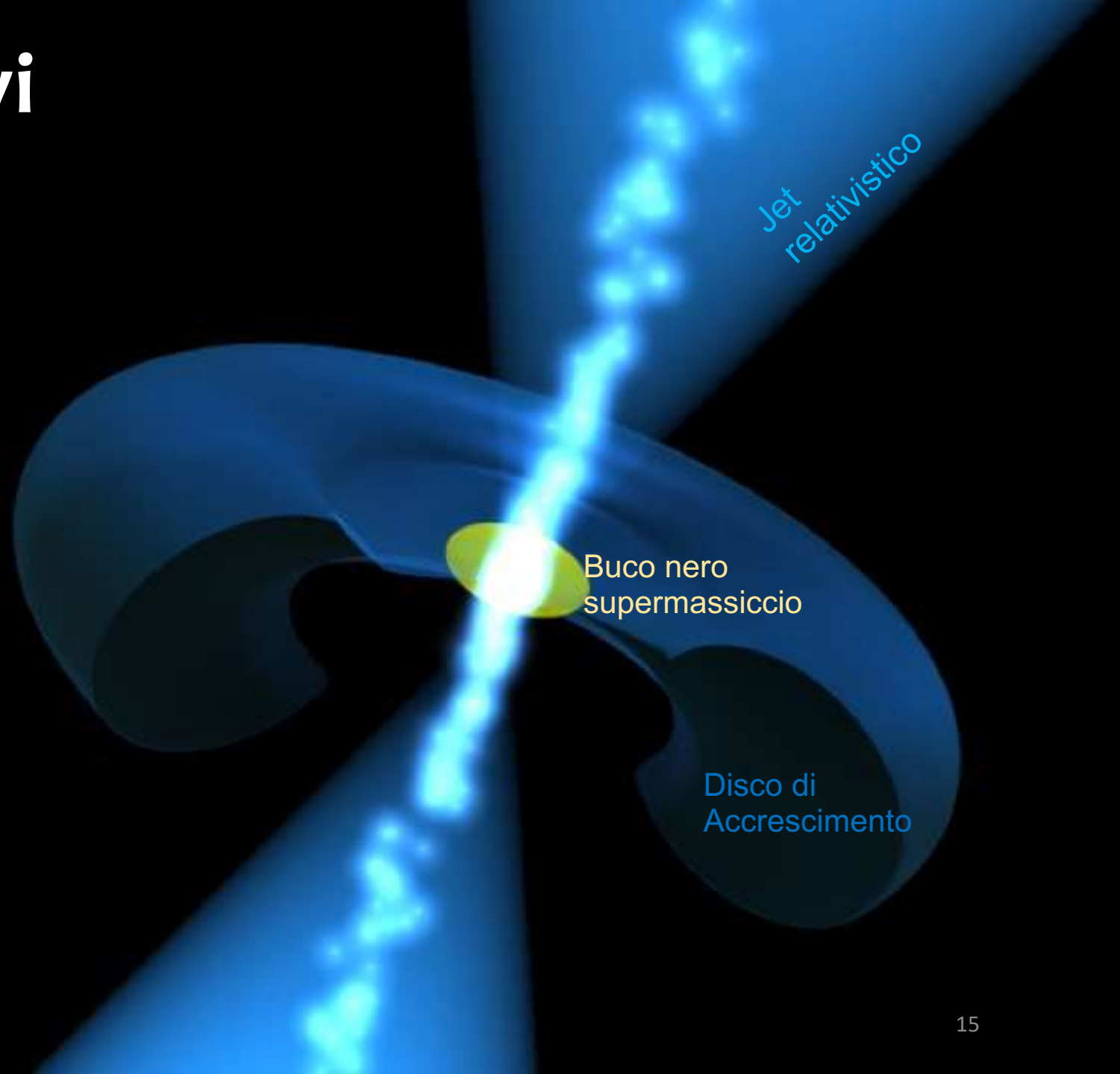
*L'Universo non è più strano di quanto immaginiamo:
è molto più strano di quanto possiamo immaginare.*

John Burdon Sanderson Haldane

L'esplosione di una supernova: l'onda di shock



Nuclei galattici attivi



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

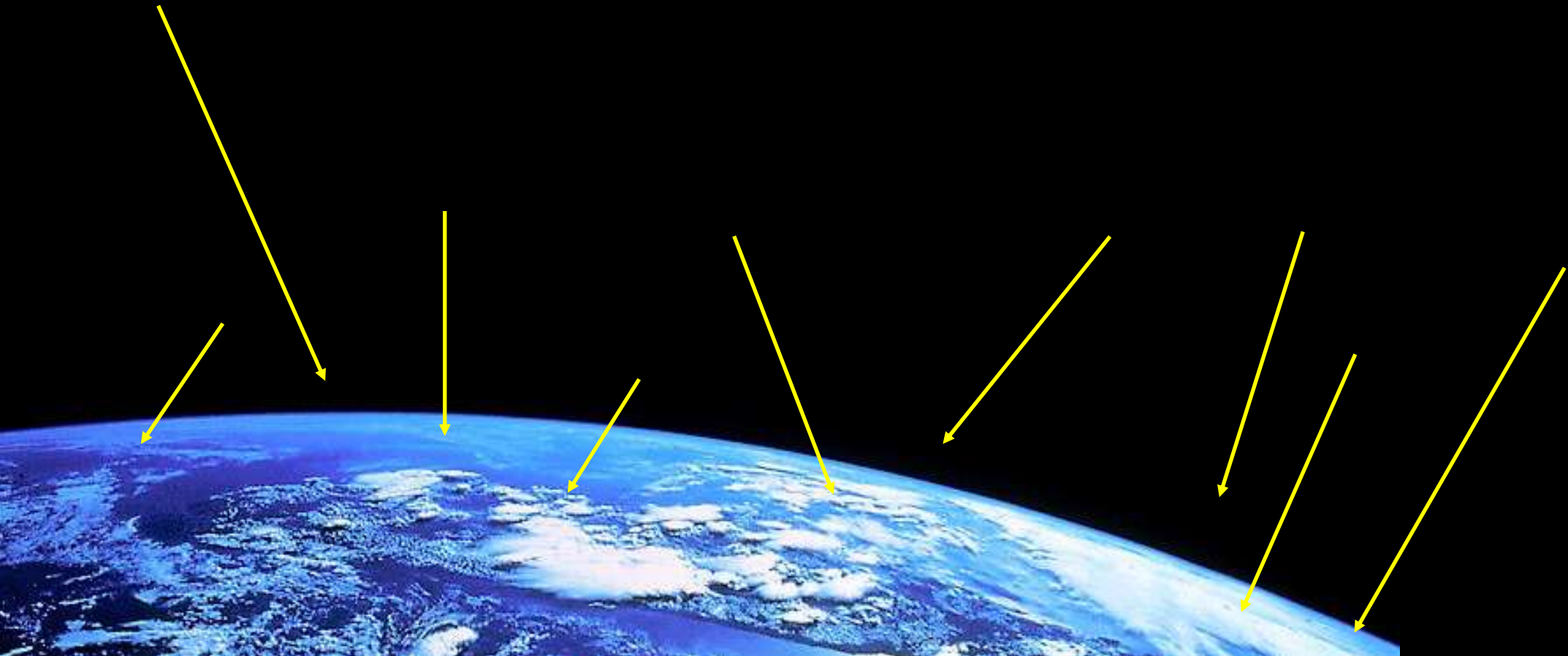
La loro energia cinetica

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**

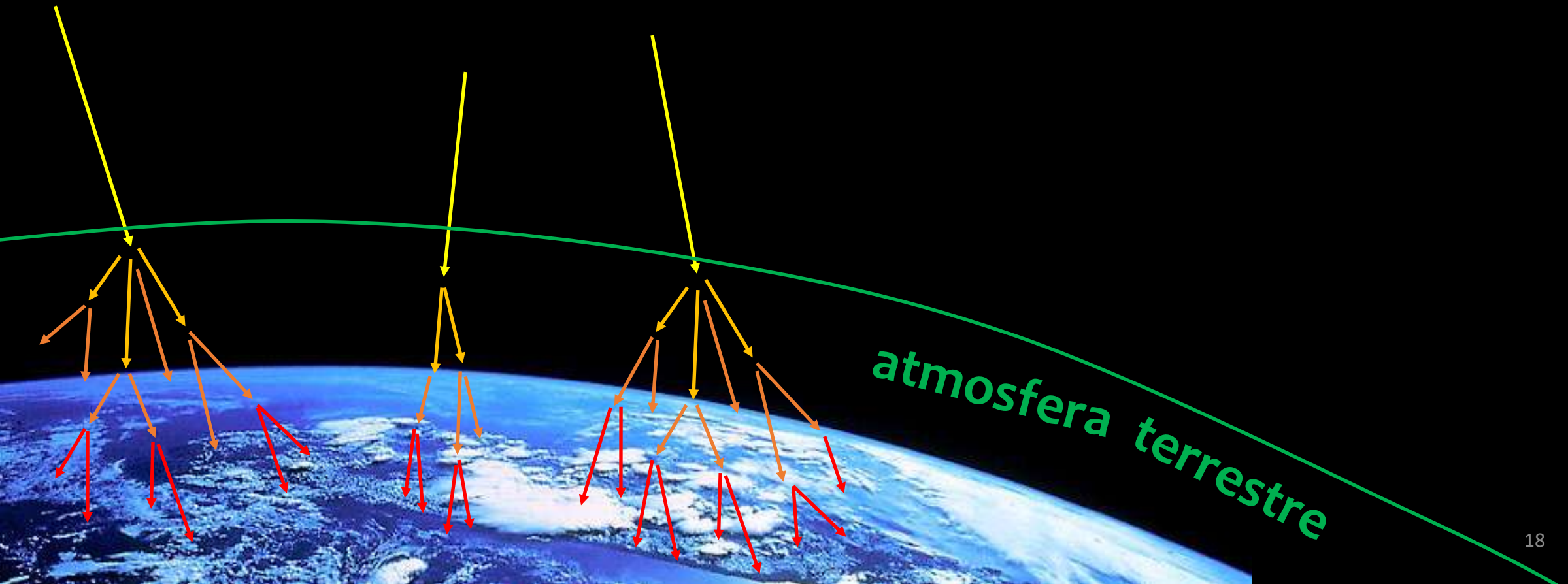


Sciami di particelle

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

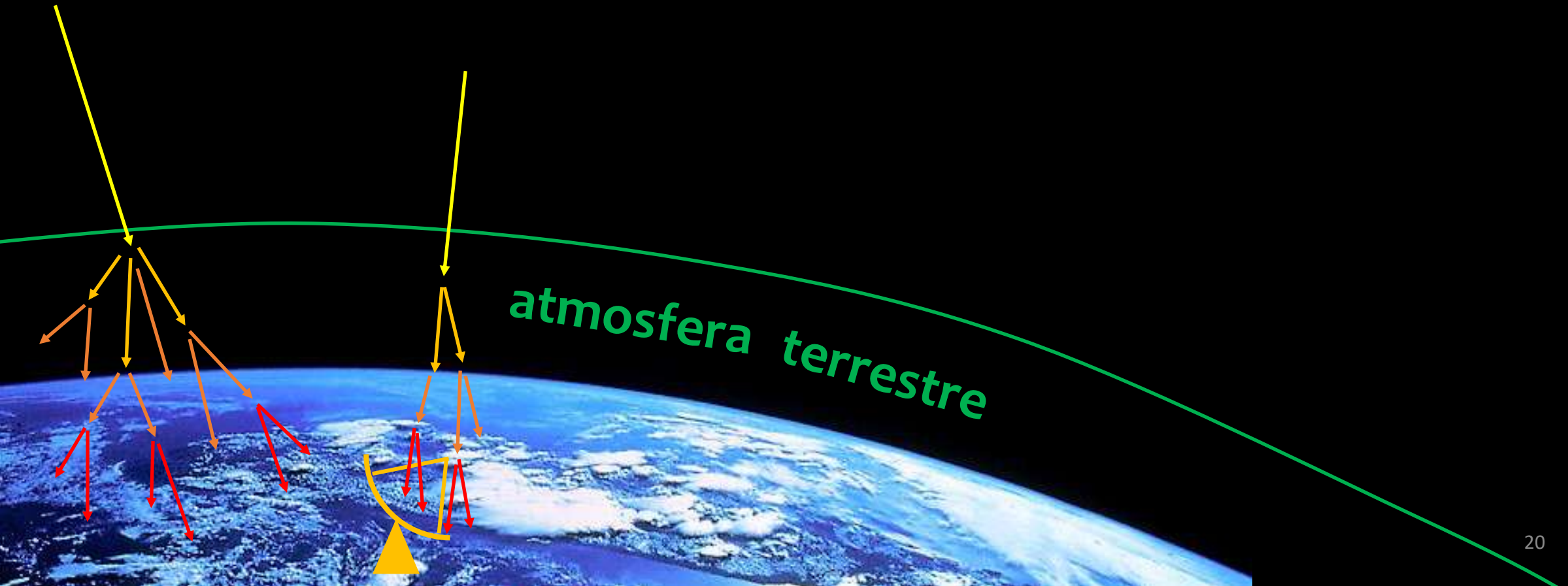


Raggi Cosmici primari: come li misuriamo?

2. Indirettamente, a terra

Misuriamo gli sciami atmosferici di particelle secondarie.

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



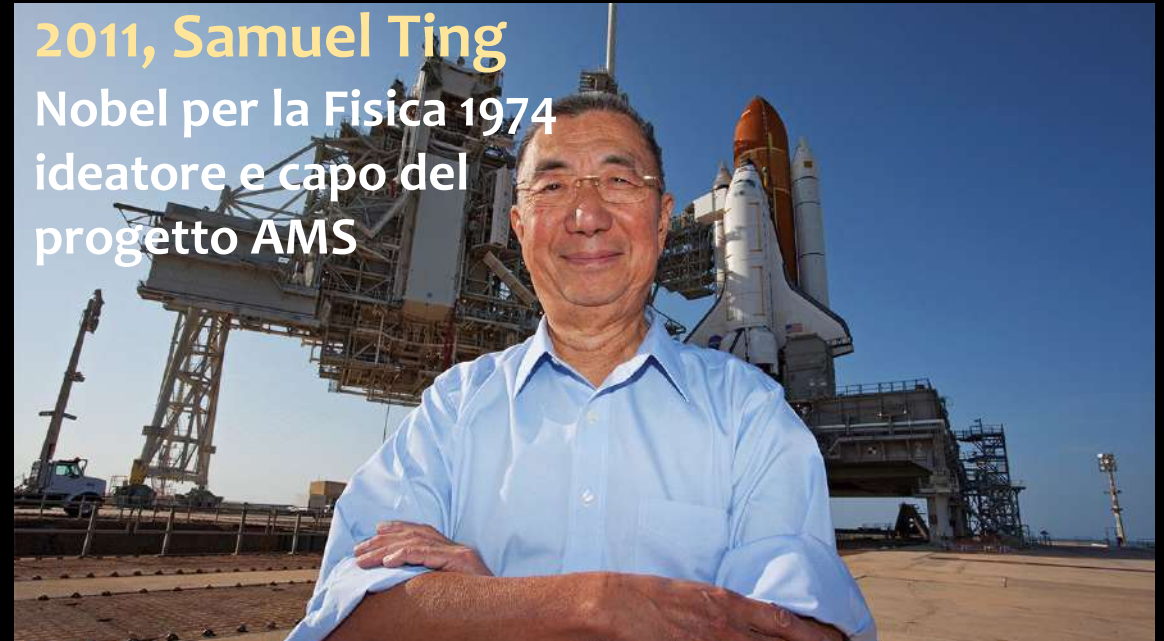
Misura diretta: esperimenti nello spazio

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**

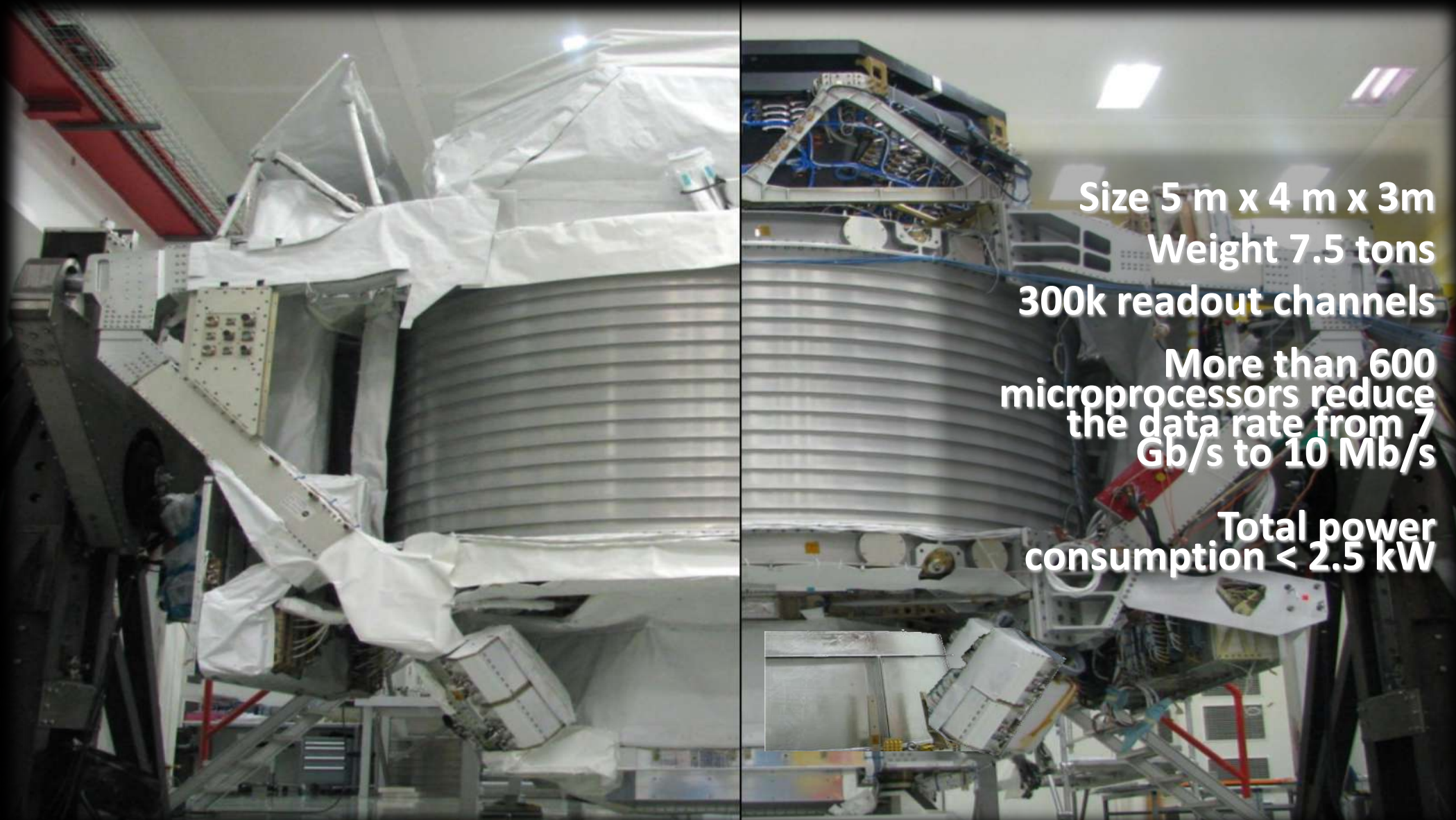


L'esperimento Alpha Magnetic Spectrometer

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*.



L'esperimento AMS in camera pulita



Size 5 m x 4 m x 3m
Weight 7.5 tons
300k readout channels

More than 600
microprocessors reduce
the data rate from 7
Gb/s to 10 Mb/s

Total power
consumption < 2.5 kW

AMS nello Space Shuttle Endeavour



16 Maggio 2011 @KSC: il Lancio

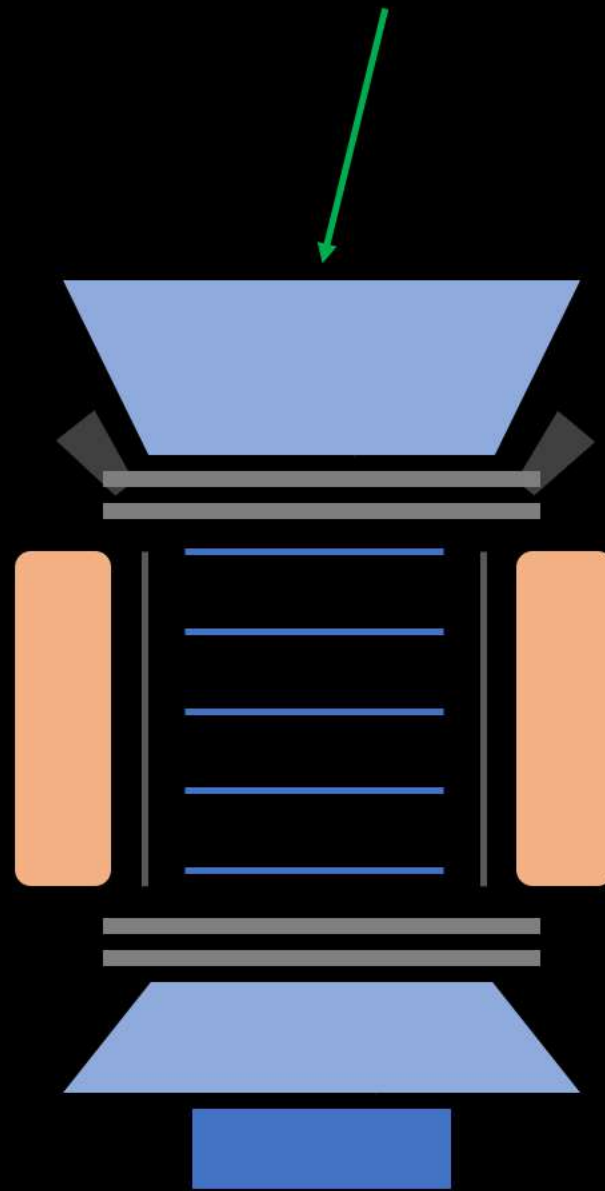


*May 16, 2011 @ KSC, US
STS-134 / Endeavour on launchpad*

19 Maggio 2011: AMS è installato e attivato nella ISS



da 8 anni e 8 mesi in presa dati 7/24



7/24 full time monitored at POCC

AMS has collected

212,380,068,643

cosmic ray events

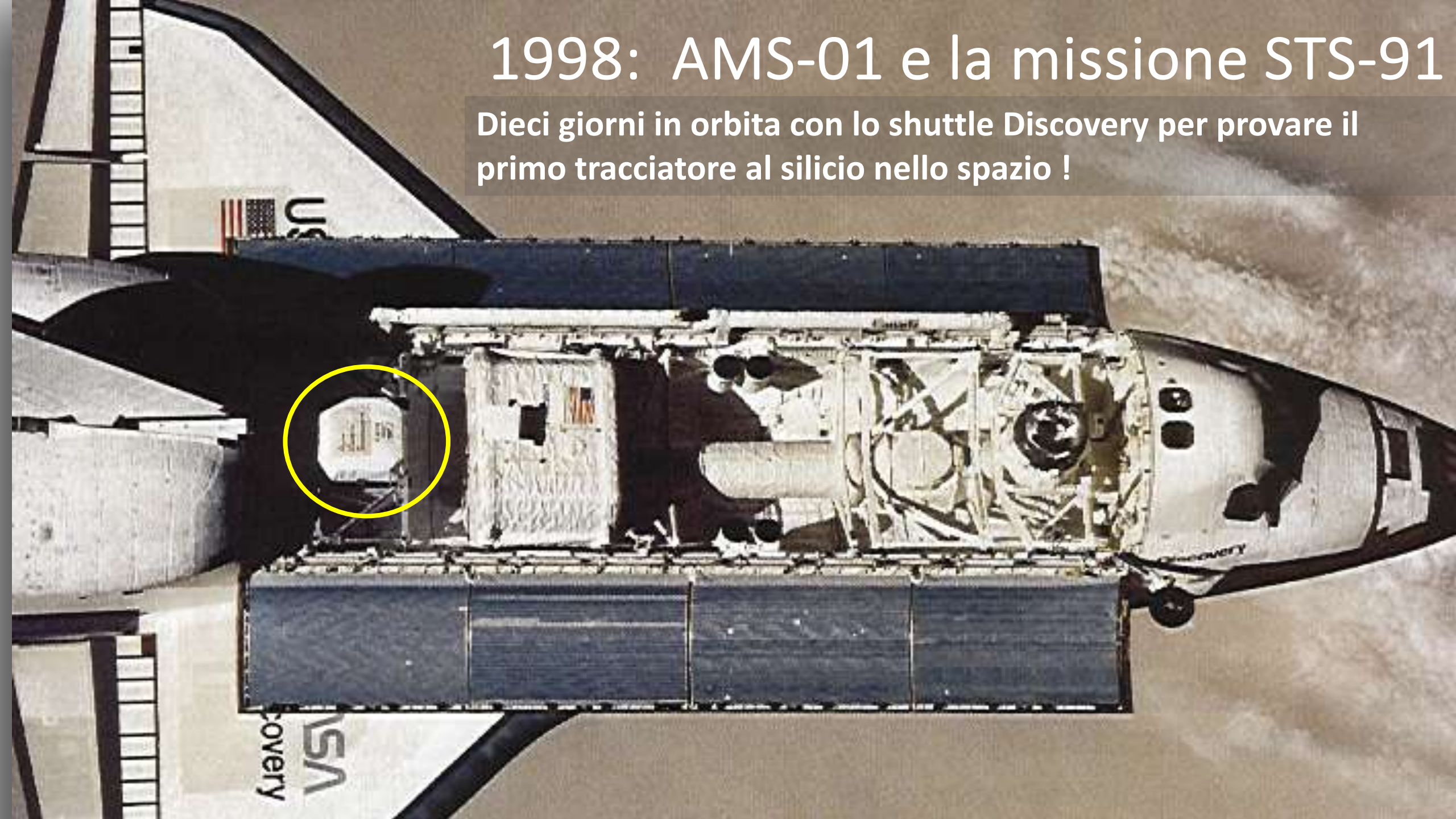
Last update: November 21, 2022, 10:41 AM

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

<https://ams02.space>

1998: AMS-01 e la missione STS-91

Dieci giorni in orbita con lo shuttle Discovery per provare il primo tracciatore al silicio nello spazio !



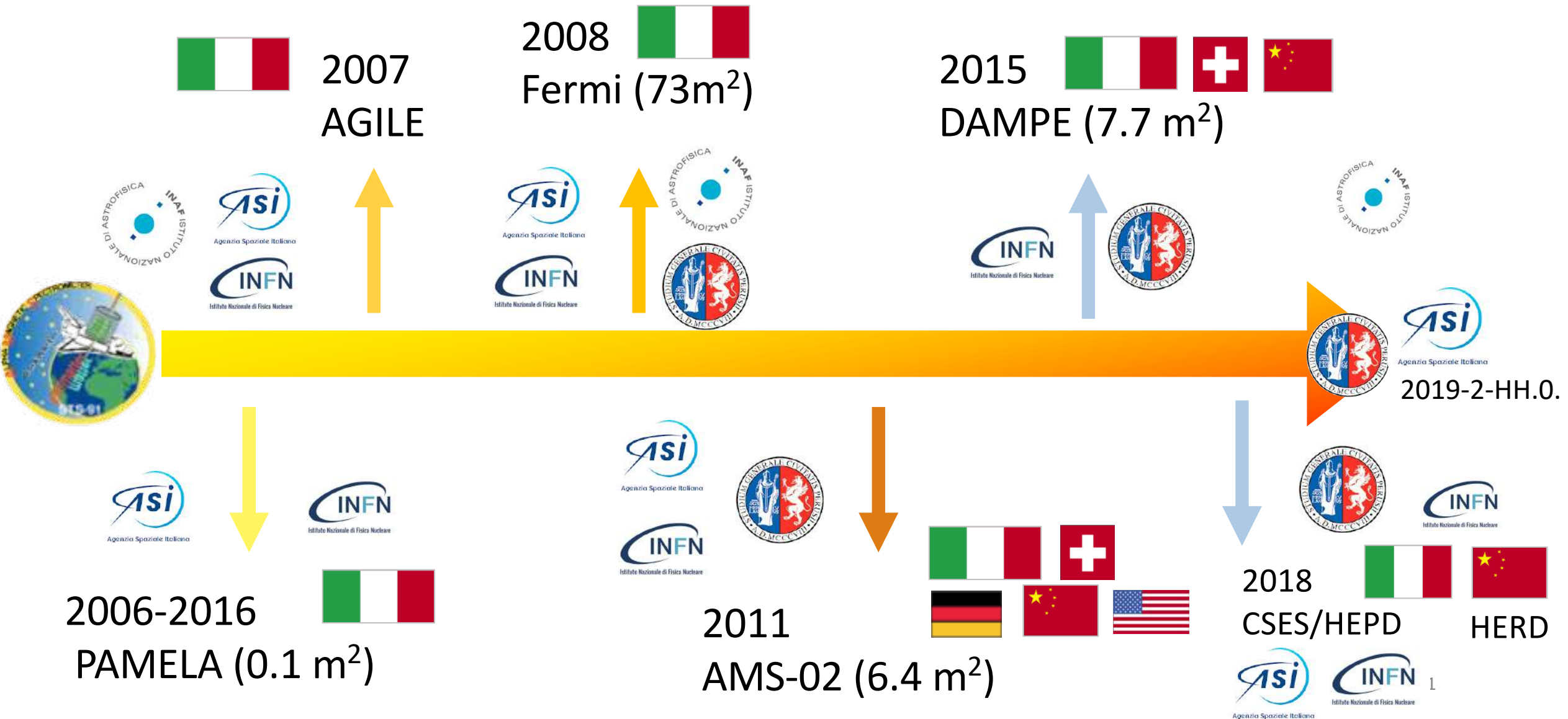
Particelle & spazio @ UniPG con l'INFN e l'ASI

UniPG: >20 anni di fisica delle particelle e astrofisica delle alte energie nello spazio importando in un altro ambito le tecnologie per la rivelazione di radiazione ionizzante sviluppate per gli acceleratori di particelle.



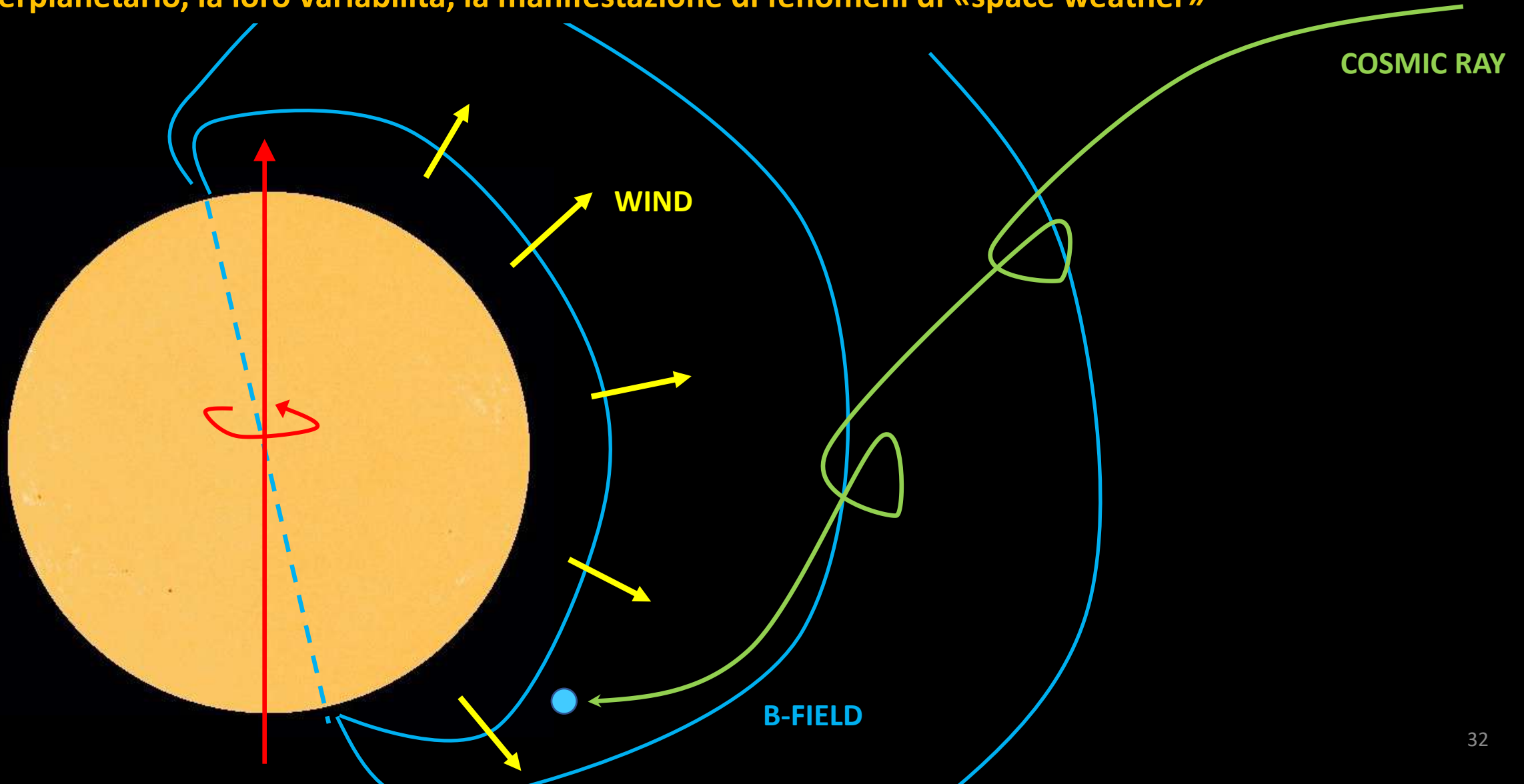
- Sinergia con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
- Costante rapporto con ASI nei diversi progetti sviluppati negli anni

Particelle & spazio @ UniPG con l'INFN e l'ASI



I raggi cosmici e il ciclo di attività solare

L'attività magnetica del Sole governa il vento solare, la radiazione carica nello spazio interplanetario, la loro variabilità, la manifestazione di fenomeni di «space weather»





US Lab

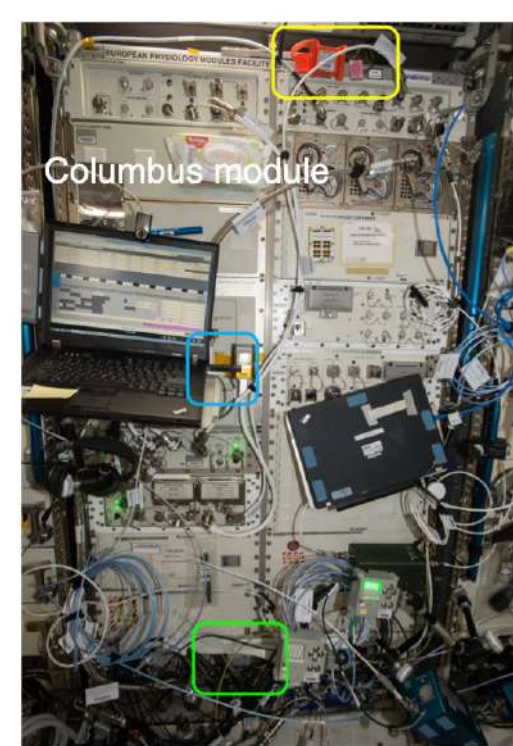
Studiare l'ambiente di radiazione

Japan Lab
Kibo

U.S. Lab
Destiny

E.S.A. Lab
Columbus

Columbus module



AMS

caratterizzazione della risposta alla radiazione dei sistemi di rilevazione interni & esterni alla ISS

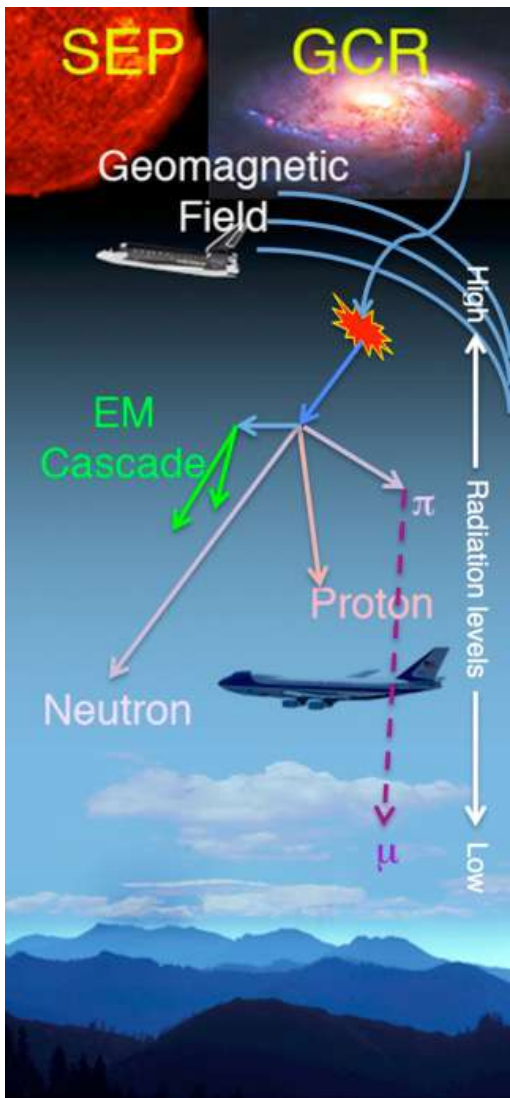
si specifiche dei dati di AMS nello spazio, per caratterizzare i fenomeni di variabilità
orale legati all'attività solare

duazione ed analisi multicanale dei dati necessary per caratterizzare il trasporto in eliosfera
es dell'attività solare, ma anche I dati disponibili per la validazione di modelli)

po di modelli numerici validati dalle osservazioni per trasporto delle particelle in eliosfera

po di modelli efficaci per predirre il flusso della radiazione galattica

Applicazioni?

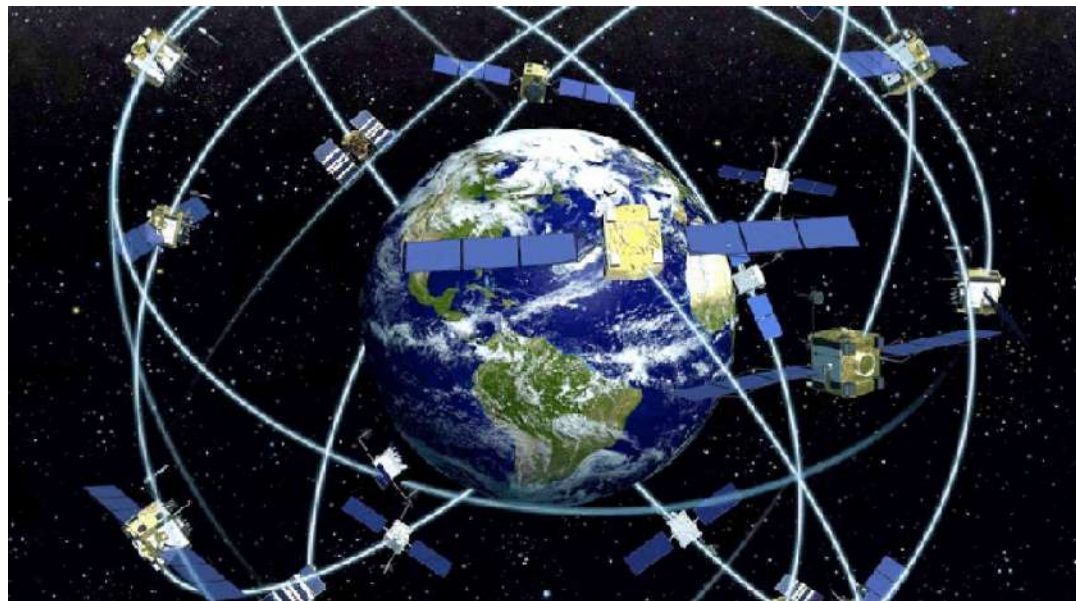
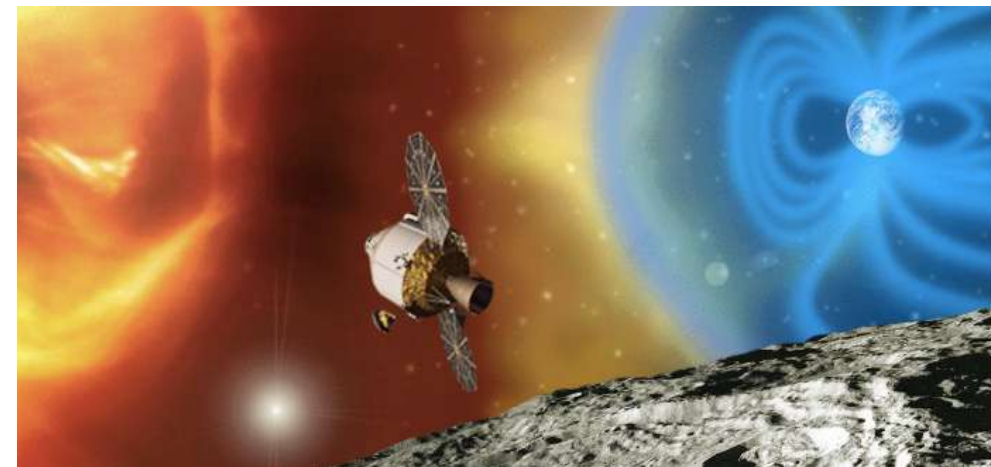


CORRIERE DELLA SERA

**Nasce il bollettino meteo spaziale:
«Serve anche per proteggere la
salute»**

28 /01/ 2019

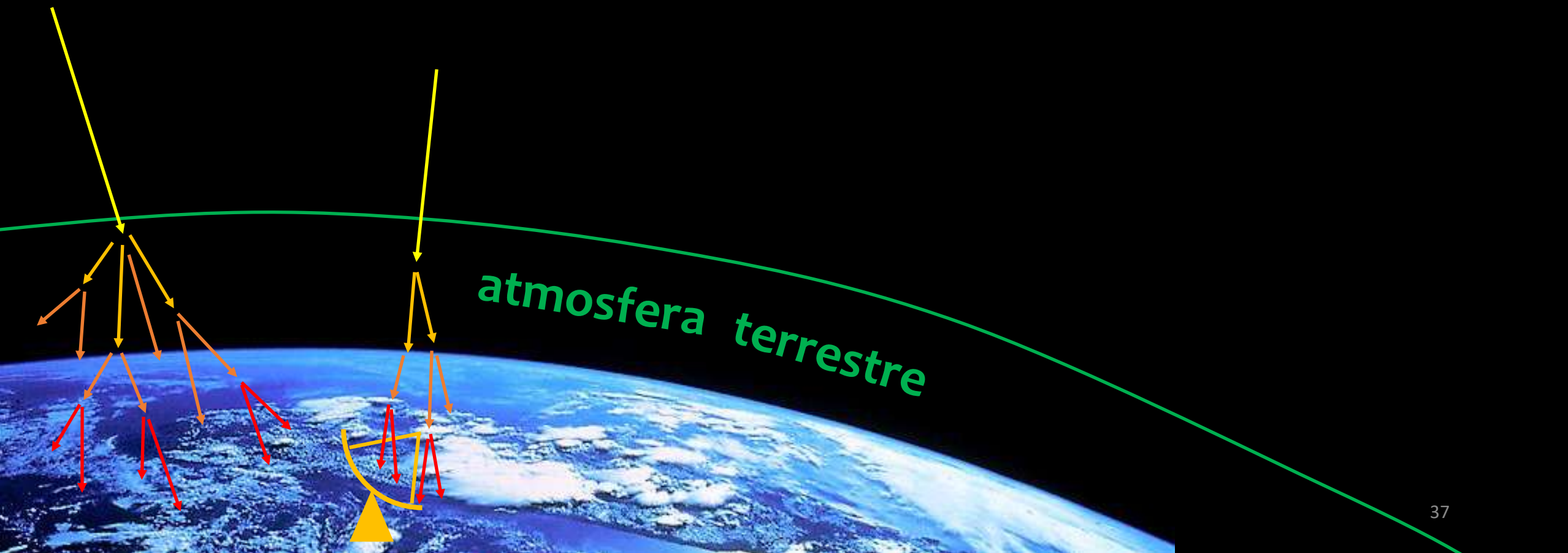
L'Aeronautica militare si prepara a emettere quattro bollettini per monitorare l'attività del sole, che influenza le comunicazioni satellitari, i radar (e la salute umana)



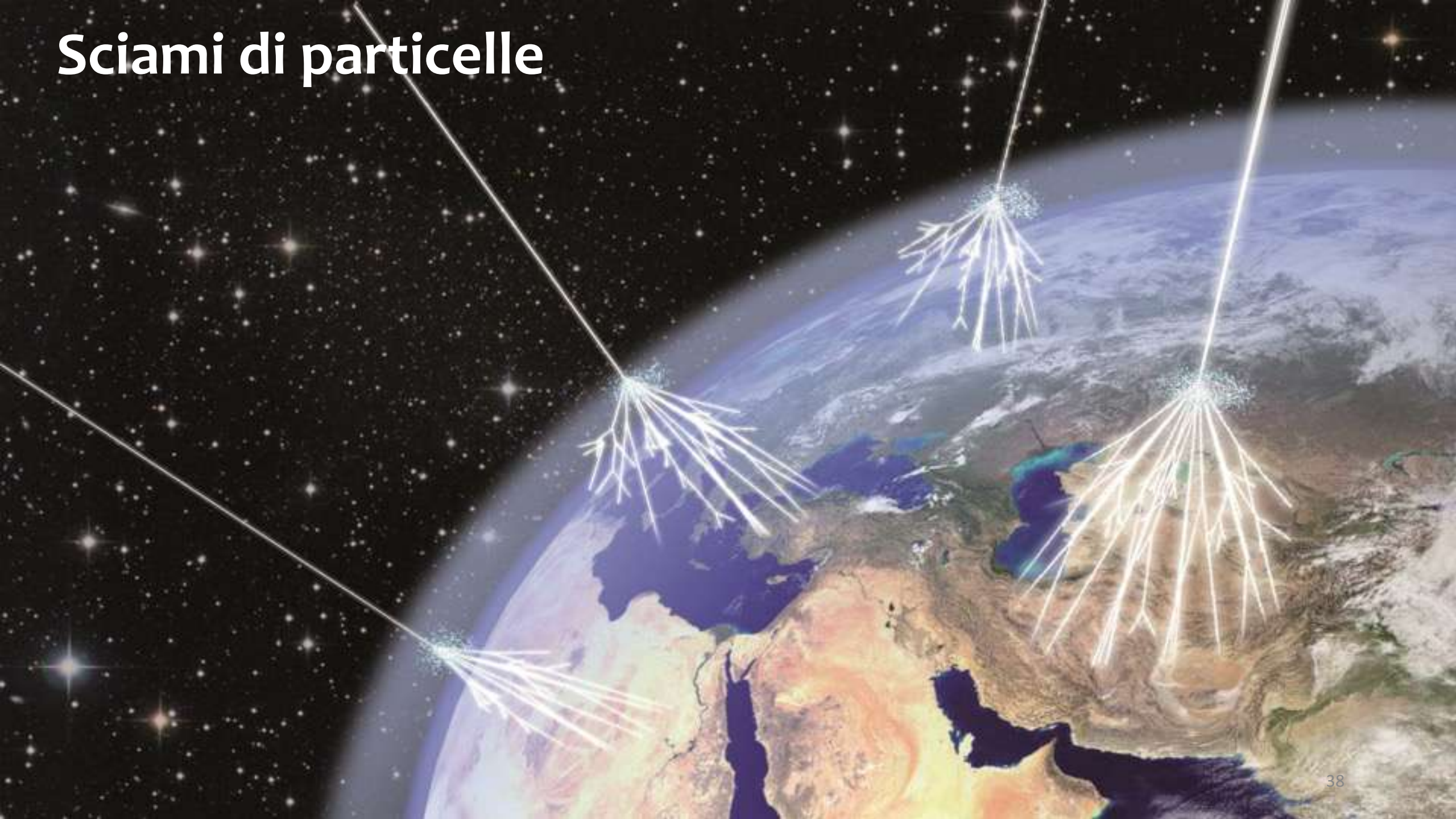
2. Indirettamente, a terra

Misuriamo gli sciami atmosferici di particelle secondarie.

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



Sciami di particelle

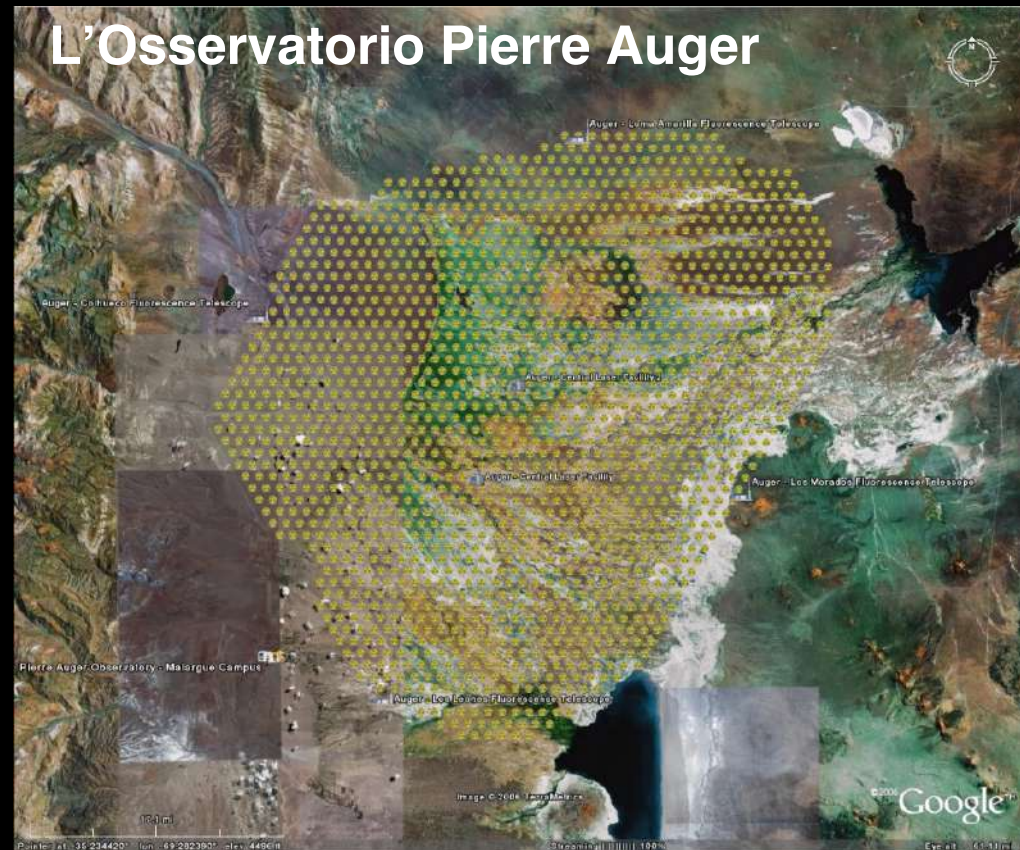
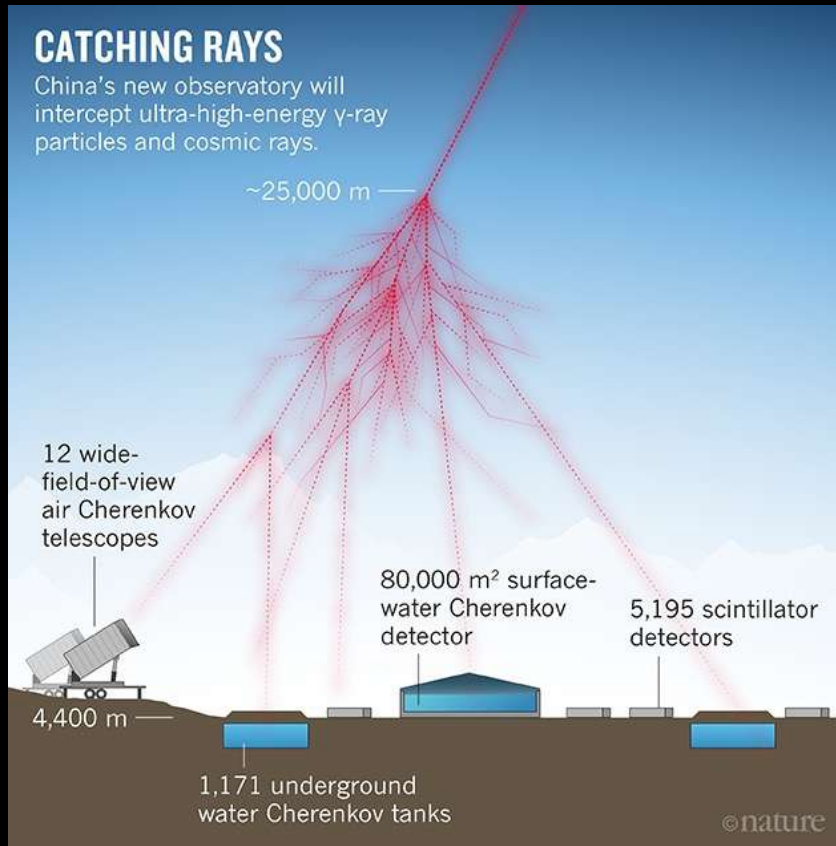






Misura indiretta di raggi cosmici: l'osservatorio Auger

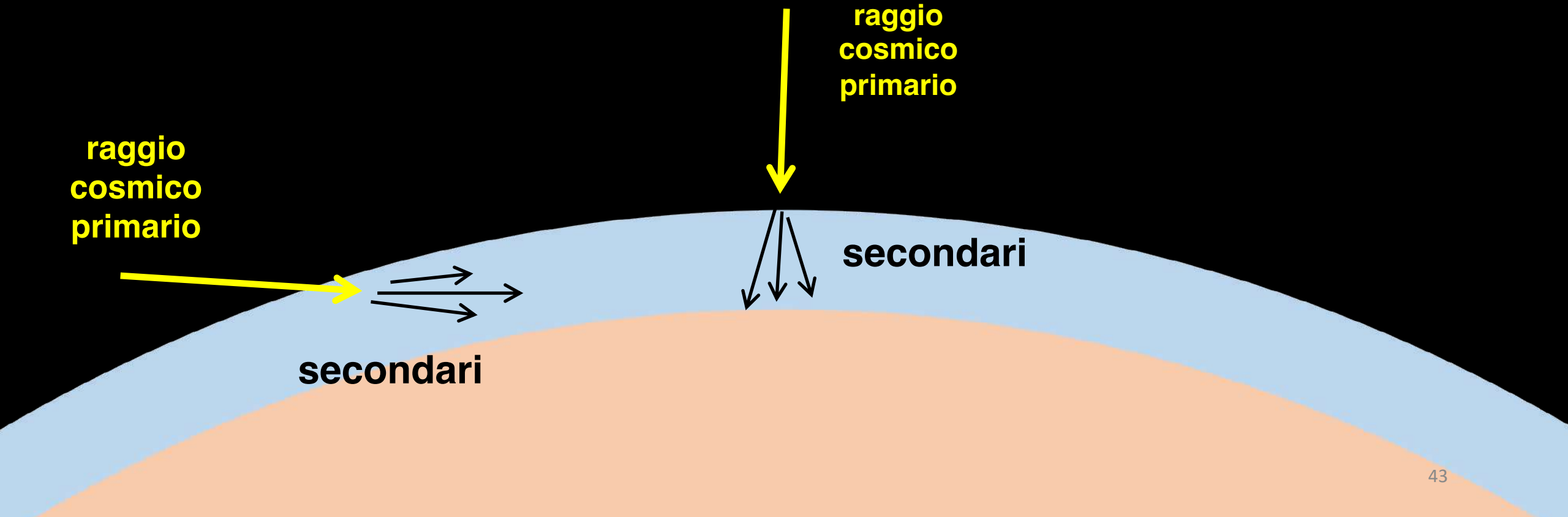
Usa 1600 rivelatori posti su un'area di 3000 km² nella pampa argentina
(Provincia PG~6000 km²; Provincia TR~ 2000 km²)



I RAGGI COSMICI A TERRA

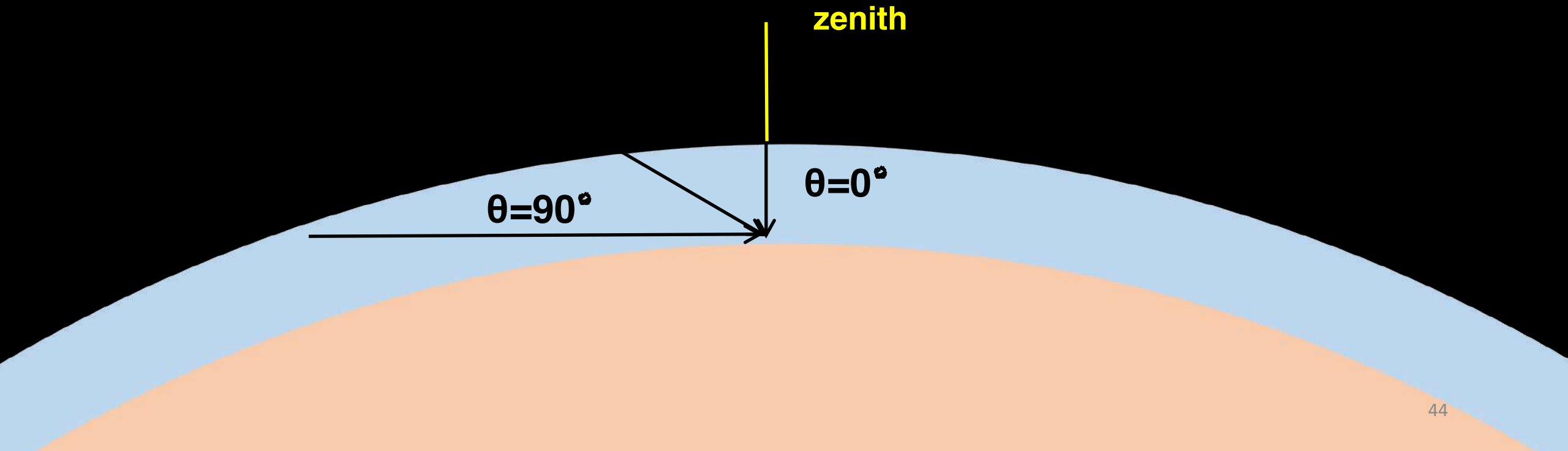
I raggi cosmici primari incidono l'atmosfera da ogni direzione

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



I RAGGI COSMICI A TERRA

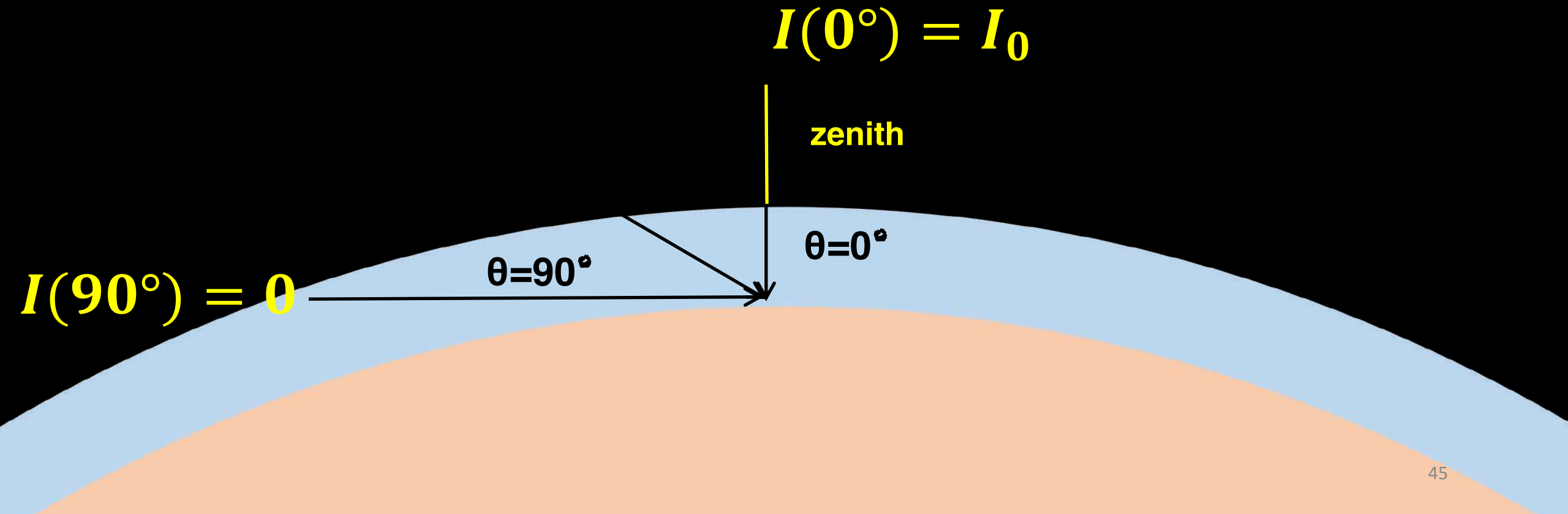
Ci aspettiamo una maggiore intensità di particelle verticali ($\theta=0^\circ$)
E poche particelle che arrivano lateralmente ($\theta=90^\circ$)



I RAGGI COSMICI A TERRA

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

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

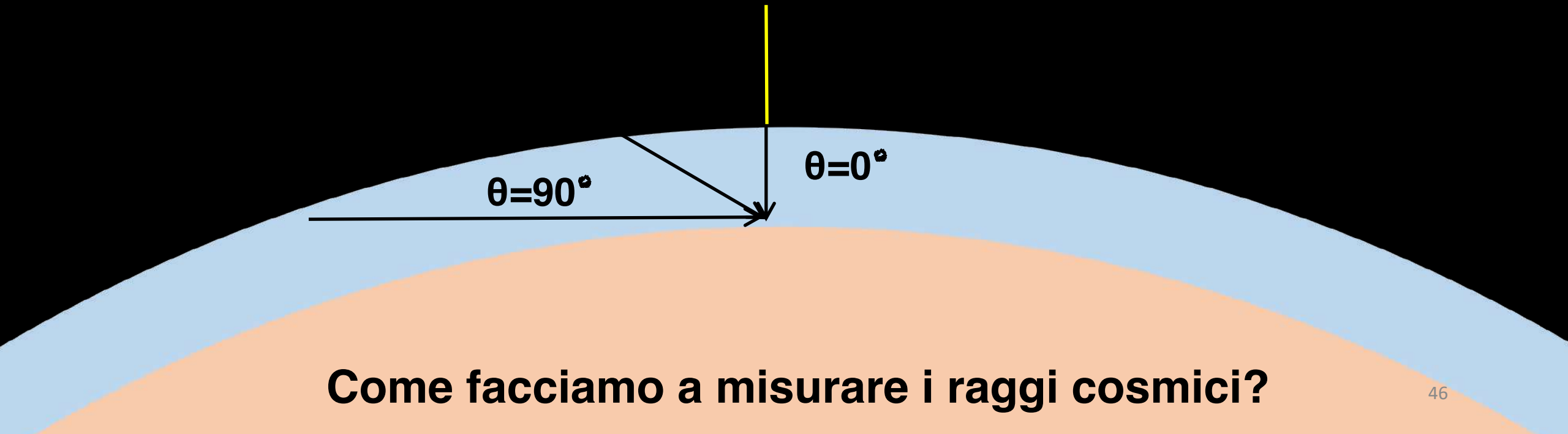


I RAGGI COSMICI A TERRA

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

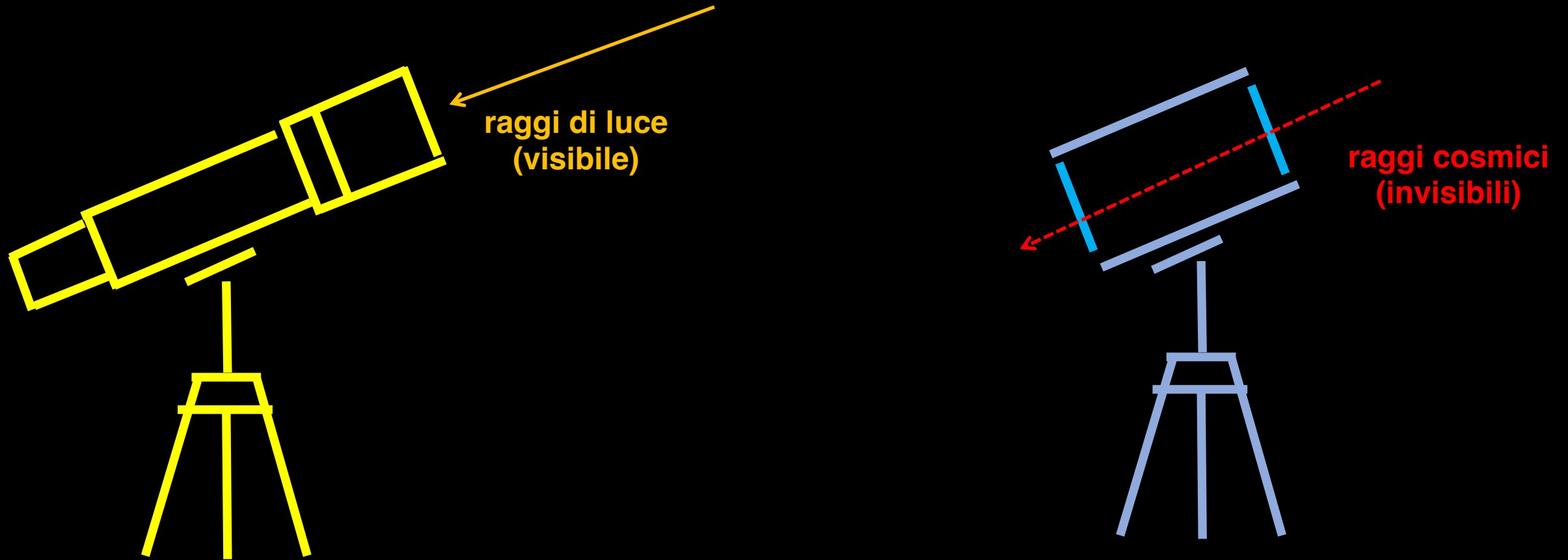
$$I = I_0 \cos^2(\theta)$$

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?

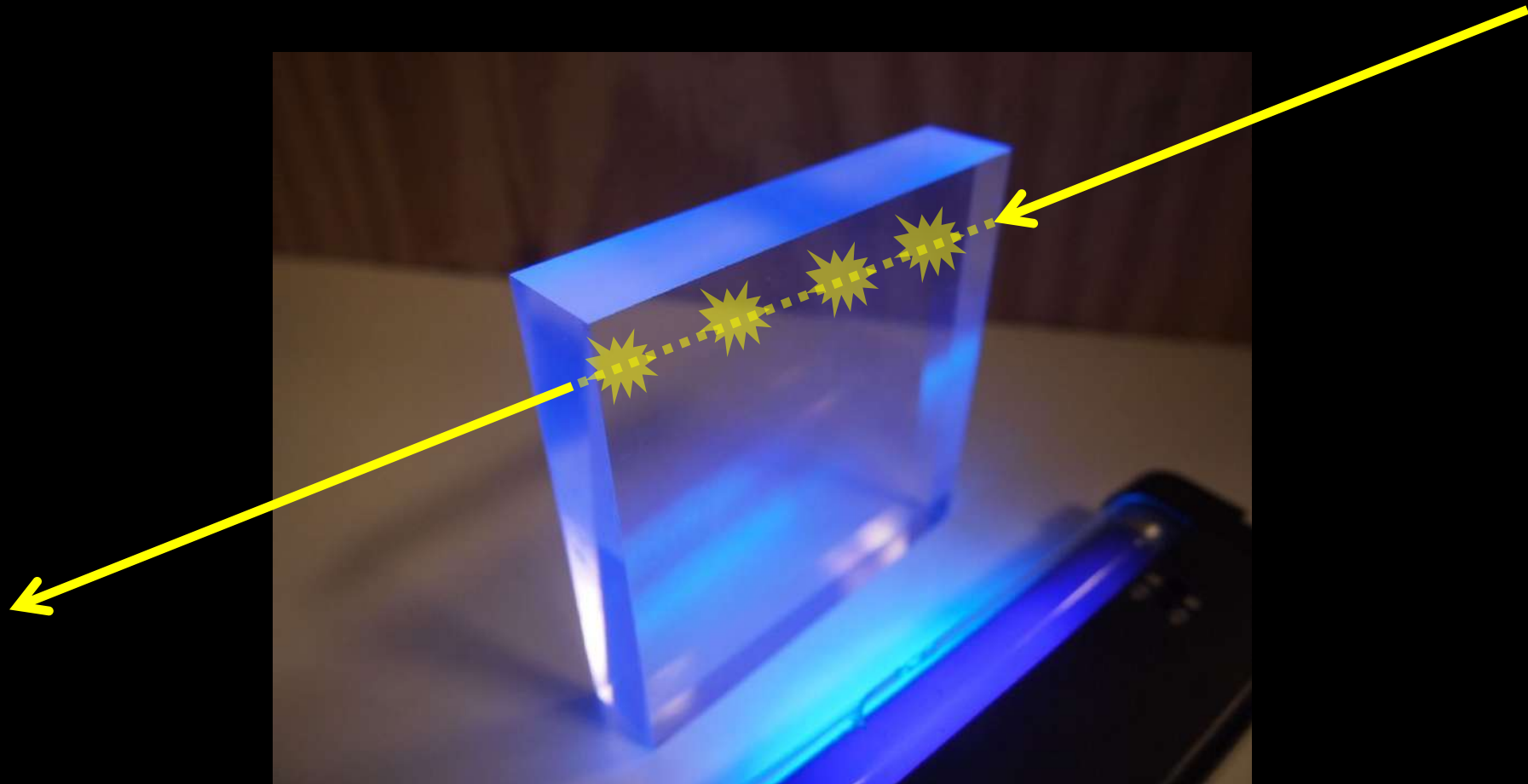
Ma come li misuriamo?



Ci vuole un telescopio che «vede» le particelle cariche (al posto nostro) 47

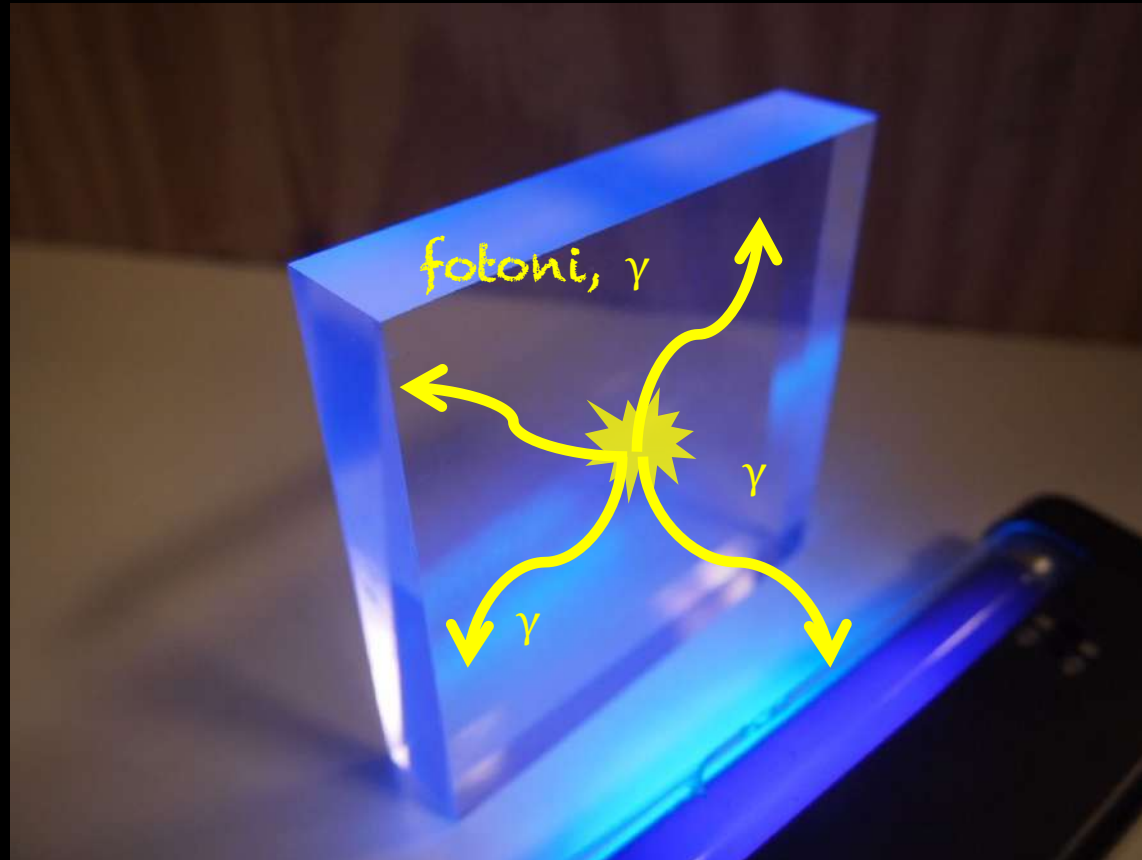
LA TECNICA SPERIMENTALE

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.

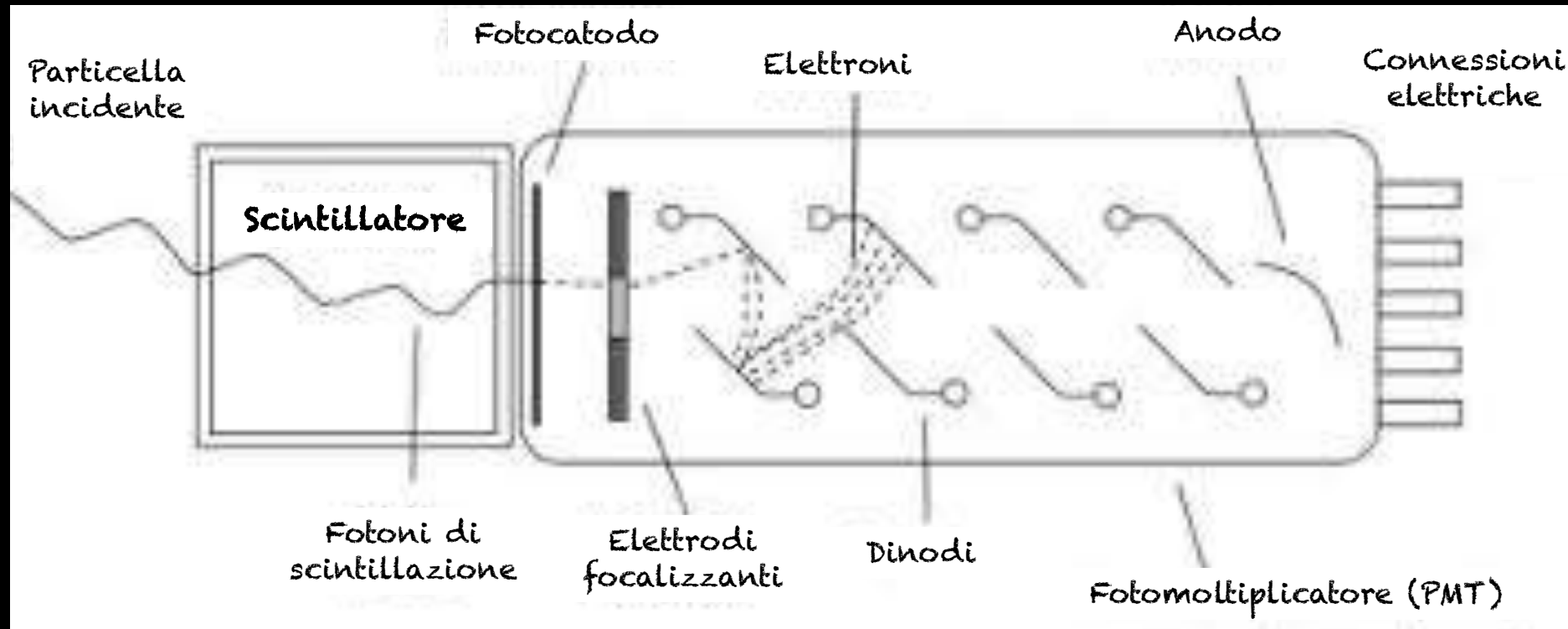


LA TECNICA SPERIMENTALE

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

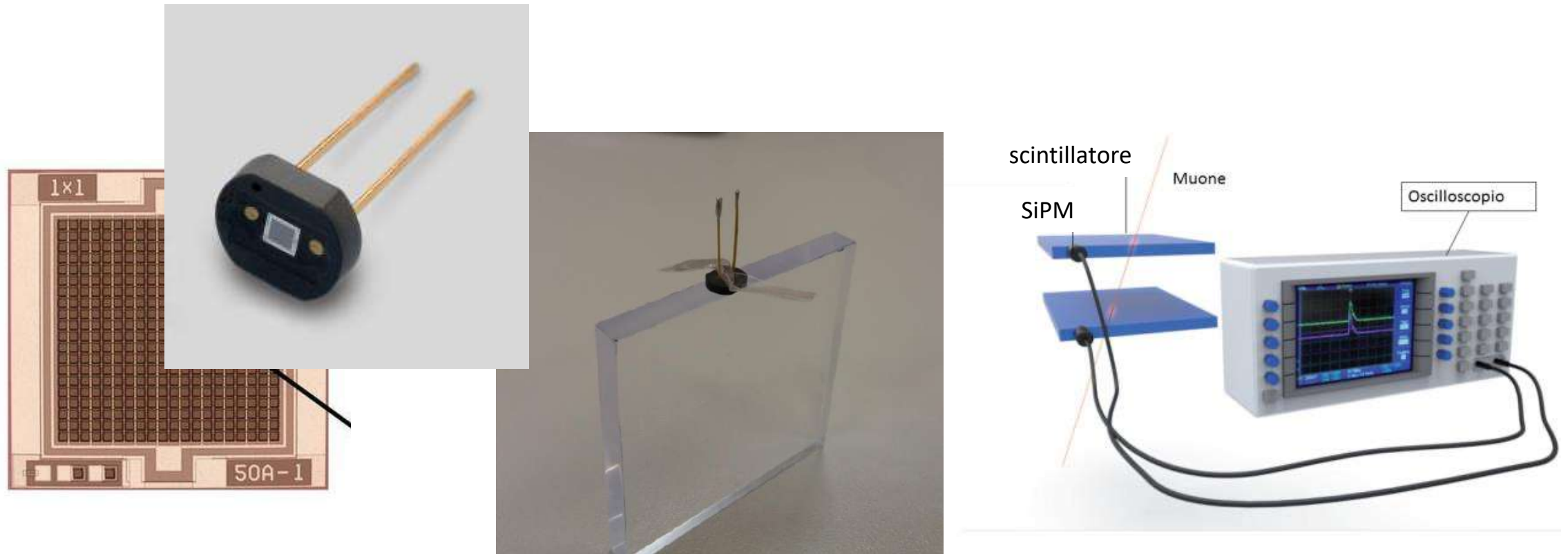
il fotomoltiplicatore (PMT)

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.



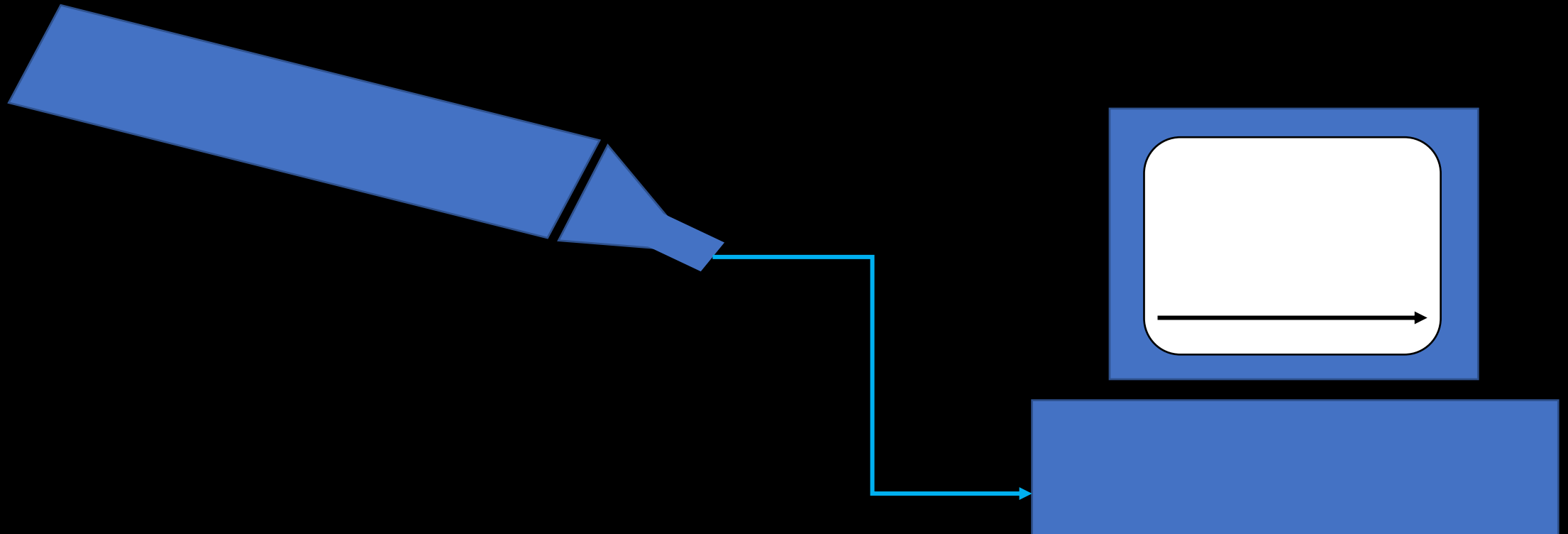
I fotomoltiplicatori al silicio SiPM

PM a stato solido, prodotti su un wafer di silicio impiantando micro-celle.
Tensione di alimentazione (~ 20 V) e dimensioni ($\sim \text{mm}^2$) fortemente ridotte.
Sono una valida alternativa ai classici tubi a vuoto (i PMT).



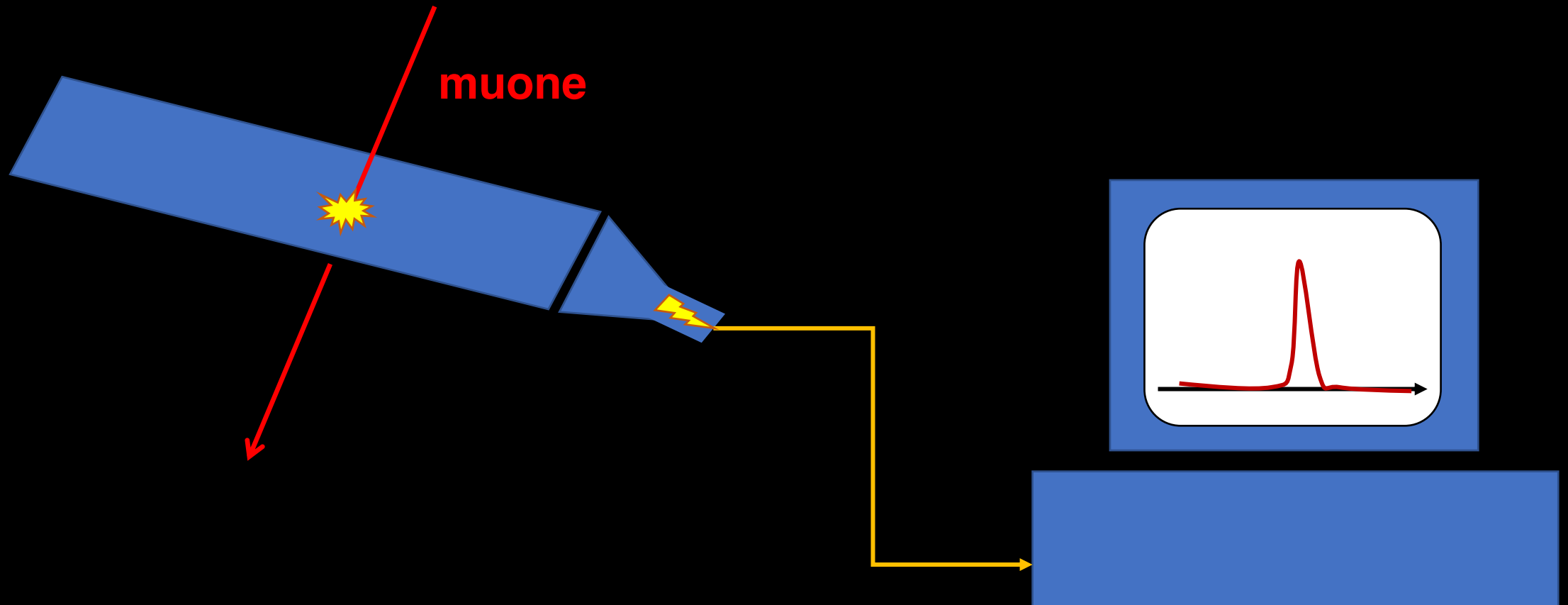
LA TECNICA SPERIMENTALE

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



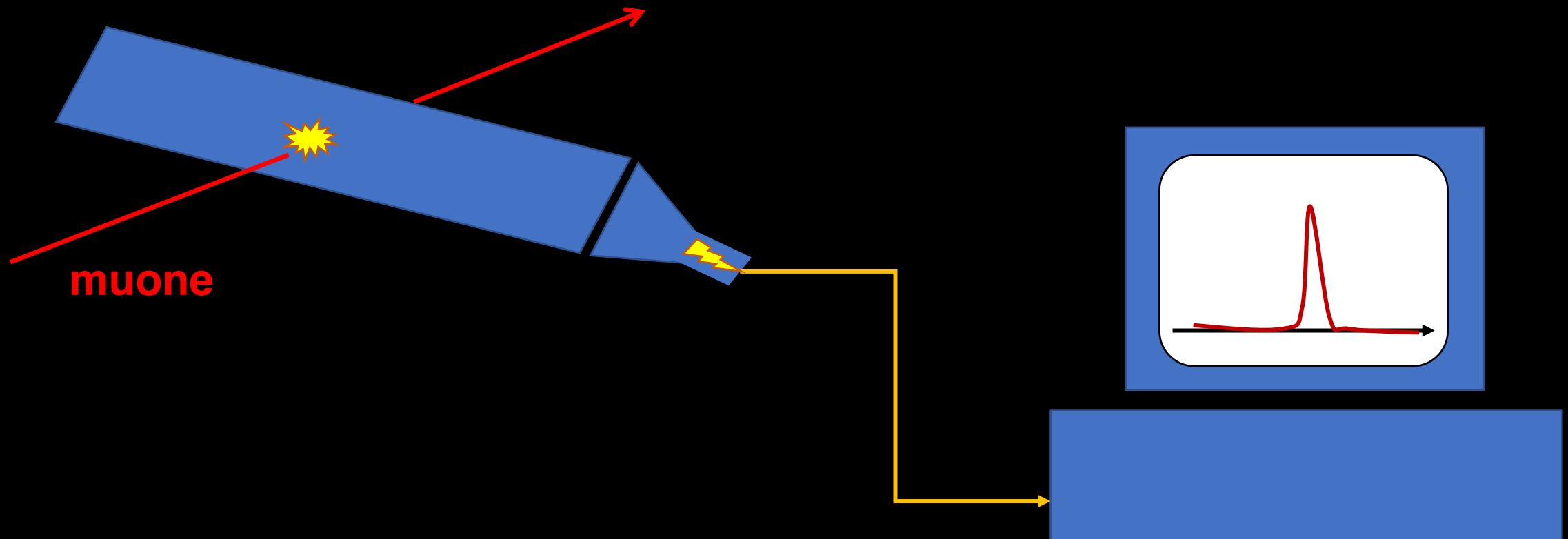
LA TECNICA SPERIMENTALE

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



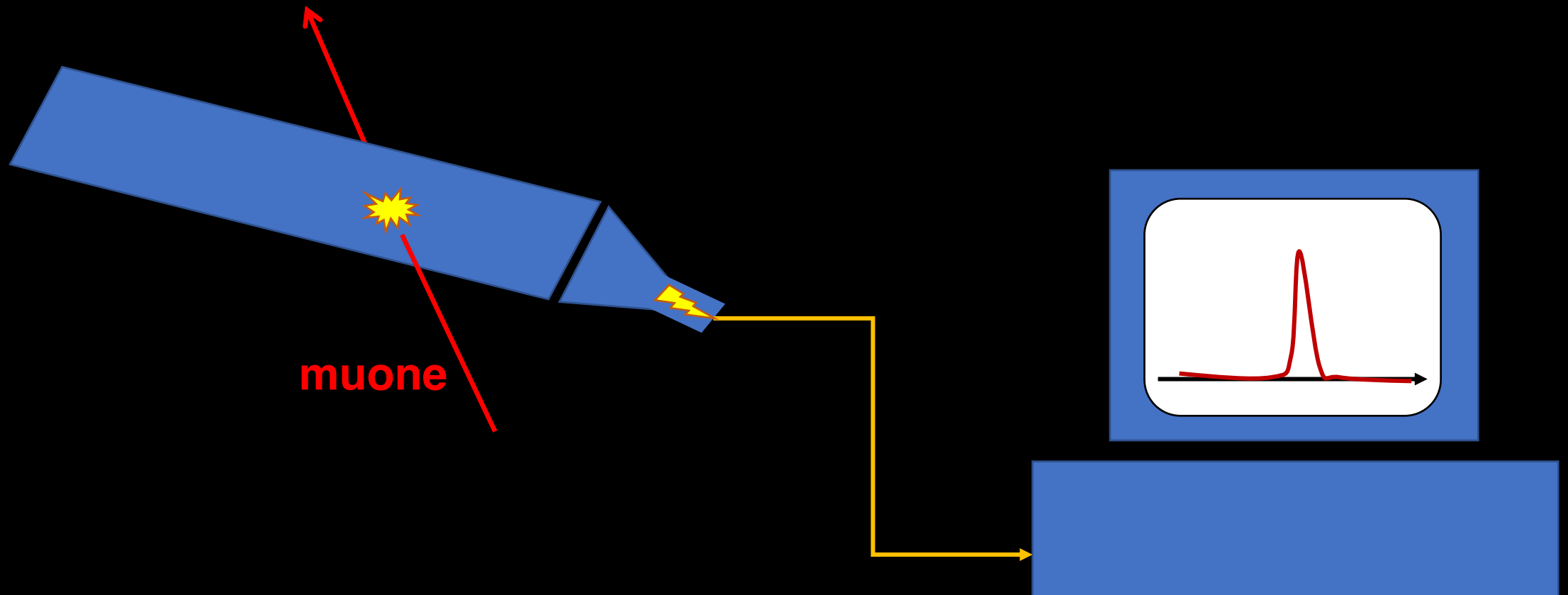
LA TECNICA SPERIMENTALE

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



LA TECNICA SPERIMENTALE

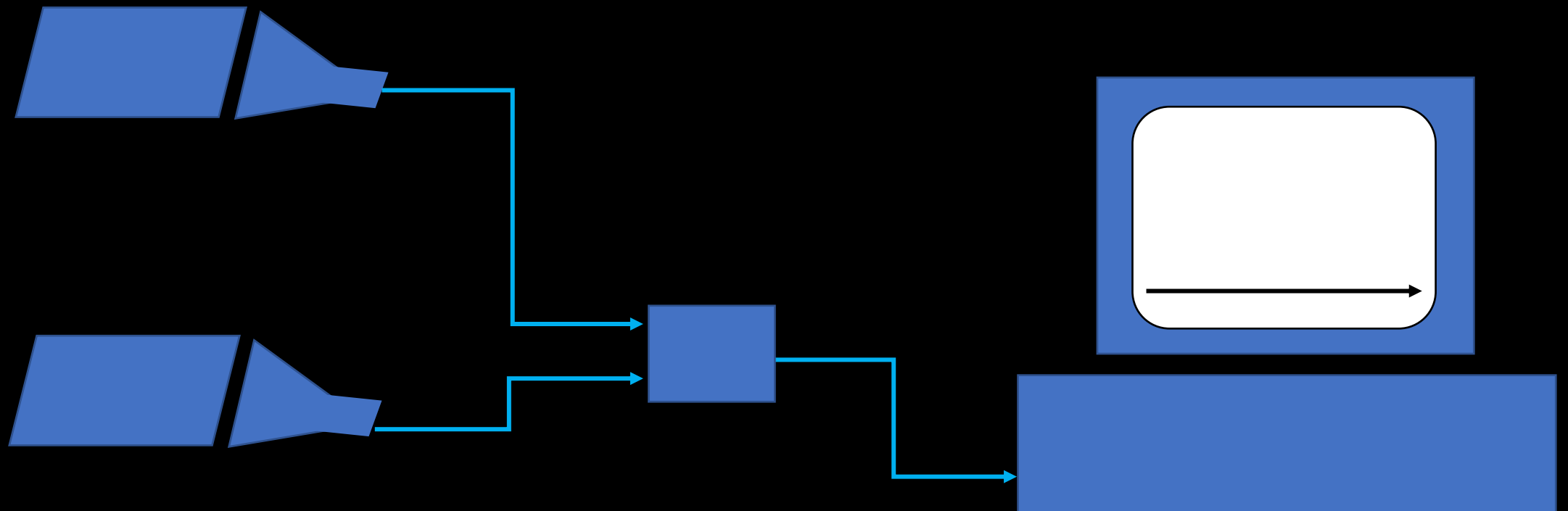
Accoppiamo un materiale scintillante ad un dispositivo che raccoglie la luce e la trasforma in **segnale elettrico**



LA TECNICA SPERIMENTALE

Possiamo fare di meglio: usiamo due piani di scintillatori

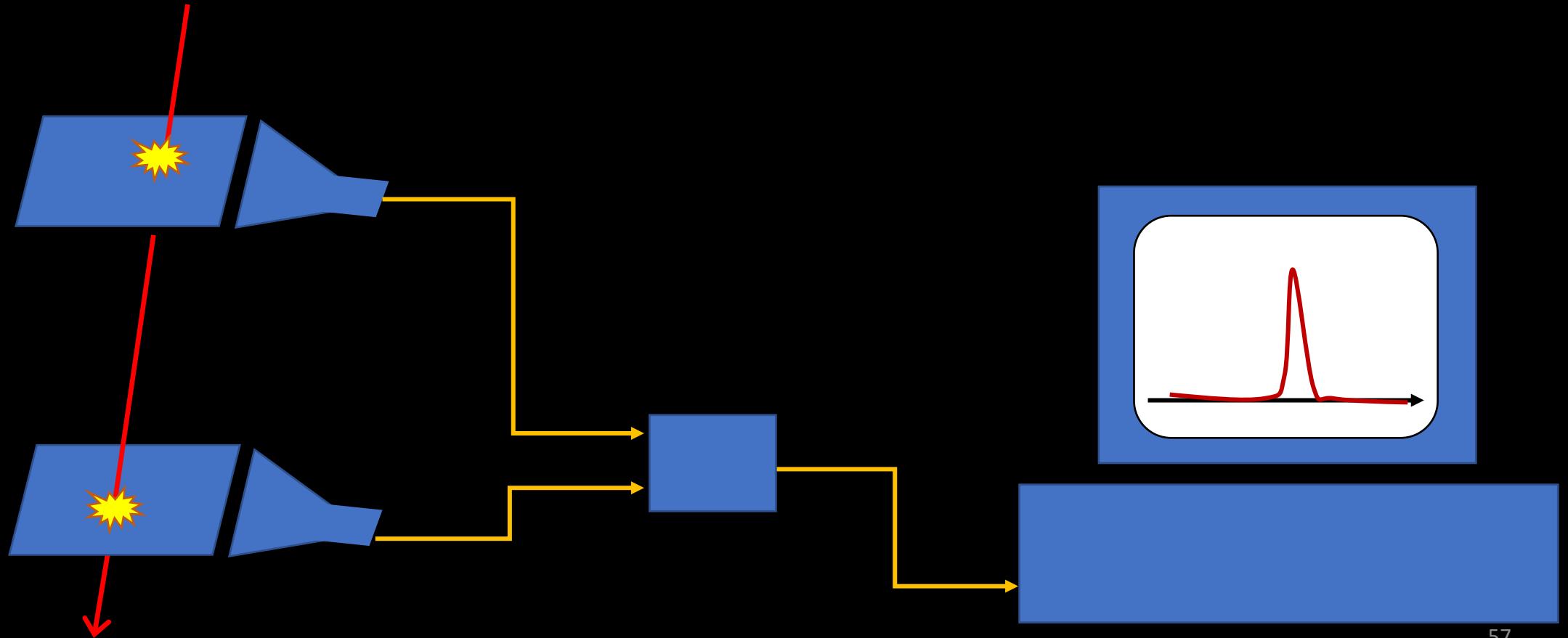
- Riveliamo il muone con maggior certezza
- Selezioniamo direzioni di arrivo (verticali)



LA TECNICA SPERIMENTALE

Usiamo due piani di scintillatori

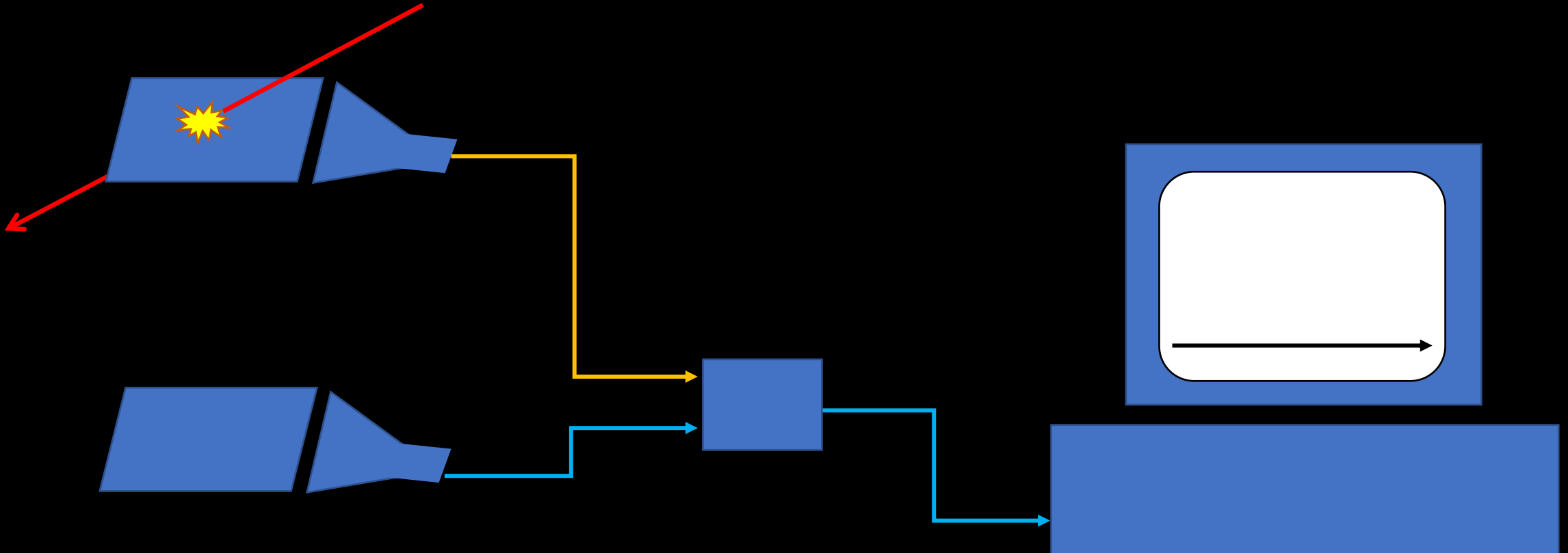
- Riveliamo il muone con maggior certezza
- Selezioniamo direzioni di arrivo (verticali)



LA TECNICA SPERIMENTALE

Usiamo due piani di scintillatori

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

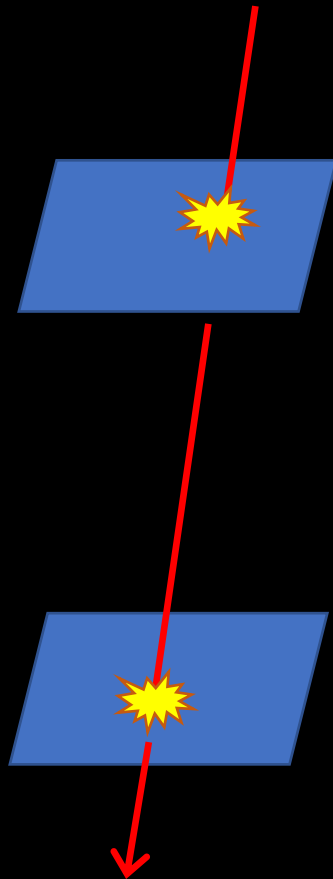


LA TECNICA SPERIMENTALE

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

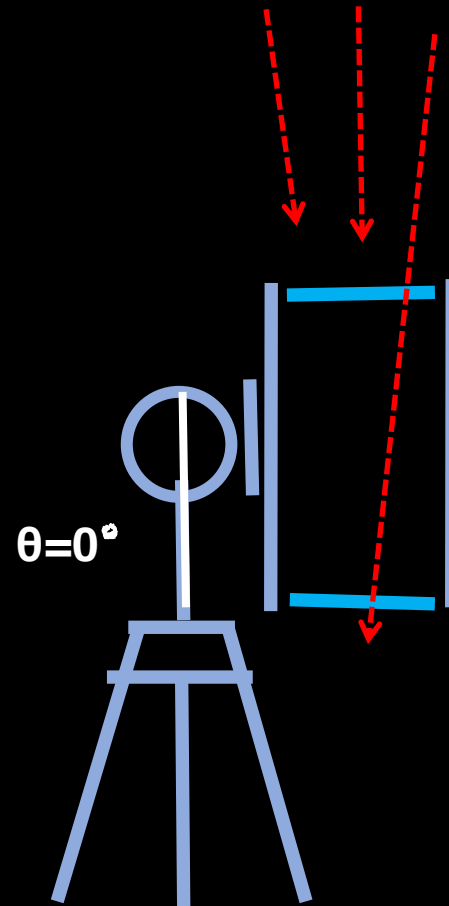
Prendo dati per un minuto (T=60 secondi)

Lo strumento registra N=600 particelle

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

LA TECNICA SPERIMENTALE

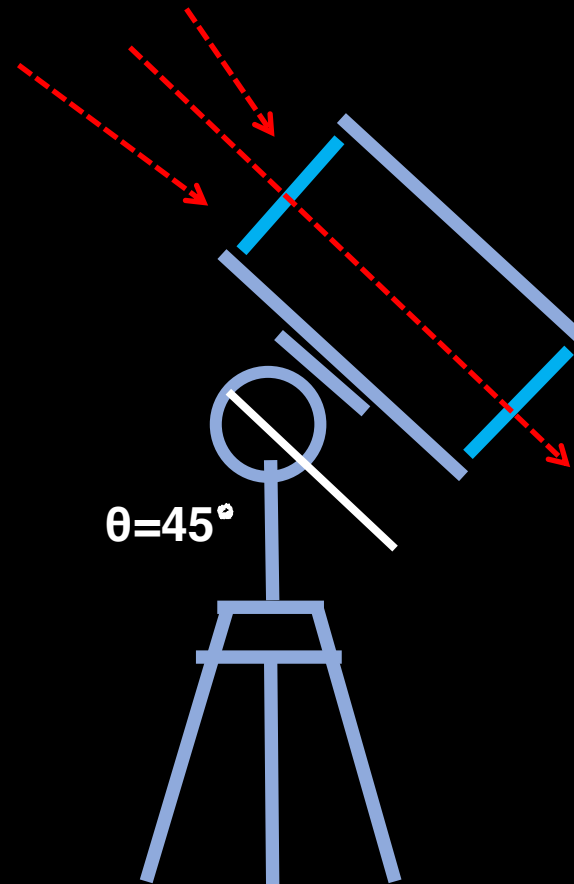
Ruotiamo il rivelatore di angolo θ con la verticale
Possiamo vedere se il flusso di particelle dipende dall'angolo



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

LA TECNICA SPERIMENTALE

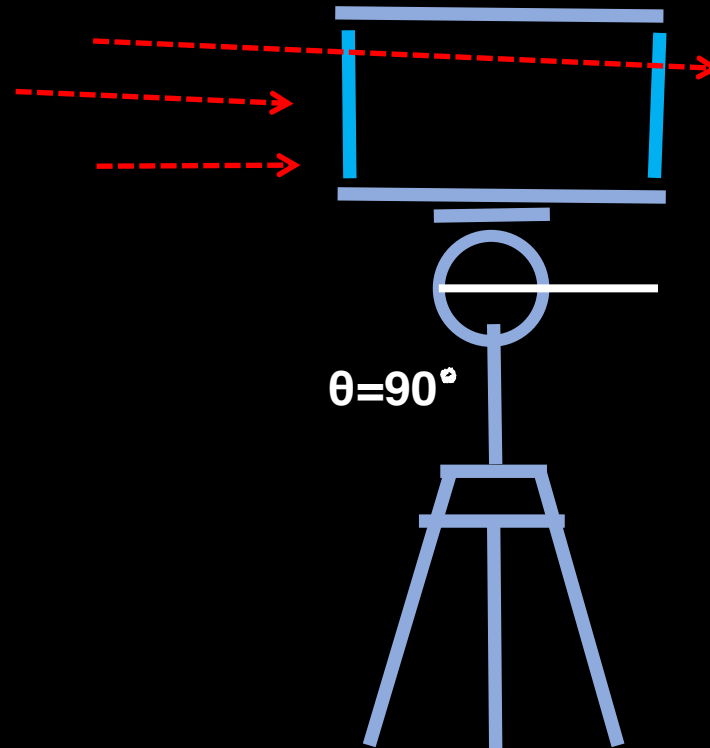
Ruotiamo il rivelatore di angolo θ con la verticale
Possiamo vedere se il flusso di particelle dipende dall'angolo



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

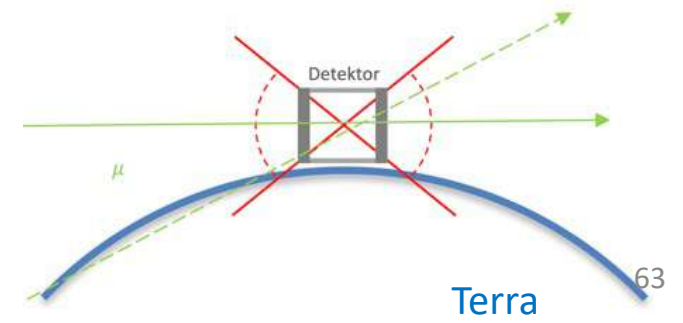
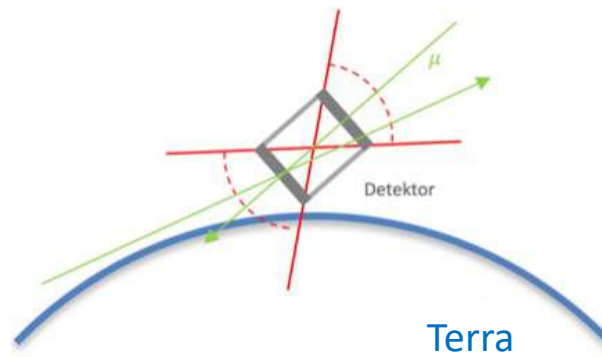
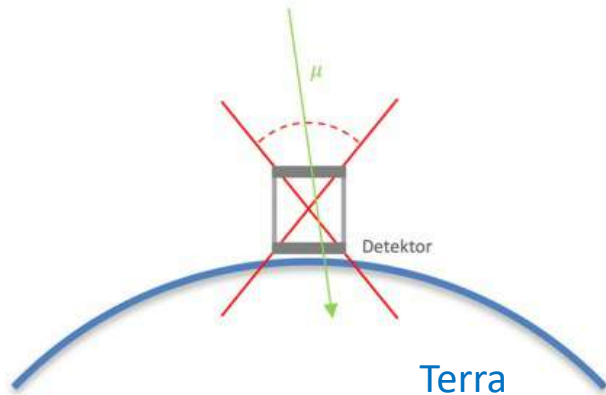
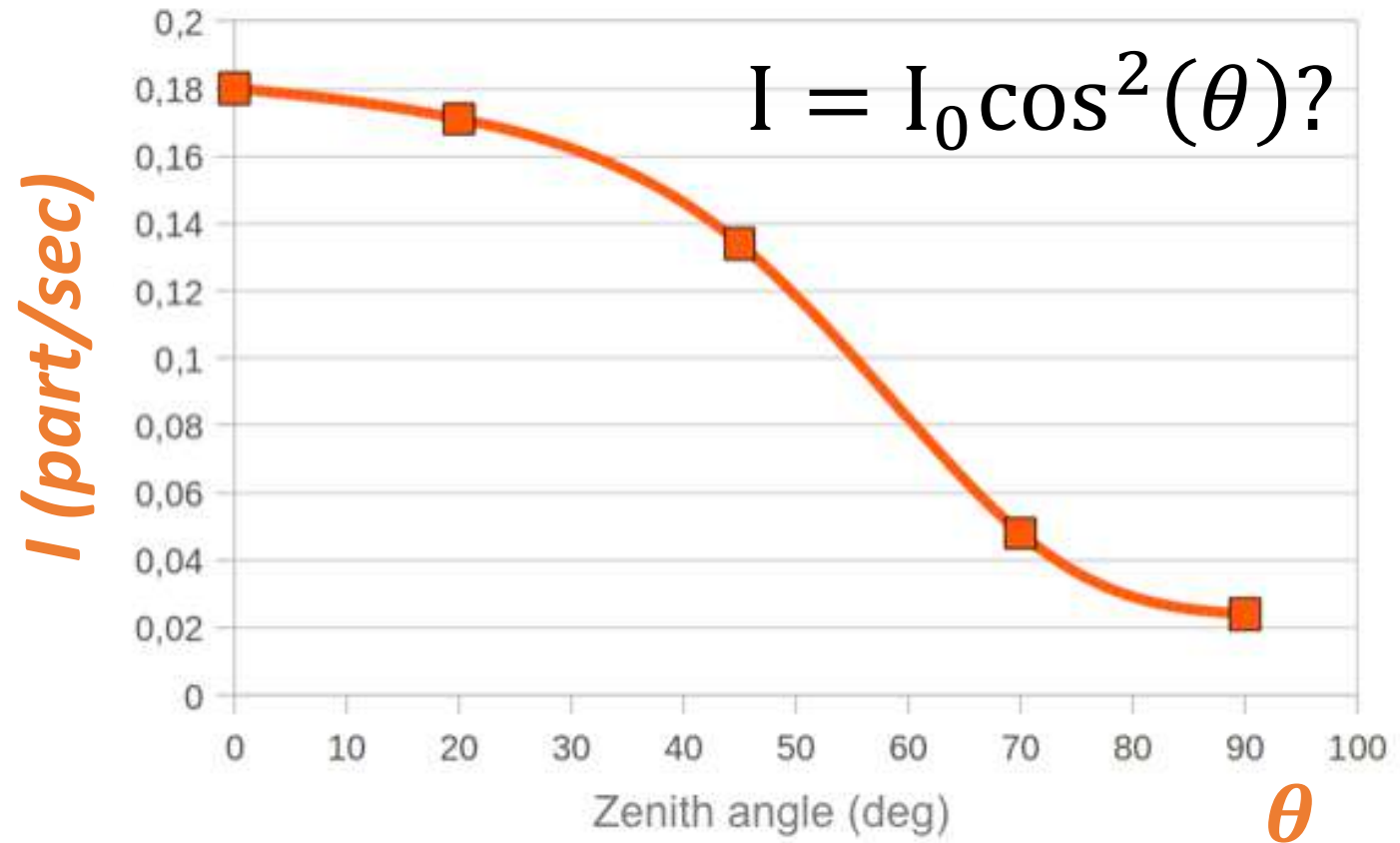
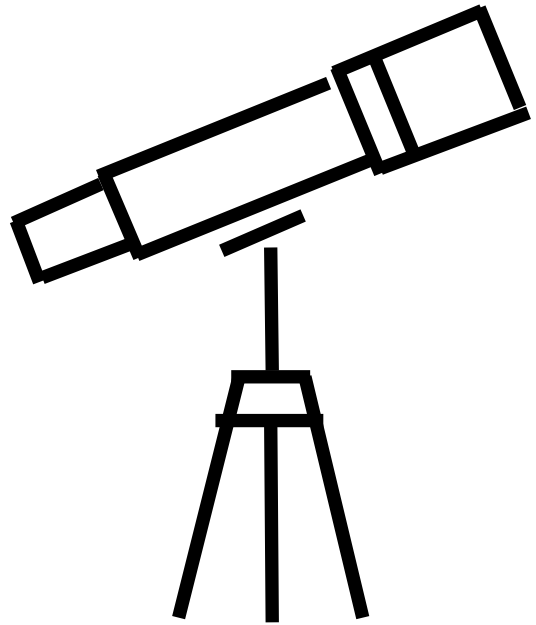
LA TECNICA SPERIMENTALE

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



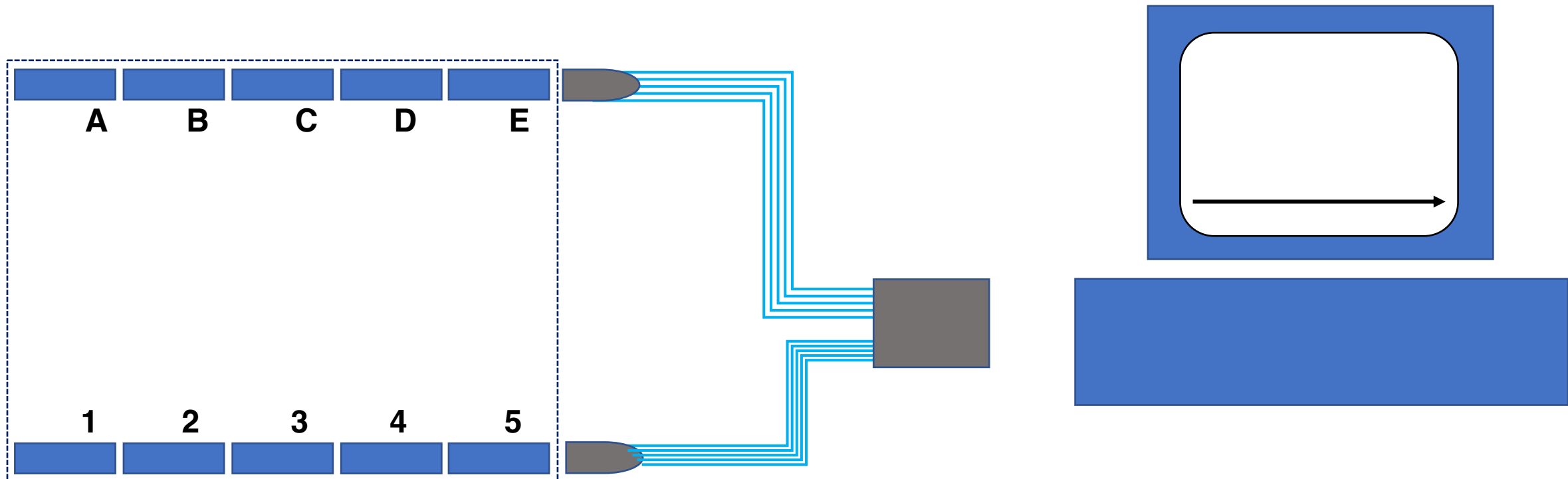
Guarda all'orizzonte $\theta = 90^\circ$
Seleziona particelle orizzontali

LA TECNICA SPERIMENTALE



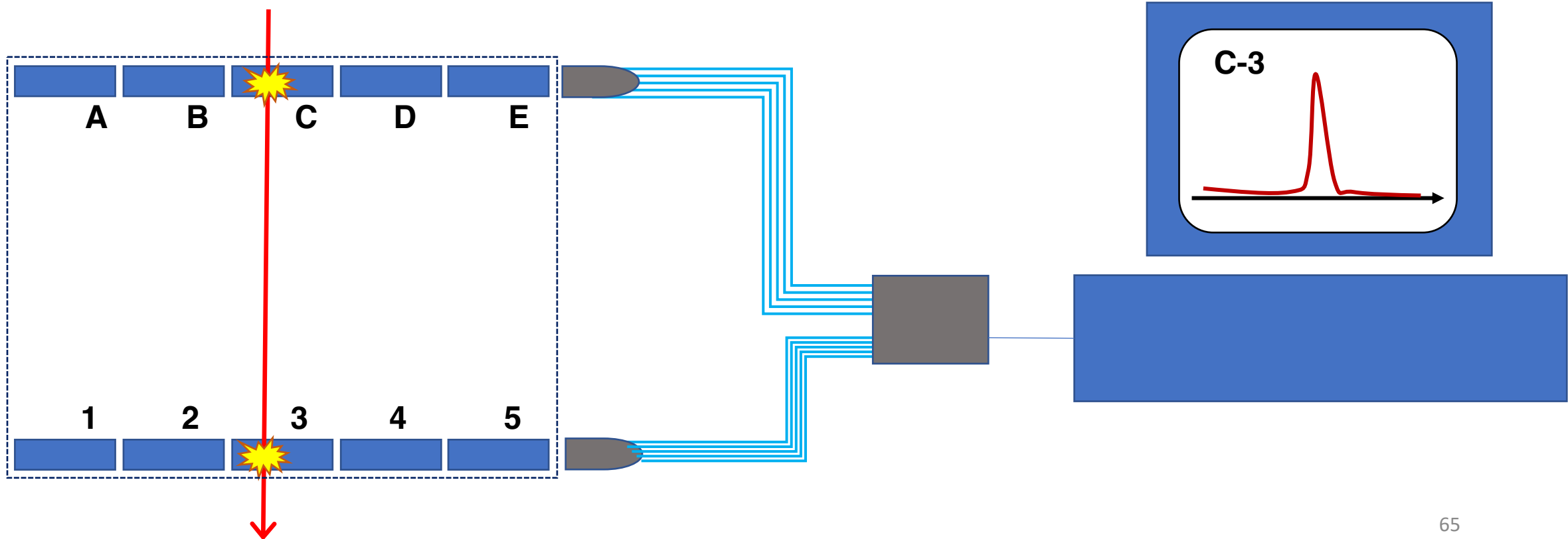
MAZINGA-2020

**Un metodo più furbo (senza dover ruotare il rivelatore)
che stiamo mettendo a punto per il prossimo appuntamento**



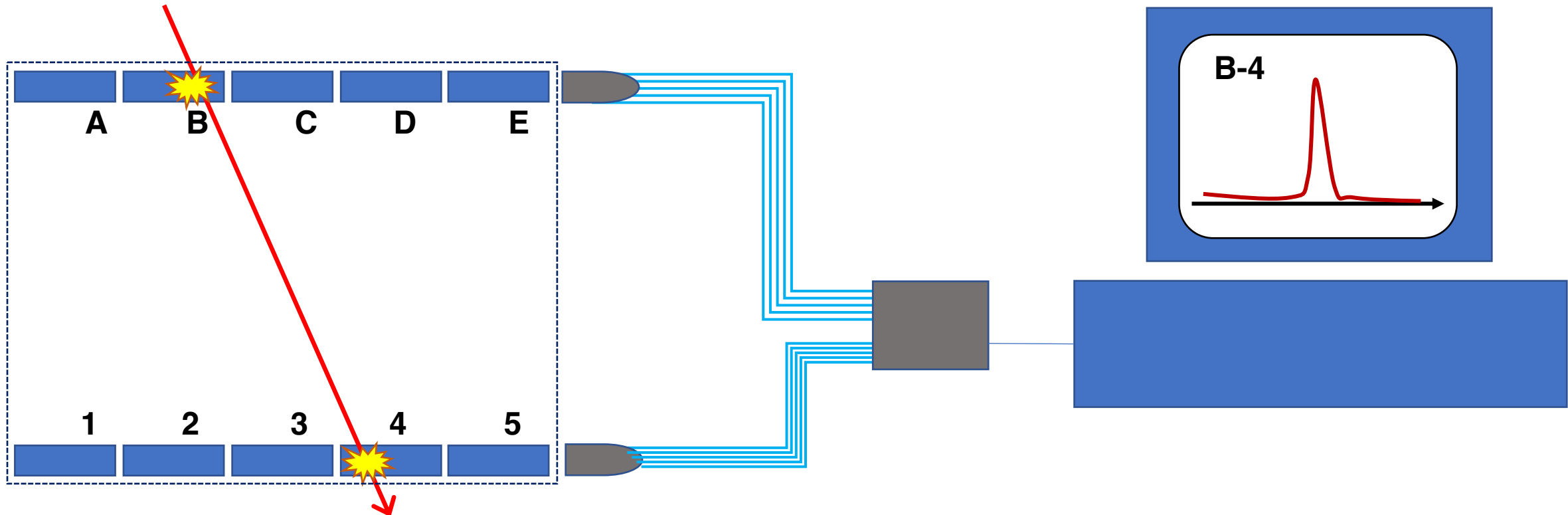
MAZINGA-2020

**Un metodo più furbo (senza dover ruotare il rivelatore)
che stiamo mettendo a punto per il prossimo appuntamento**



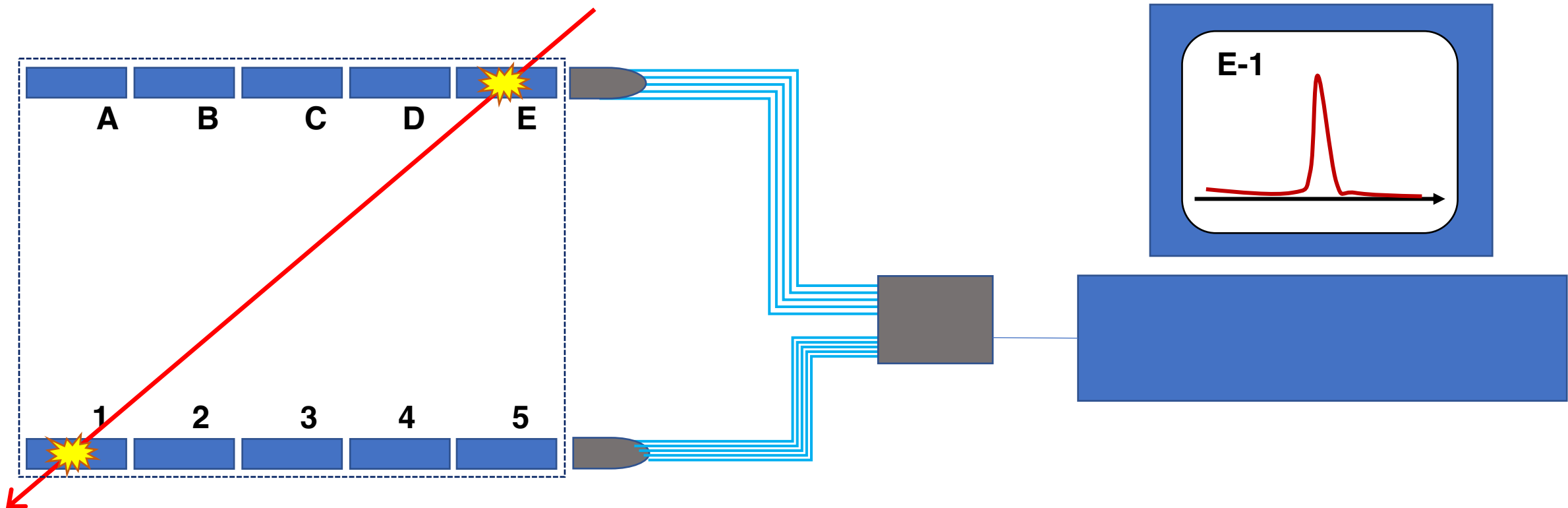
MAZINGA-2020

**Un metodo più furbo (senza dover ruotare il rivelatore)
che stiamo mettendo a punto per il prossimo appuntamento**



MAZINGA-2020

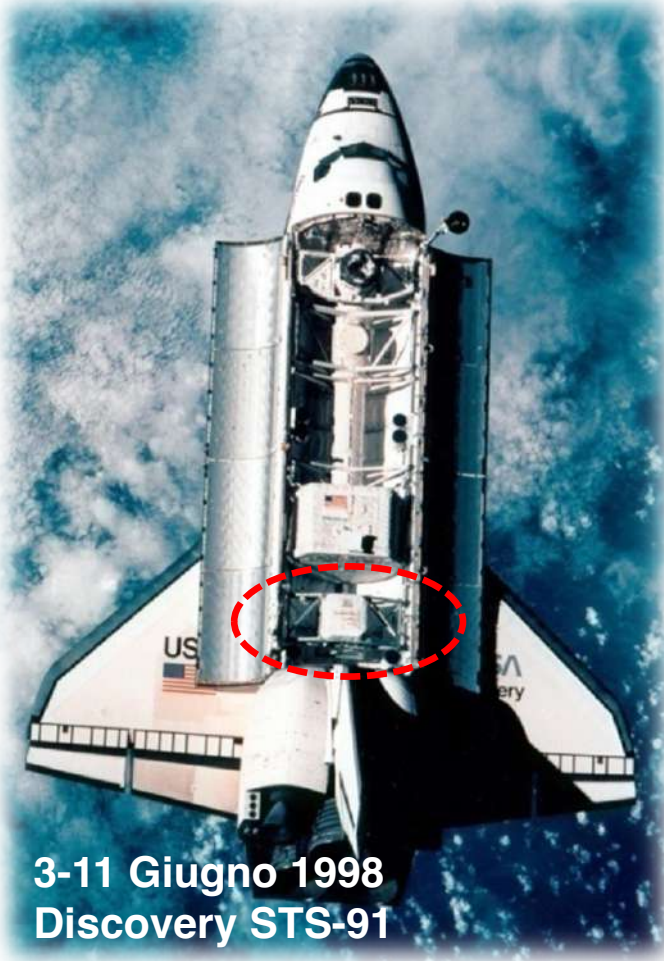
Un metodo più furbo (senza dover ruotare il rivelatore)
che stiamo mettendo a punto per il prossimo appuntamento



LA TECNICA SPERIMENTALE

Esempio: l'esperimento AMS

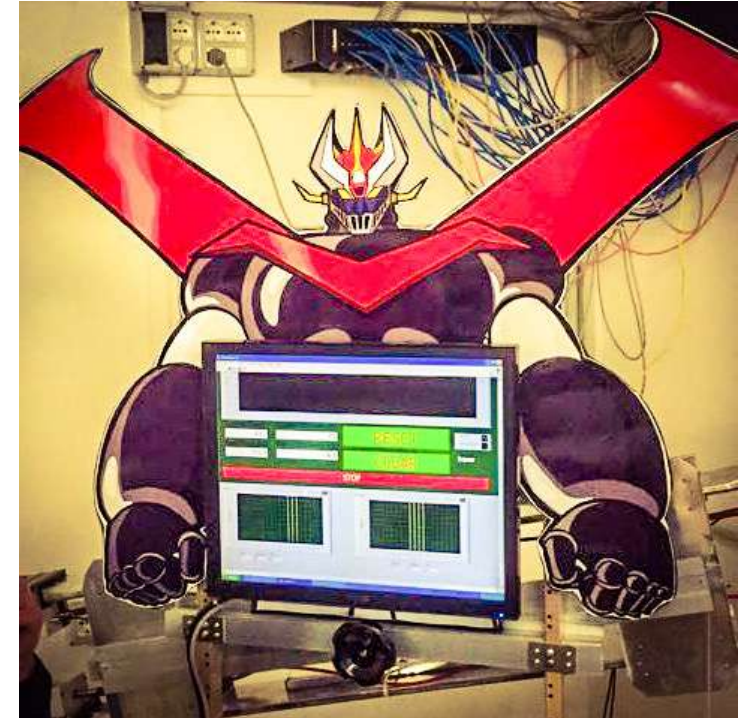
La missione AMS-01



Matrice di scintillatori e PMT



MAZINGA 2018 Pathfinder



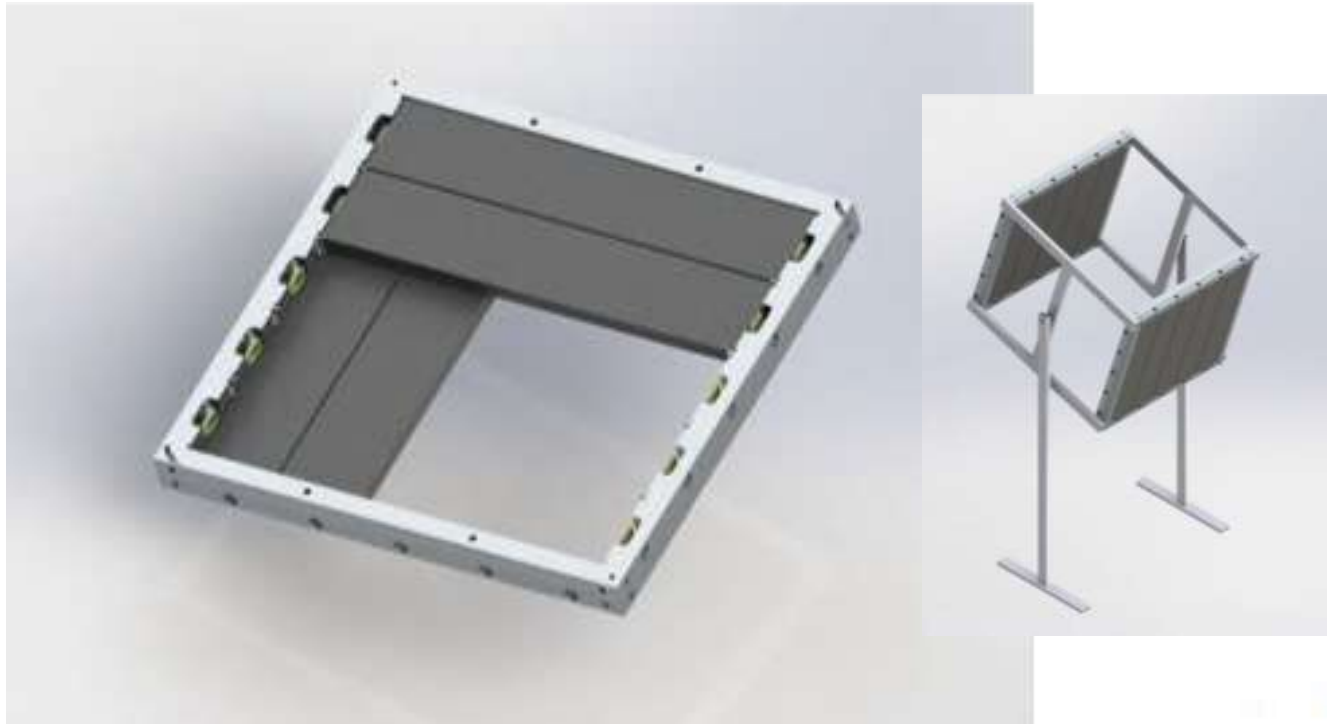
Abbiamo qui in laboratorio quelli di AMS-01, l'esperimento precursore di AMS-01, che ha volato nel 1998 a bordo dello space shuttle Discovery

Il nuovo MAZINGA

Rivelatore portatile e orientabile, con bassi consumi e alta efficienza

Matrice di scintillatori: misura la posizione dei RC

Struttura di support, da costruire



Accoppiamento con fotomoltiplicatori al silicio
Due piani segmentati + struttura orientabile



Pagina di ICD-Perugia 2023, con agenda, materiale e informazioni

<https://agenda.infn.it/event/icd2023>

Troverete tutti i links a:

I fogli elettronici in cui effettuare l'analisi: [uno per ogni postazione]

Il foglio elettrico (sola lettura) in cui caricheremo i dati (unico)

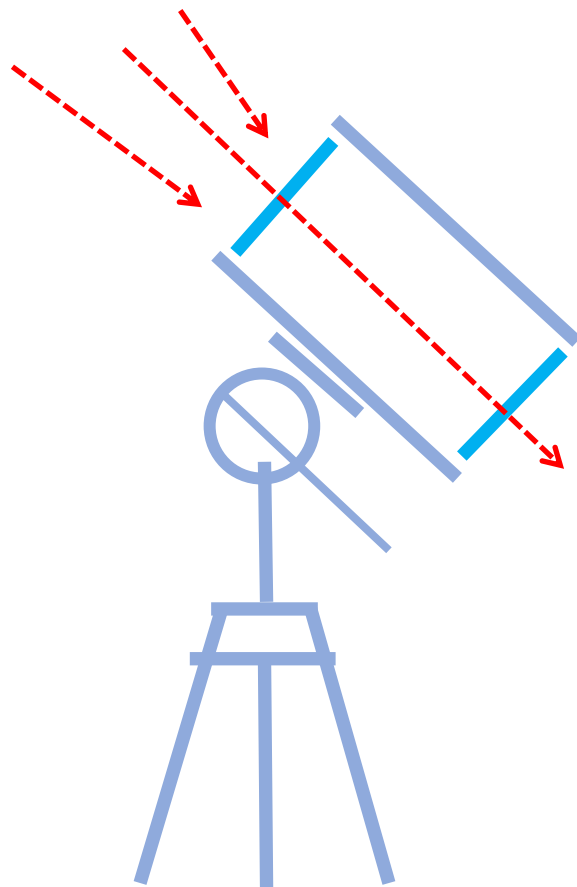
L'attestato di partecipazione (nei prossimi giorni):

Questionario per gli studenti: <LINK>

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

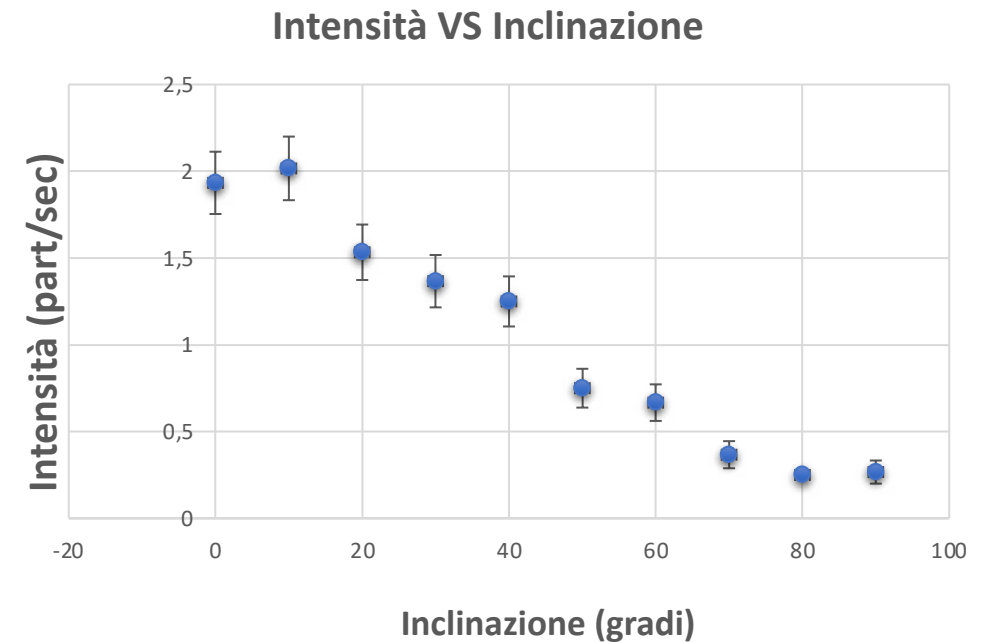


ANALISI DEI DATI

A questo punto possiamo:

1. **Calcolare l'intensità del flusso di particelle cosmiche: $I = N / T$ (part/sec)**
2. **Disegnare il grafico: intensità in funzione di inclinazione**

Inclinazione (gradi)	N. Particelle	Tempo (sec)	Intensità (part/sec)
0	116	60	1,933333333
10	121	60	2,016666667
20	92	60	1,533333333
30	82	60	1,366666667
40	75	60	1,25
50	45	60	0,75
60	40	60	0,666666667
70	22	60	0,366666667
80	15	60	0,25
90	16	60	0,266666667



ANALISI DEI DATI

Può essere pratico anche calcolare altre grandezze

- L'angolo di inclinazione in unità di radianti: $\theta_{RAD} = \theta_{DEG} \times \pi/180$
- Il coseno dell'angolo di inclinazione (in radianti): $\cos(\theta_{RAD})$
- Il quadrato del coseno dell'angolo di inclinazione (sempre in radianti): $\cos^2(\theta_{RAD})$

Angolo (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

Angolo θ_{RAD}	$\cos(\theta_{RAD})$	$\cos^2(\theta_{RAD})$
0	1	1
0,174532925	0,984807753	0,96984631
0,34906585	0,939692621	0,883022222
0,523598776	0,866025404	0,75
0,698131701	0,766044443	0,586824089
0,872664626	0,64278761	0,413175911
1,047197551	0,5	0,25
1,221730476	0,342020143	0,116977778
1,396263402	0,173648178	0,03015369
1,570796327	0	0

ANALISI DEI DATI – Advanced level

Può essere pratico anche calcolare altre grandezze

- L'angolo di inclinazione in unità di radianti: $\theta_{RAD} = \theta_{DEG} \times \pi/180$
- Il coseno dell'angolo di inclinazione (in radianti): $\cos(\theta_{RAD})$
- Il quadrato del coseno dell'angolo di inclinazione (sempre in radianti): $\cos^2(\theta_{RAD})$
- L'errore statistico associato al numero di particelle: (è la radice del numero) $\delta N = \sqrt{N}$
- L'errore statistico sull'intensità del flusso $\delta I = \sqrt{N}/T$

Angolo (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

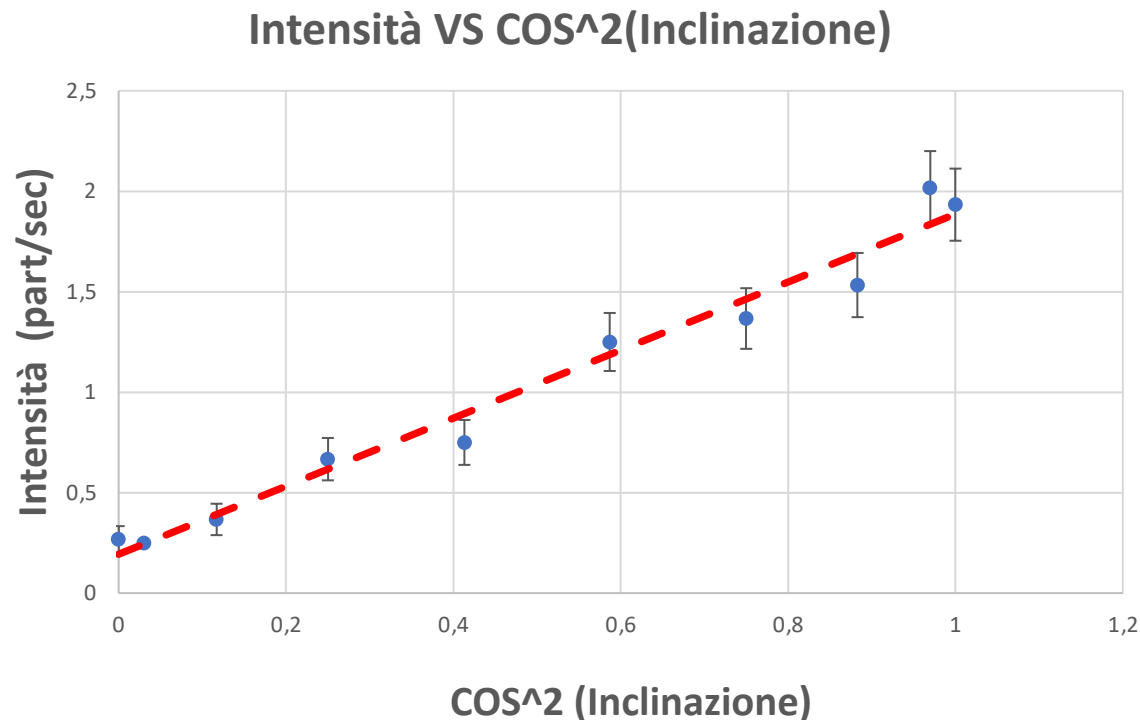
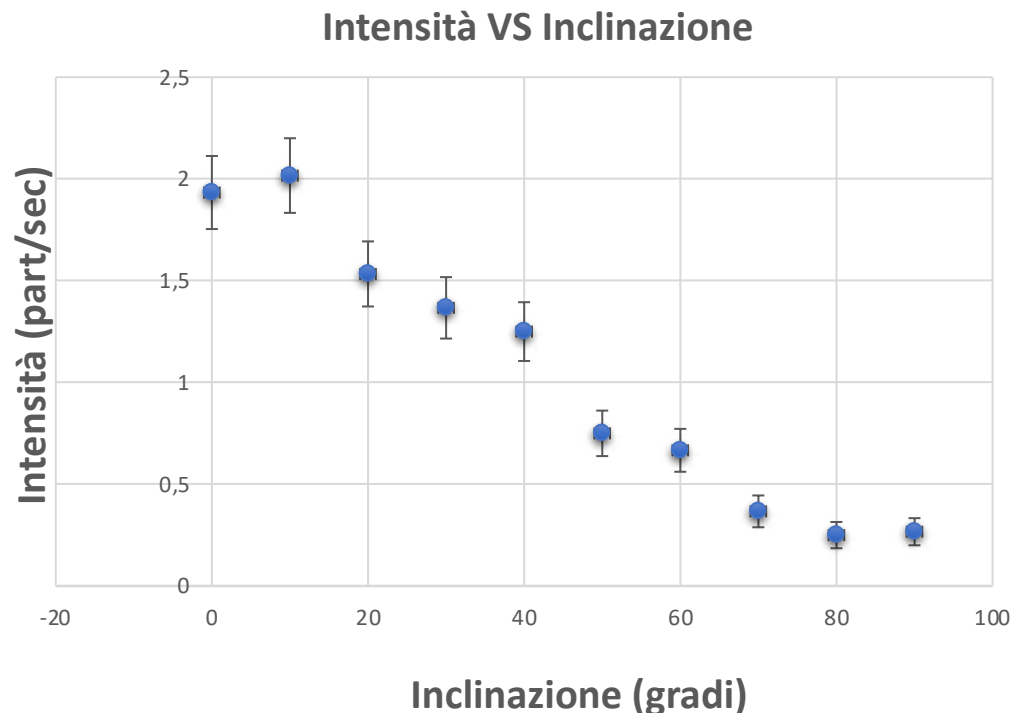
Angolo θ_{RAD}	$\cos(\theta_{RAD})$	$\cos^2(\theta_{RAD})$
0	1	1
0,174532925	0,984807753	0,96984631
0,34906585	0,939692621	0,883022222
0,523598776	0,866025404	0,75
0,698131701	0,766044443	0,586824089
0,872664626	0,64278761	0,413175911
1,047197551	0,5	0,25
1,221730476	0,342020143	0,116977778
1,396263402	0,173648178	0,03015369
1,570796327	0	0

Errore δN	Errore δI (part/sec)
10,77032961	0,179505494
11	0,183333333
9,591663047	0,159861051
9,055385138	0,150923086
8,660254038	0,144337567
6,708203932	0,111803399
6,32455532	0,105409255
4,69041576	0,078173596
3,872983346	0,064549722
4	0,066666667

ANALISI DEI DATI

A questo punto otteniamo:

- Il grafico di intensità in funzione di inclinazione (con barre di errore!)
- Il grafico di intensità in funzione di $\cos^2(\text{inclinazione})$, con errori



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