

International Cosmic Day

Perugia – 6 Novembre 2019

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

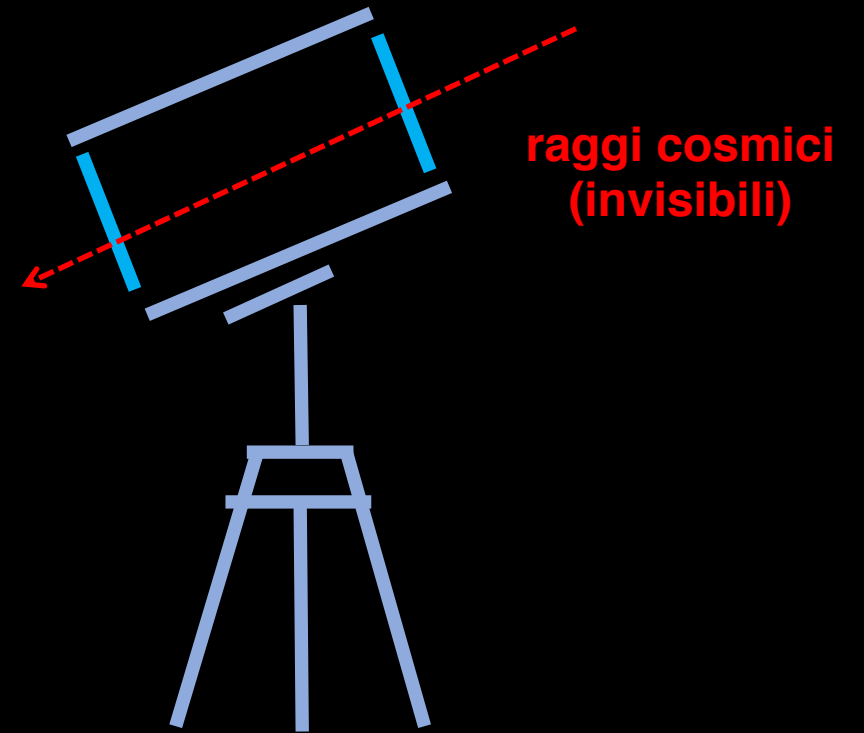
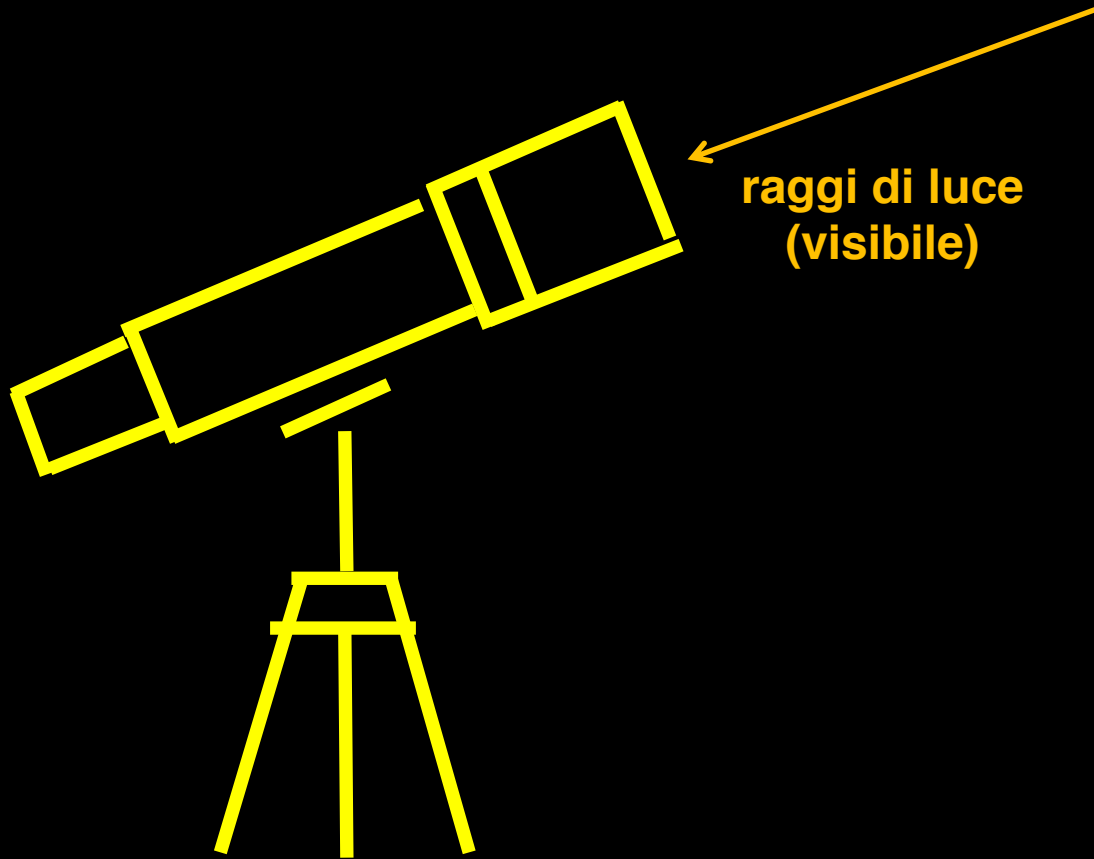


Discover Cosmic Rays

INTERNATIONAL COSMIC DAY

November 6 | 2019

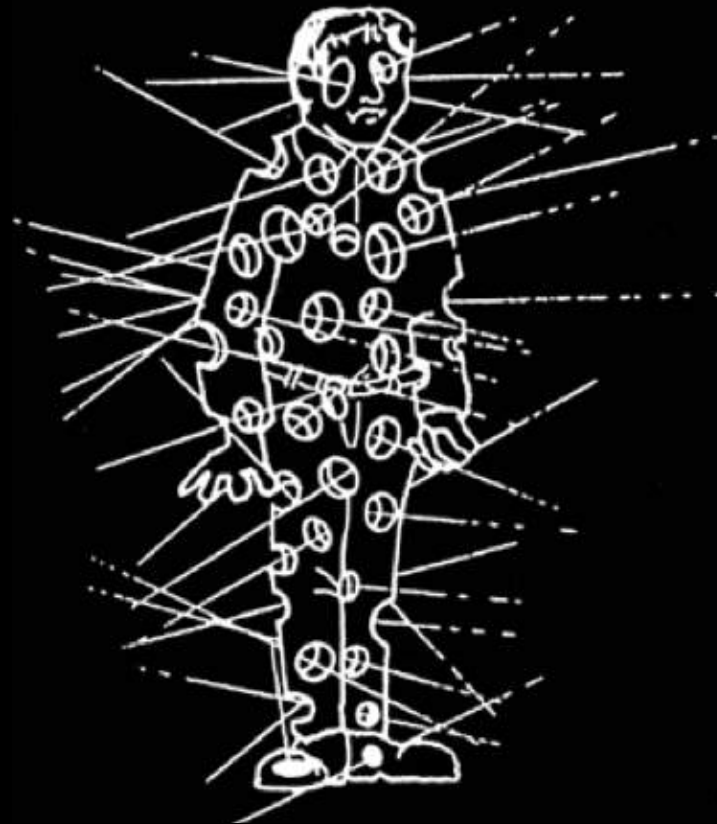
Astronomia con i raggi cosmici



È quello che faremo oggi

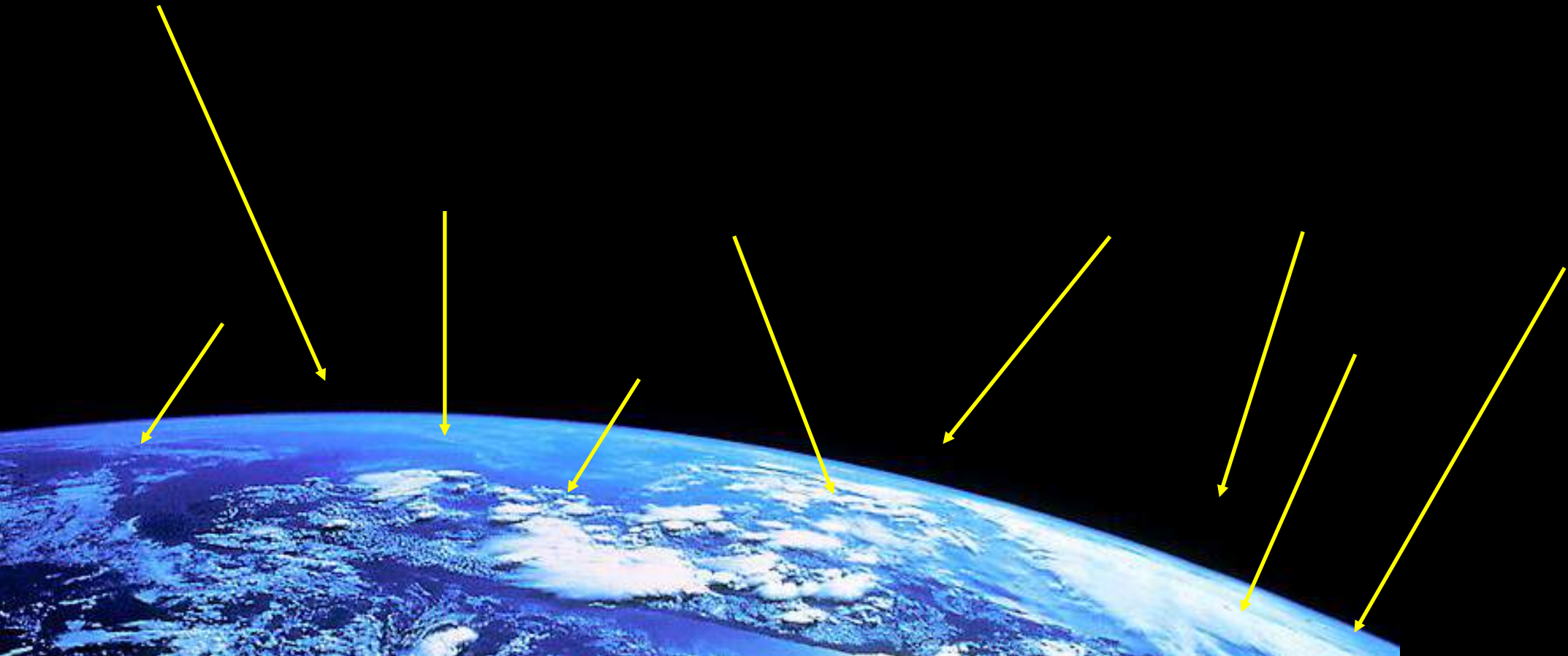
Da quando siamo entrati in questa sala
il nostro corpo è già stato attraversato
da migliaia di **Raggi Cosmici**

Benvenuti

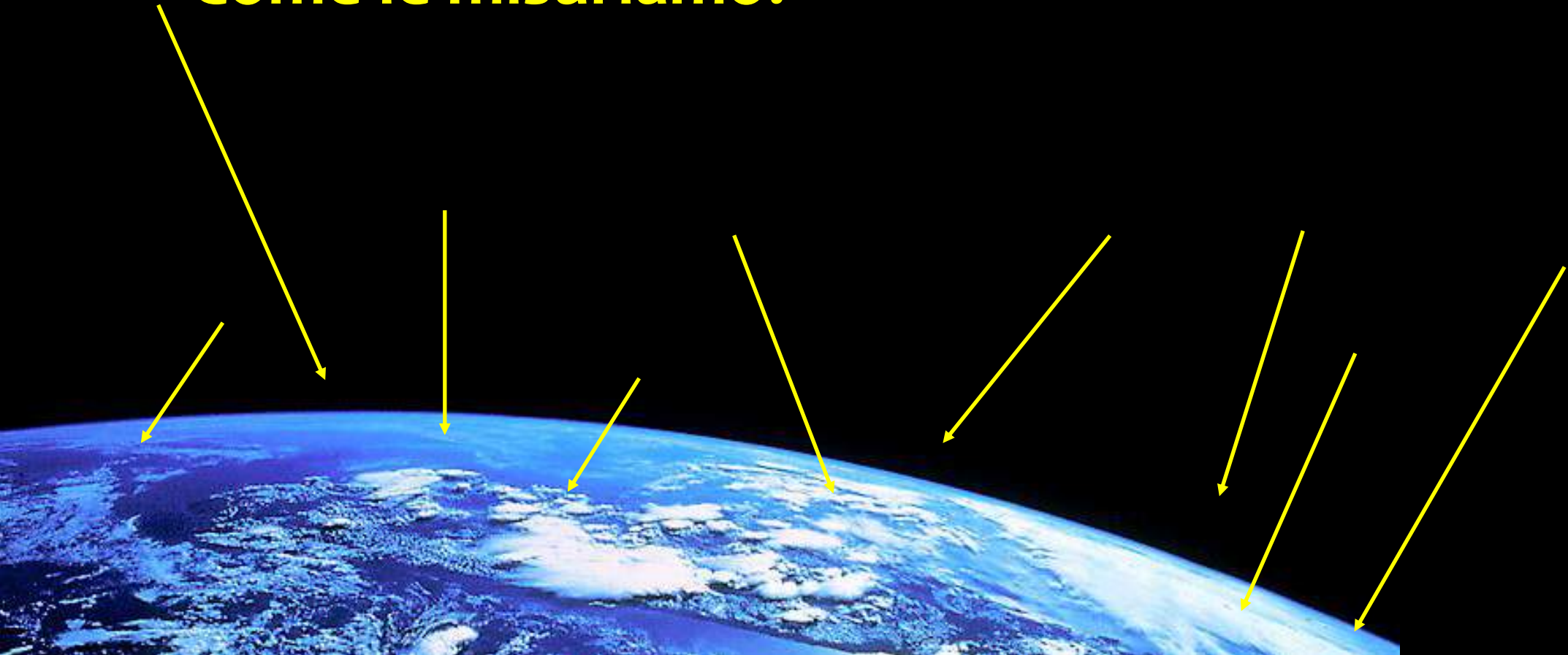


Ma cosa sono i Raggi Cosmici?

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?

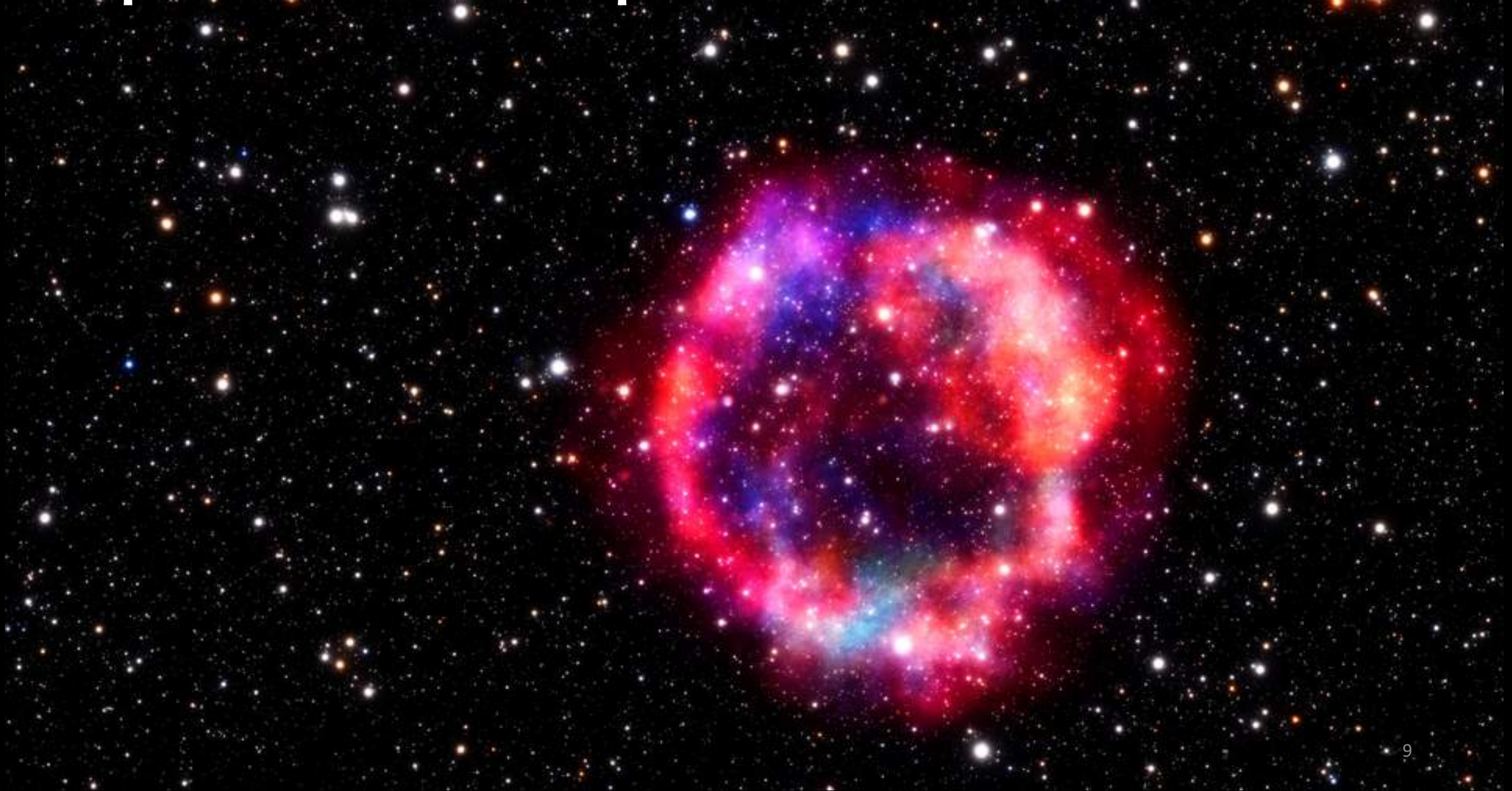
- ✓ E' da un secolo che cerchiamo di rispondere a queste e altre domande
- ✓ Ci hanno portato molto lontano nella conoscenza dell'Universo
- ✓ Universo, il laboratorio in cui osserviamo le leggi della Natura all'opera

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?

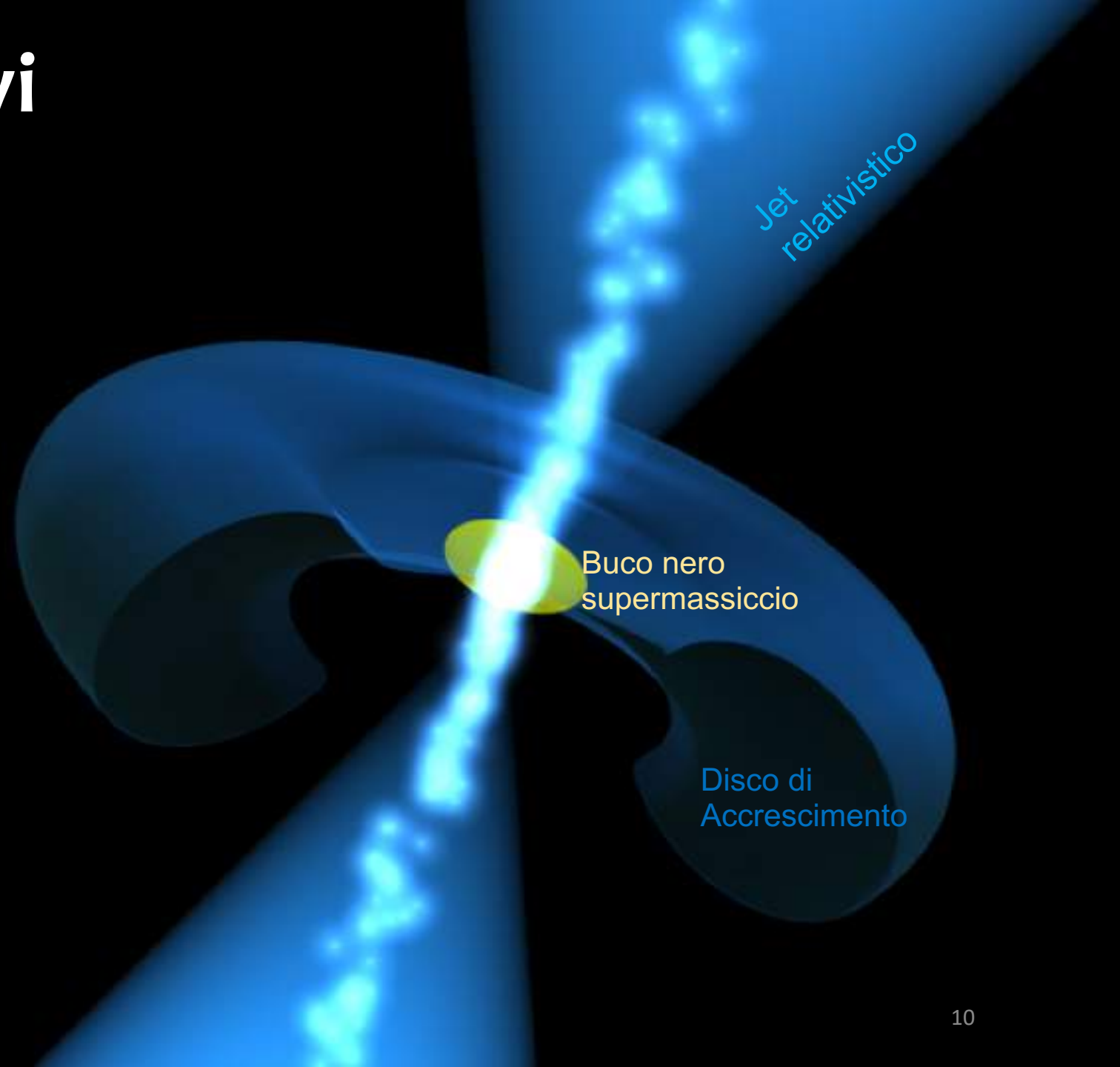
[spoiler]

*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

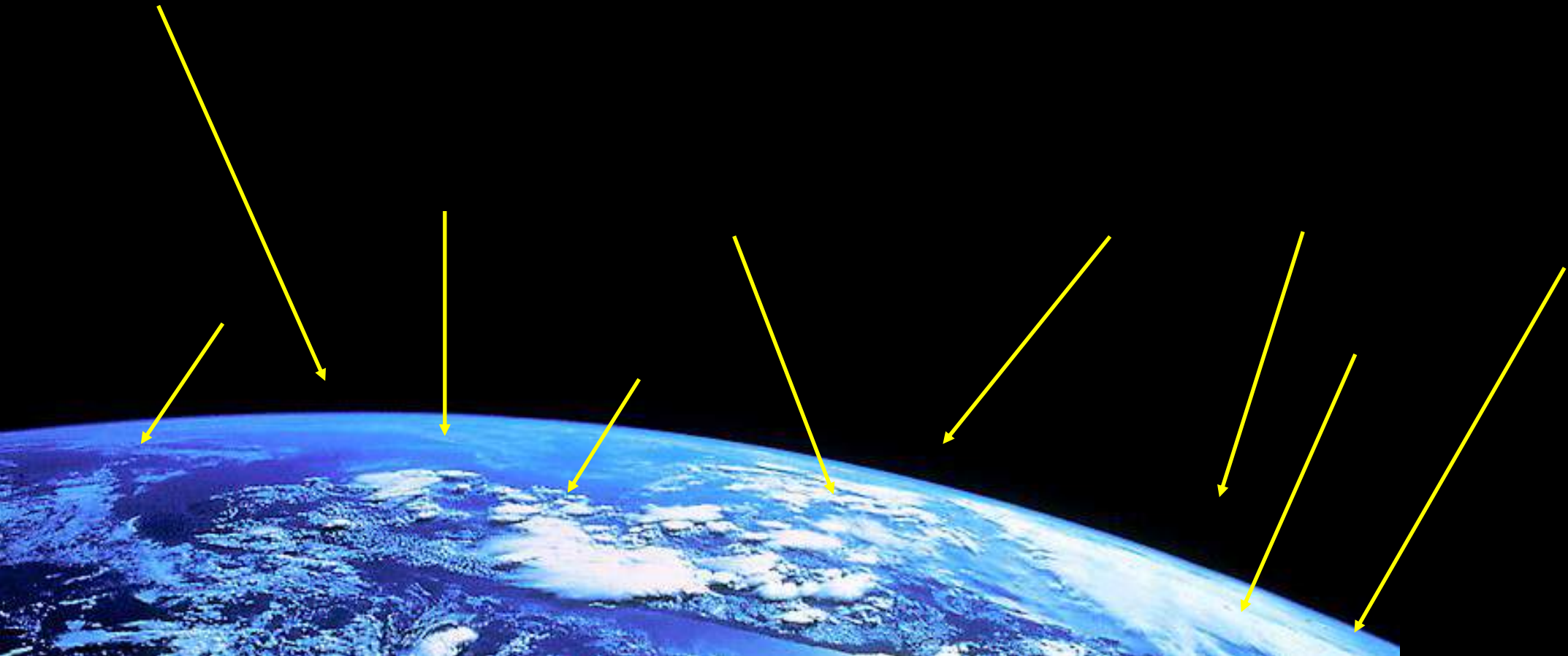
La loro energia cinetica

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

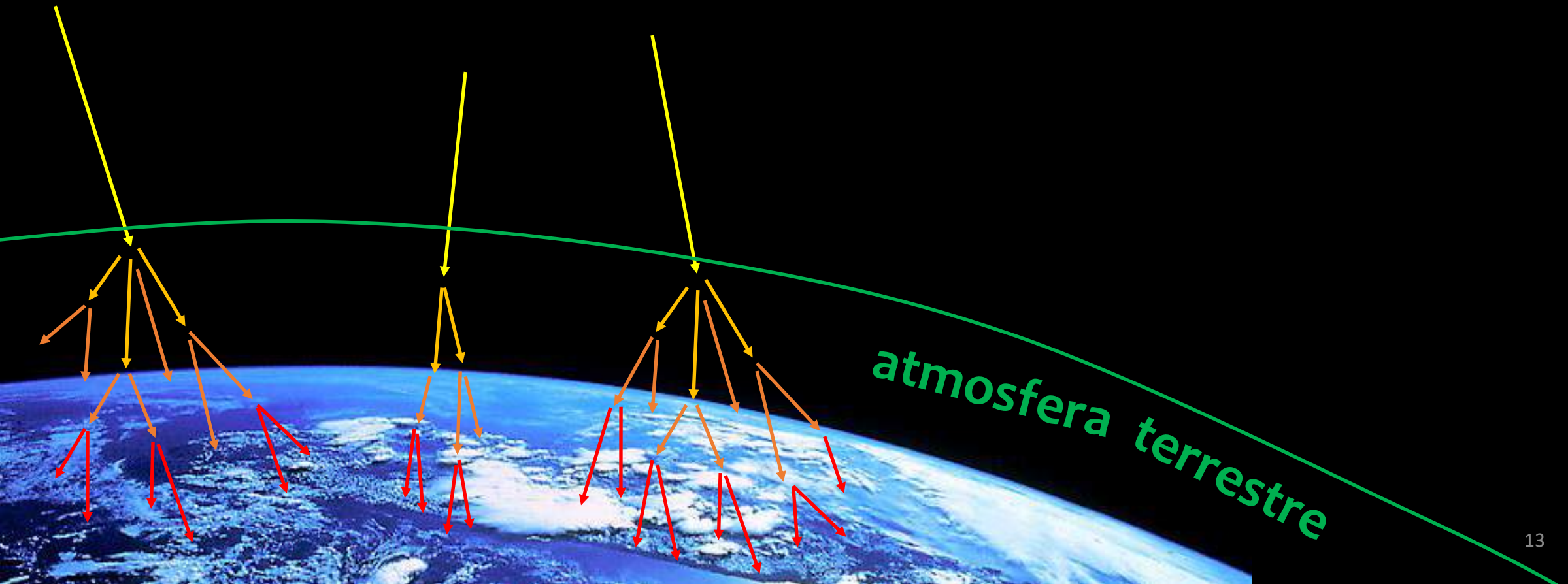


Sciami di particelle

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

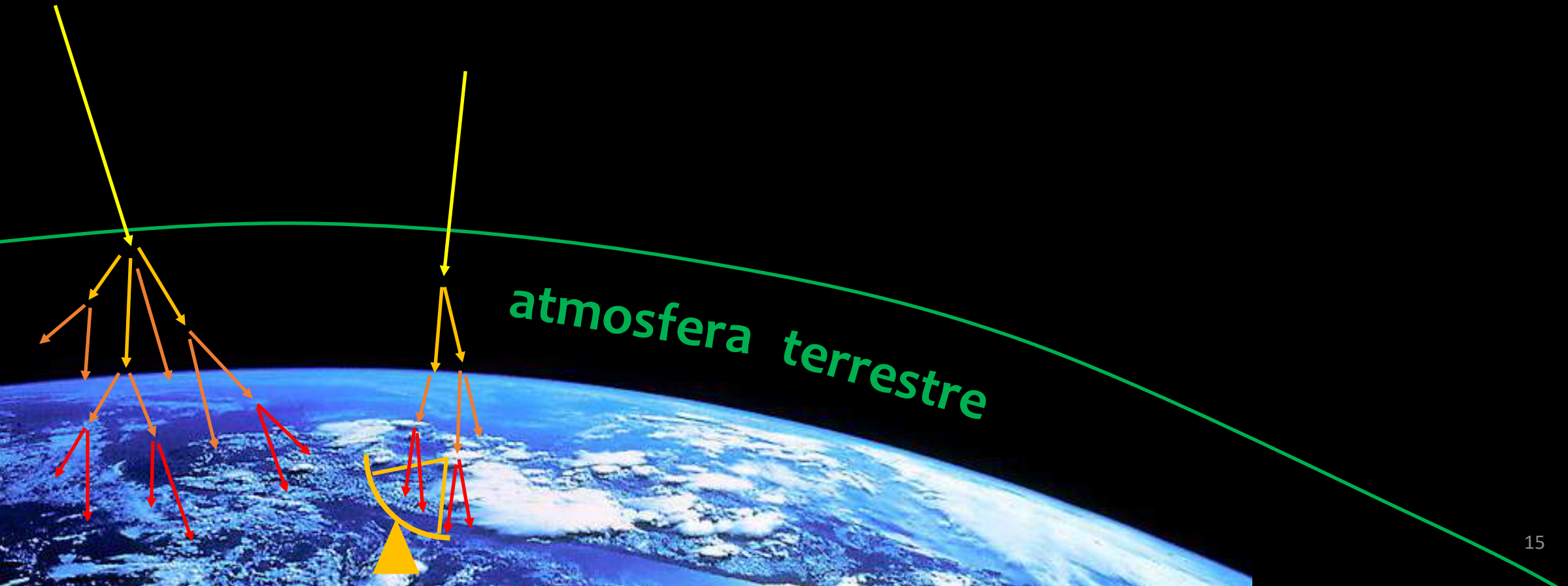


Raggi Cosmici primari: come li misuriamo?

2. Indirettamente, a terra

Misuriamo gli sciami atmosferici di particelle secondarie.

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



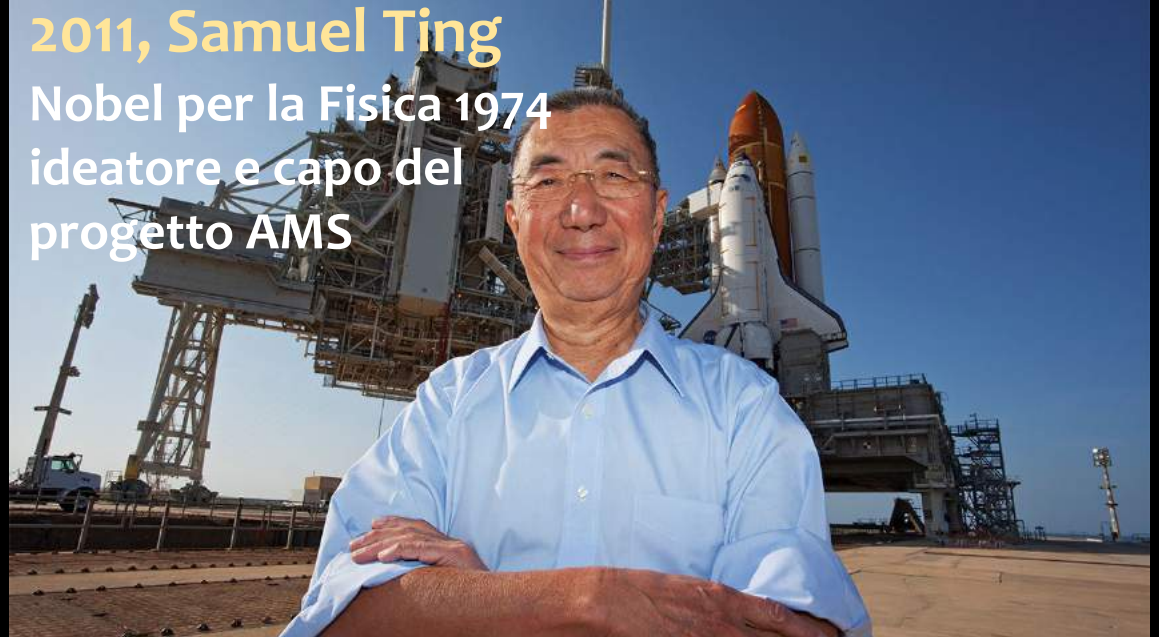
Misura diretta: esperimenti nello spazio

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

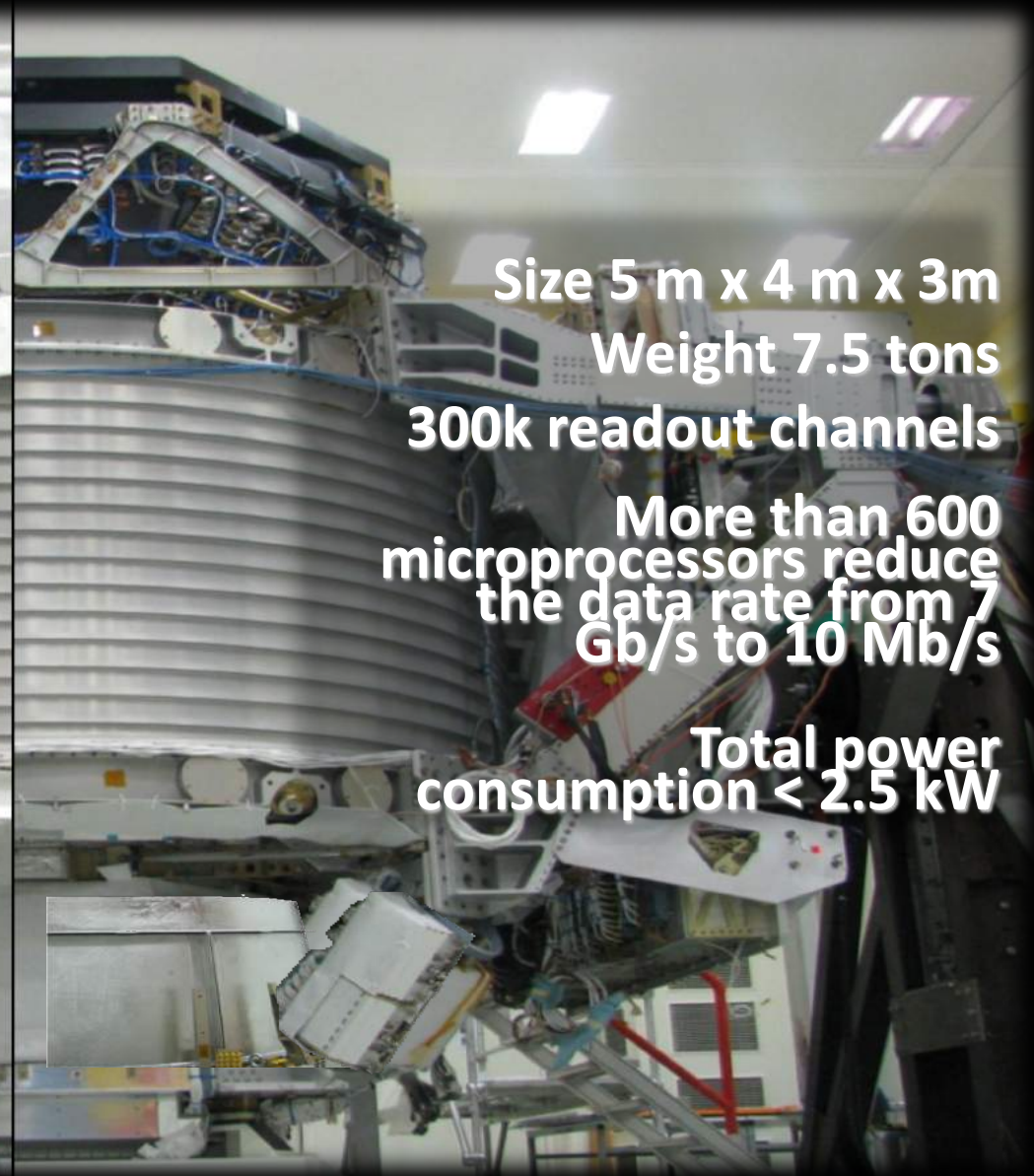
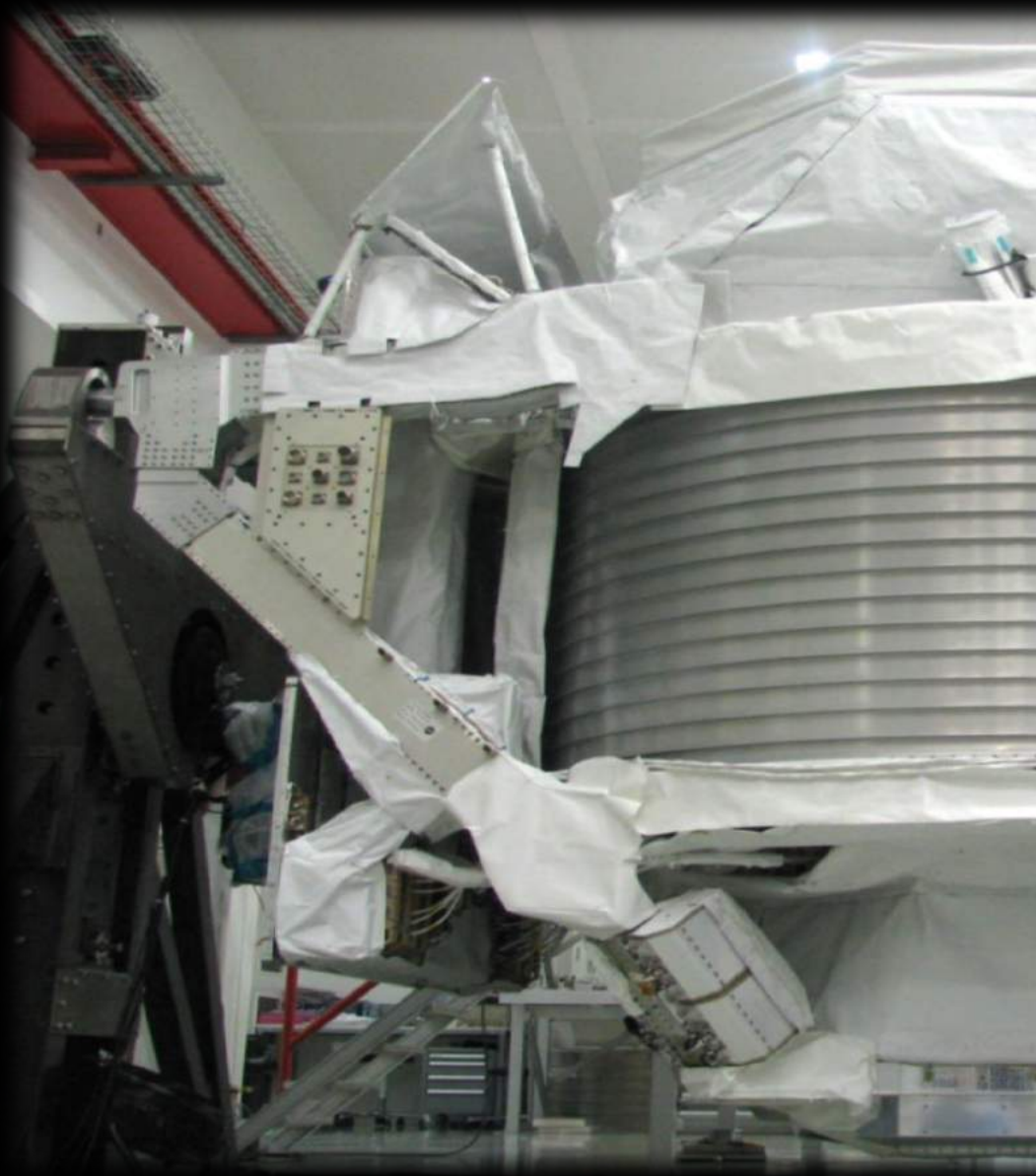
Il più importante esperimento nello spazio è **AMS-02**. Lanciato dalla NASA con lo *Space Shuttle Endeavour* nel 2011 è tuttora attivo sulla **Stazione Spaziale Internazionale**.



2011, Samuel Ting

Nobel per la Fisica 1974
ideatore e capo del
progetto AMS

L'esperimento AMS in camera pulita



AMS nello Space Shuttle Endeavour



16 Maggio 2011 @KSC: il Lancio

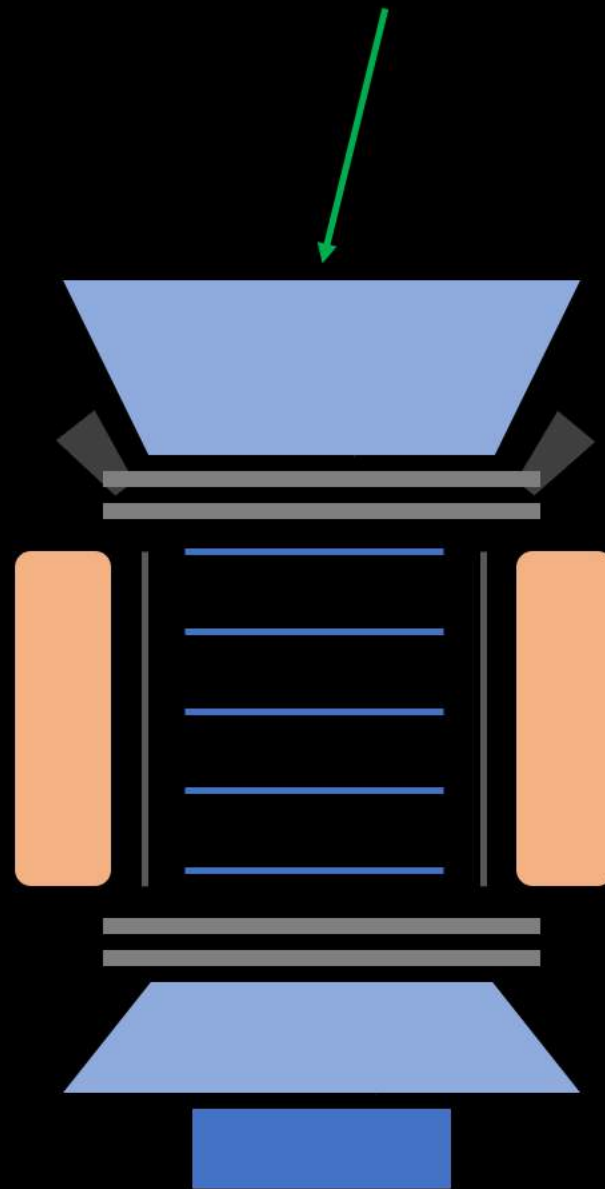


*May 16, 2011 @ KSC, US
STS-134 / Endeavour on launchpad*

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

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

AMS has collected

147,781,473,196

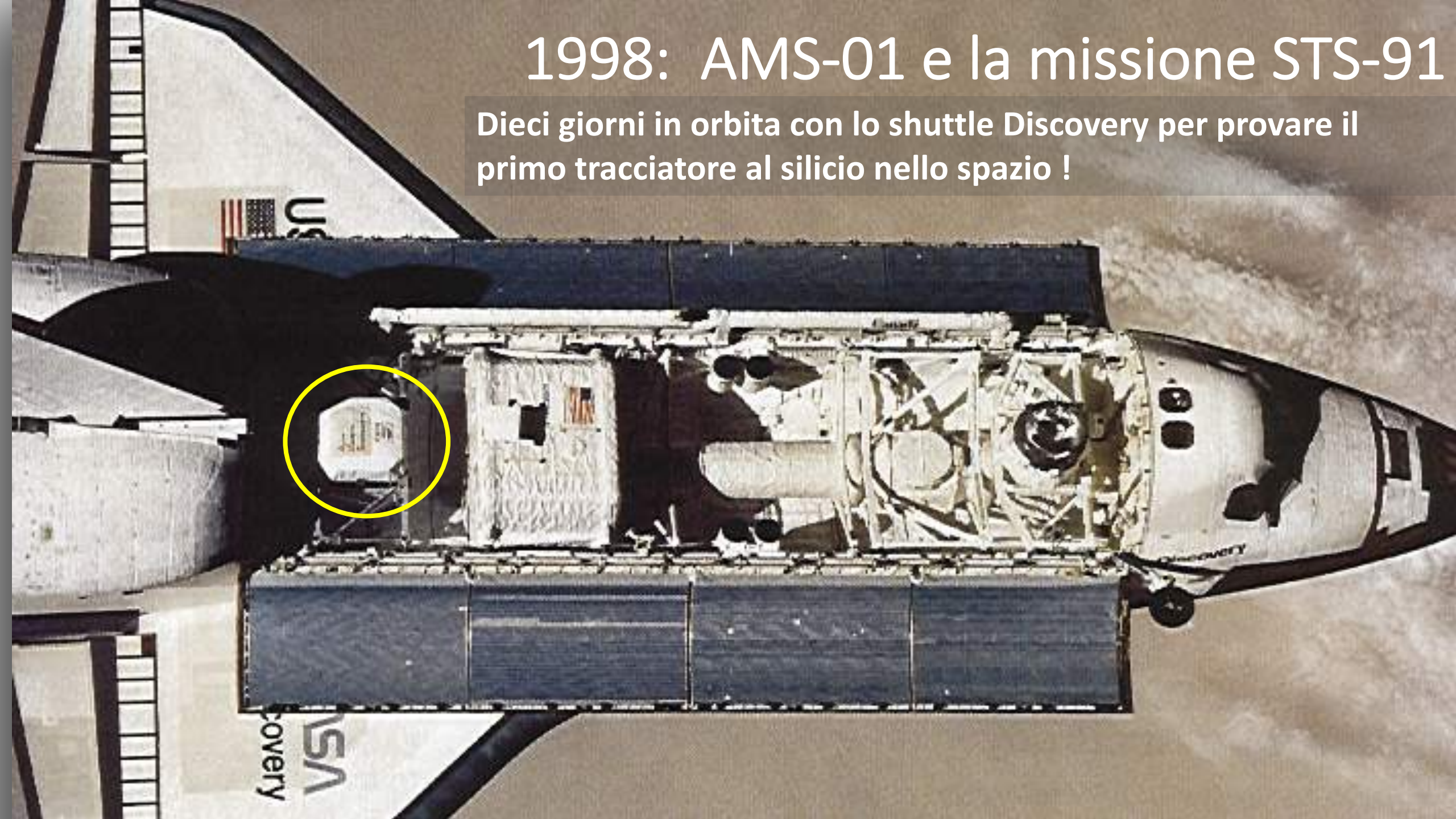
cosmic ray events

Last update: November 5, 2019, 12:22 AM

<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 !



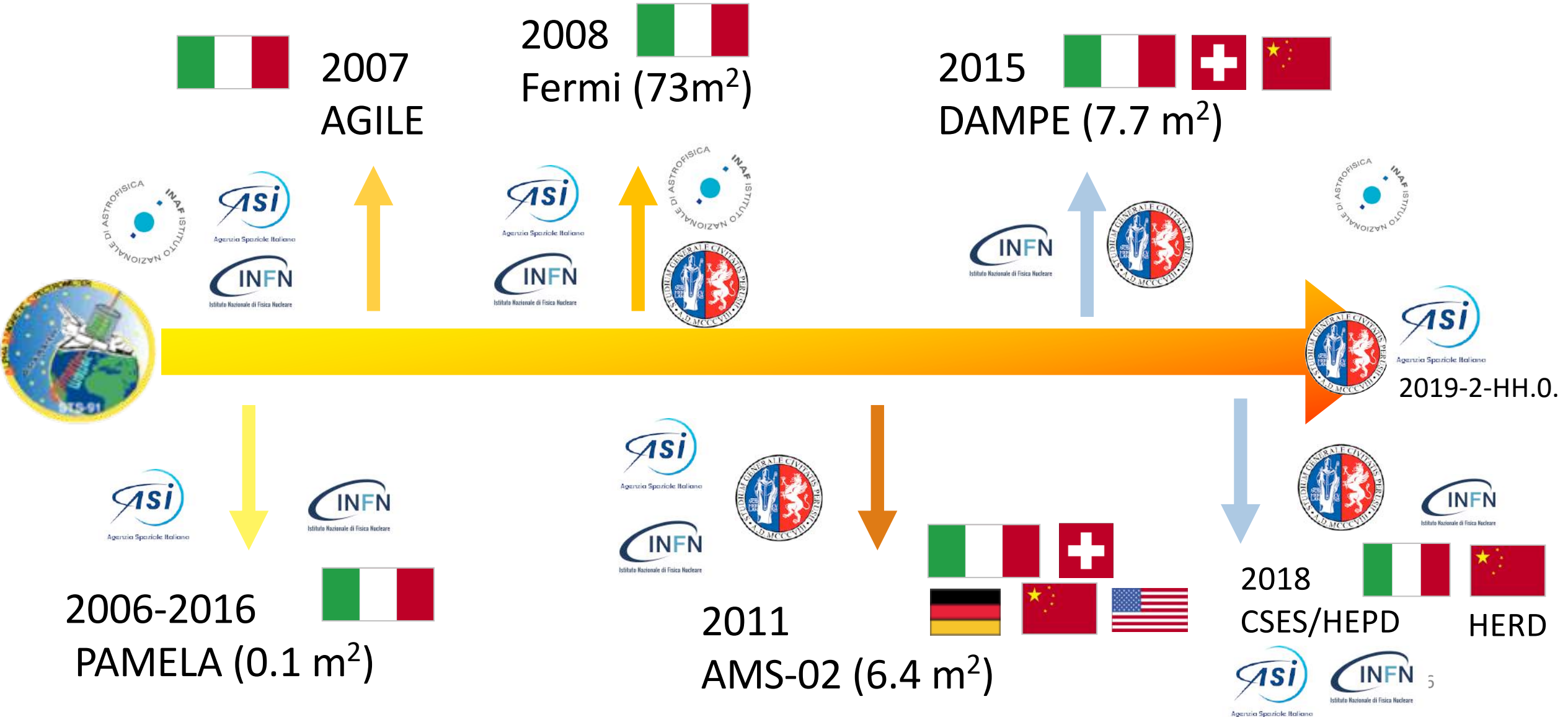
Particelle & spazio @ UniPG con l'INFN e l'ASI

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.



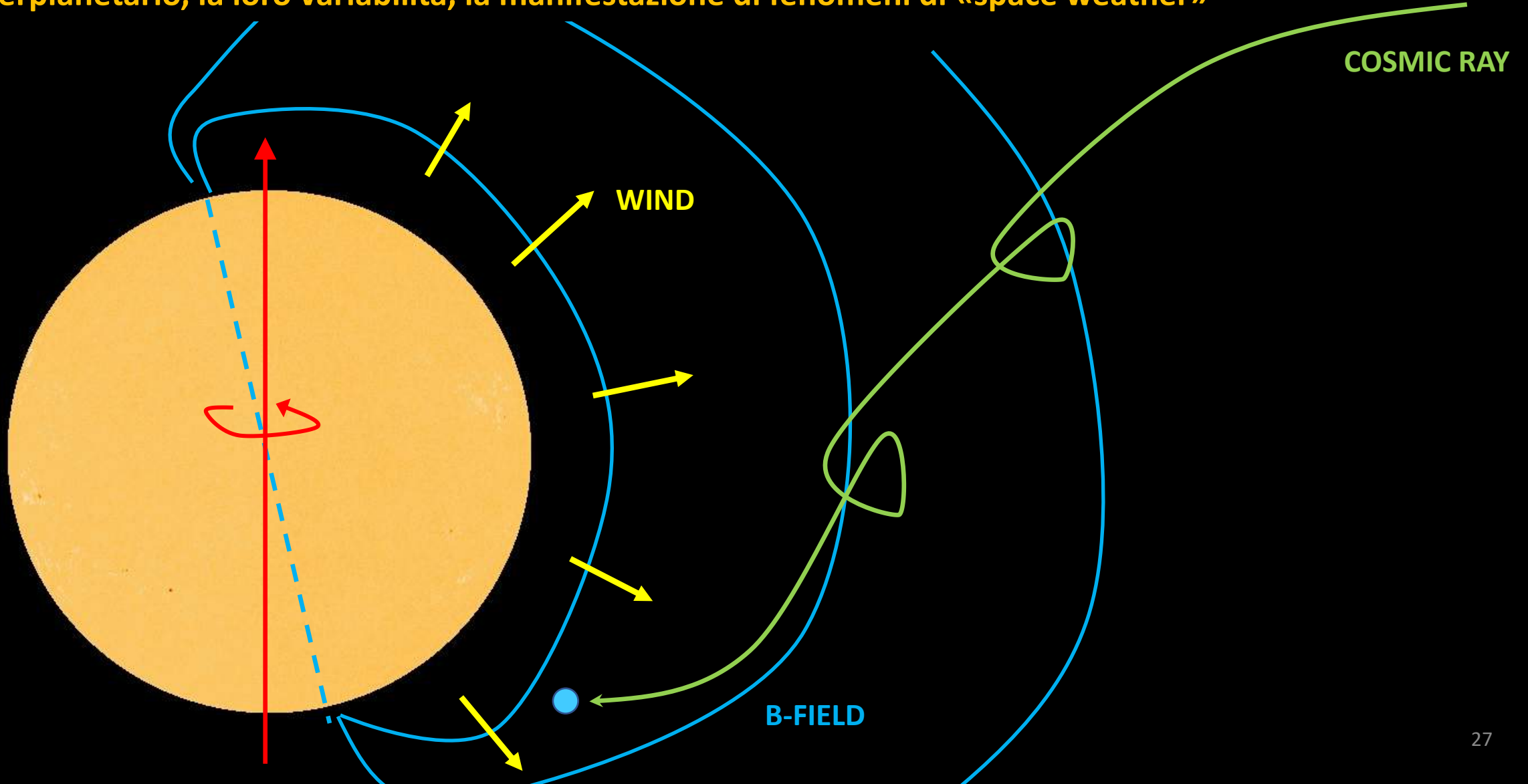
- sinergia con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
- costante rapporto con ASI nei diversi progetti sviluppati negli anni

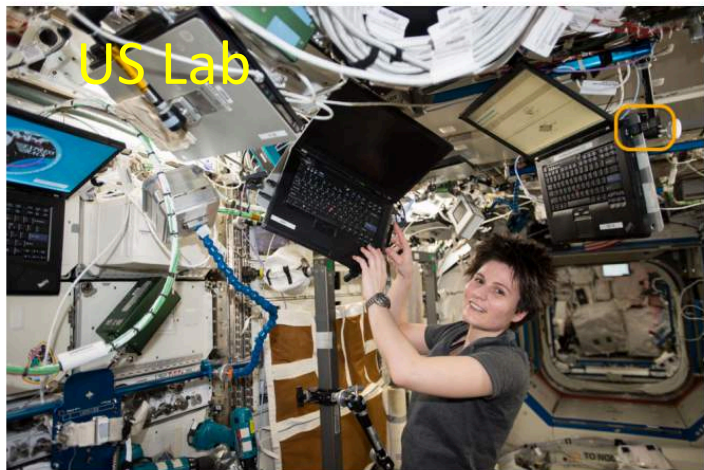
Particelle & spazio @ UniPG con l'INFN e l'ASI



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»



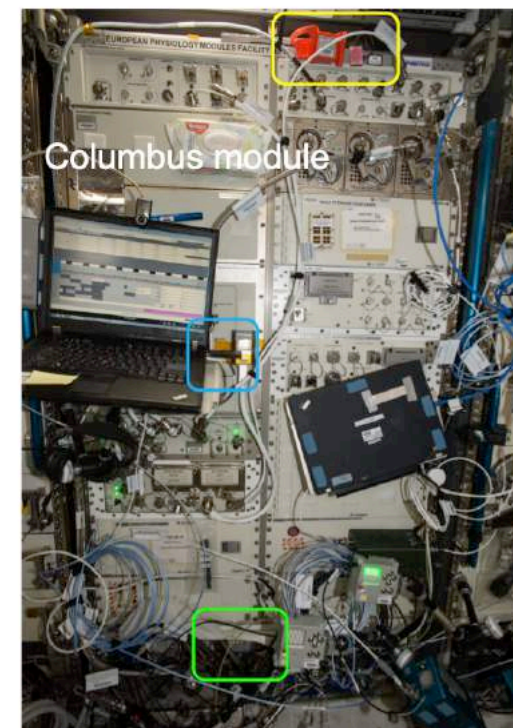


Studiare l'ambiente di radiazione

Japan Lab
Kibo

U.S. Lab
Destiny

E.S.A. Lab
Columbus



AMS

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

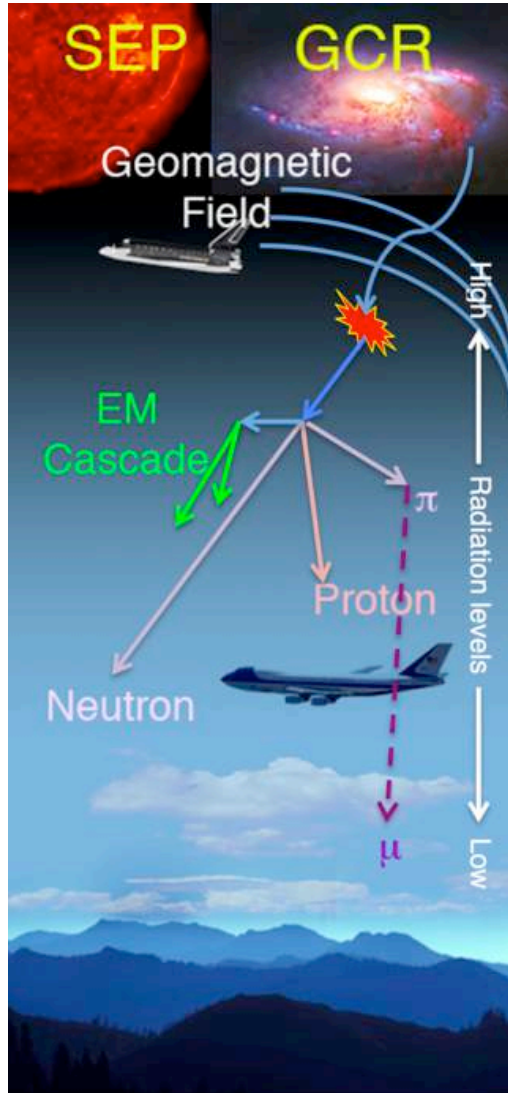
si specifiche dei dati di AMS nello spazio, per caratterizzare i fenomeni di variabilità
orale legati all'attività solare

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 predire il flusso della radiazione galattica

Applicazioni?

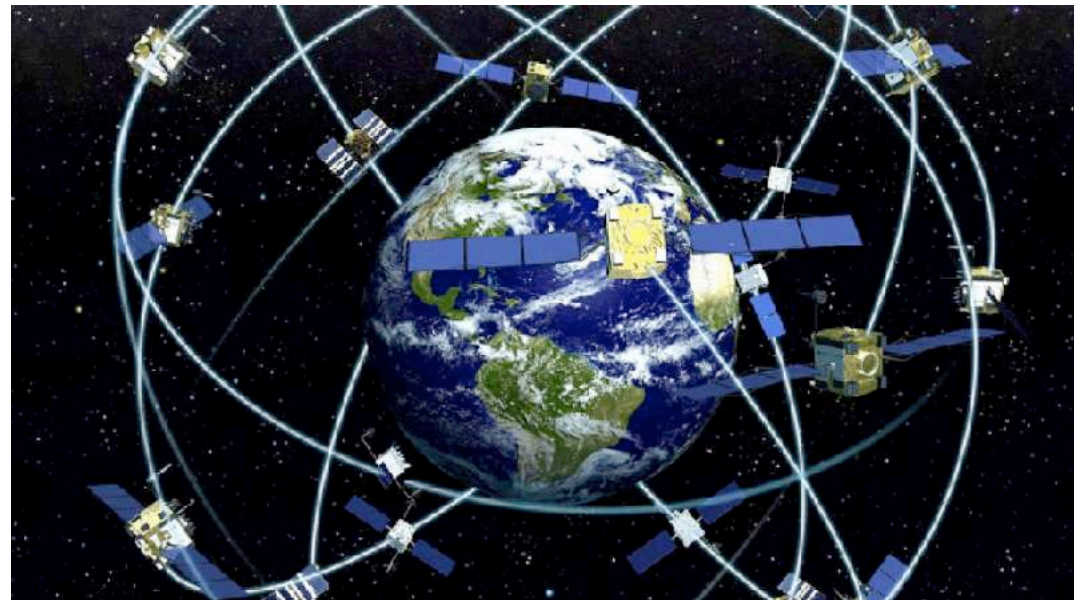
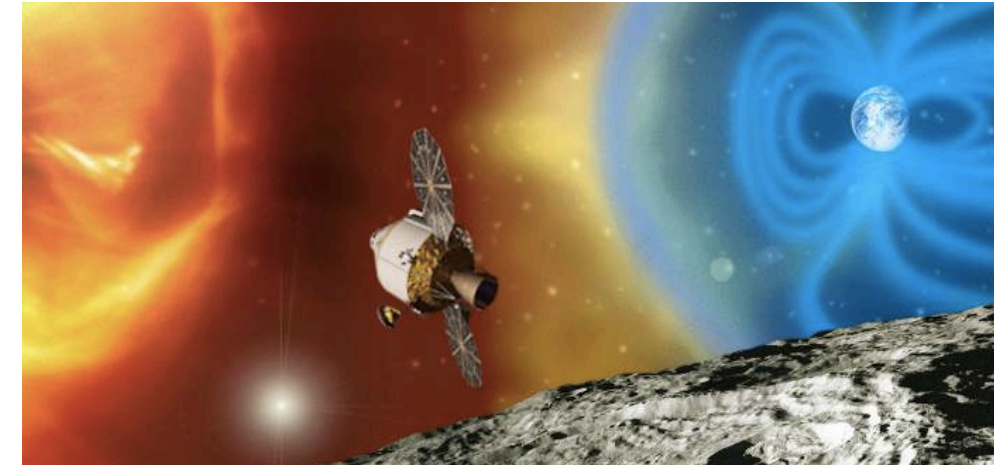


CORRIERE DELLA SERA

**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)



Accordo ASI-UniPG 2019-2-HH.0.

Uno scudo per la Terra

Nicola Tomassetti ha ottenuto una scoperta importante sull'eliosfera, la regione dello spazio influenzata dall'azione del Sole, che agisce come scudo per la Terra

Da miliardi di anni il Sole fornisce il calore e l'energia necessari alla vita sulla Terra, e un riparo dall'incessante pioggia di raggi cosmici, costituiti da particelle cariche ad alta energia, che investono il sistema solare. Sui meccanismi fondamentali di questo scudo, la cosiddetta eliosfera, cioè la regione dello spazio influenzata dall'azione del Sole, sappiamo molto. Tuttavia, tante questioni sono ancora aperte.

Di recente, una pietra miliare negli studi sull'eliosfera è stata posta da un team italo-portoghese coordinato da Nicola Tomassetti dell'Università di Perugia e della sezione dell'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN) della stessa città. Come si legge su «Astrophysical Journal Letters», Tomassetti, insieme ai colleghi del progetto europeo MATISSE, ha scoperto un ritardo temporale definito - circa otto mesi - con cui l'attività solare modula il flusso di raggi cosmici. È un risultato importante non solo per le conoscenze di base sui raggi cosmici, ma anche per la programmazione delle future missioni nello spazio.

Com'è nato il progetto MATISSE e qual era l'obiettivo scientifico?

L'idea era studiare in un contesto generale le problematiche astrofisiche legate ai raggi cosmici, cioè le particelle cariche ad alta energia che provengono da regioni remote della galassia e che hanno viaggiato nel cosmo per milioni di anni. Capire quali sono i meccanismi fisici che possono produrre i raggi cosmici e accelerarli a energie così elevate è una questione fondamentale per la ricerca astrofisica di oggi.

Per questo obiettivo è stato fondamentale il passaggio dai rivelatori a terra a quelli nello spazio, non è così?

Si certo. Il problema è che l'atmosfera fa da schermo, alterando le caratteristiche dei raggi cosmici, e produce particelle secondarie: quindi è molto difficile risalire alle caratteristiche iniziali dei raggi. Molto diverso è il caso dei rivelatori nello spazio, grazie a cui è possibile determinare il tipo di particelle in arrivo, da quale direzione e il loro spettro di energia: un'analisi dettagliata ci racconta la loro storia. Attualmente partecipo all'esperimento Alpha Magnetic Spectrometer (AMS-02), montato sulla Stazione spaziale internazionale, attivo senza sosta dal 2011.

Nello spazio è un po' come avere un acceleratore di particelle naturale.

Per molti aspetti è così. AMS-02 è un esperimento di fisica delle particelle alle alte energie analogo ai rivelatori operativi al Large Hadron Collider del CERN di Ginevra sia per i dispositivi di rilevazione sia per la raccolta e l'analisi della grande quantità di dati prodotti. Poi, quando i dati devono essere interpretati, entra in gioco la nostra conoscenza dell'astrofisica e della cosmologia.



CHI È

Nicola Tomassetti è nato a Fano nel 1980. All'Università di Perugia ha conseguito la laurea magistrale in fisica nel 2006 e il PhD nel 2009.

Attualmente è Marie-Curie Fellow al Dipartimento di fisica e geologia dell'Università di Perugia. Collabora inoltre con l'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN) della stessa città, con il CERN di Ginevra e con il Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas di Lisbona.

La sua attività di ricerca teorica e sperimentale è dedicata alla fisica astroparticellare, in particolare alle questioni fondamentali che riguardano l'origine dei raggi cosmici e la natura della materia oscura cosmologica. Partecipa all'esperimento internazionale Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) per la rivelazione di particelle cosmiche nello spazio, e al progetto europeo MATISSE per lo studio degli effetti di modulazione solare dei raggi cosmici nell'eliosfera.



Cortesia Tomassetti (Tomassetti); cortesia NASA/AMS Collaboration (esperimento AMS)





MEDIA INAF

NOTIZIARIO ON-LINE DELL'ISTITUTO
NAZIONALE DI ASTROFISICA

[Universo INAF](#) | [Sedi](#) | [Astrochannel](#) | [Progetti da Terra](#) | [Progetti spaziali](#) | [Agenda](#) | [Lavoro](#) | [Seminari](#) | [Per le scuole](#)

[HOME](#) | [ASTRONOMIA](#) | [SPAZIO](#) | [FISICA](#) | [TECH](#) | [EVENTI](#) | [ARCHIVIO](#) | [GALLERY](#) | [MEDIA](#)

COSÌ IL SOLE MODULA PARTICELLE E ANTIPARTICELLE

 [Tweet](#)
 [Share 2](#)

Allerta raggi cosmici, con otto mesi d'anticipo

Uno studio dell'Università di Perugia, Infn e Università di Lisbona, combinando misure sperimentali e calcoli numerici, ha stabilito la presenza di un "ritardo temporale" di 245 giorni nell'effetto di modulazione solare dei raggi cosmici galattici. Il risultato ha implicazioni per l'astrofisica delle alte energie, la fisica solare e la meteorologia spaziale



PLATINUM
aziende & protagonisti

L'ESPERIMENTO AMS-02 SULLA
STAZIONE SPAZIALE INTERNAZIONALE

Le stagioni dei raggi cosmici

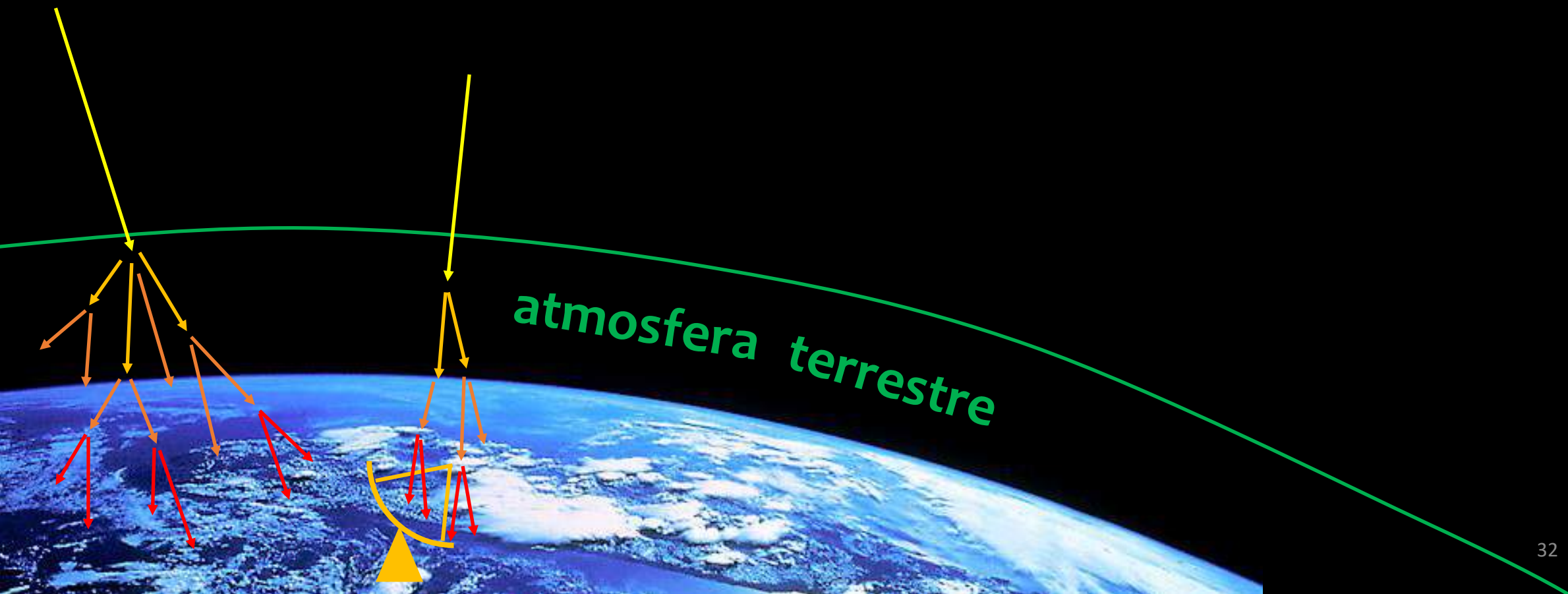


L'effetto del ciclo solare sui raggi cosmici: il progetto MATISSE

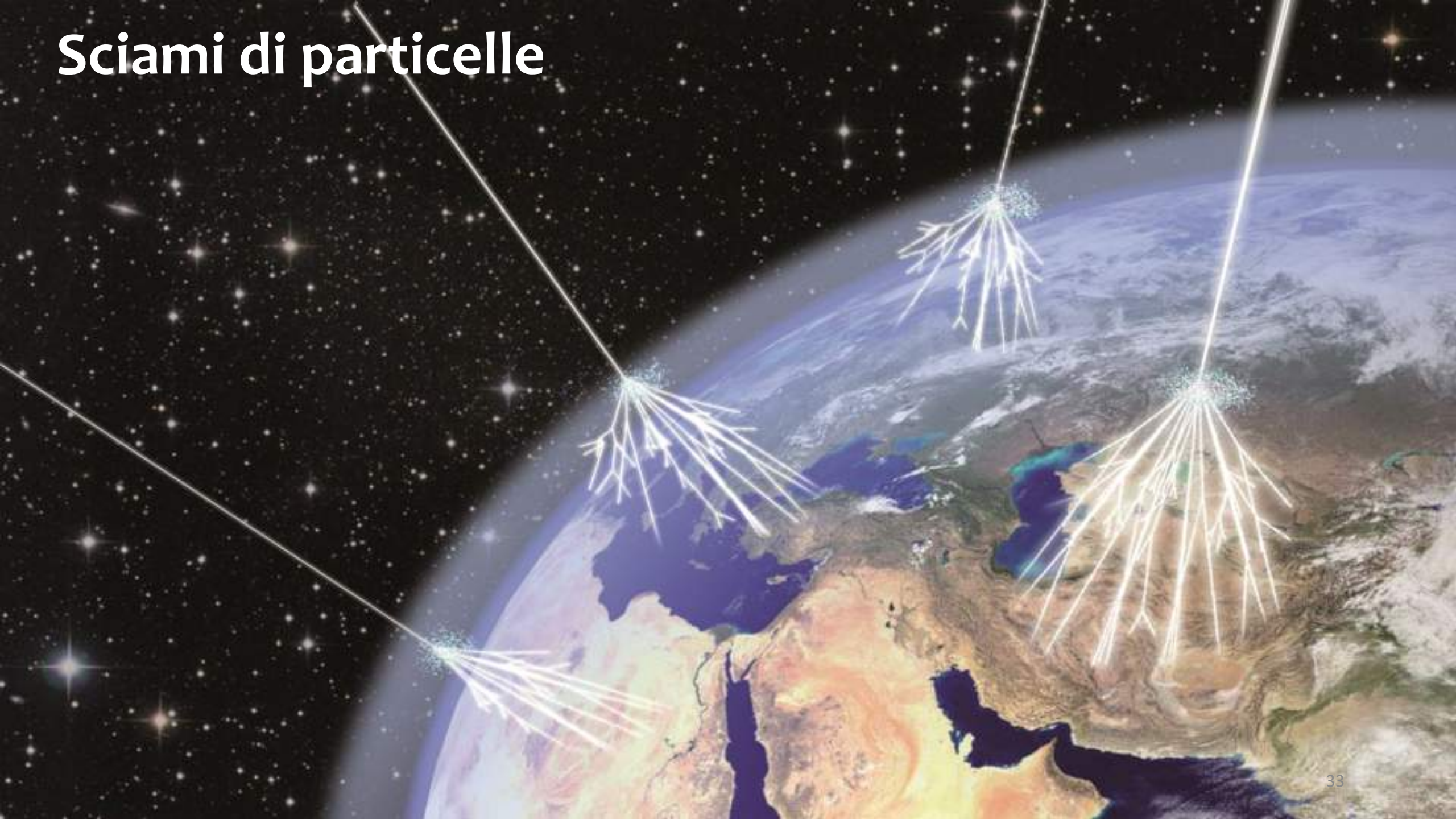
2. Indirettamente, a terra

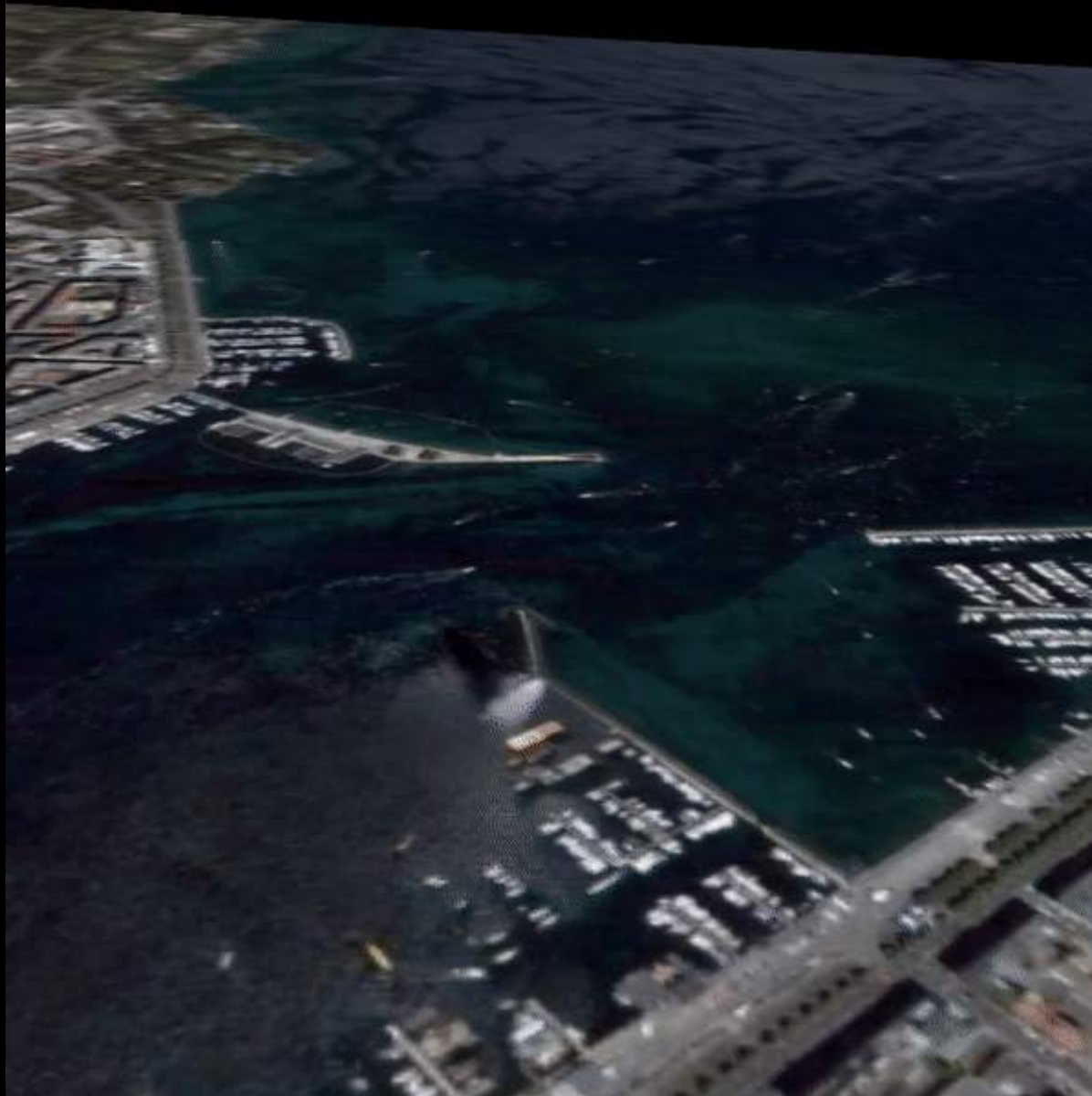
Misuriamo gli sciame atmosferici di particelle secondarie.

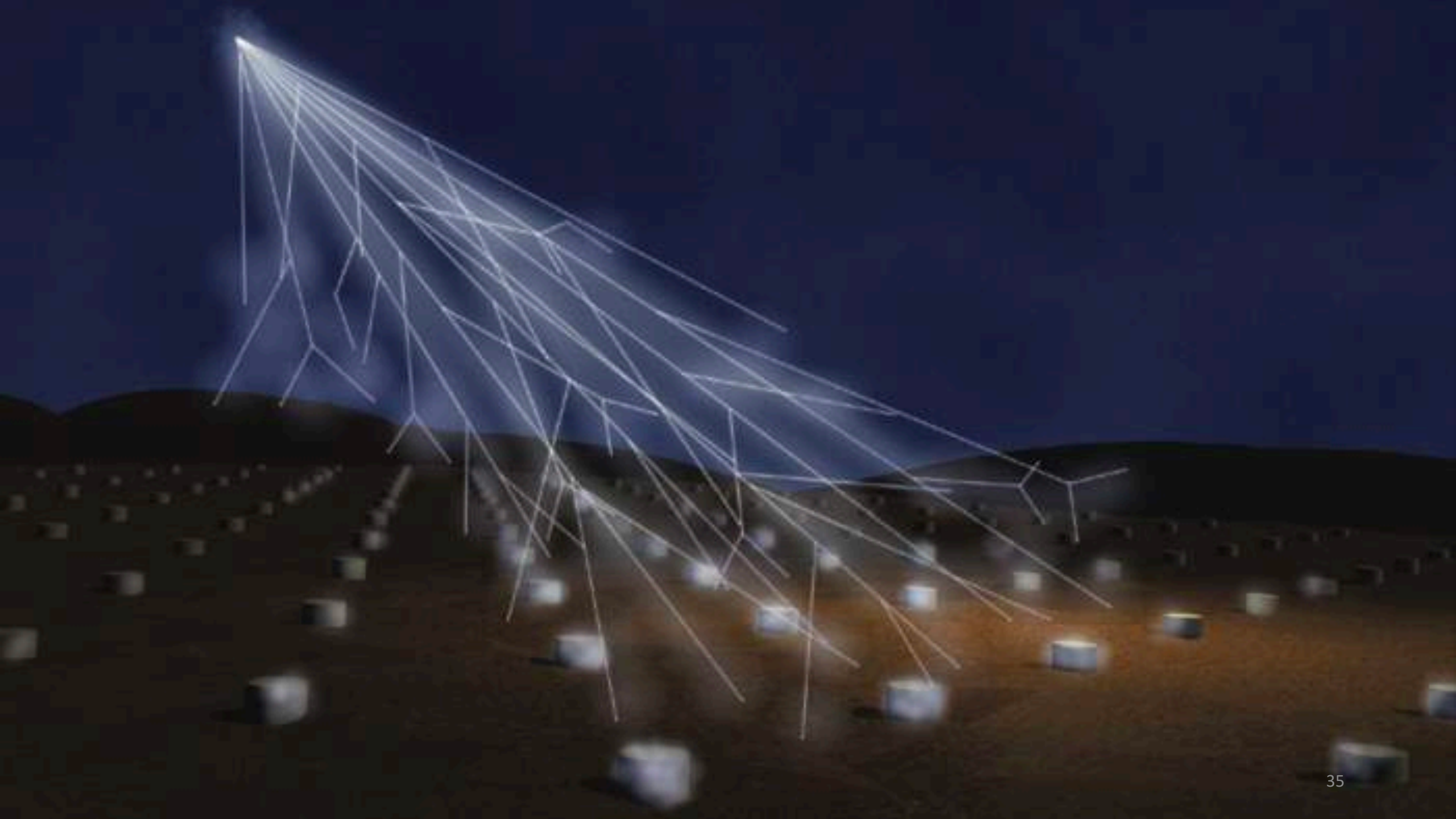
Cerchiamo di capire l'identità, l'energia, e la direzione del RC primario



Sciami di particelle

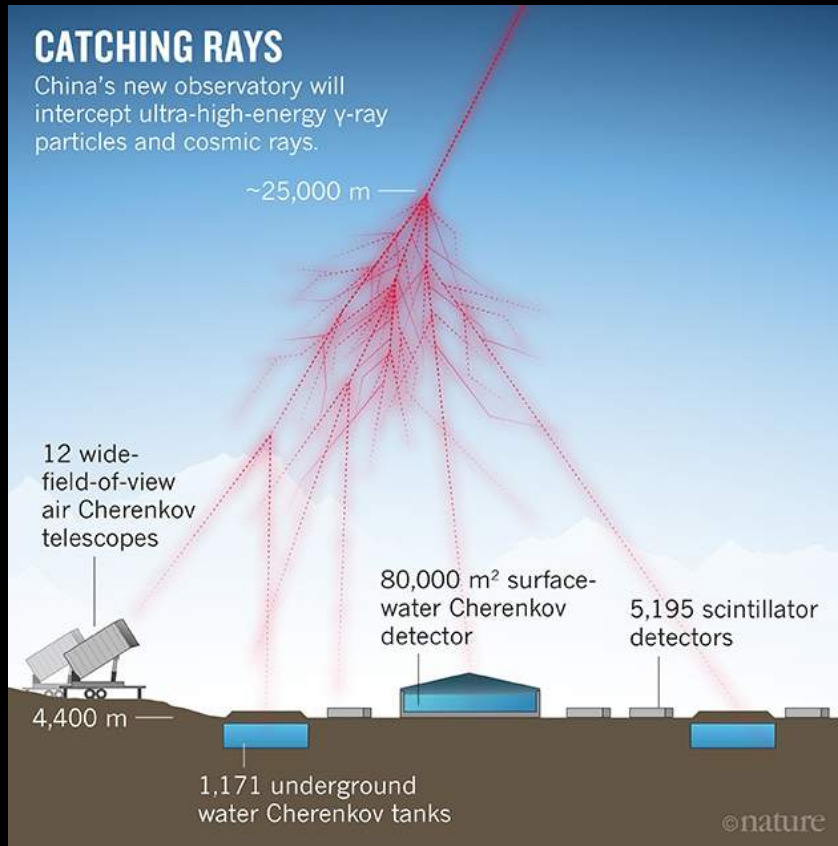






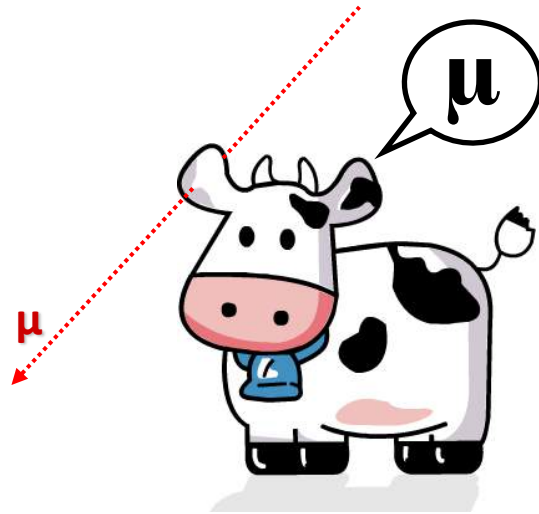
Misura indiretta di raggi cosmici: l'osservatorio Auger

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



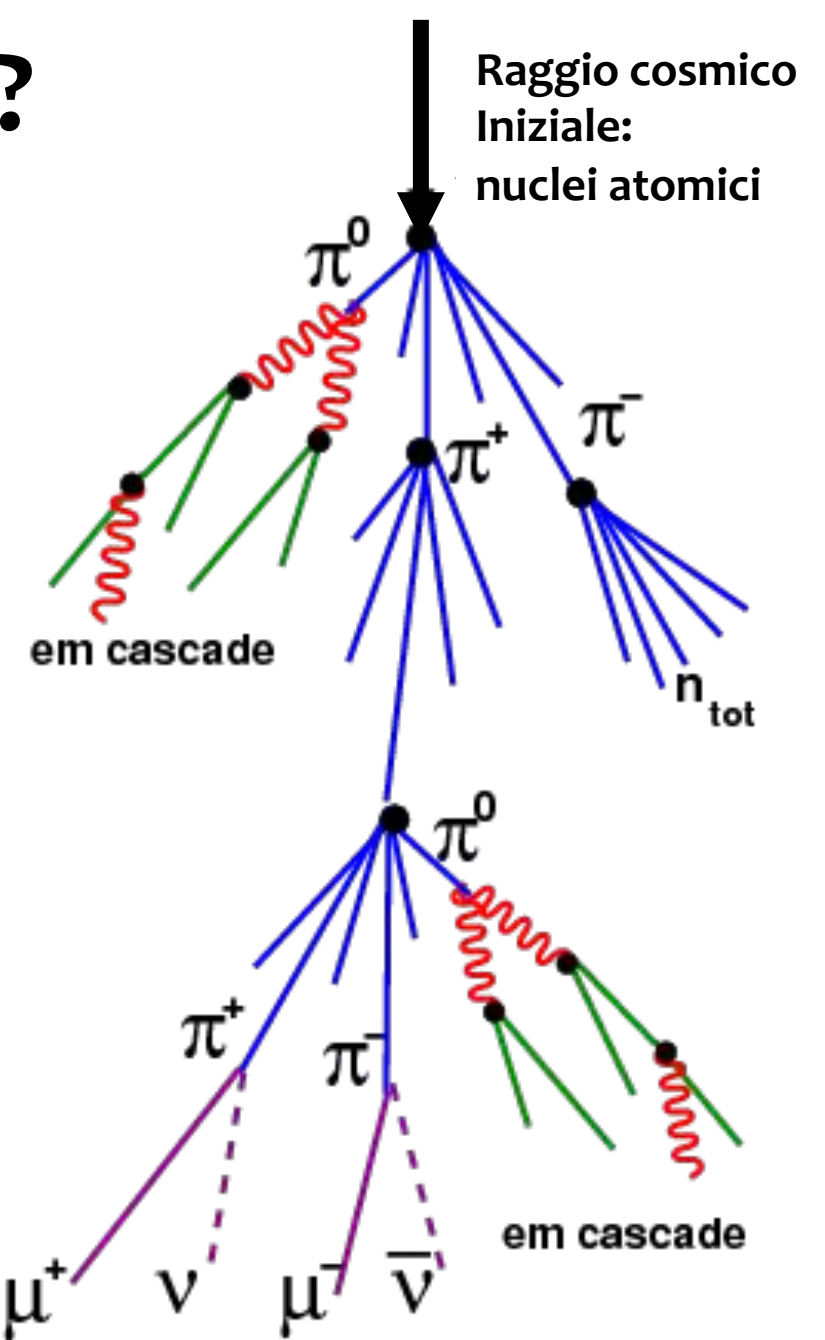
Quali particelle arrivano a Terra?

→ 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.

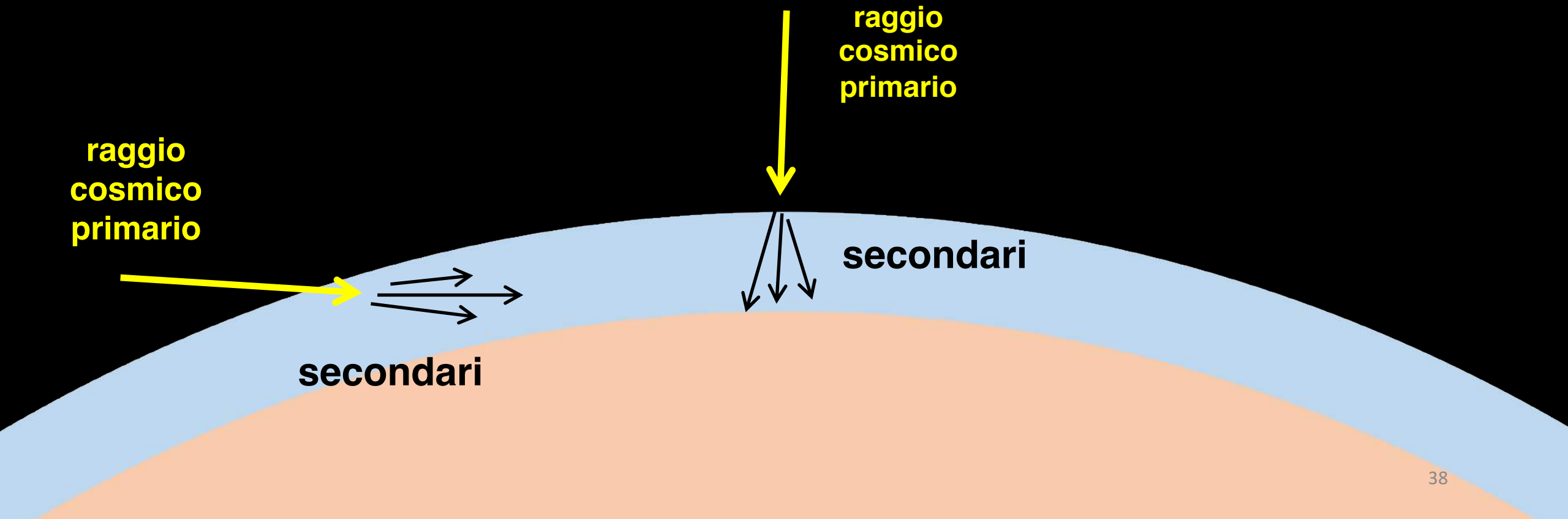
Ogni minuto veniamo attraversati da centinaia di muoni. Essi contribuiscono alla dose di radioattività naturale a cui siamo soggetti.



I RAGGI COSMICI A TERRA

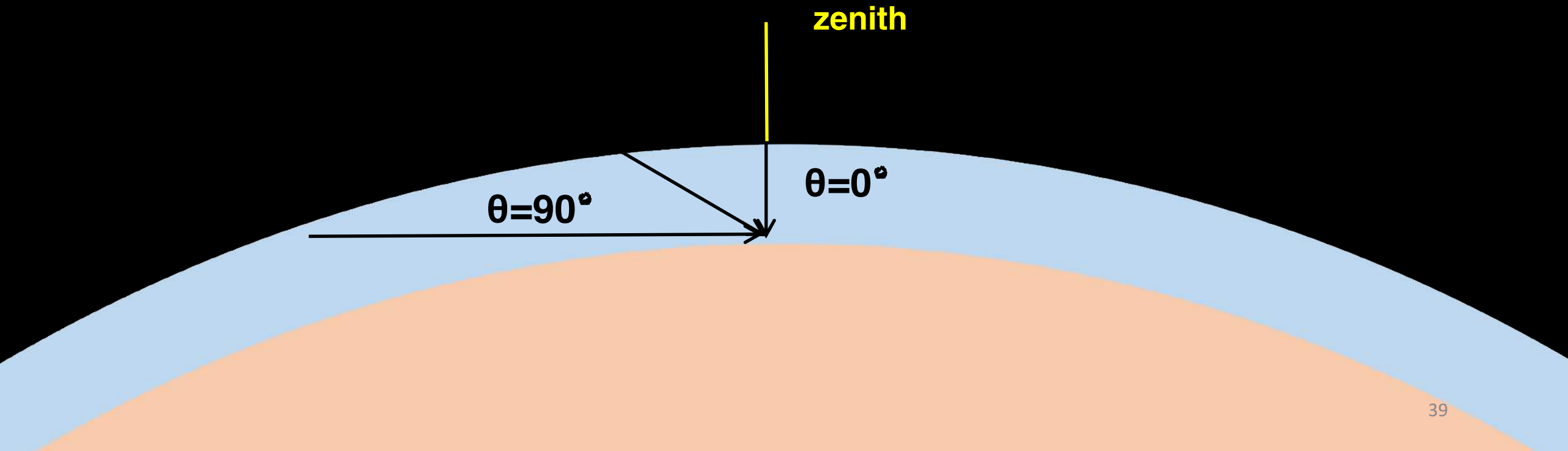
I raggi cosmici primari incidono l'atmosfera da ogni direzione

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



I RAGGI COSMICI A TERRA

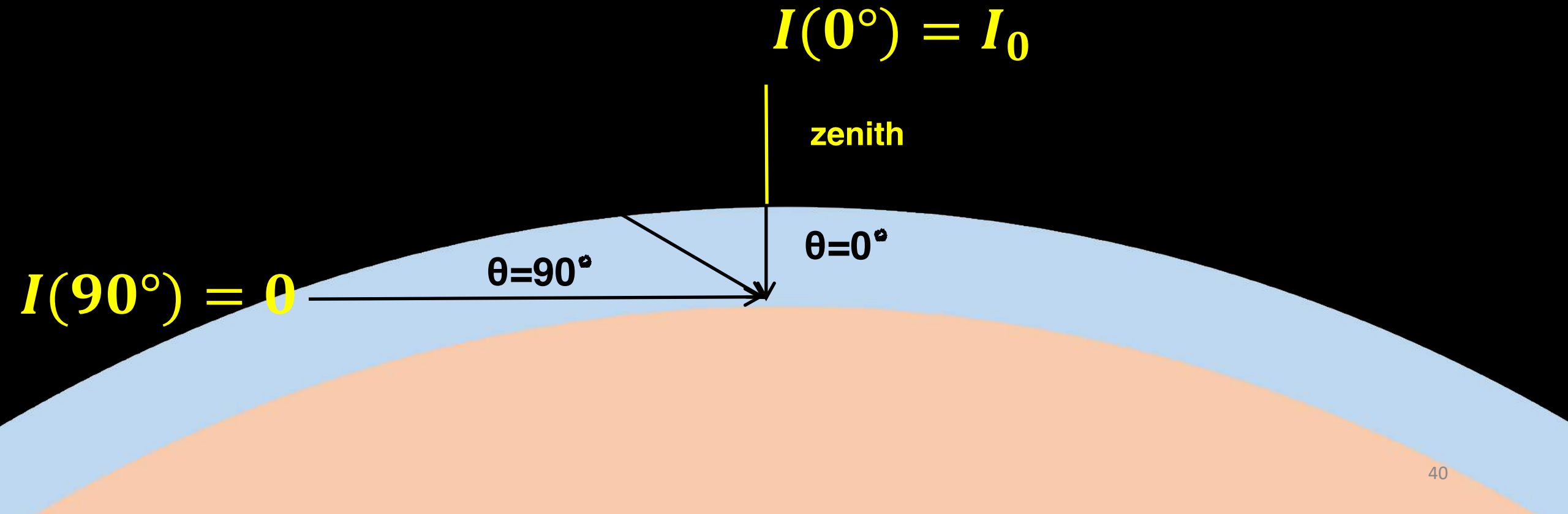
Ci aspettiamo una maggiore intensità di particelle verticali ($\theta=0^\circ$)
E poche particelle che arrivano lateralmente ($\theta=90^\circ$)



I RAGGI COSMICI A TERRA

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

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

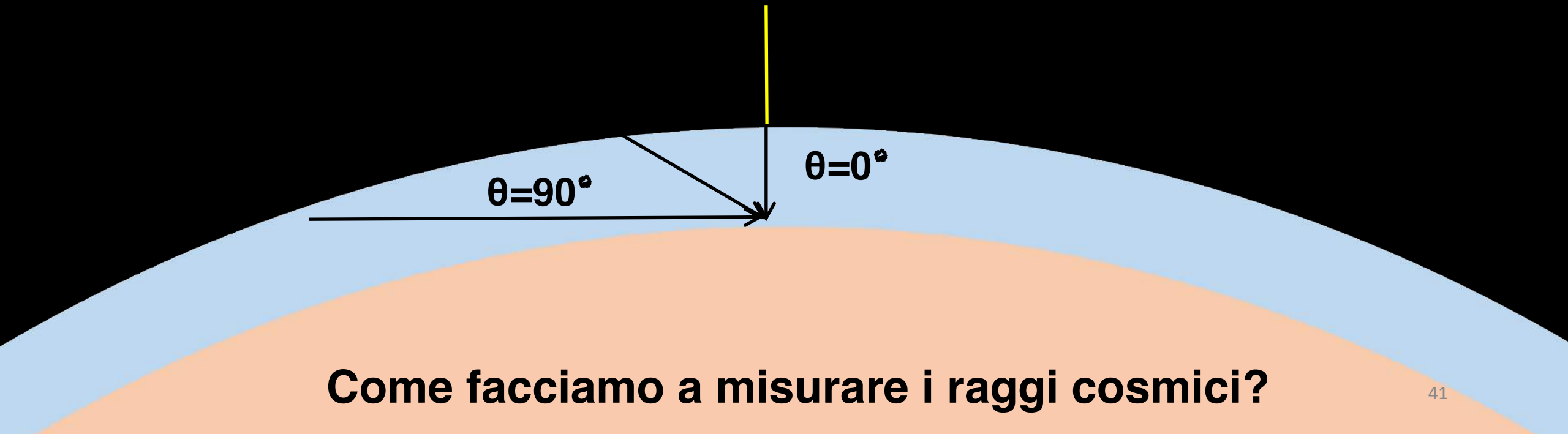


I RAGGI COSMICI A TERRA

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

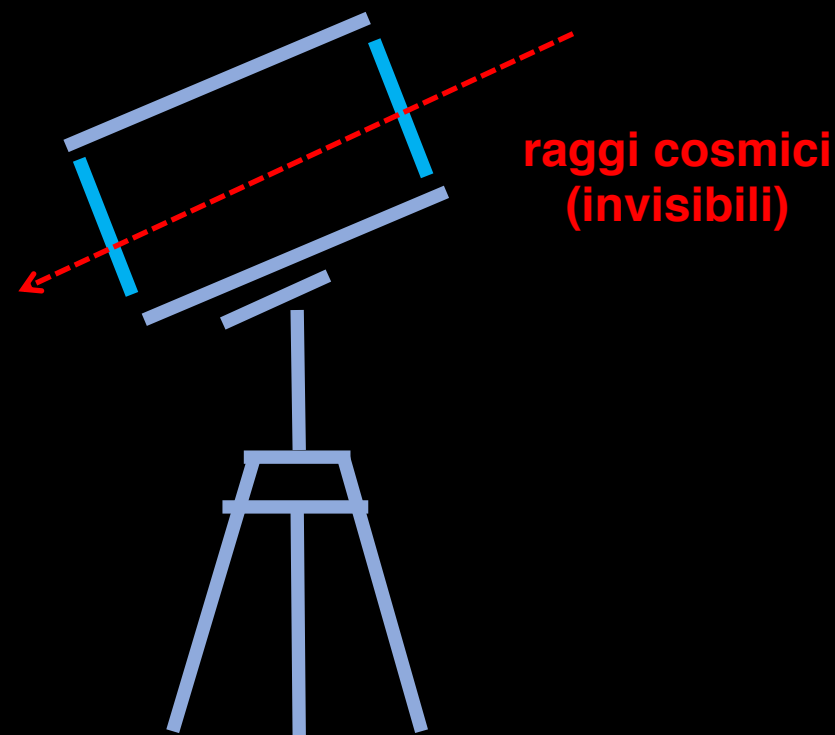
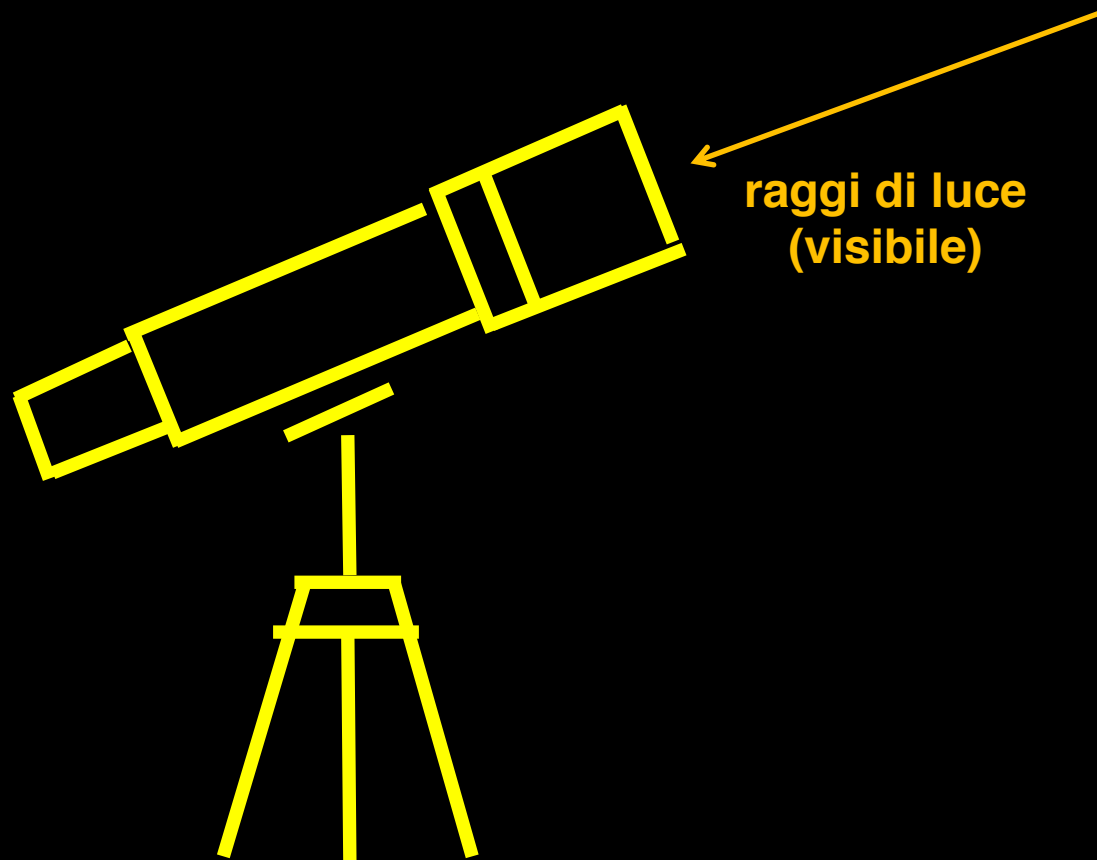
$$I = I_0 \cos^2(\theta)$$

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?

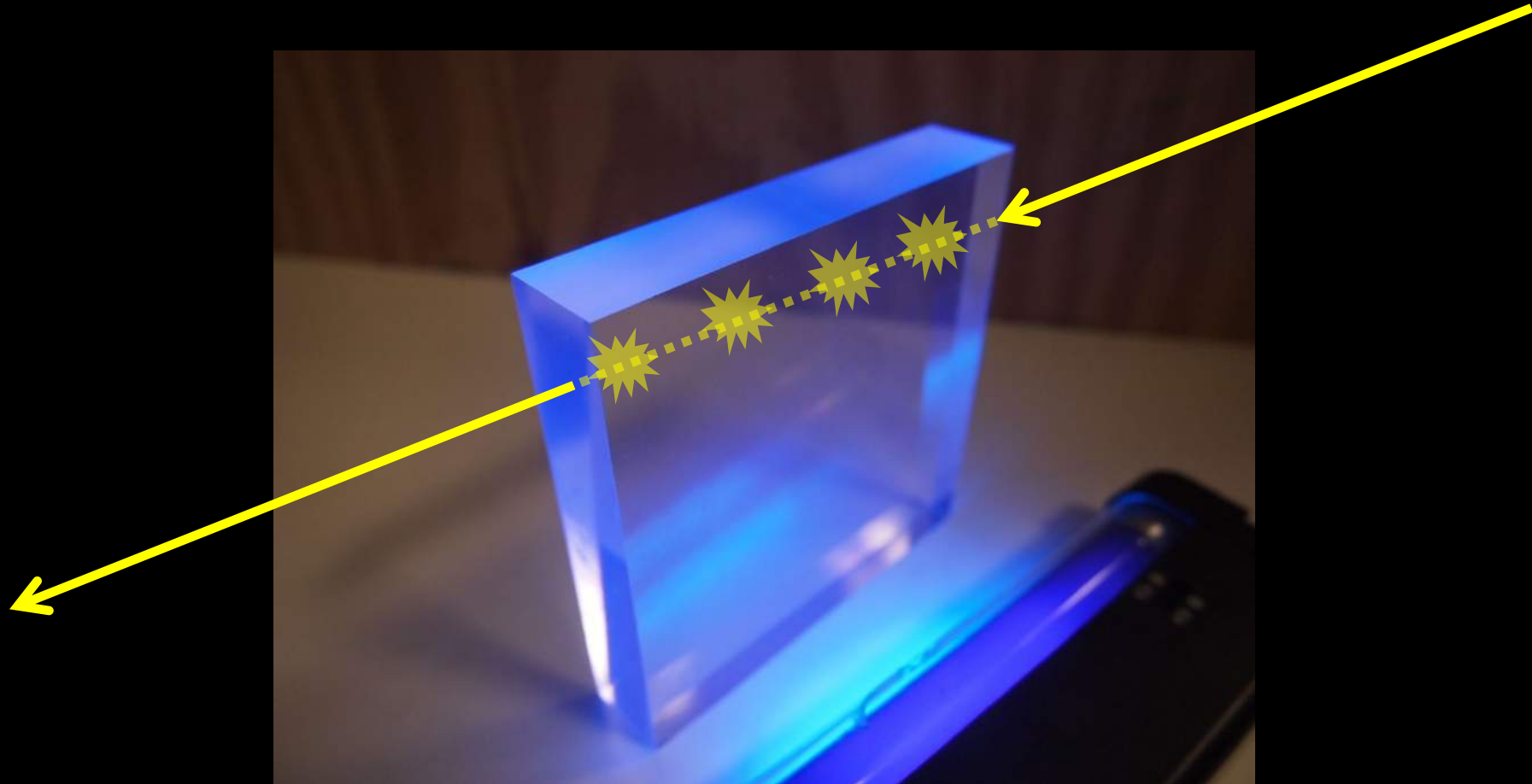
Ma come li misuriamo?



Ci vuole un telescopio che «vede» le particelle cariche (al posto nostro) 42

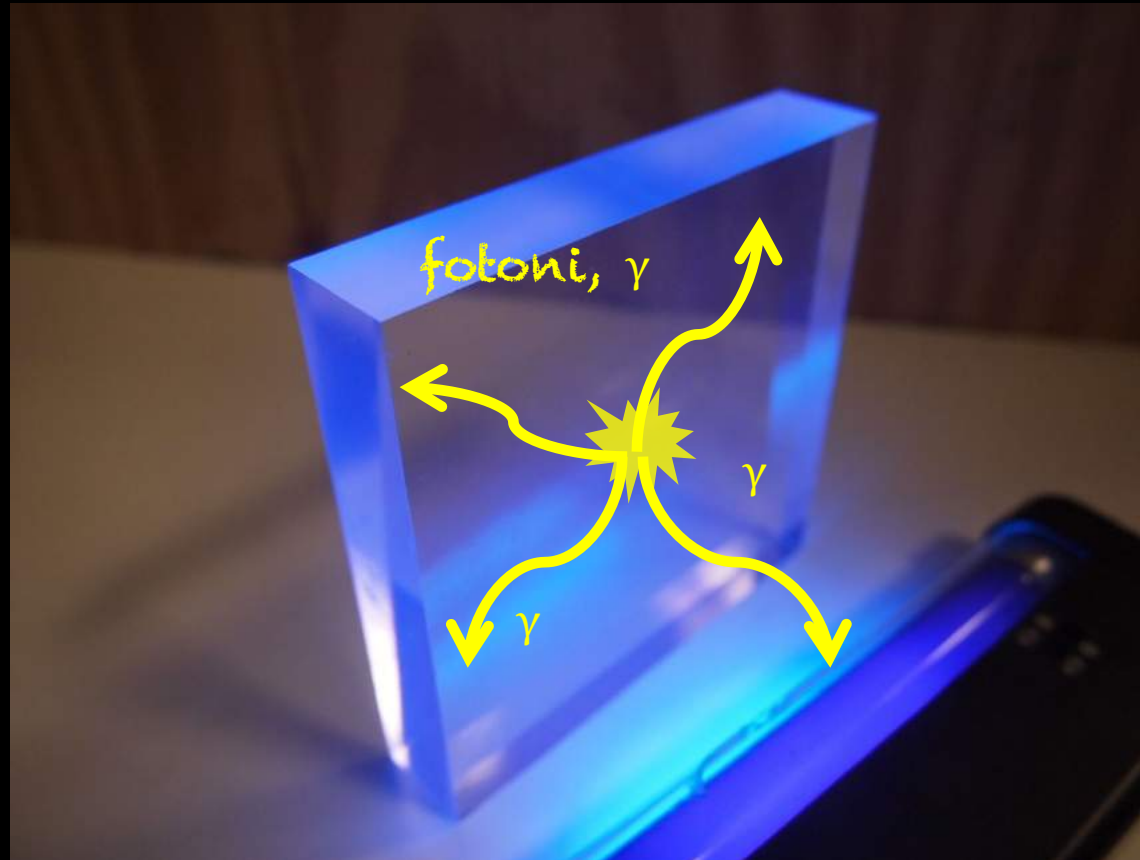
LA TECNICA SPERIMENTALE

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.

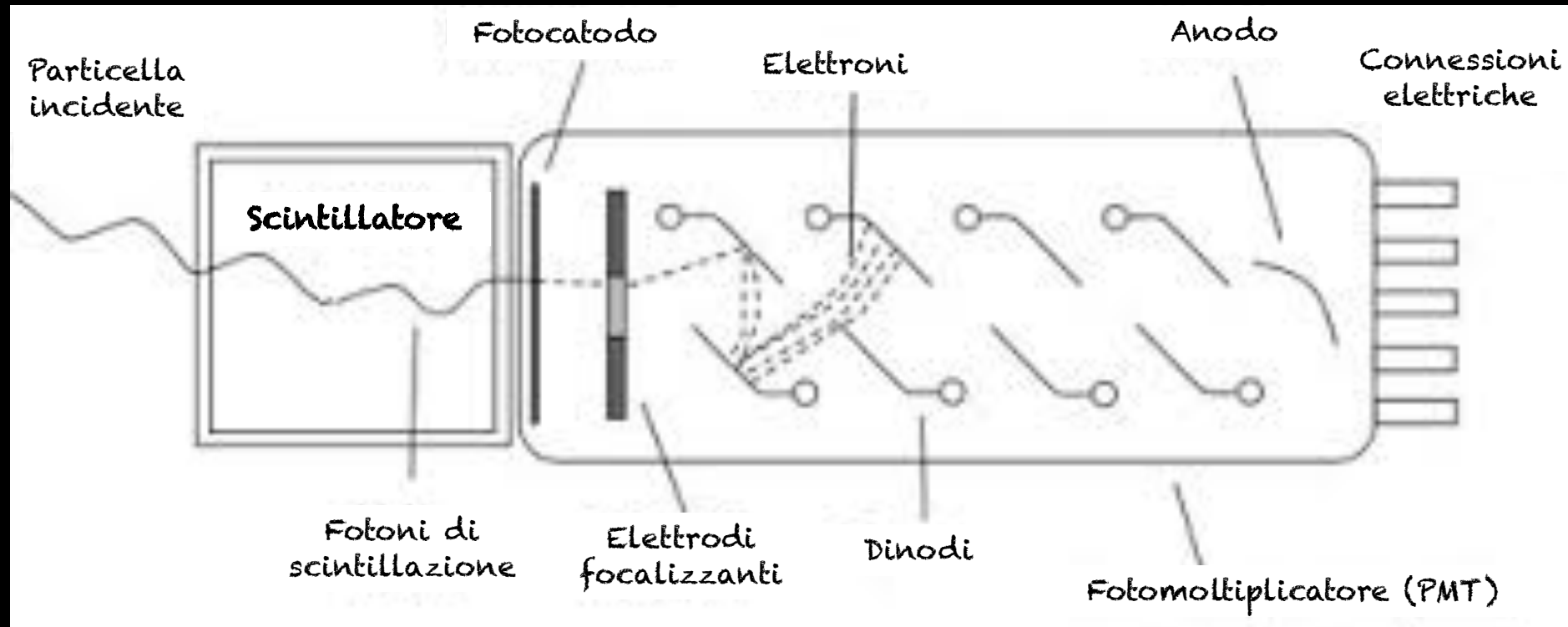


LA TECNICA SPERIMENTALE

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

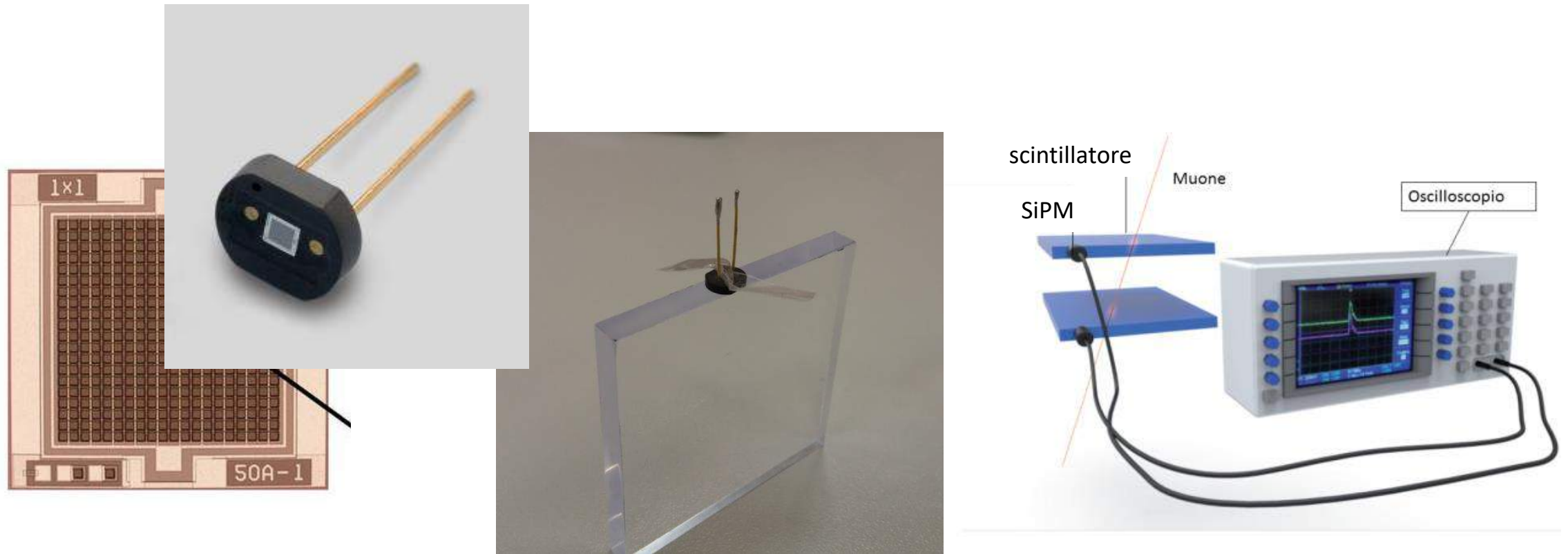
il fotomoltiplicatore (PMT)

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.



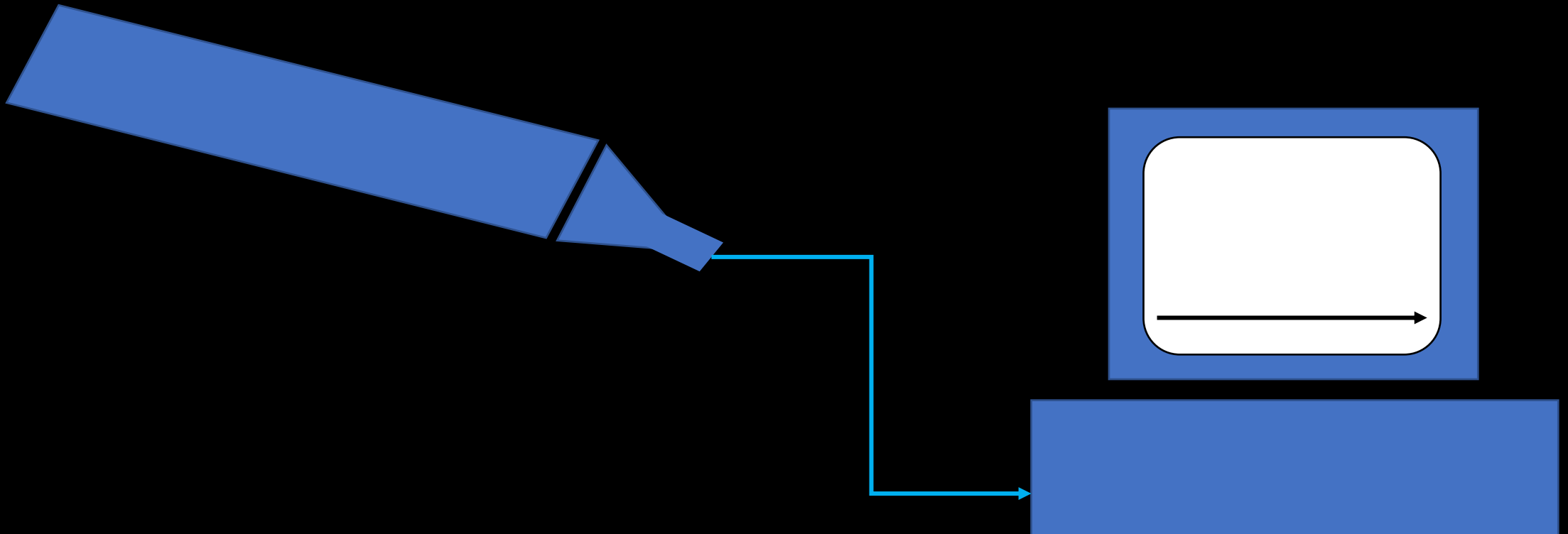
I fotomoltiplicatori al silicio SiPM

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).



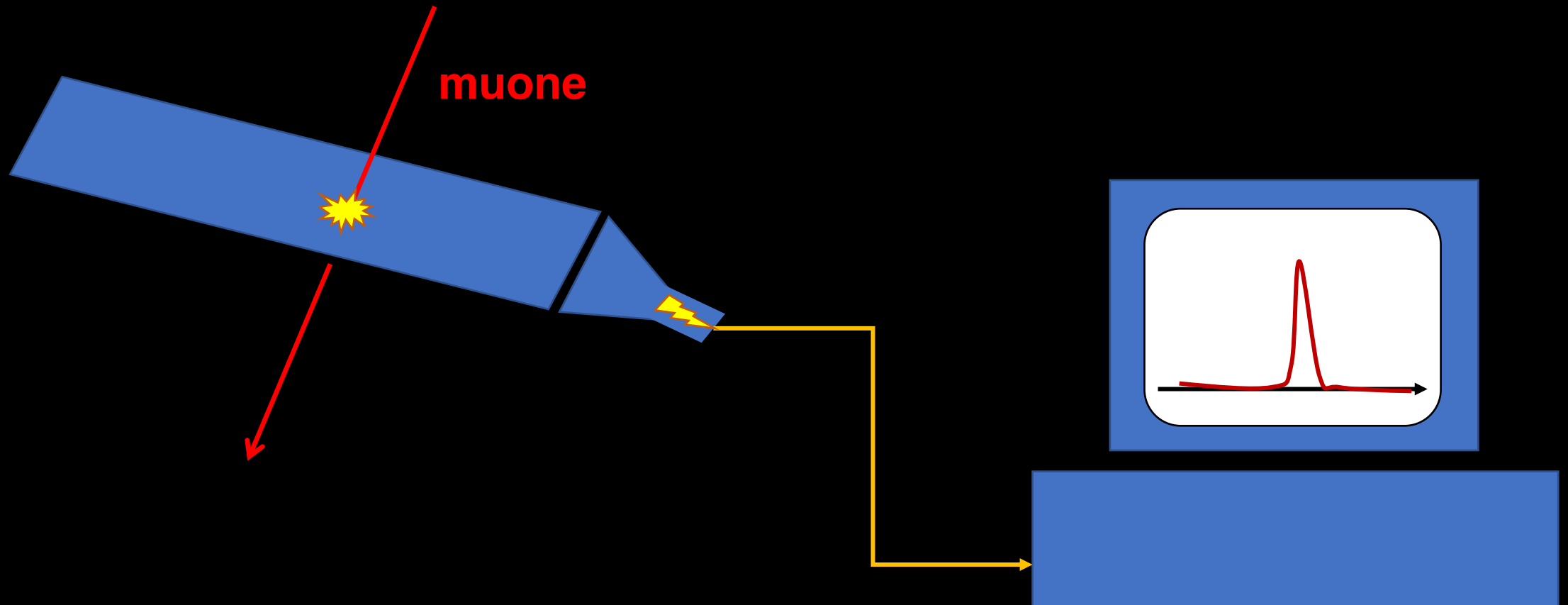
LA TECNICA SPERIMENTALE

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



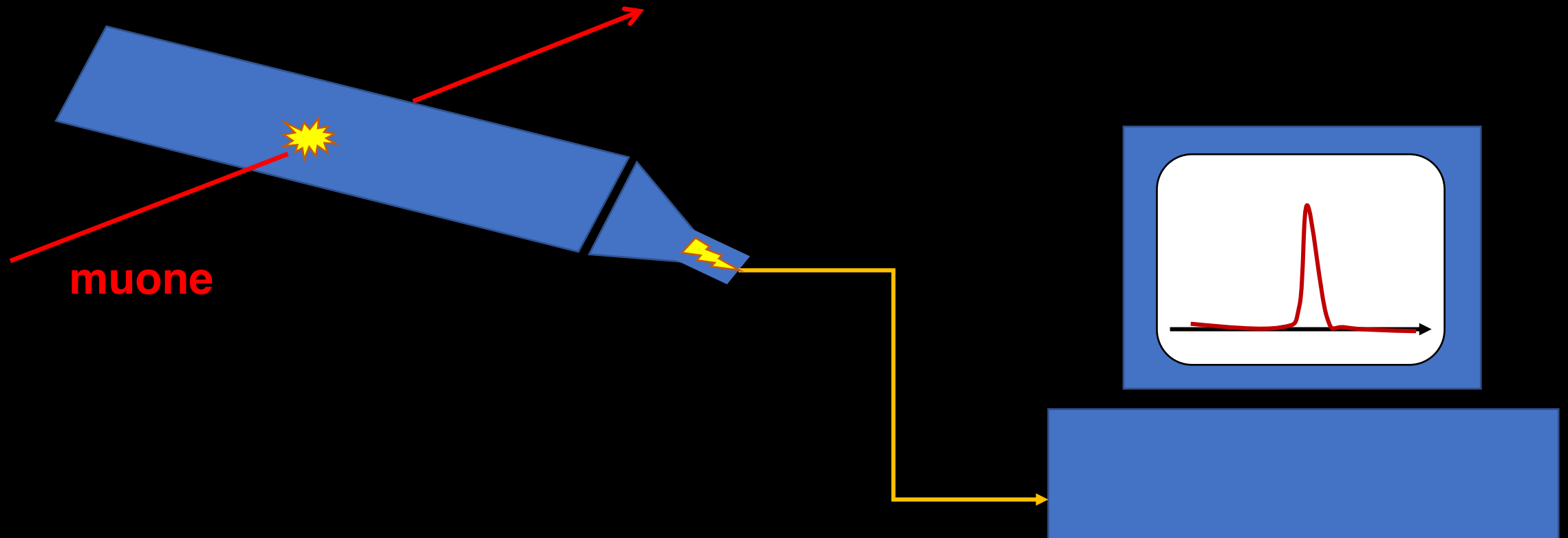
LA TECNICA SPERIMENTALE

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



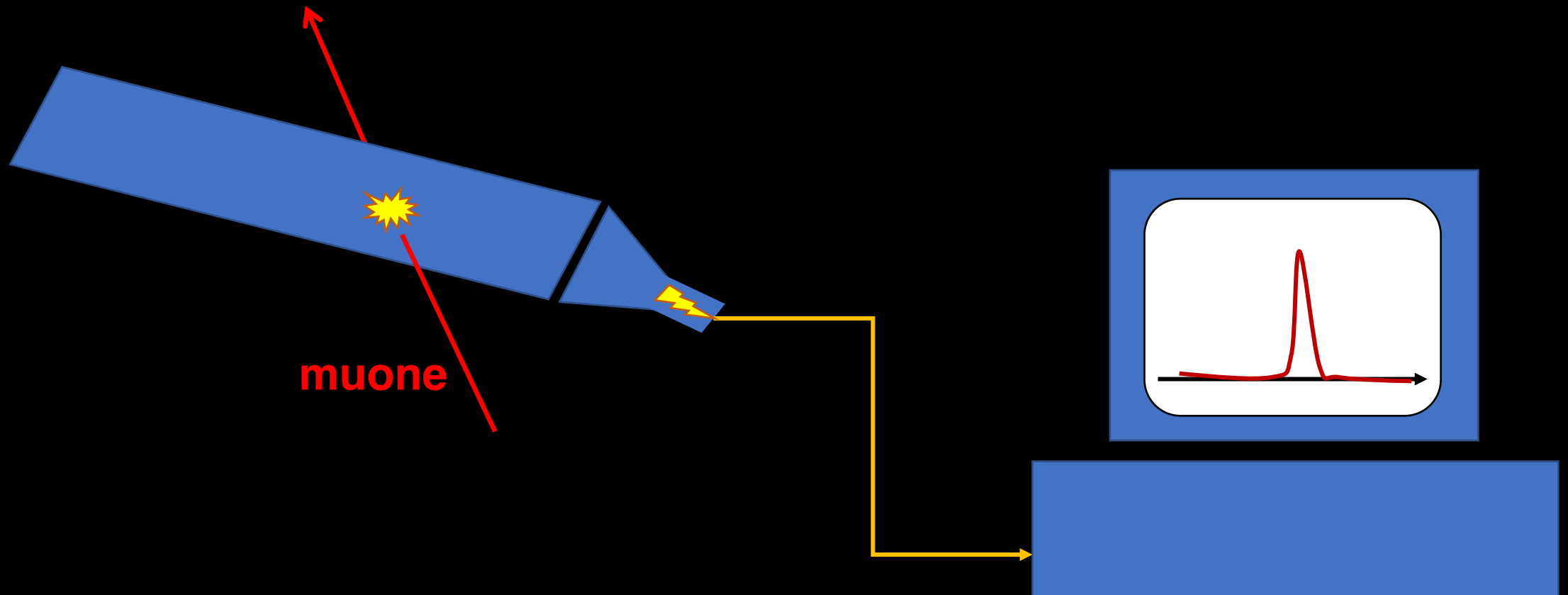
LA TECNICA SPERIMENTALE

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



LA TECNICA SPERIMENTALE

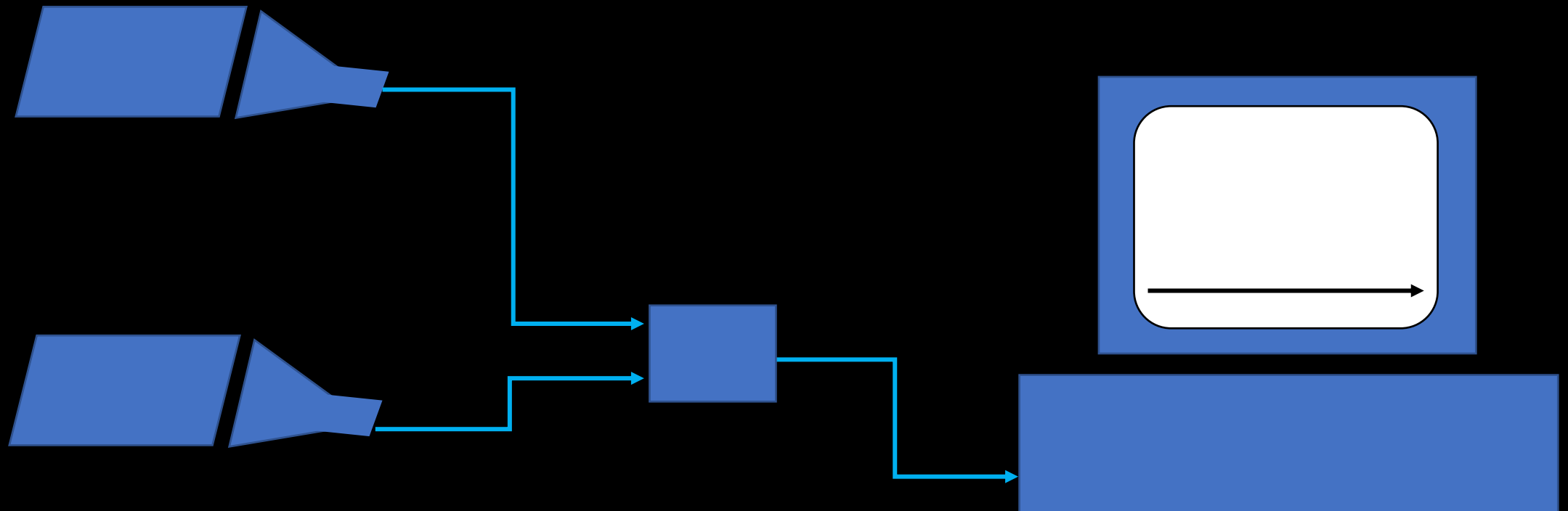
Accoppiamo un materiale scintillante ad un dispositivo che raccoglie la luce e la trasforma in **segnale elettrico**



LA TECNICA SPERIMENTALE

Possiamo fare di meglio: usiamo due piani di scintillatori

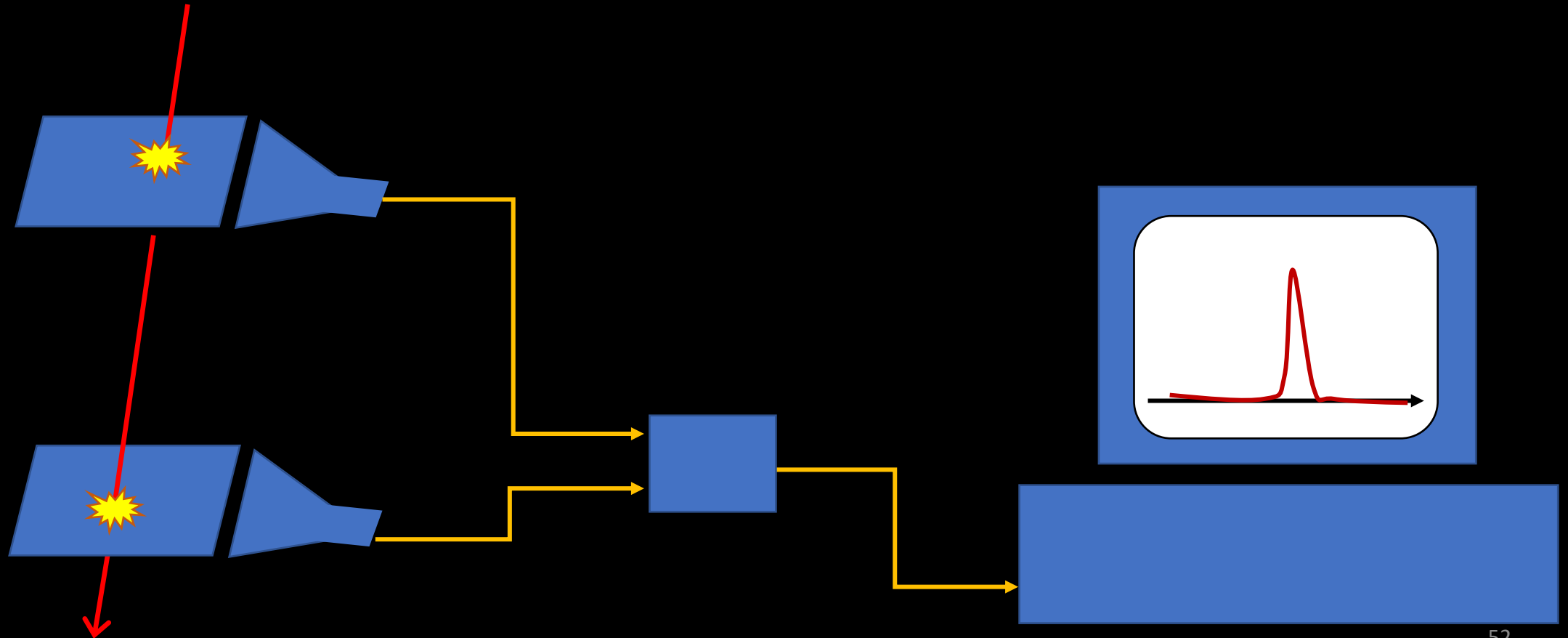
- Riveliamo il muone con maggior certezza
- Selezioniamo direzioni di arrivo (verticali)



LA TECNICA SPERIMENTALE

Usiamo due piani di scintillatori

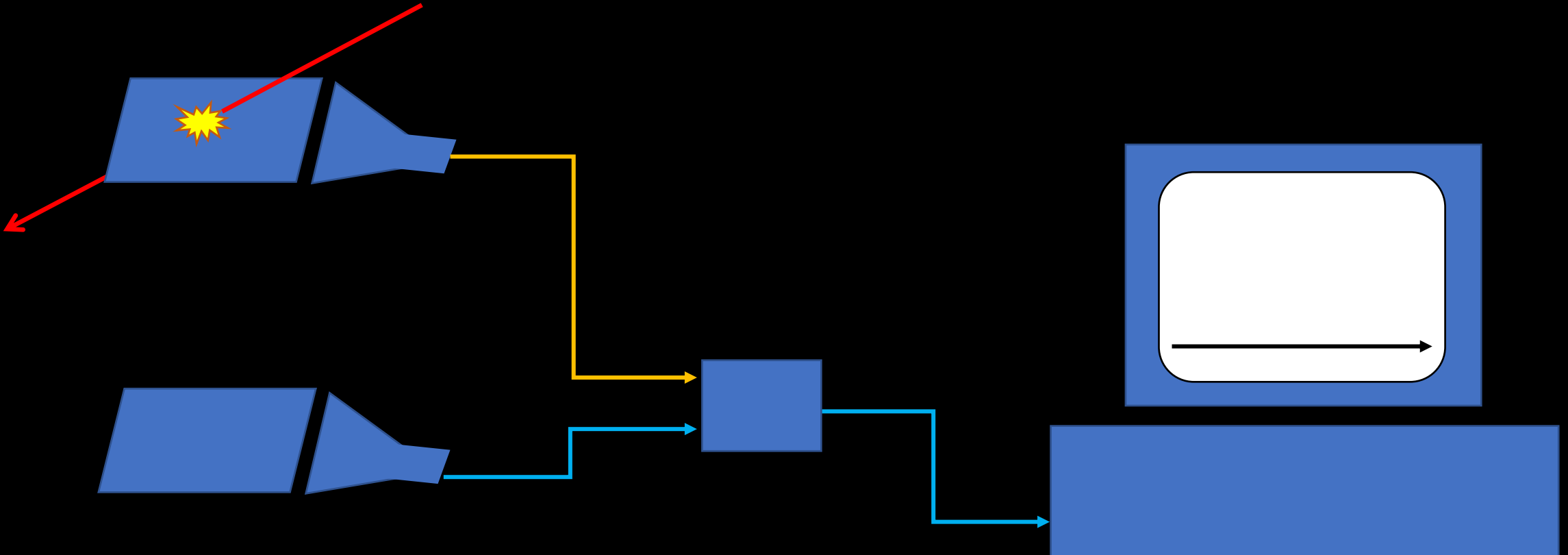
- Riveliamo il muone con maggior certezza
- Selezioniamo direzioni di arrivo (verticali)



LA TECNICA SPERIMENTALE

Usiamo due piani di scintillatori

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

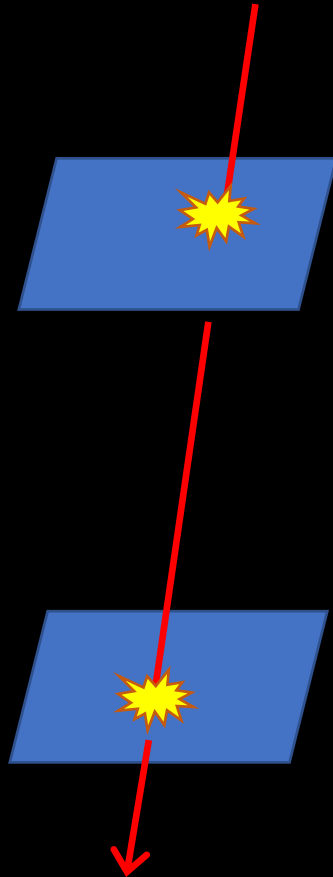


LA TECNICA SPERIMENTALE

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)

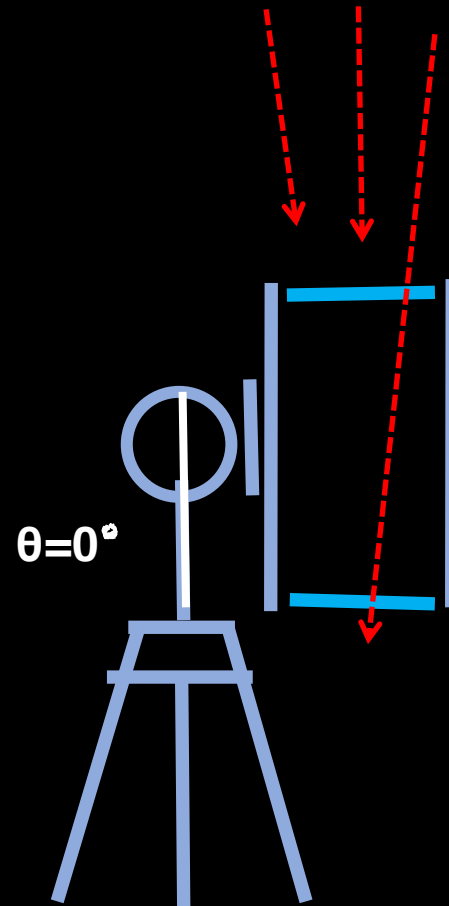
Lo strumento registra N=600 particelle

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

LA TECNICA SPERIMENTALE

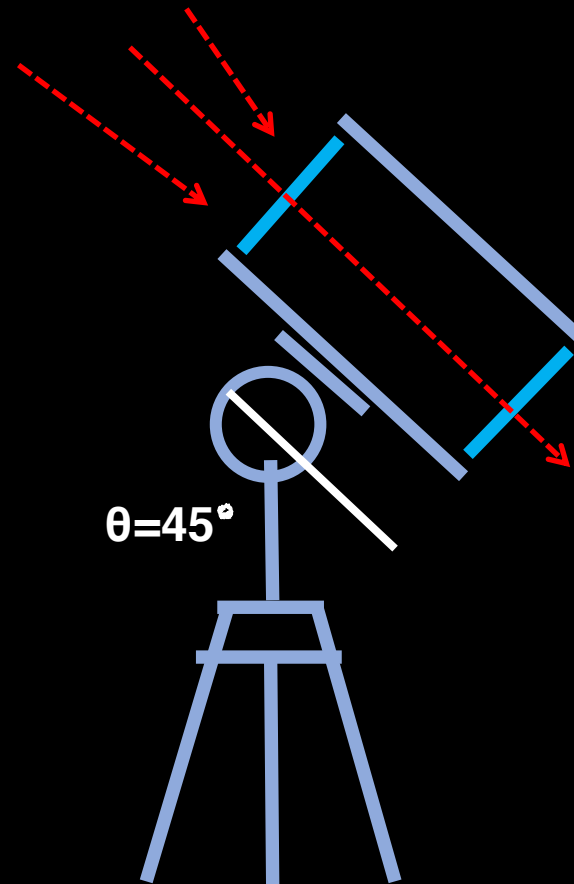
Ruotiamo il rivelatore di angolo θ con la verticale
Possiamo vedere se il flusso di particelle dipende dall'angolo

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



LA TECNICA SPERIMENTALE

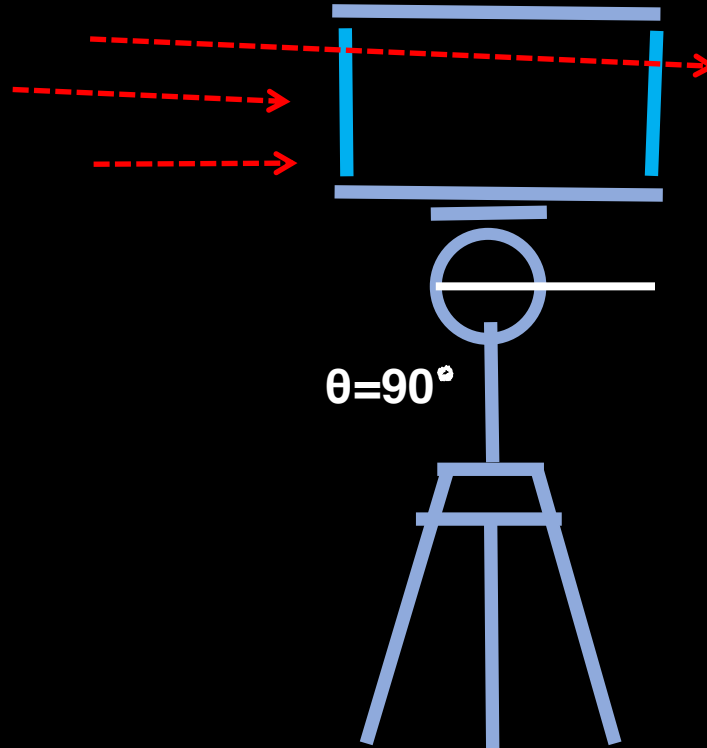
Ruotiamo il rivelatore di angolo θ con la verticale
Possiamo vedere se il flusso di particelle dipende dall'angolo



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

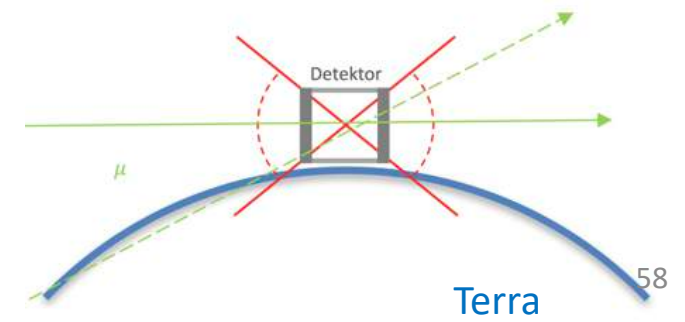
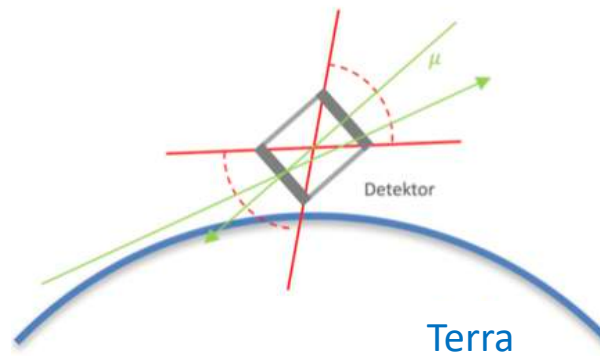
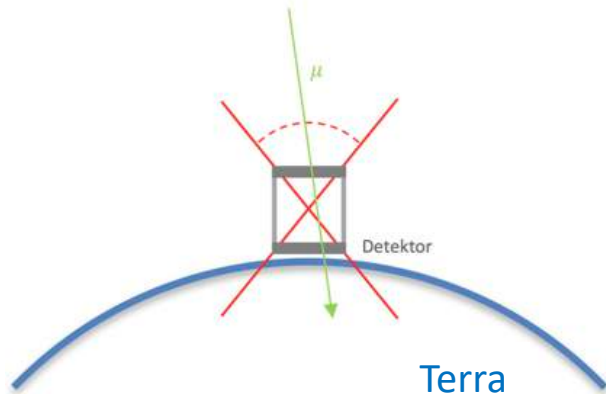
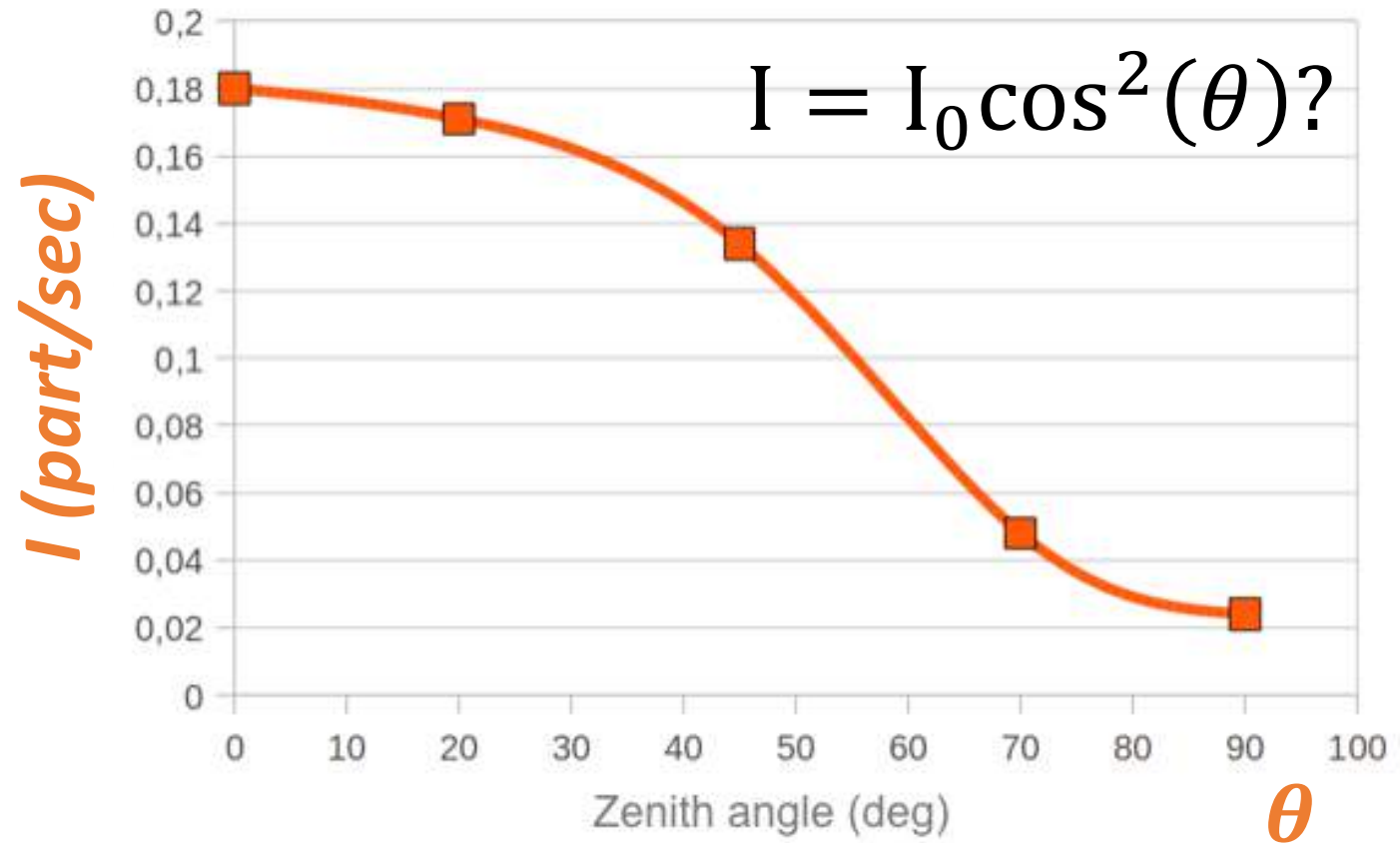
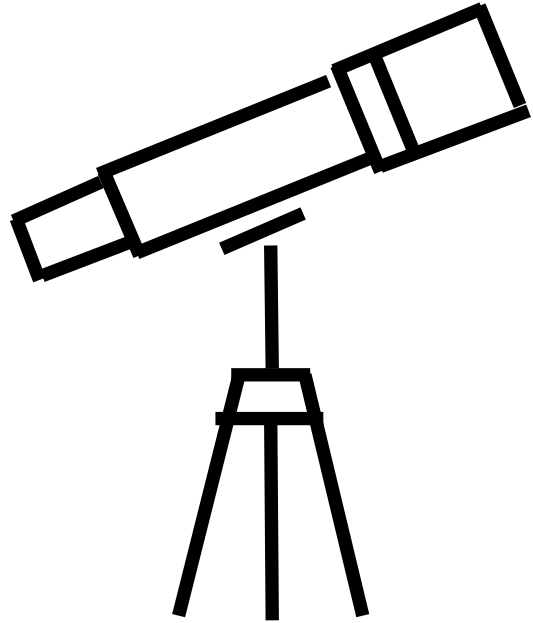
LA TECNICA SPERIMENTALE

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



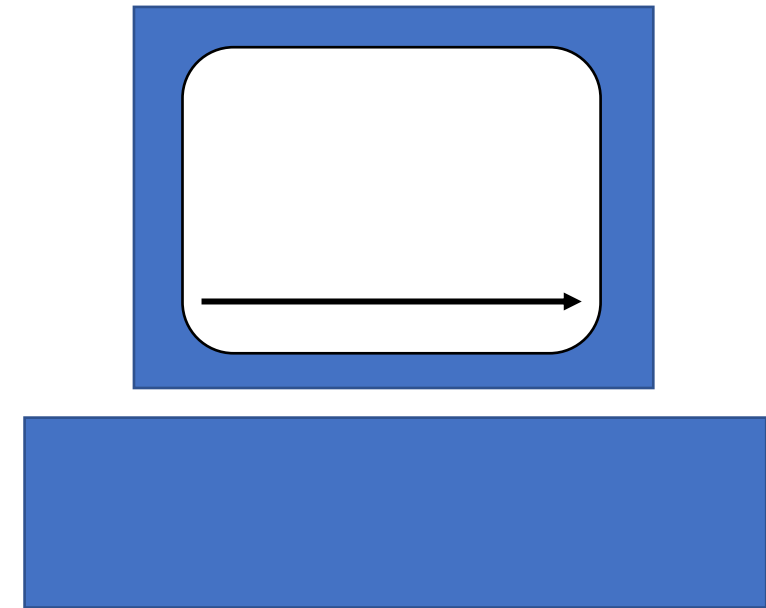
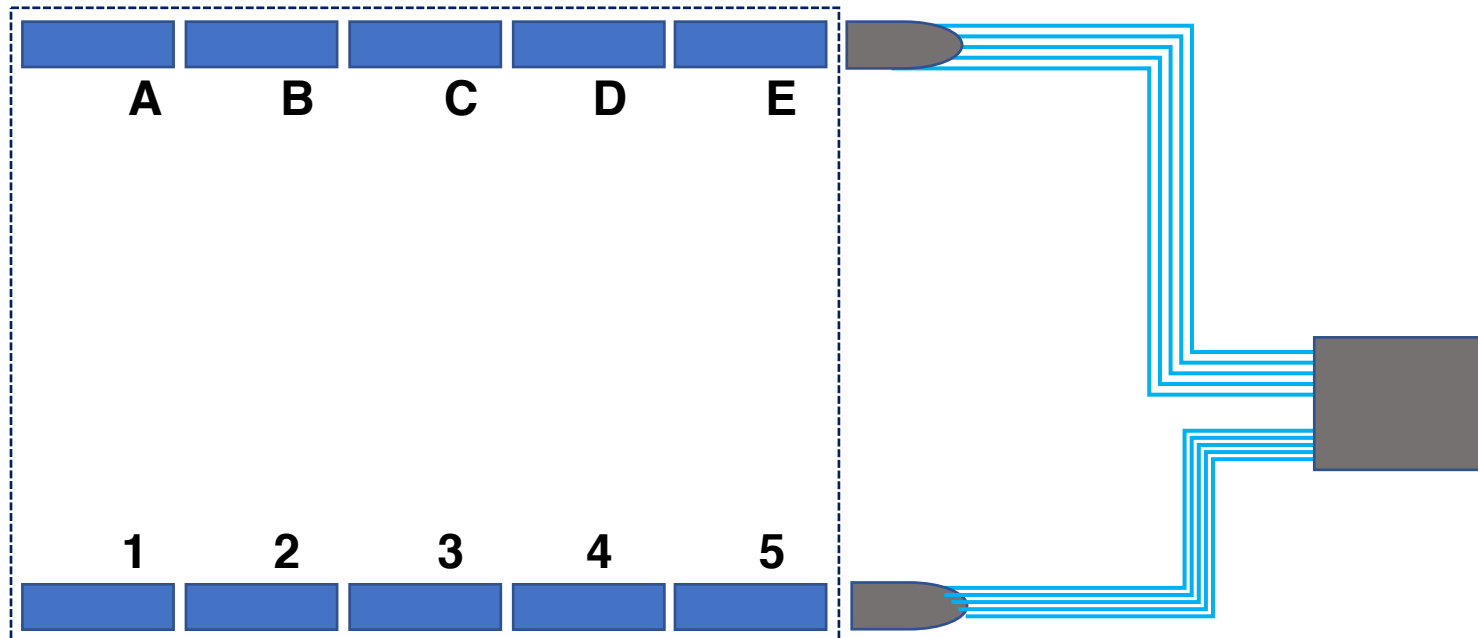
Guarda all'orizzonte $\theta = 90^\circ$
Seleziona particelle orizzontali

LA TECNICA SPERIMENTALE



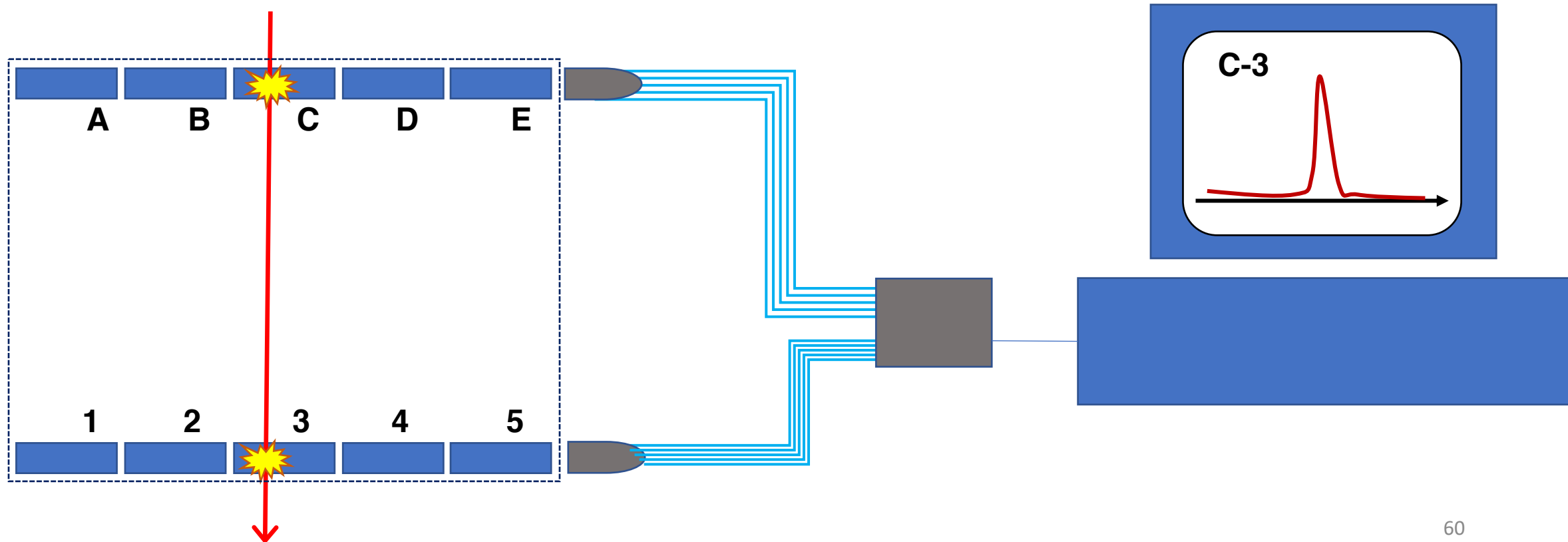
MAZINGA-2020

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



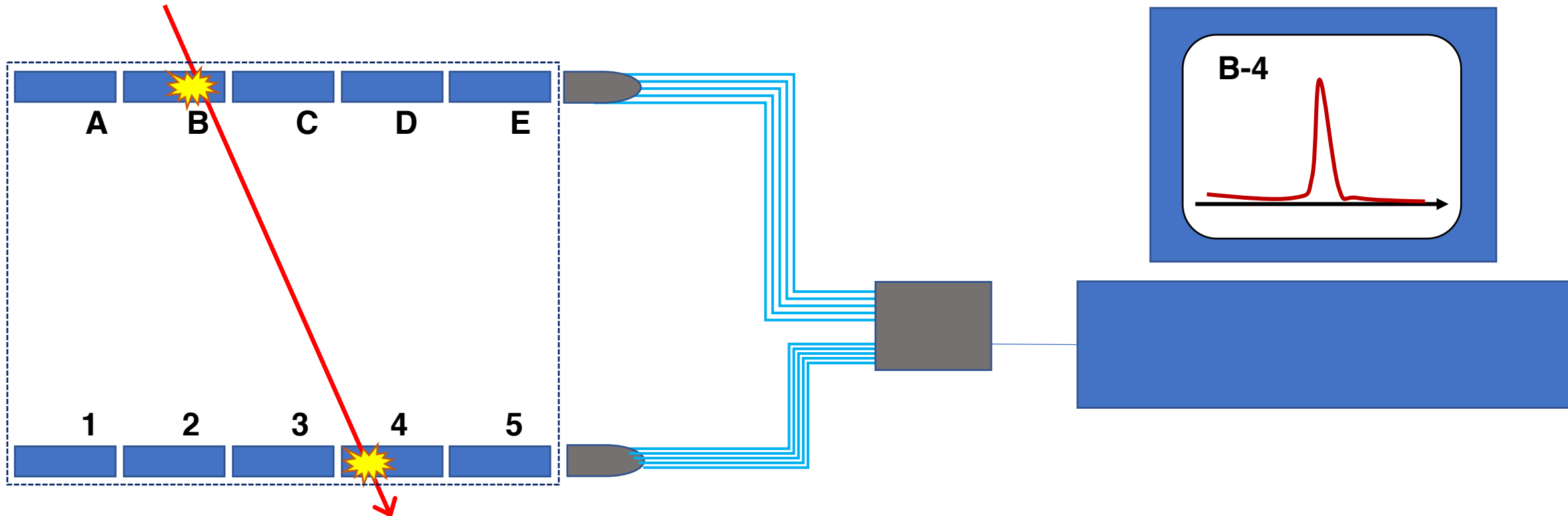
MAZINGA-2020

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



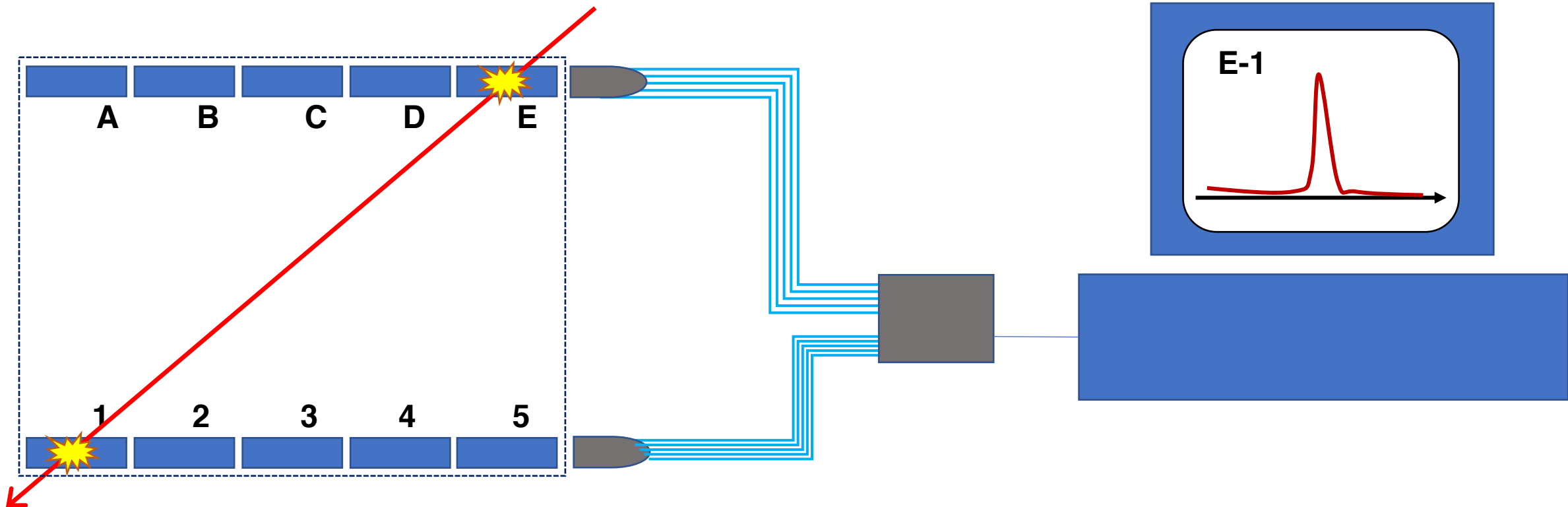
MAZINGA-2020

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



MAZINGA-2020

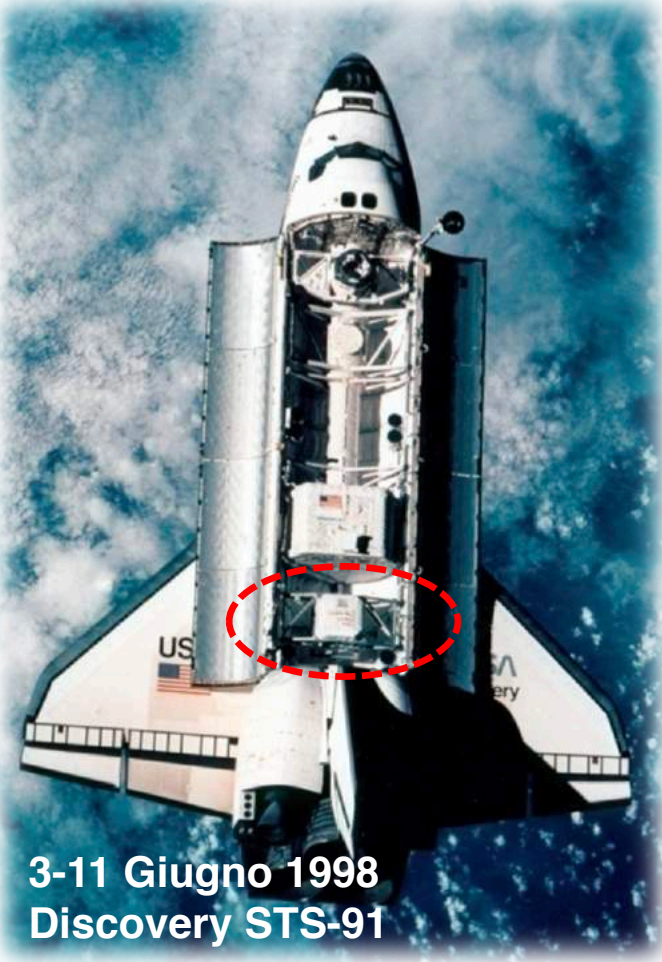
**Un metodo più furbo (senza dover ruotare il rivelatore)
che stiamo mettendo a punto per il prossimo appuntamento**



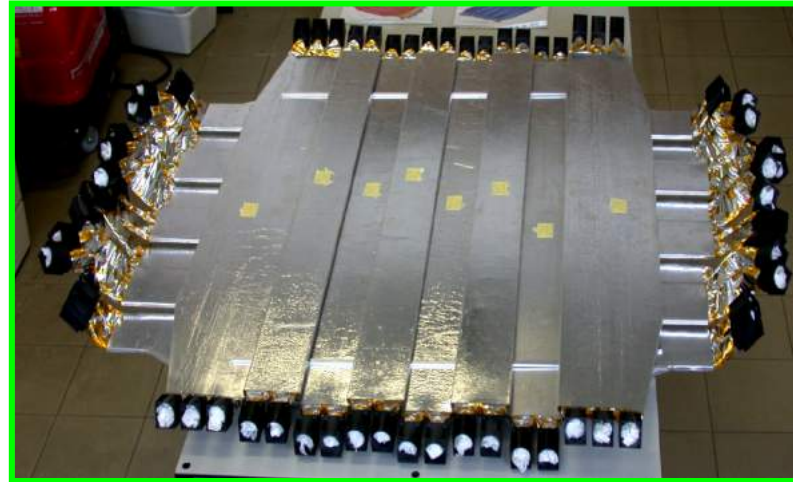
LA TECNICA SPERIMENTALE

Esempio: l'esperimento AMS

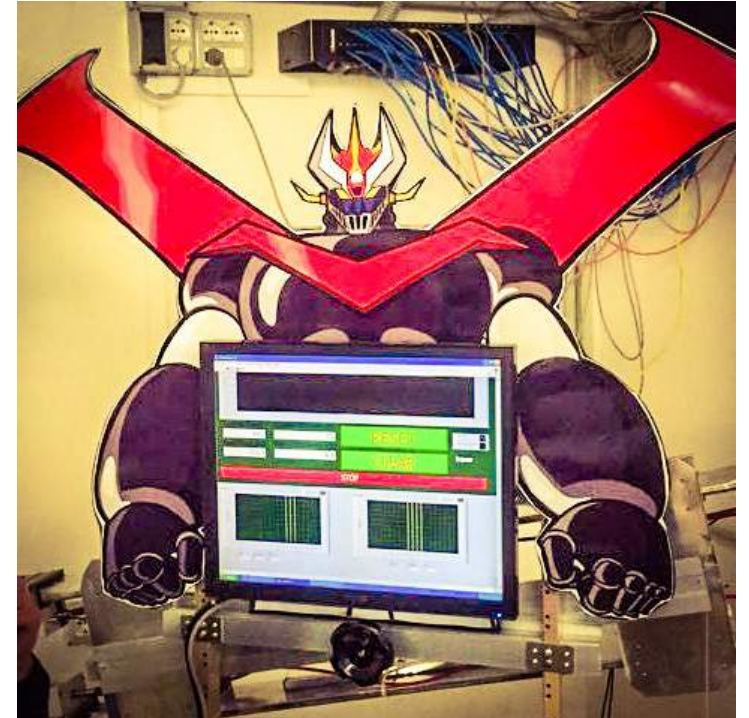
La missione AMS-01



Matrice di scintillatori e PMT



MAZINGA 2018 Pathfinder

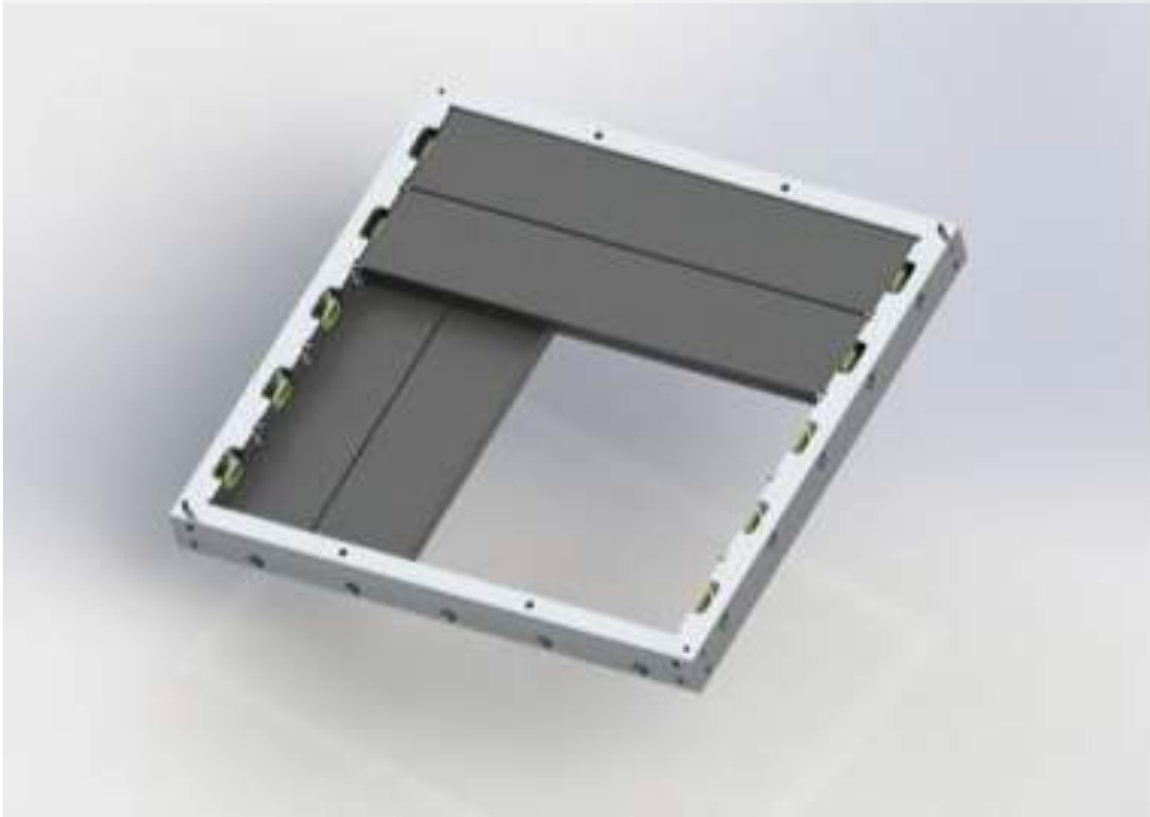


Abbiamo qui in laboratorio quelli di AMS-01, l'esperimento precursore di AMS-01, che ha volato nel 1998 a bordo dello space shuttle Discovery

MAZINGA-2020 – Work in progress

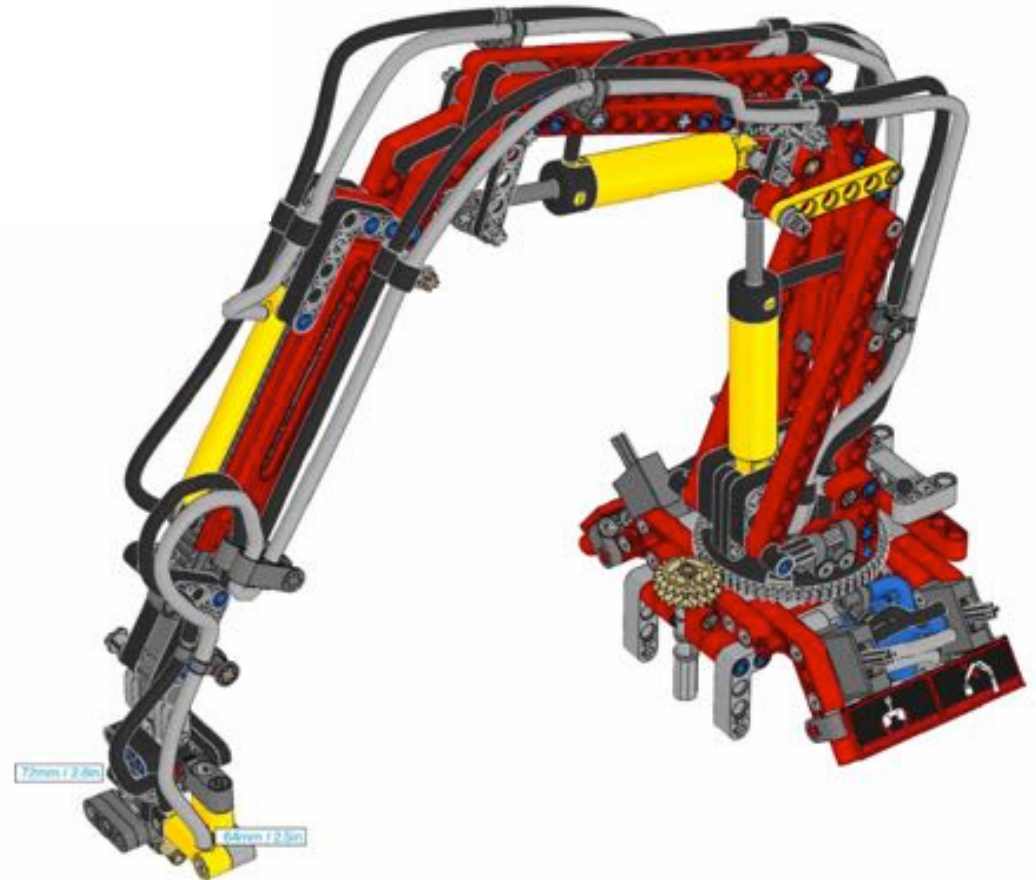
Rivelatore portatile e orientabile, con bassi consumi e alta efficienza

Matrice di scintillatori: misura la posizione dei RC



**Accoppiamento con fotomoltiplicatori al silicio
Due piani segmentati + struttura orientabile**

Struttura di supporto LEGO-like





Eventi / Incontri

Alla scoperta dei raggi cosmici con l'International Cosmic Day



DOVE

Dipartimento di Fisica e Geologia dell'Università di Perugia, edificio "Ex Fisica" di via Pascoli, Perugia Aula Laboratorio di Informatica, 3° piano

Indirizzo non disponibile

QUANDO

Dal 06/11/2019

🕒 dalle 9 alle 18

PREZZO

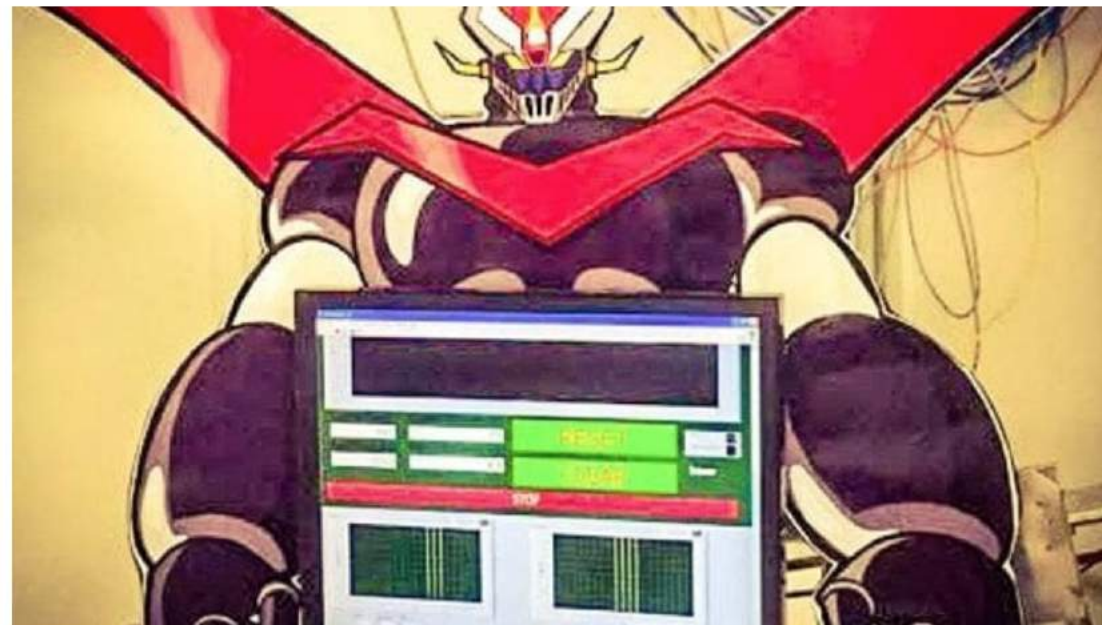
GRATIS

ALTRE INFORMAZIONI

Sito web

[facebook.com](#)

[Evento per bambini](#)



Redazione

05 NOVEMBRE 2019 15:28

Che cosa sono i raggi cosmici? Da dove provengono? Quali messaggi portano? Come possiamo misurare le particelle che li compongono? Queste sono le domande a cui oltre **60 studenti degli**

Pagina ICD-Perugia, con materiale e informazioni

<https://agenda.infn.it/event/20289>

Troverete tutti i links utili sono sotto la voce «Programme». In particolare:

Il googledoc in cui caricheremo i dati: [\[tinyurl.com/DatiMazinga\]](https://tinyurl.com/DatiMazinga)

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

Modello di attestato di partecipazione: <https://tinyurl.com/PartecipazioneICD>

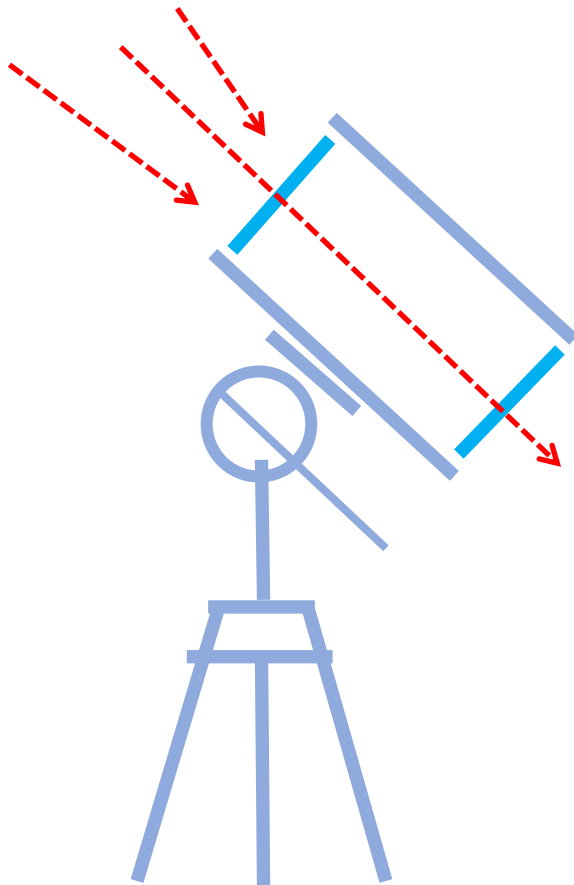
Questionario per gli studenti: <https://tinyurl.com/QICD-Studenti>

Questionario per i docenti: <https://tinyurl.com/QICD-Docenti>

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

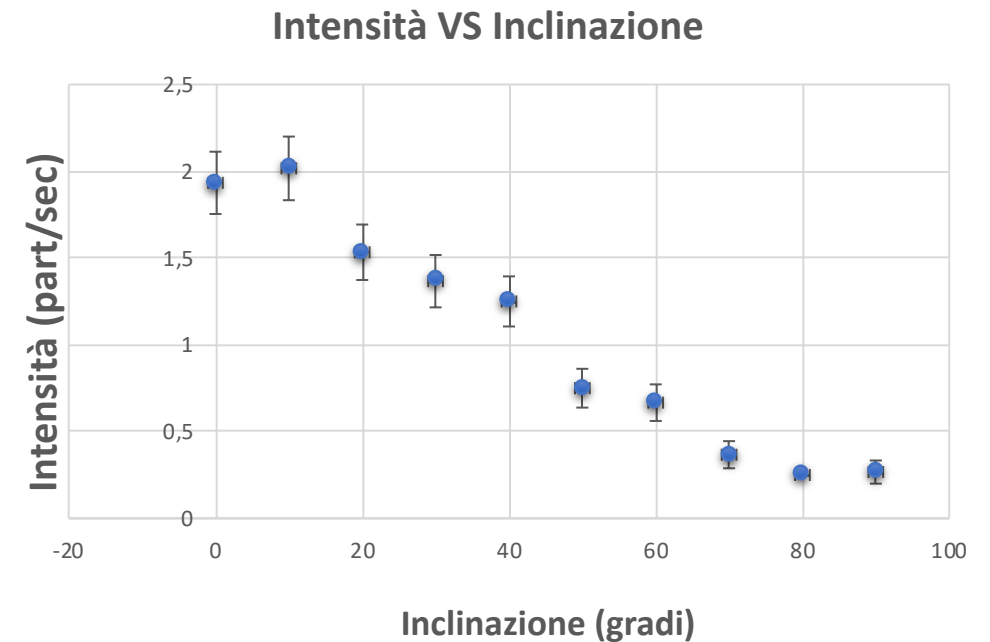


ANALISI DEI DATI

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

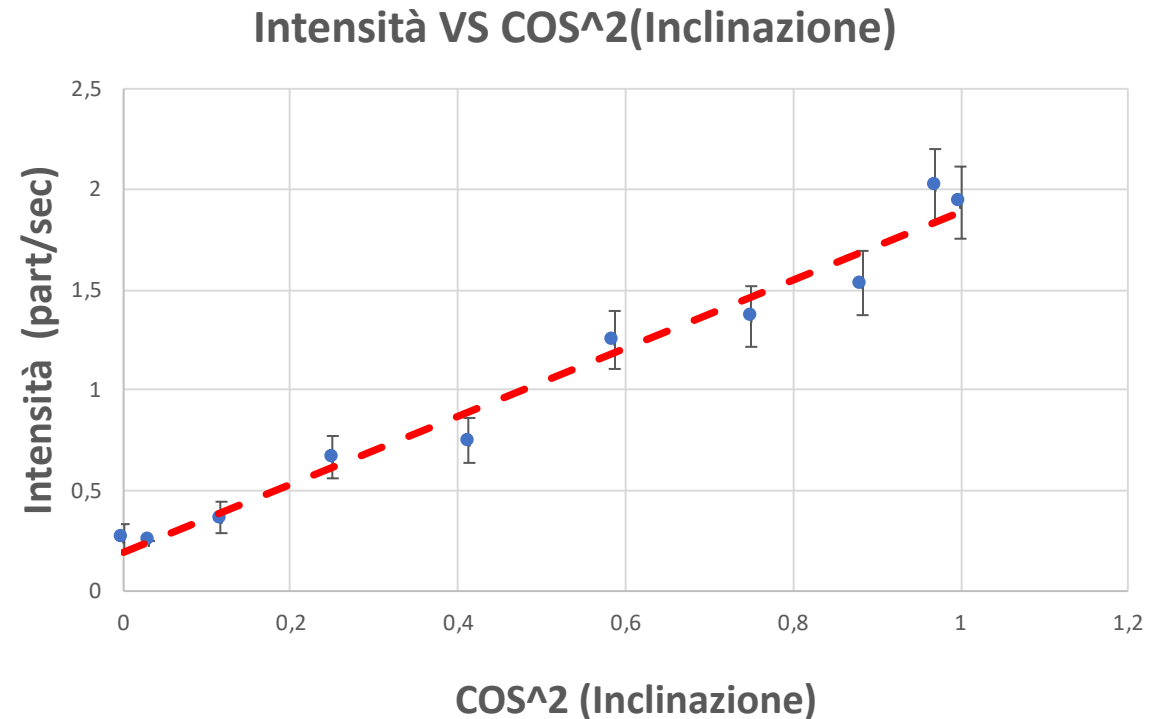
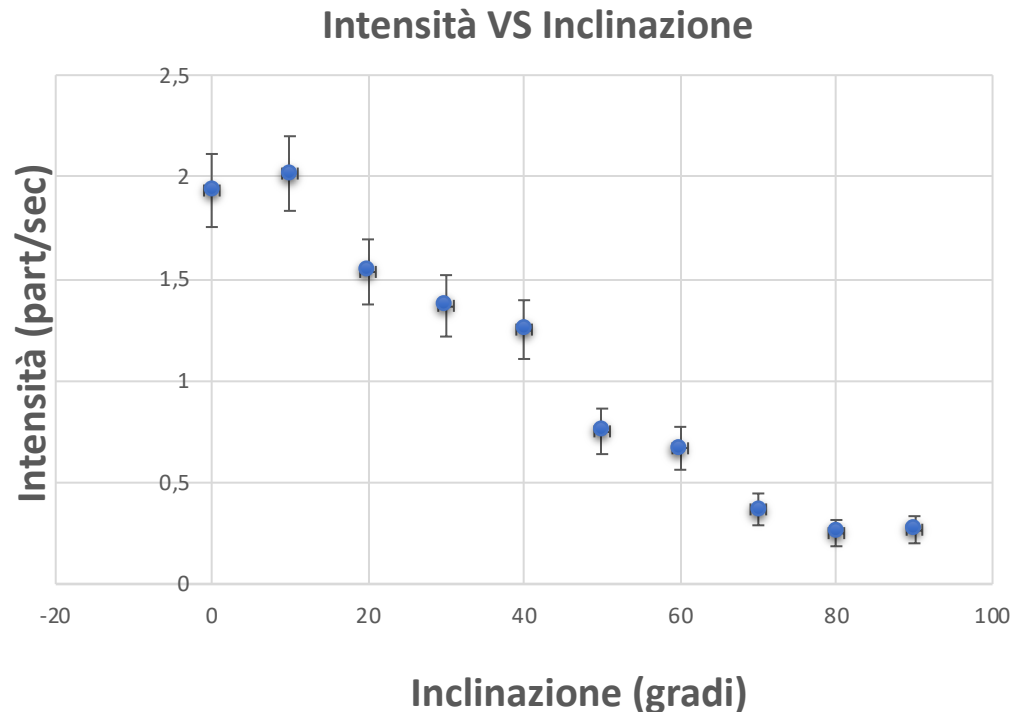
Angolo θ_{RAD}	$\cos(\theta_{RAD})$	$\cos^2(\theta_{RAD})$
0	1	1
0,174532925	0,984807753	0,96984631
0,34906585	0,939692621	0,883022222
0,523598776	0,866025404	0,75
0,698131701	0,766044443	0,586824089
0,872664626	0,64278761	0,413175911
1,047197551	0,5	0,25
1,221730476	0,342020143	0,116977778
1,396263402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

International Cosmic Day

Perugia – 6 Novembre 2019

ICD International

Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY, Amburgo) & Netzwerk Teilchenwelt
Fermi National Accelerator Laboratory (FNAL, Chicago) & QuarkNet
International Particle Physics Outreach Group

ICD a Perugia

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

nicola.tomassetti@unipg.it

matteo.duranti@pg.infn.it

