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

INFN PERUGIA

A.D. 1308 unipg
DIPARTIMENTO DI FISICA E GEOLOGIA

ICD2023: La mappa mondiale

https://icd.desy.de/e25775

#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.ssa Francesco Tondini

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

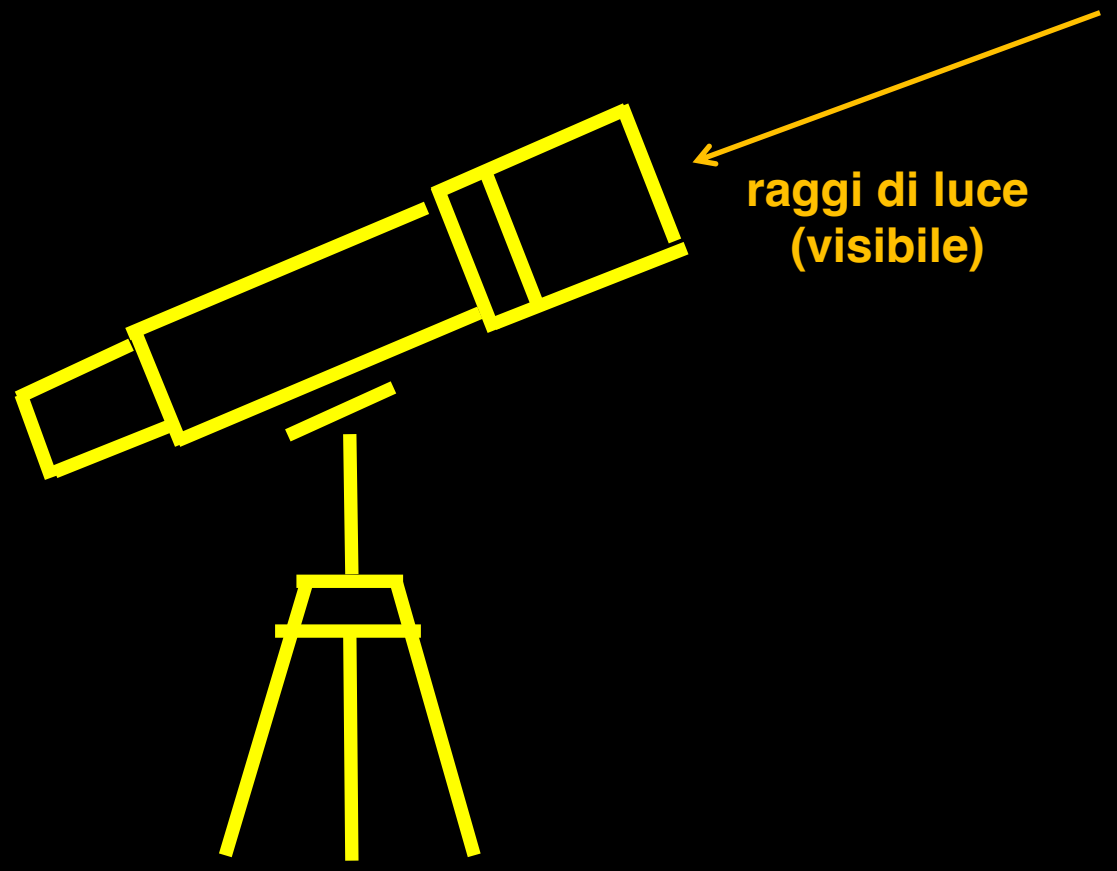
- Strumenti per assemblare Mazinga: cacciaviti, chiavi inglesi, chiavi a brugola
- Strumenti per elaborare i dati: quaderno e penna, calcolatrice, Excel etc.

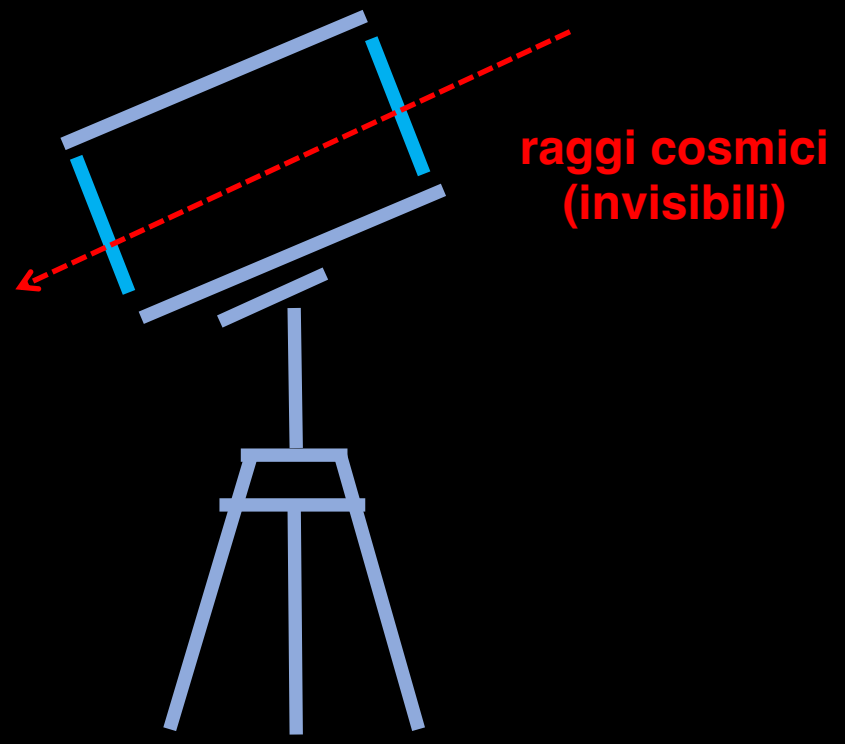
Post-ICD: il booklet e le relazioni

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

Astronomia con i raggi cosmici

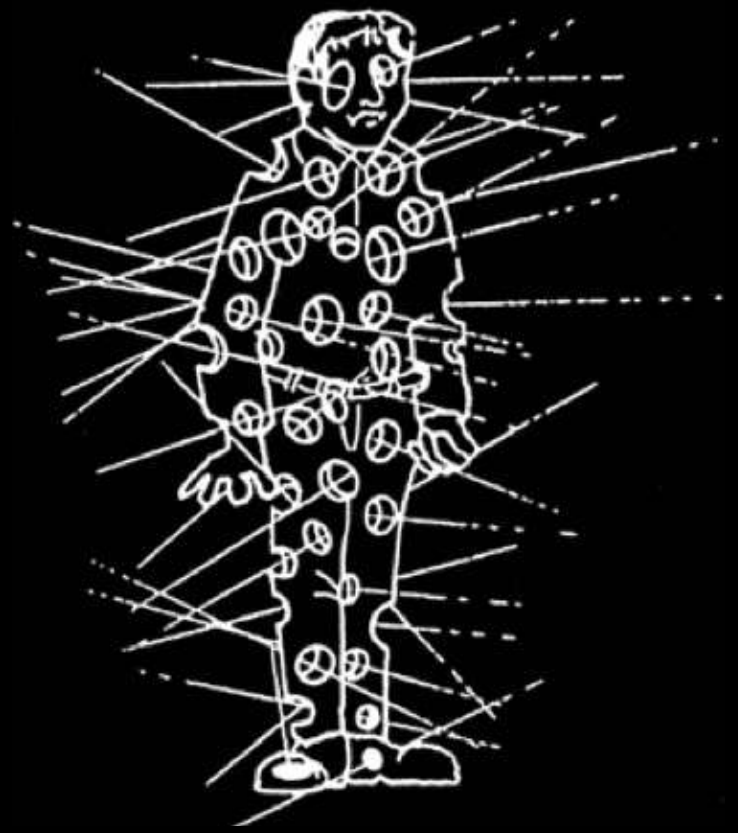




È quello che faremo oggi

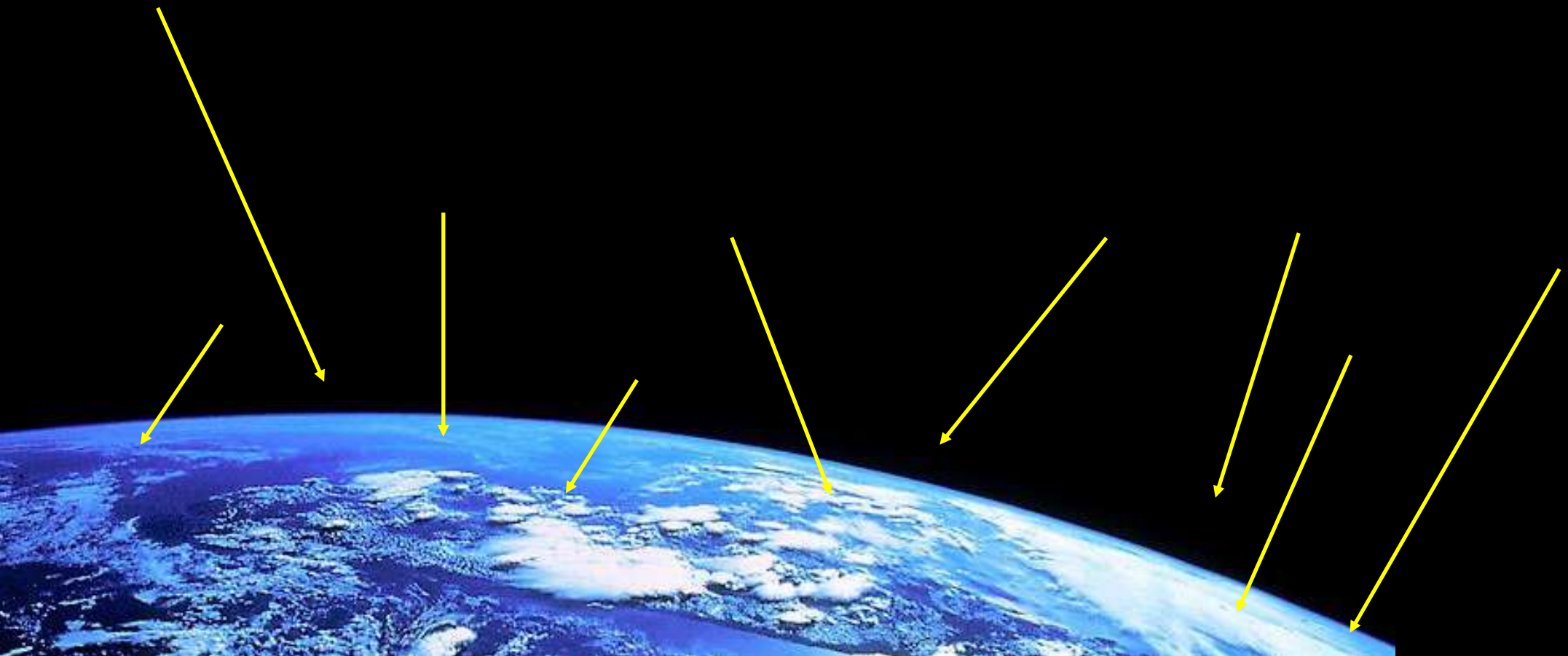
Da quando siamo entrati in questa sala il nostro corpo è già stato attraversato da migliaia di Raggi Cosmici

Benvenuti

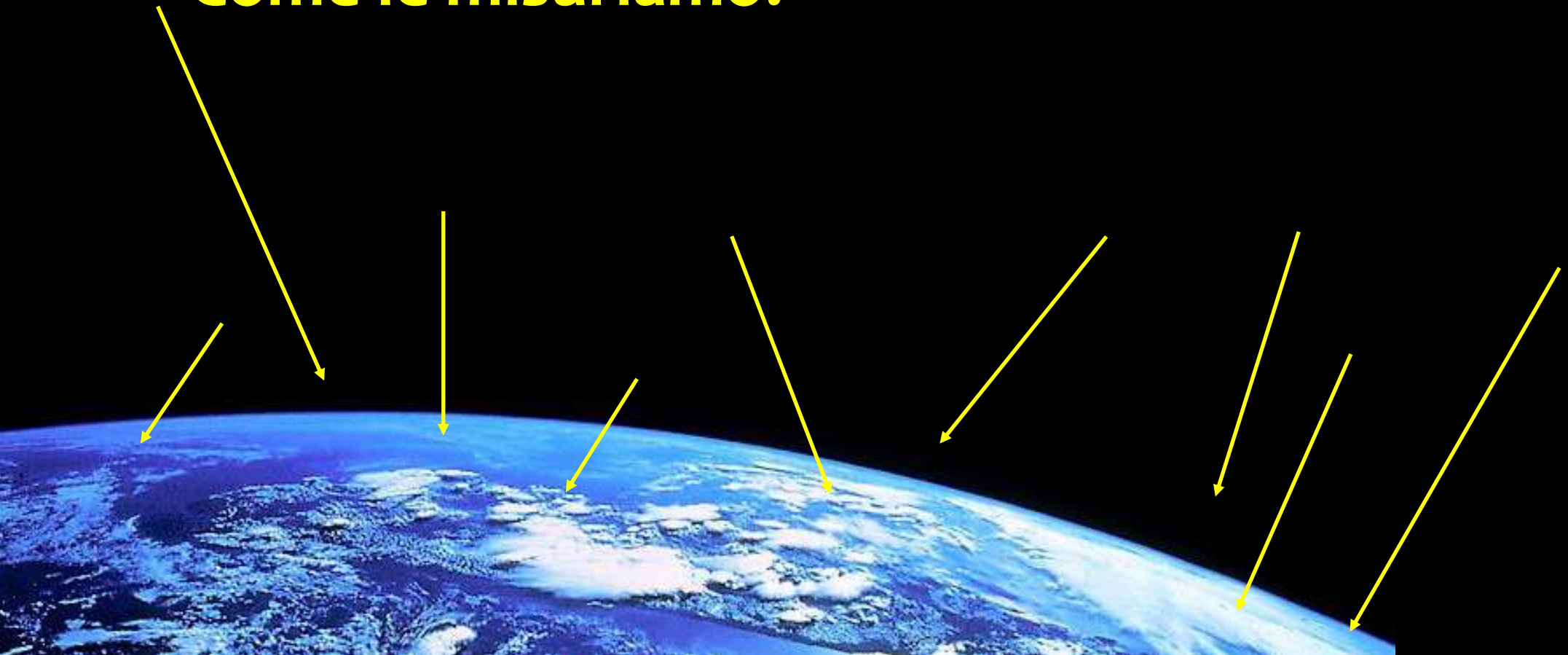


Ma cosa sono i Raggi Cosmici?

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?

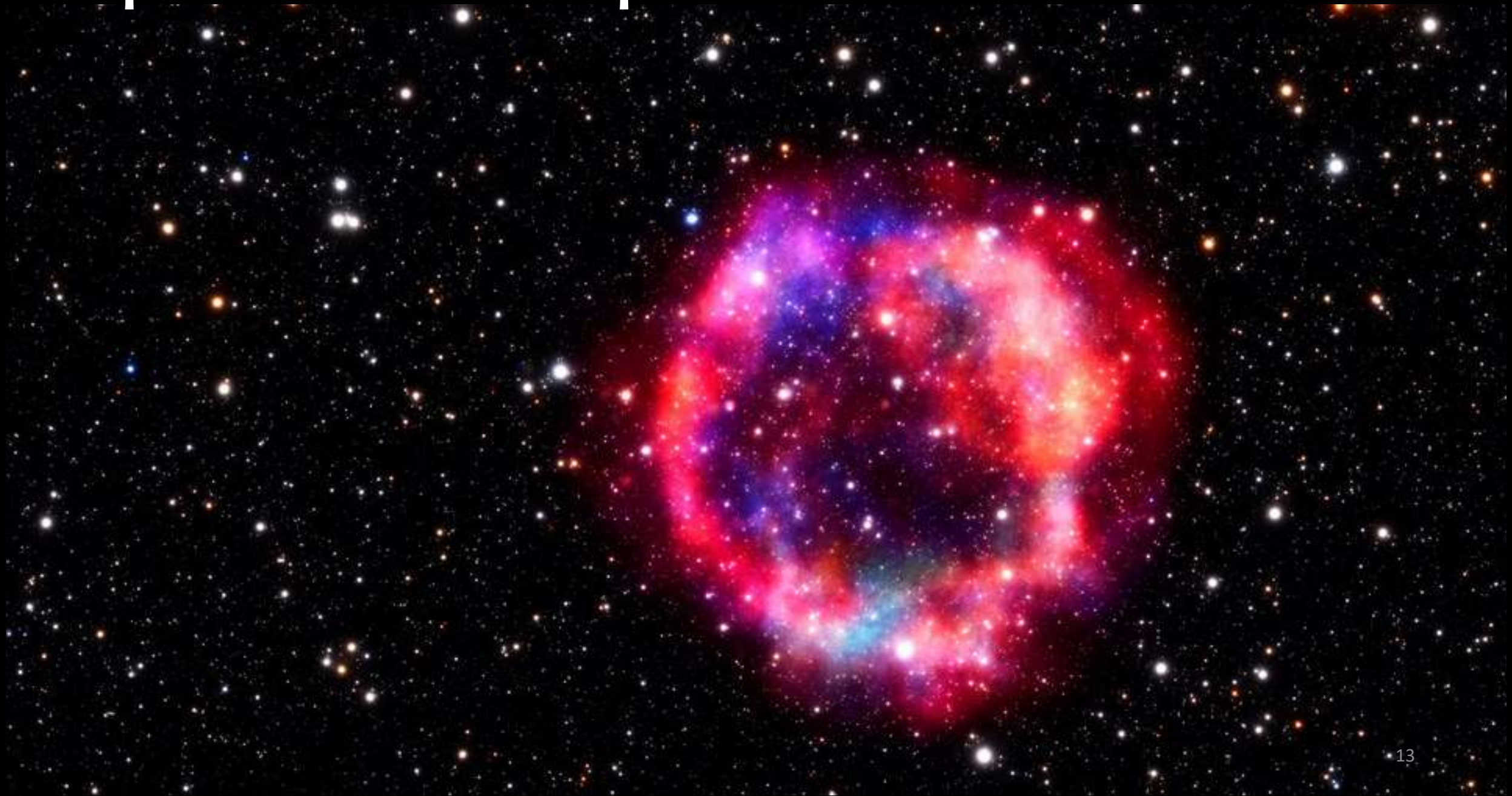
- ✓ E' da un secolo che cerchiamo di rispondere a queste e altre domande
- ✓ Ci hanno portato molto lontano nella conoscenza dell'Universo
- ✓ Universo, il laboratorio in cui osserviamo le leggi della Natura all'opera

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?

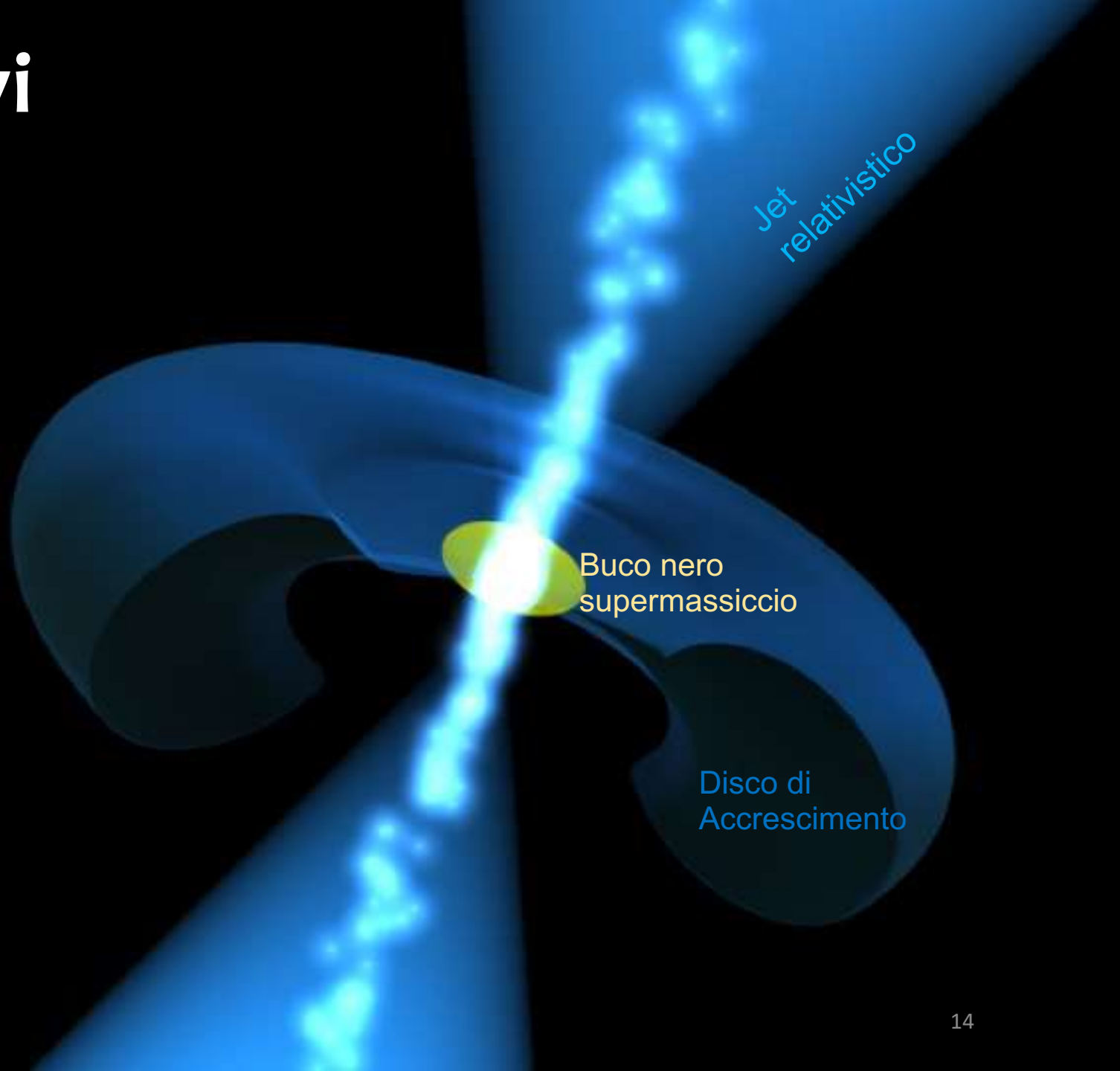
[spoiler]

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

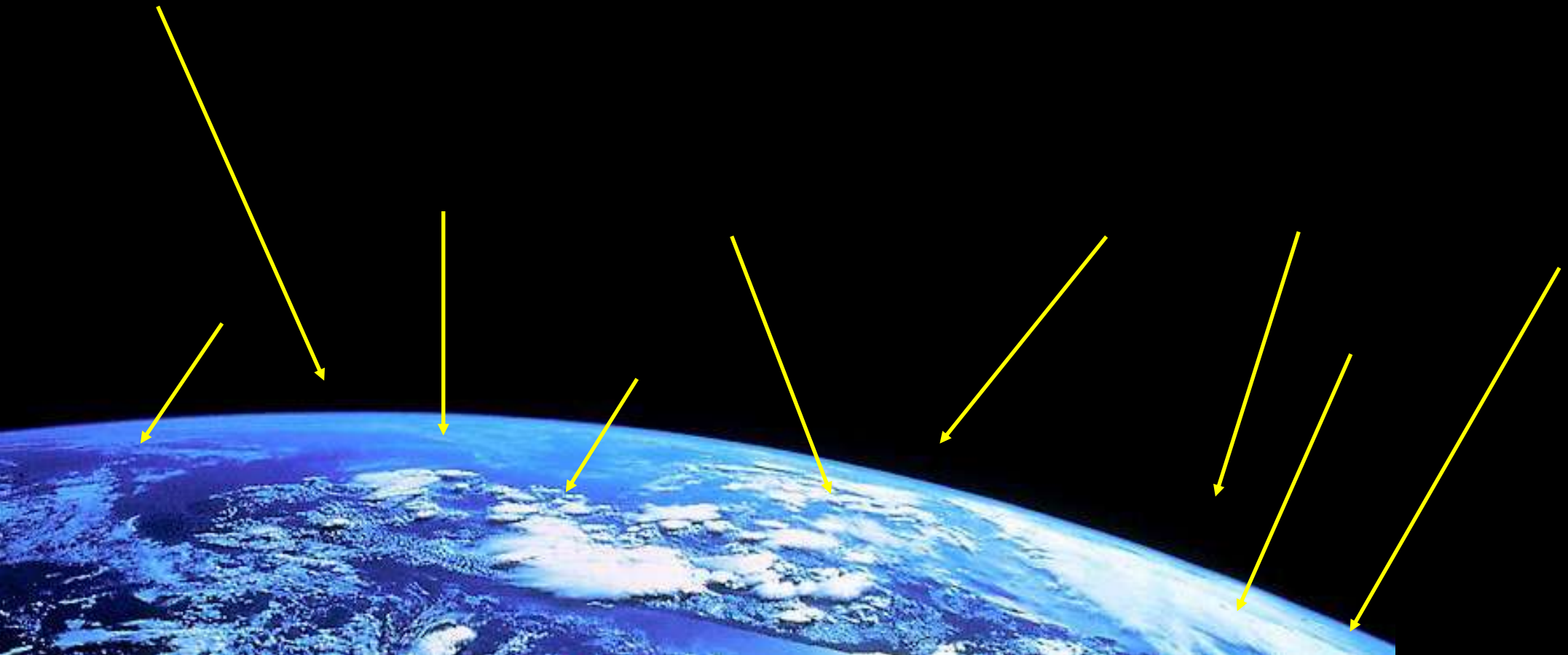
La loro energia cinetica

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

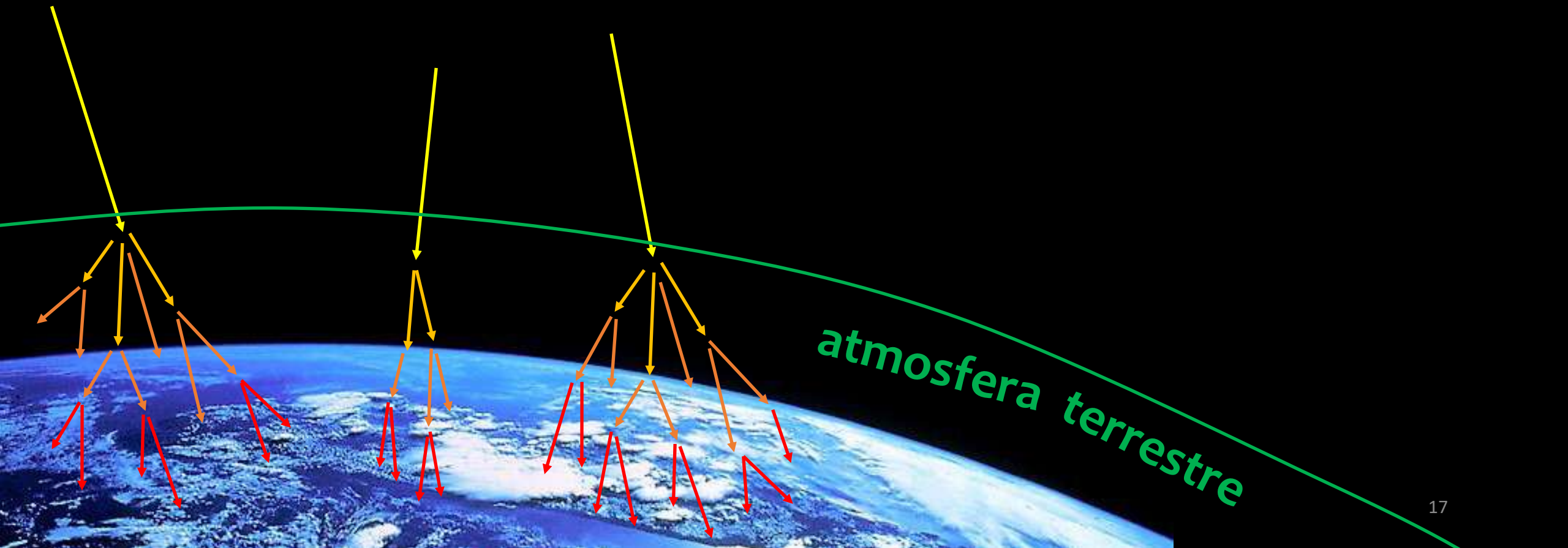


Sciami di particelle

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

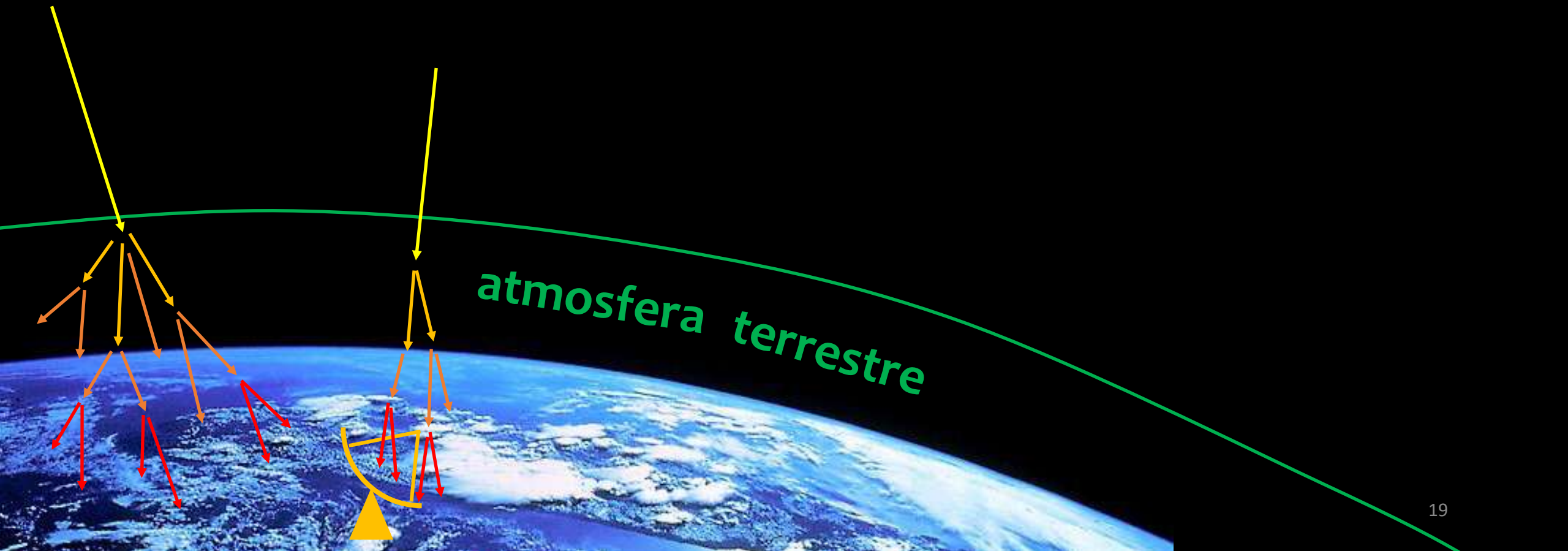
Li intercettiamo prima che arrivino al contatto con l'atmosfera.

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

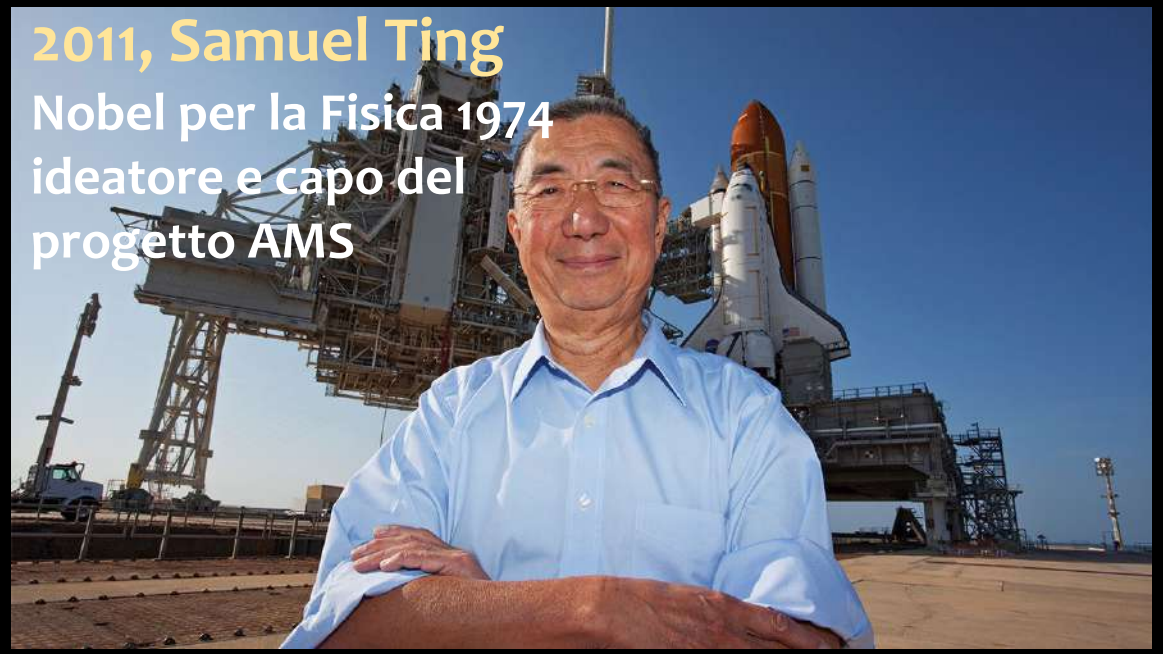


Misura diretta: esperimenti nello spazio

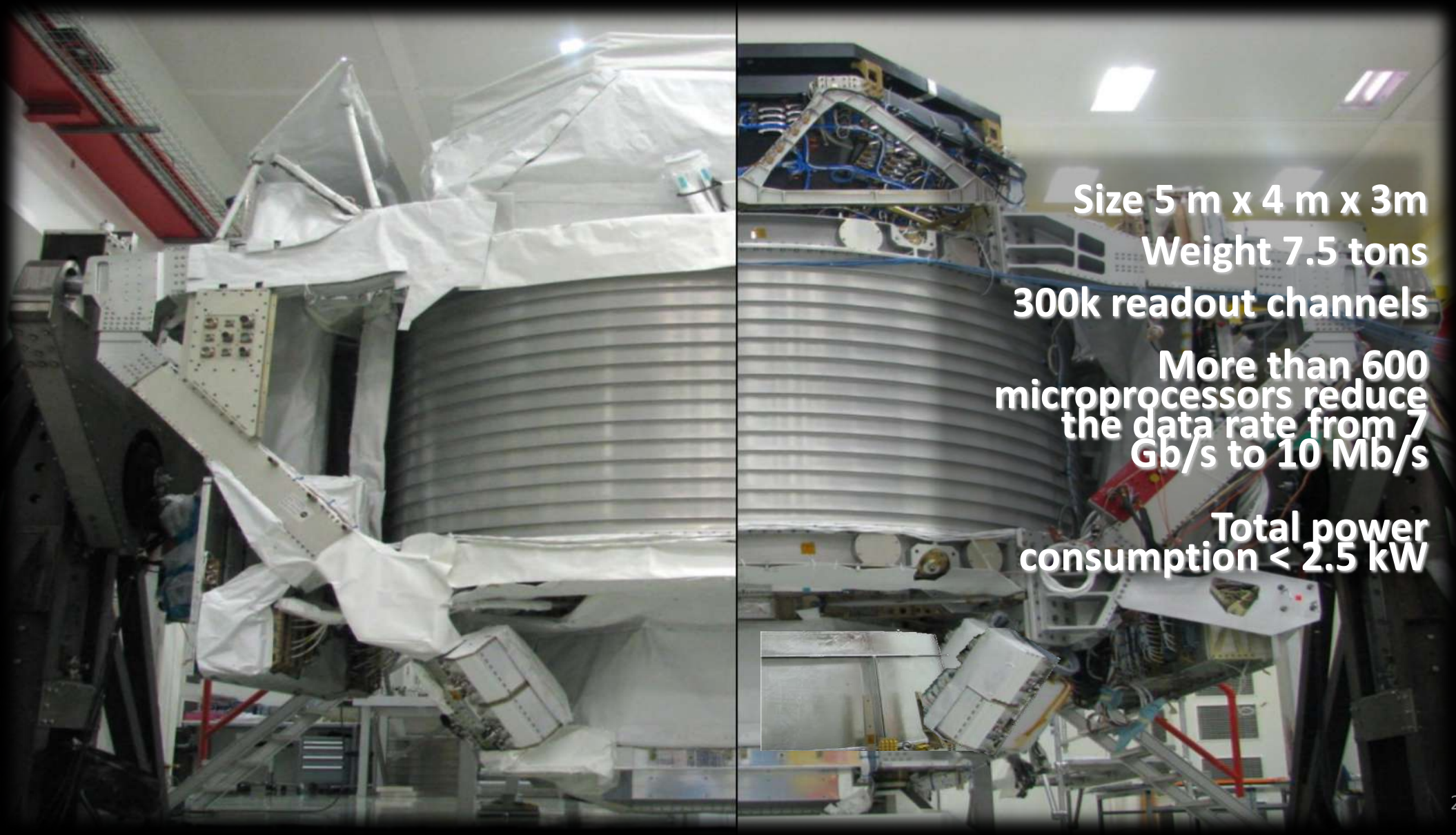
Dagli anni ’90 studiamo in dettaglio composizione ed energia d Raggi Cosmici primari
Esperimenti nello spazio: su satellite, nella ISS, nello Space Shuttle o su sonde spaziali

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 Internazione.***



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

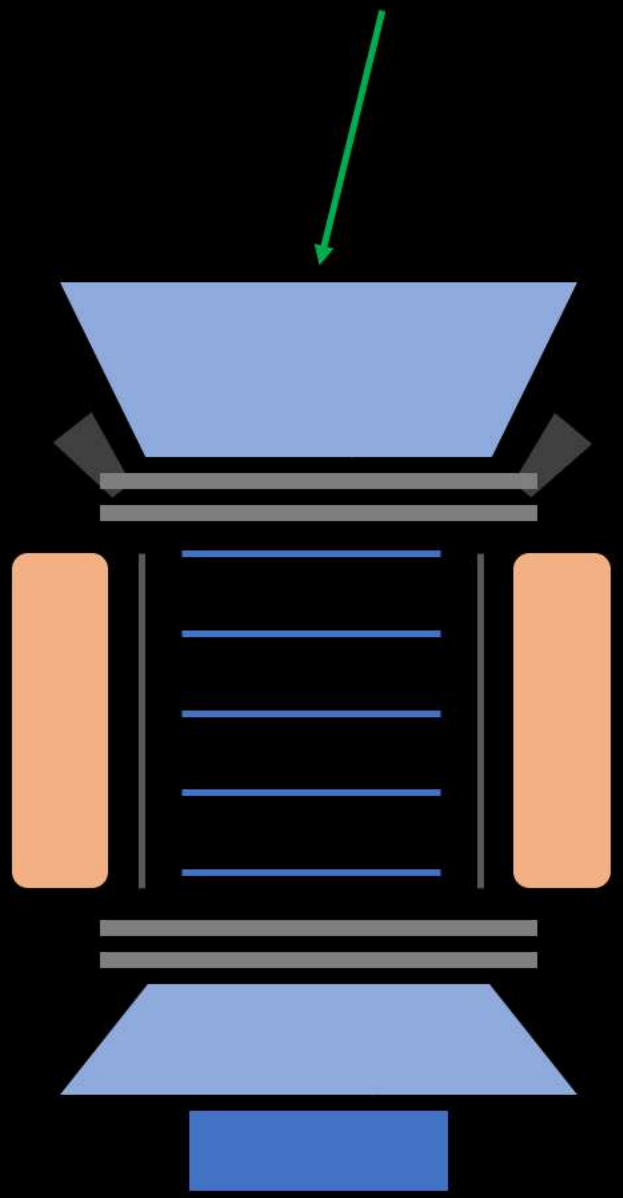
© Michele Famiglietti / AMS Collaboration

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



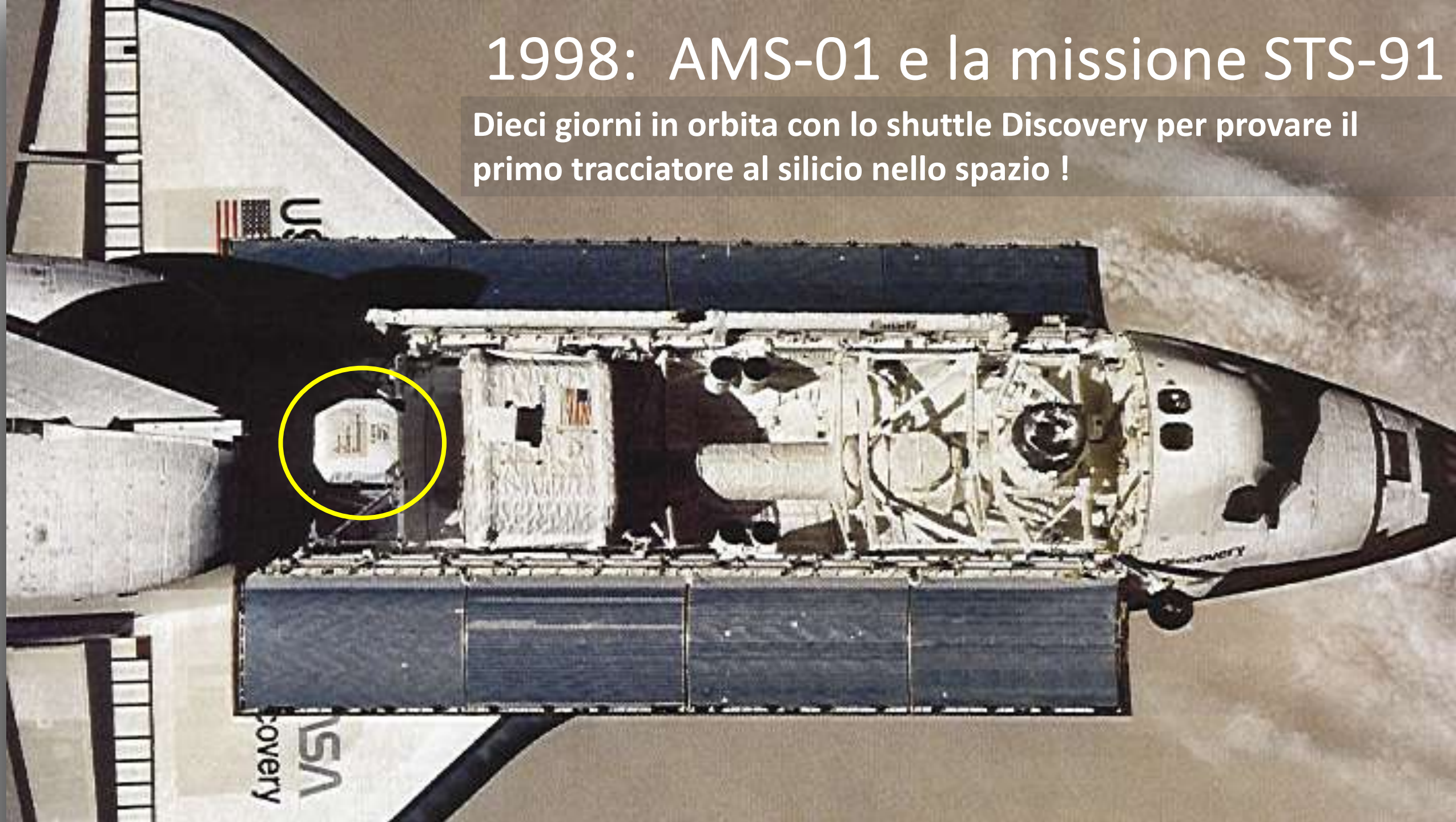
7/24 full time monitored at POCC

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

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 !

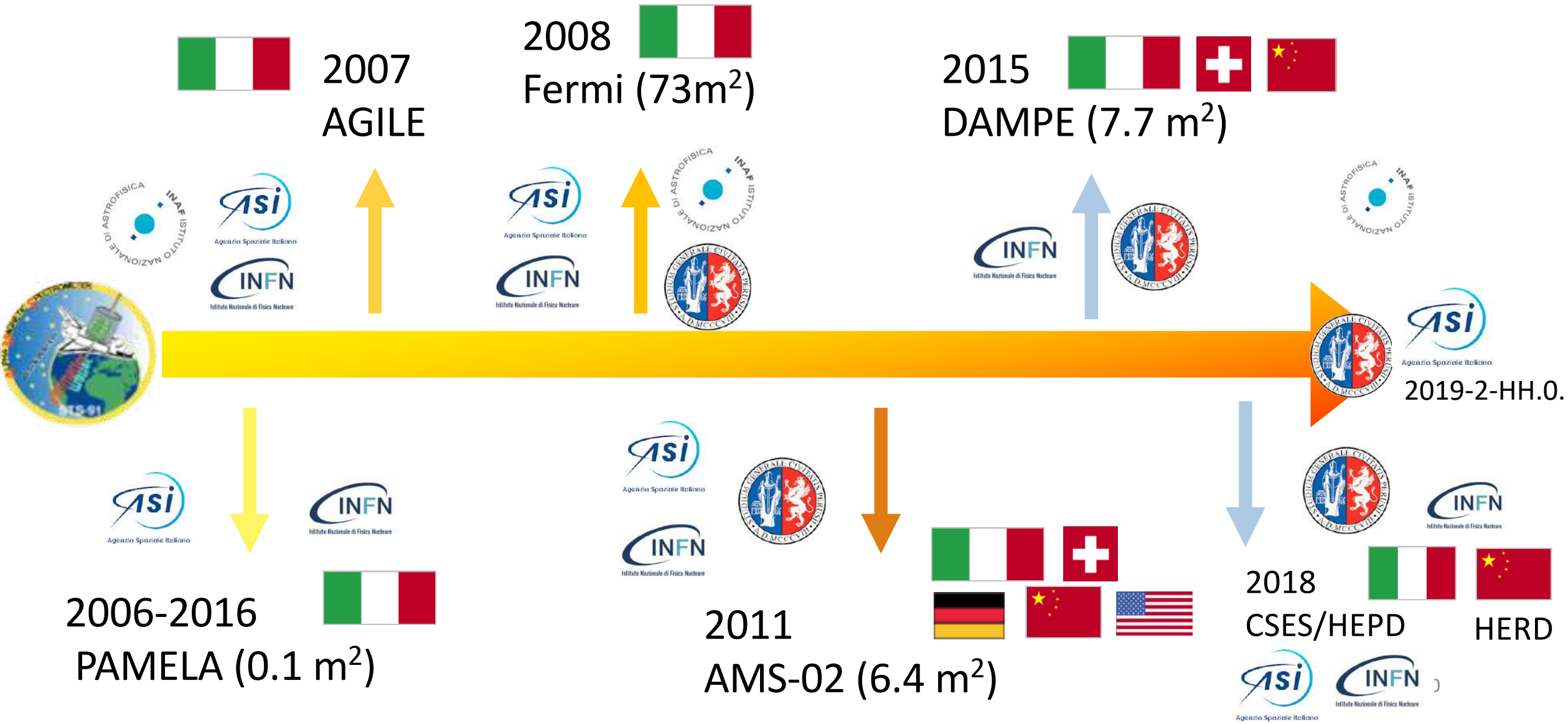


Particelle & spazio @ UniPG con l'INFN e l'ASI

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.

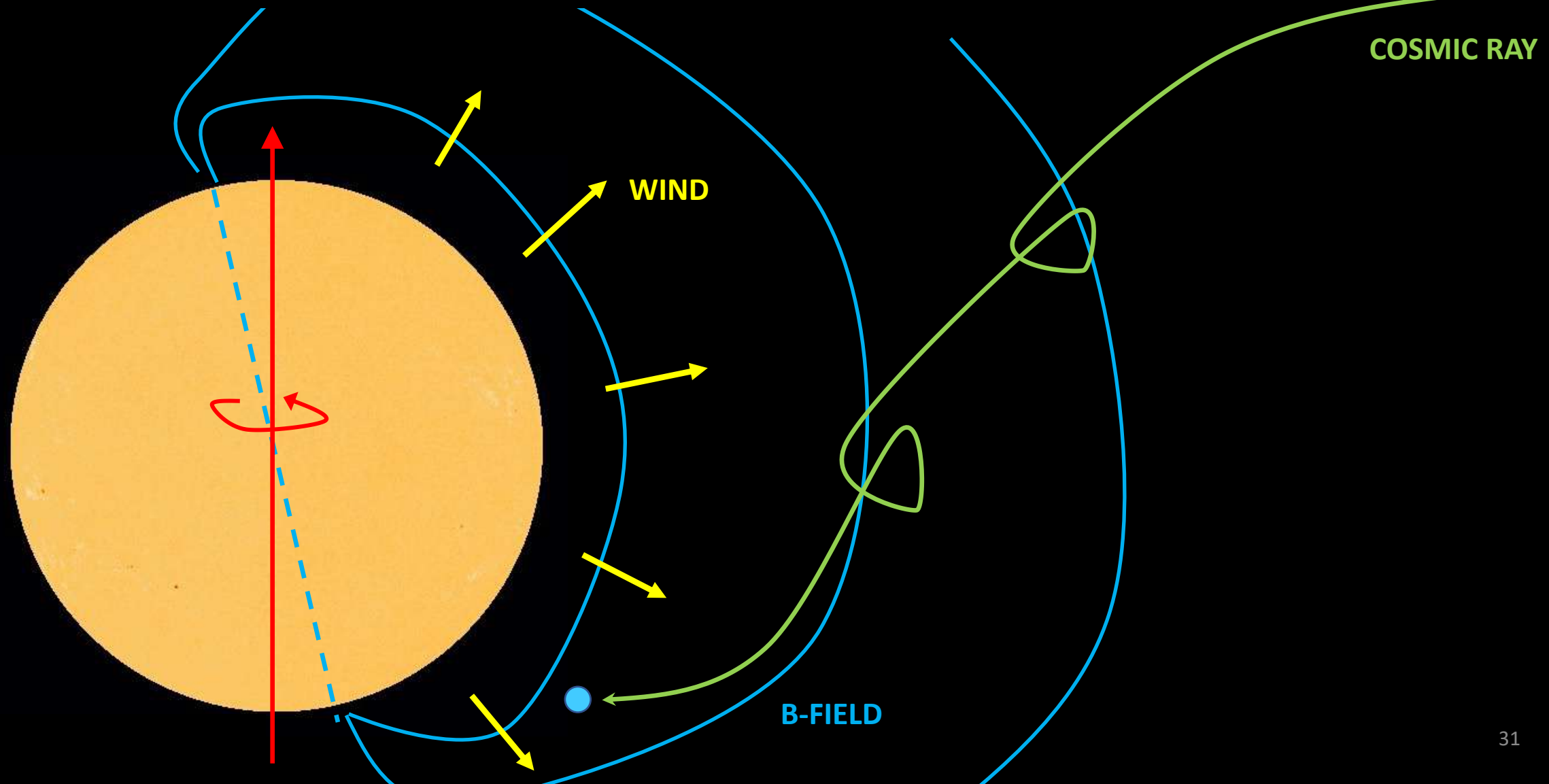
- Sinergia con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
- Costante rapporto con ASI nei diversi progetti sviluppati negli anni

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

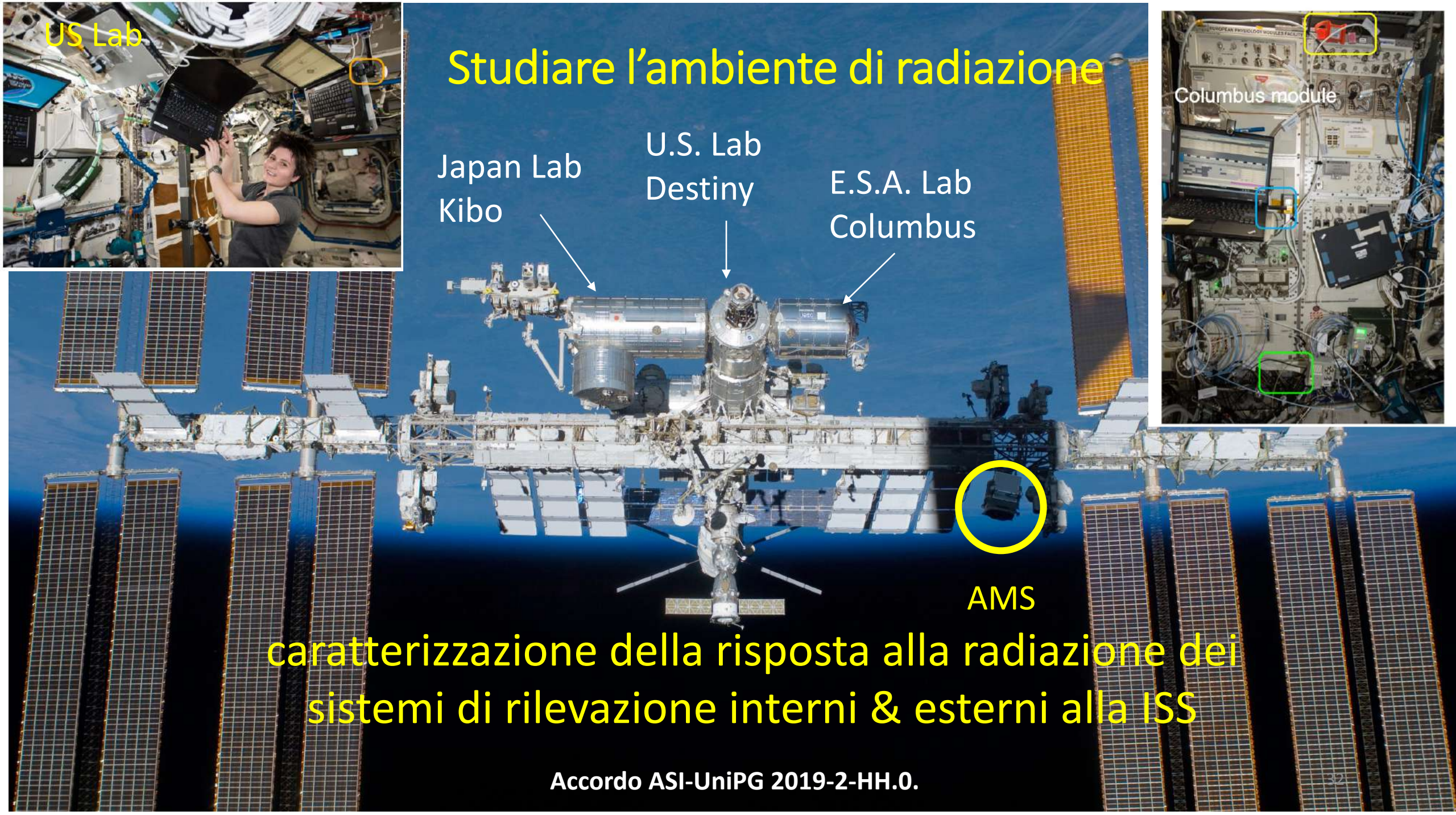


I raggi cosmici e il ciclo di attività solare

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



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

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

iPG & ASI per studiare l'ambiente di radiazione

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

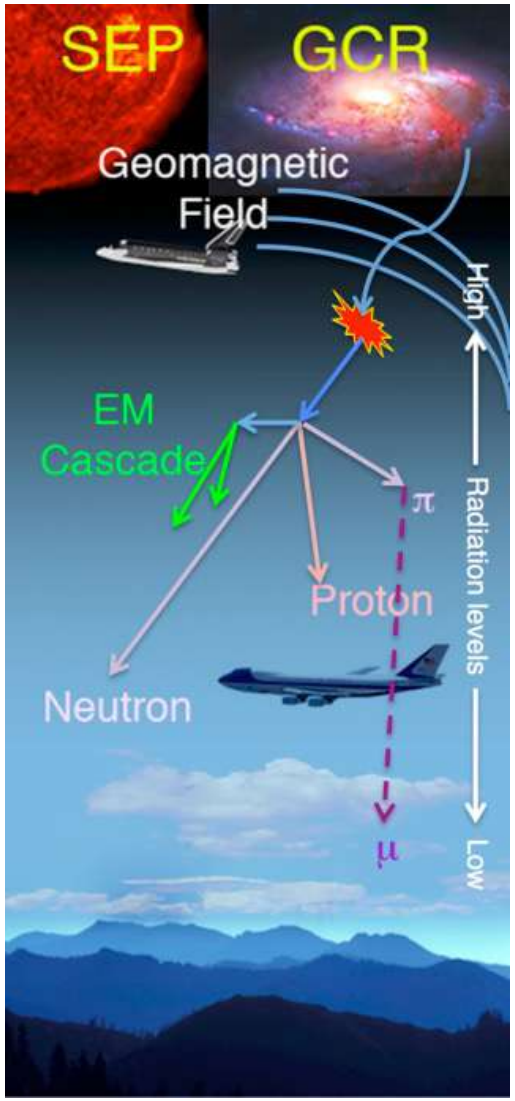
duazione ed analisi multicanale dei dati necessary per caratterizzare il trasporto in eliosfera
ies dell'attività solare, ma anche I dati disponibili per la validazione di modelli)

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

ppo di modelli efficaci per predirre il flusso della radiazione galattica

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

Applicazioni?

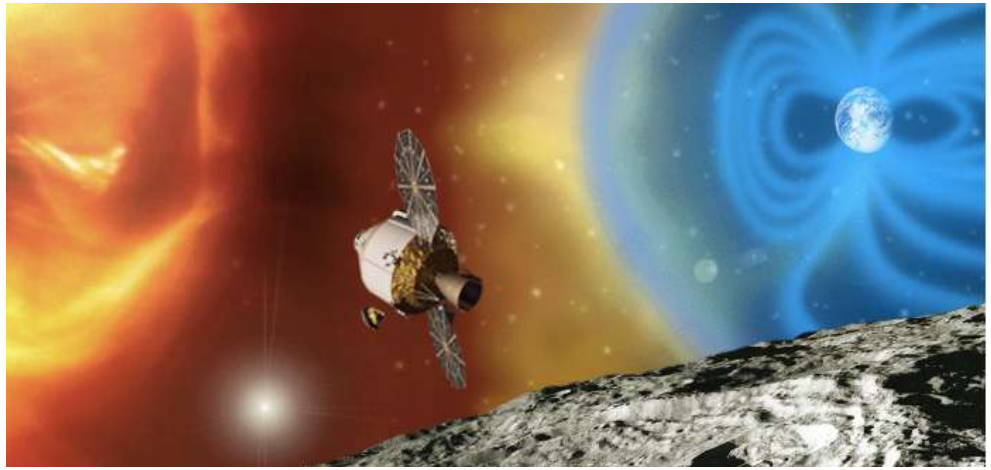


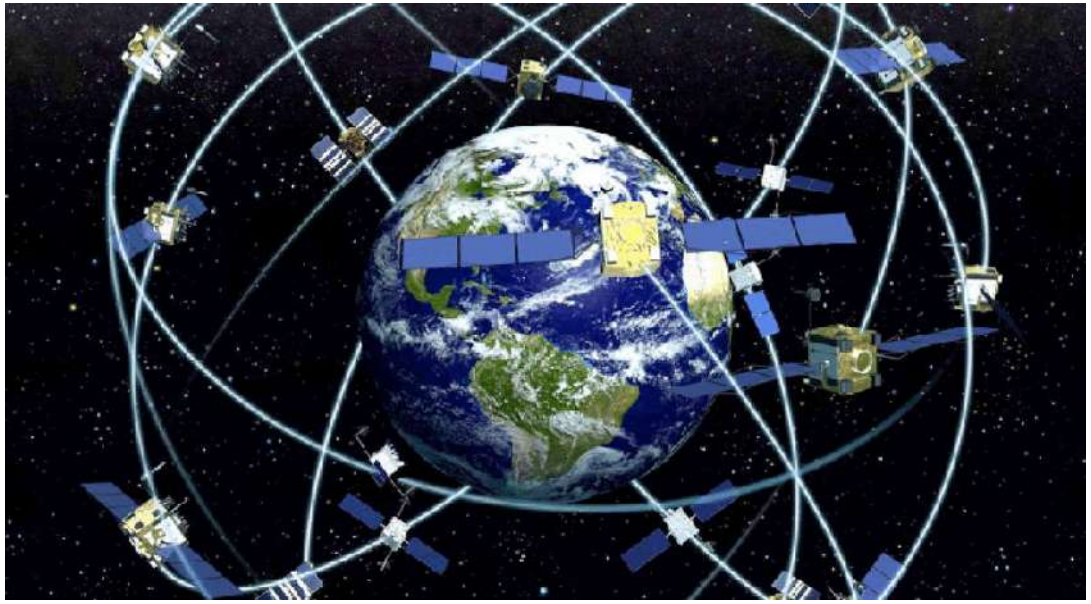
CORRIERE DELLA SERA

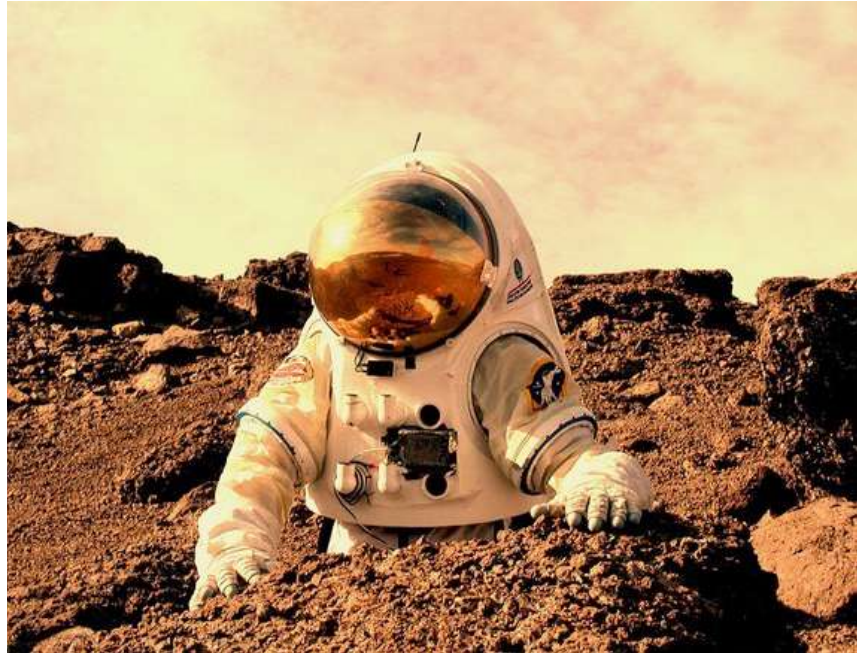
Nasce il bollettino meteo spaziale: «Serve anche per proteggere la salute»

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)



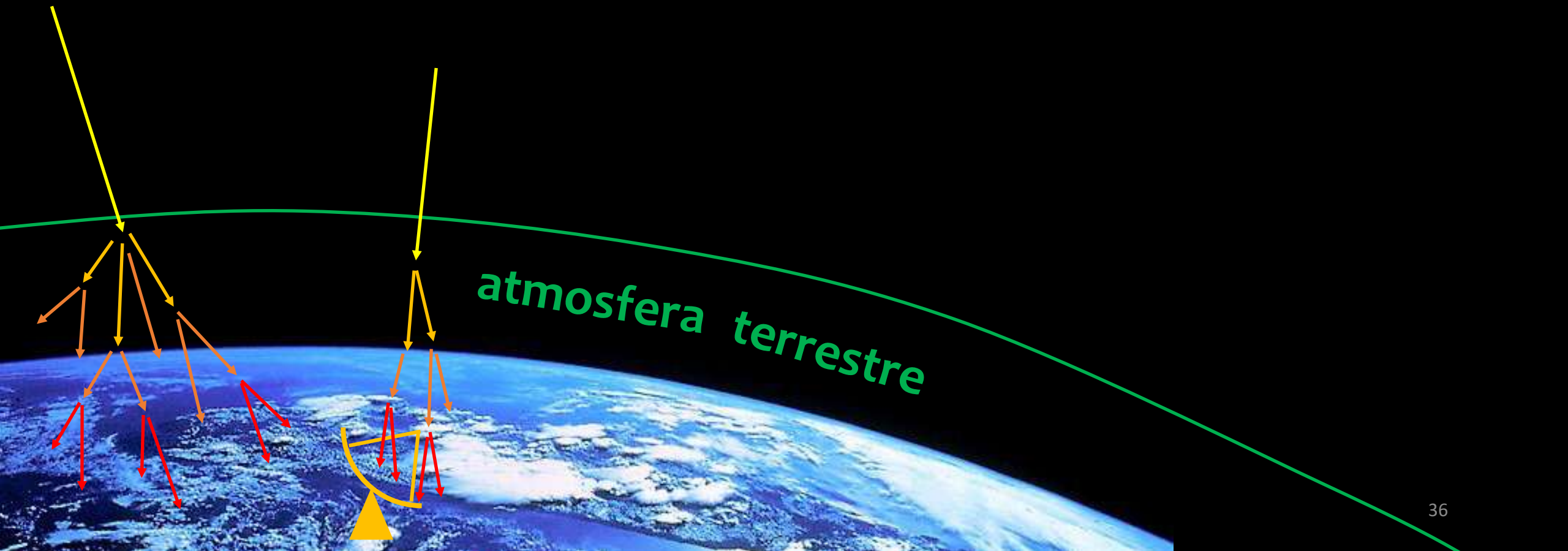




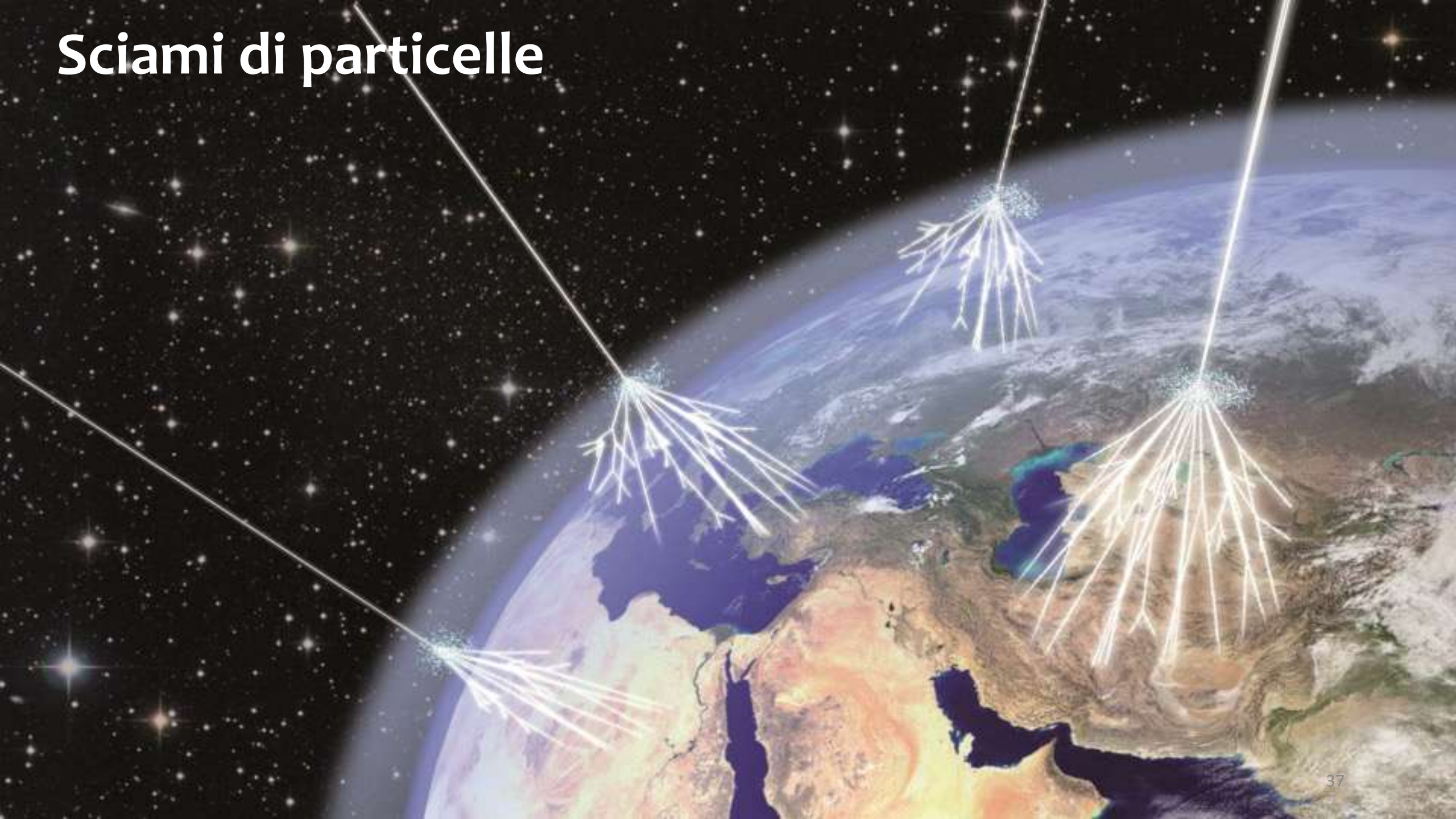
Accordo ASI-UniPG 2019-2-HH.0.

2. Indirettamente, a terra

Misuriamo gli sciami atmosferici di particelle secondarie.
Cerchiamo di capire l'identità, l'energia, e la direzione del RC primario

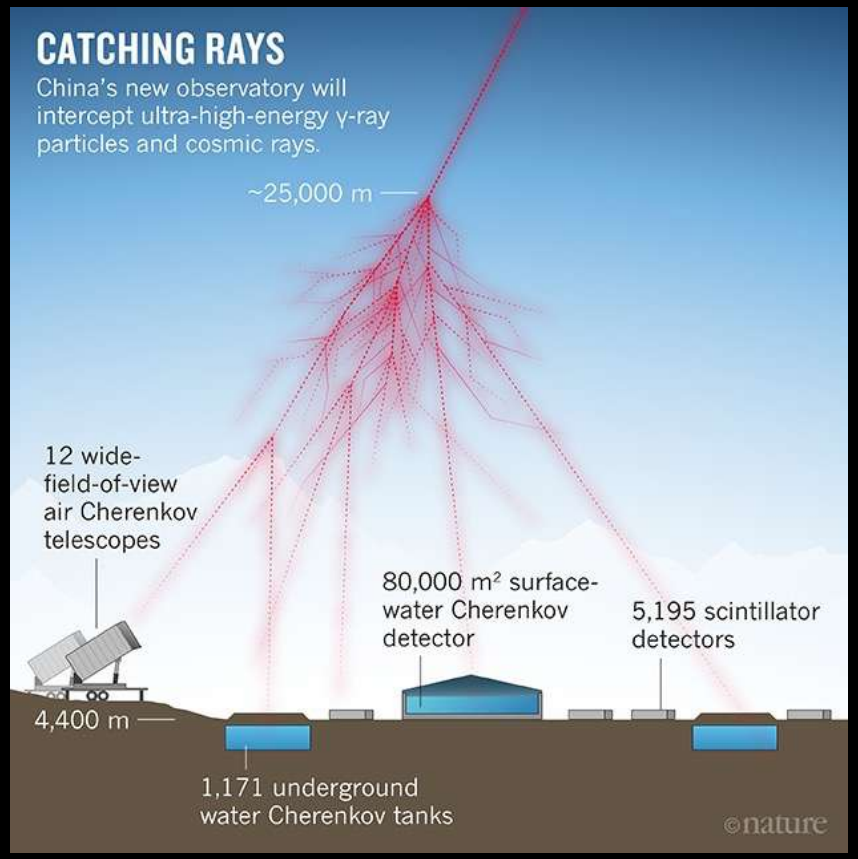


Sciami di particelle



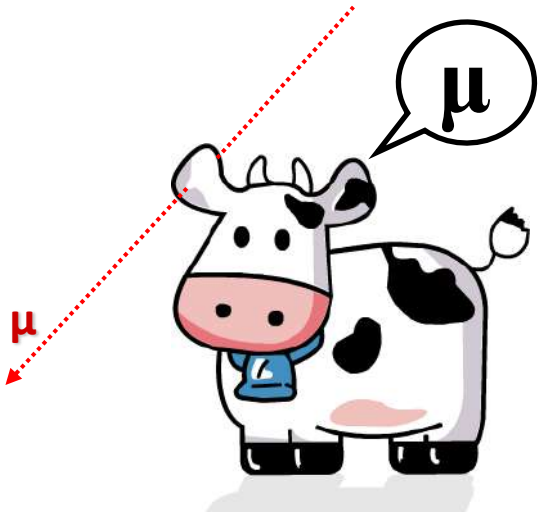
Misura indiretta di raggi cosmici: l'osservatorio Auger

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



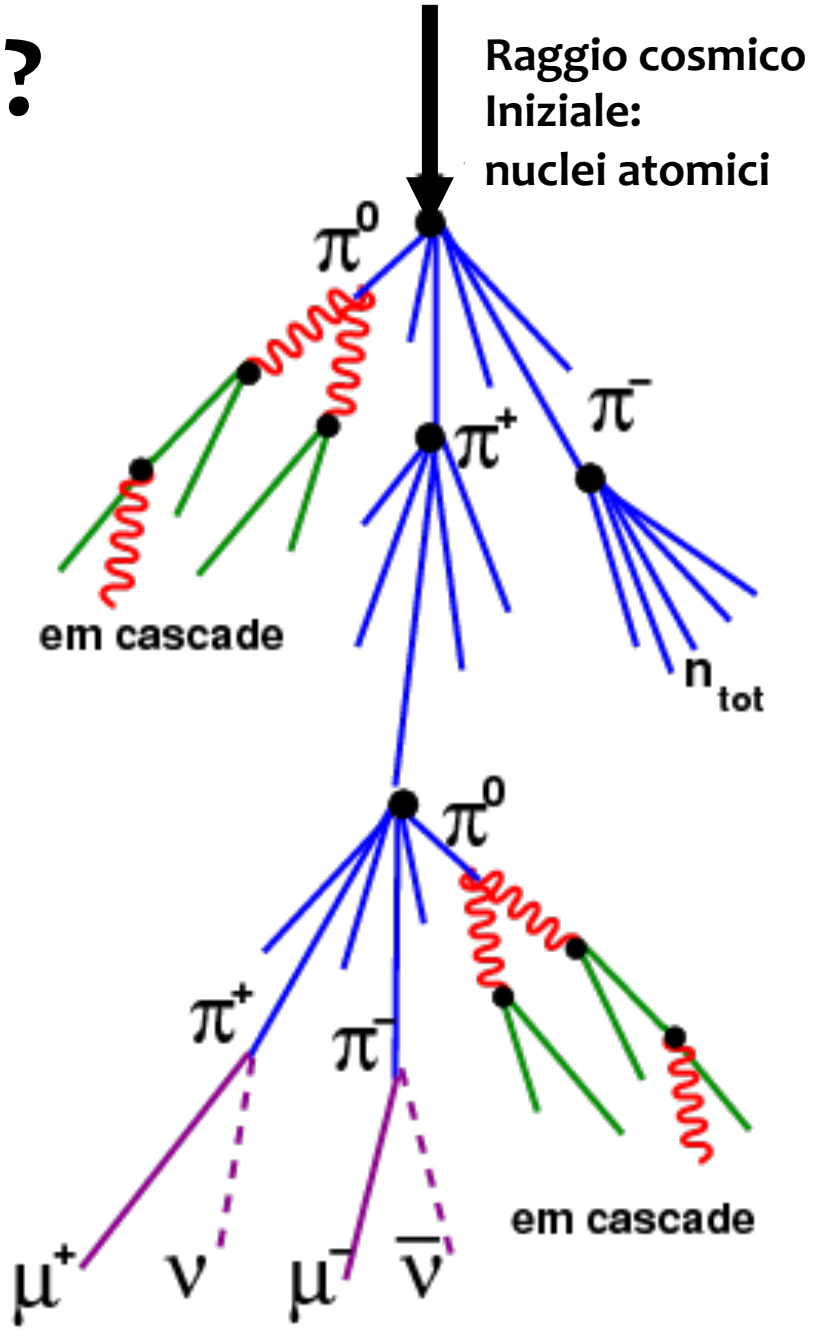
Quali particelle arrivano a Terra?

→ 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.

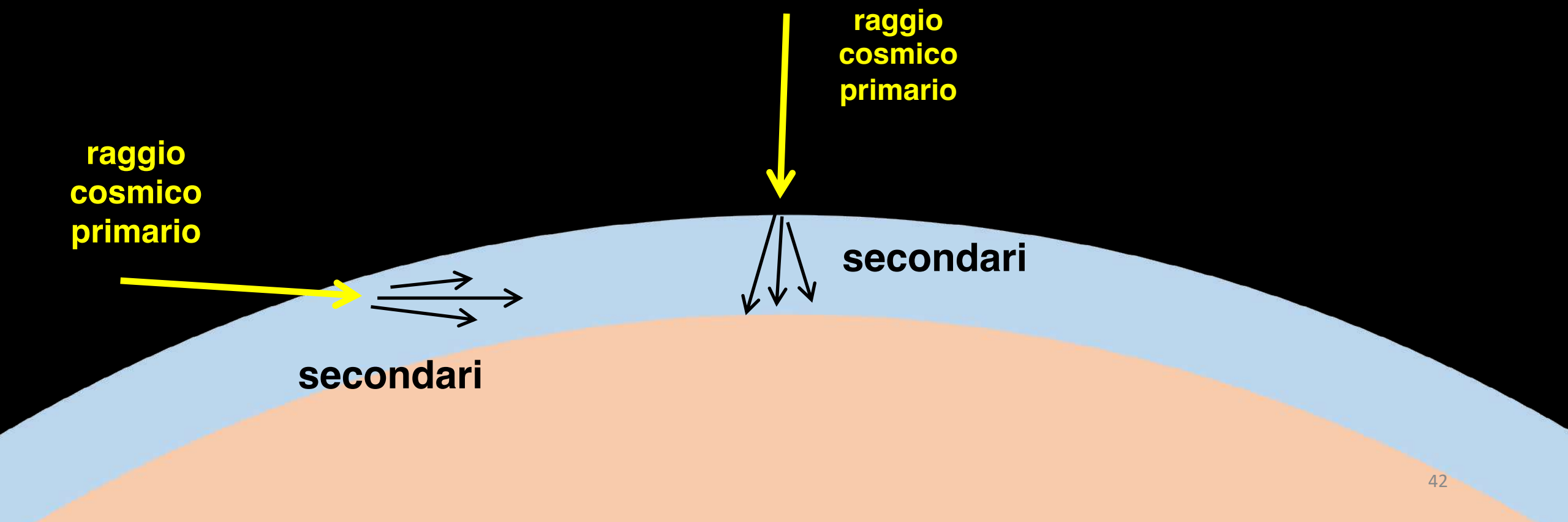


Raggi cosmici secondari a terra: soprattutto muoni

I RAGGI COSMICI A TERRA

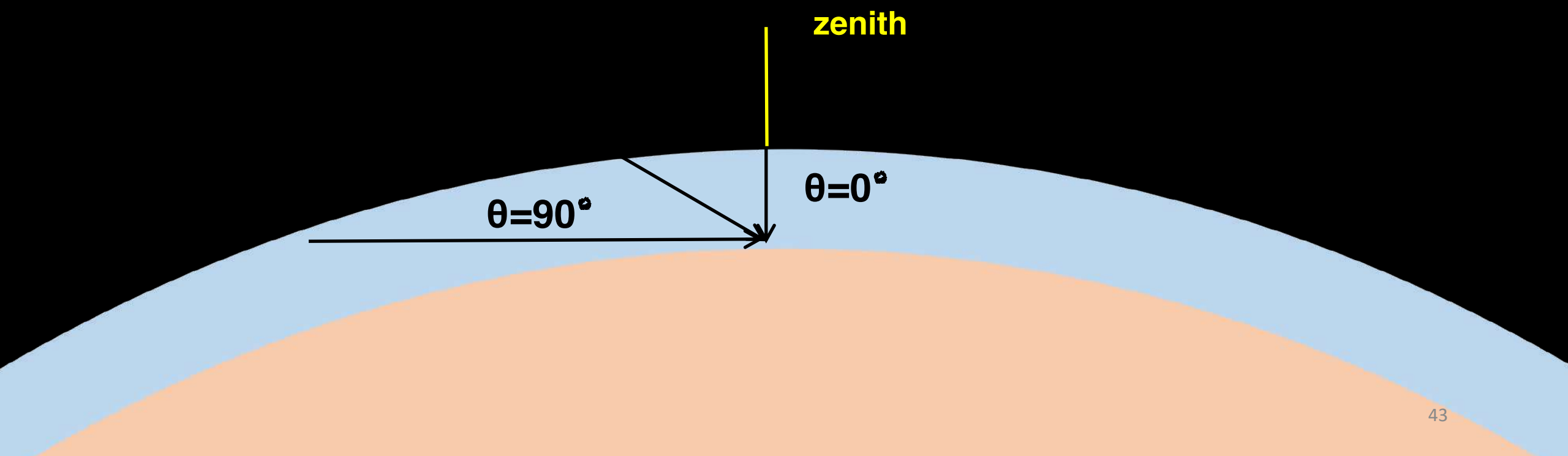
I raggi cosmici primari incidono l'atmosfera da ogni direzione

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



I RAGGI COSMICI A TERRA

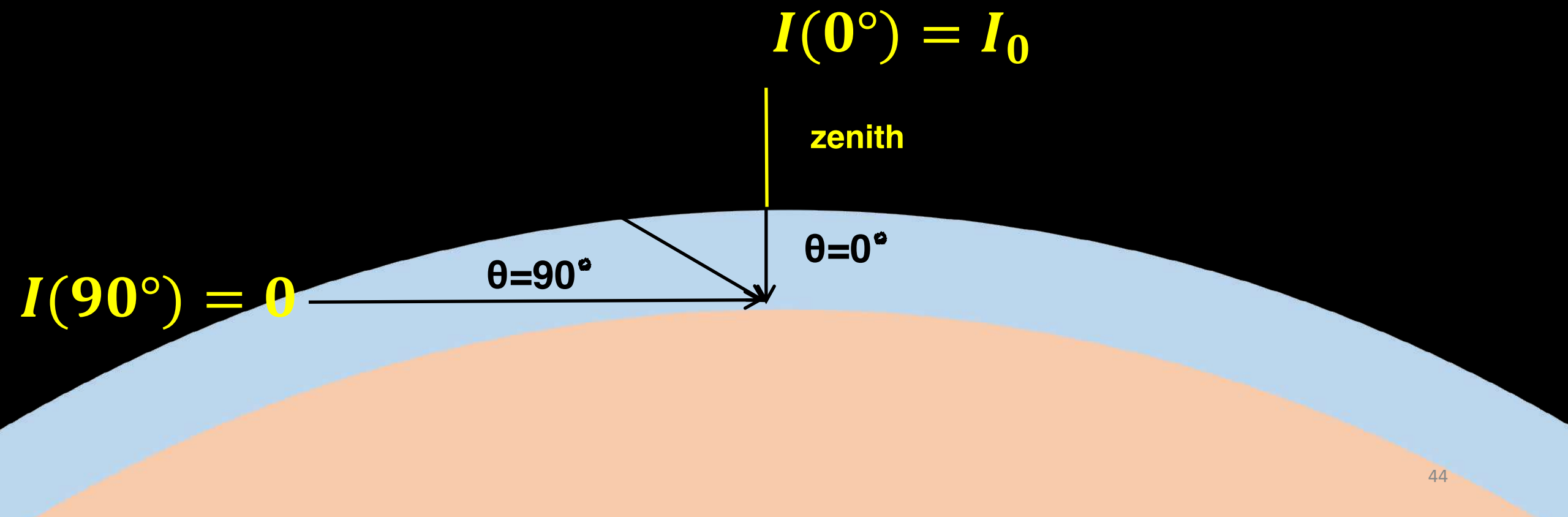
Ci aspettiamo una maggiore intensità di particelle verticali (θ=0°)
E poche particelle che arrivano lateralmente (θ=0°)



I RAGGI COSMICI A TERRA

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

$$\mathrm{I} = \mathrm{I}_0 \cos^2(\theta)$$

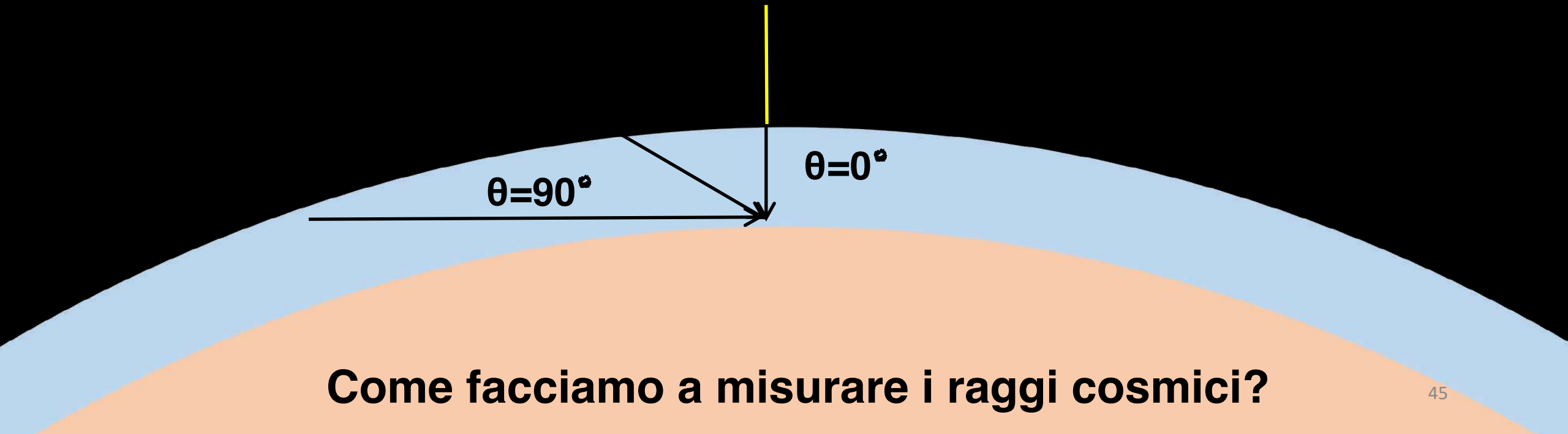


I RAGGI COSMICI A TERRA

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

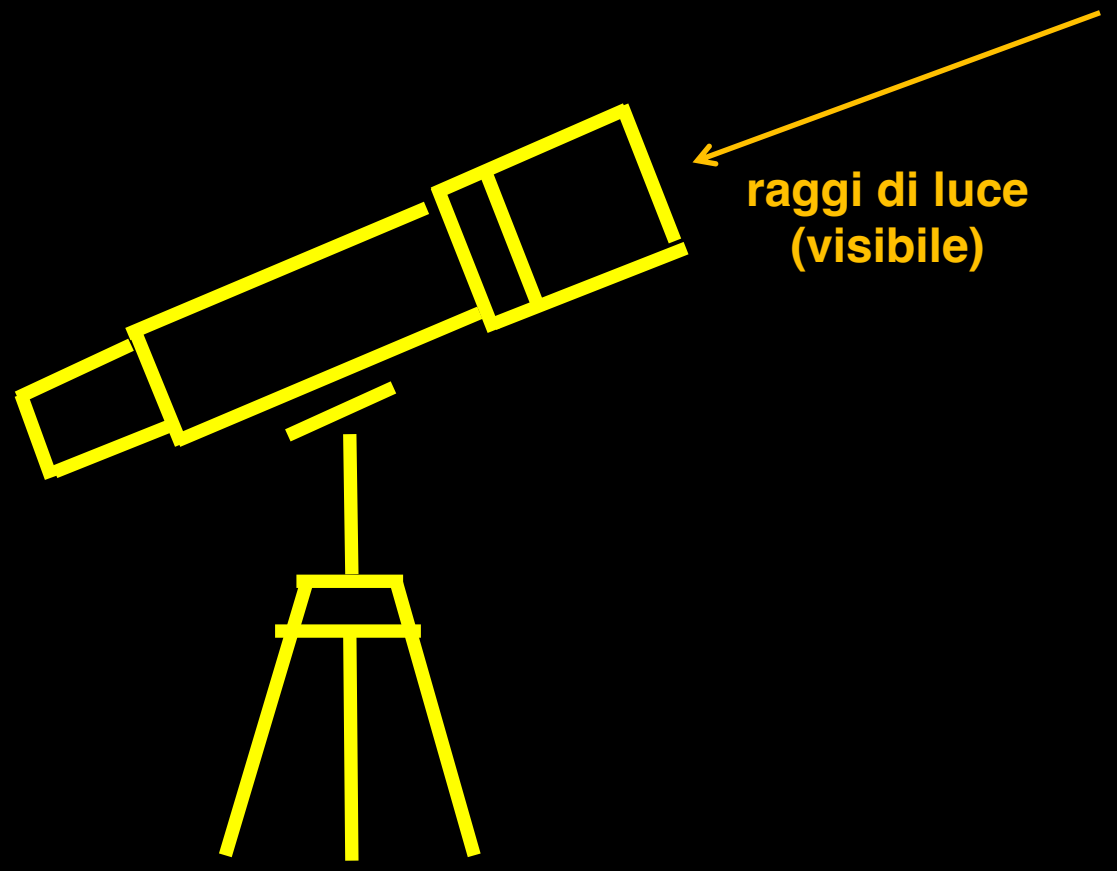
$$\mathbf{I = I_0 \cos^2(\theta)}$$

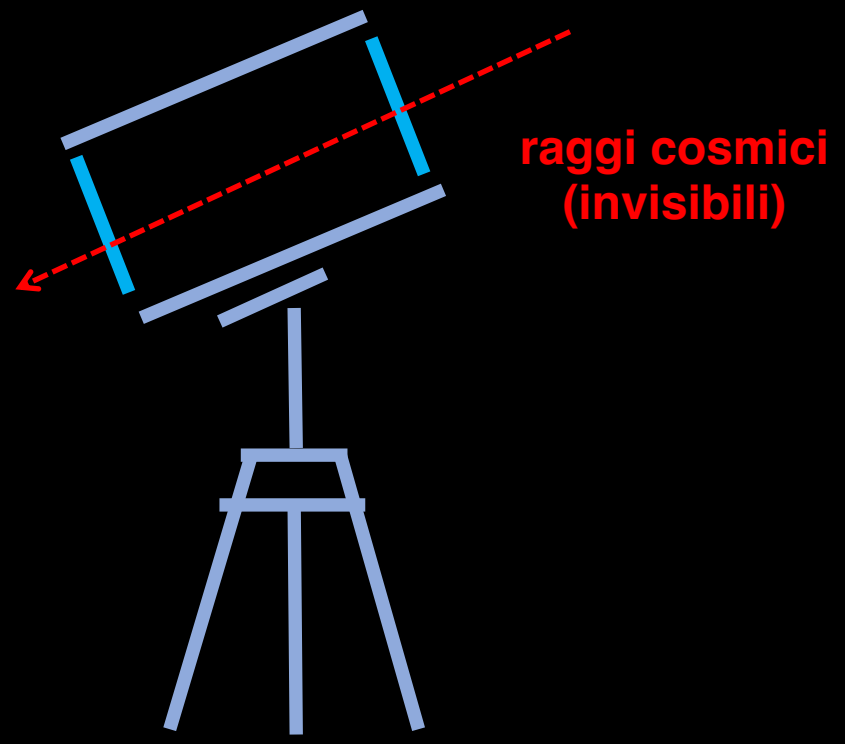
Vogliamo misurare l'intensità di raggi cosmici in funzione dell'angolo di provenienza, e verificare se questa legge è corretta



Come facciamo a misurare i raggi cosmici?

Ma come li misuriamo?

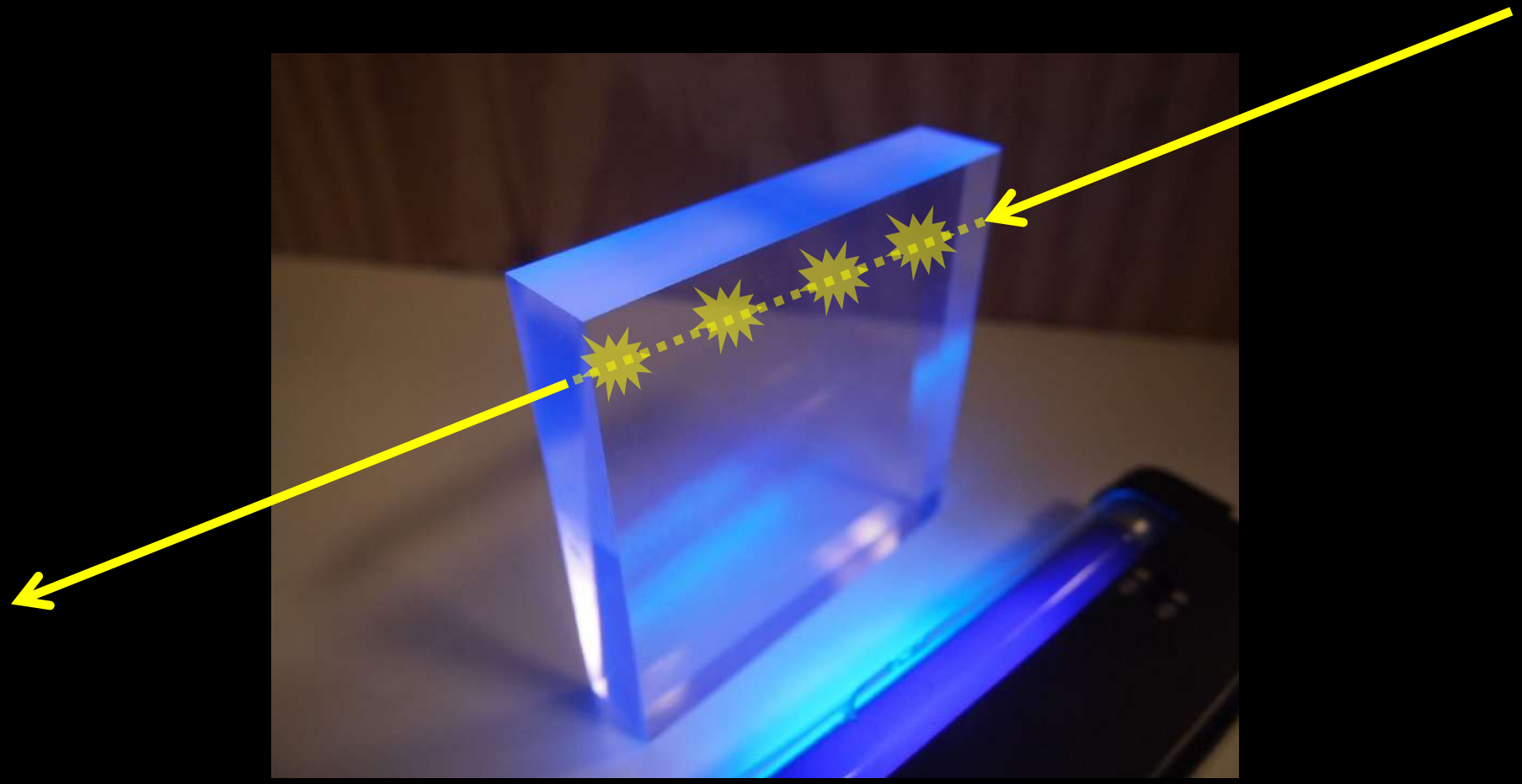




Ci vuole un telescopio che «vede» le particelle cariche (al posto nostro)

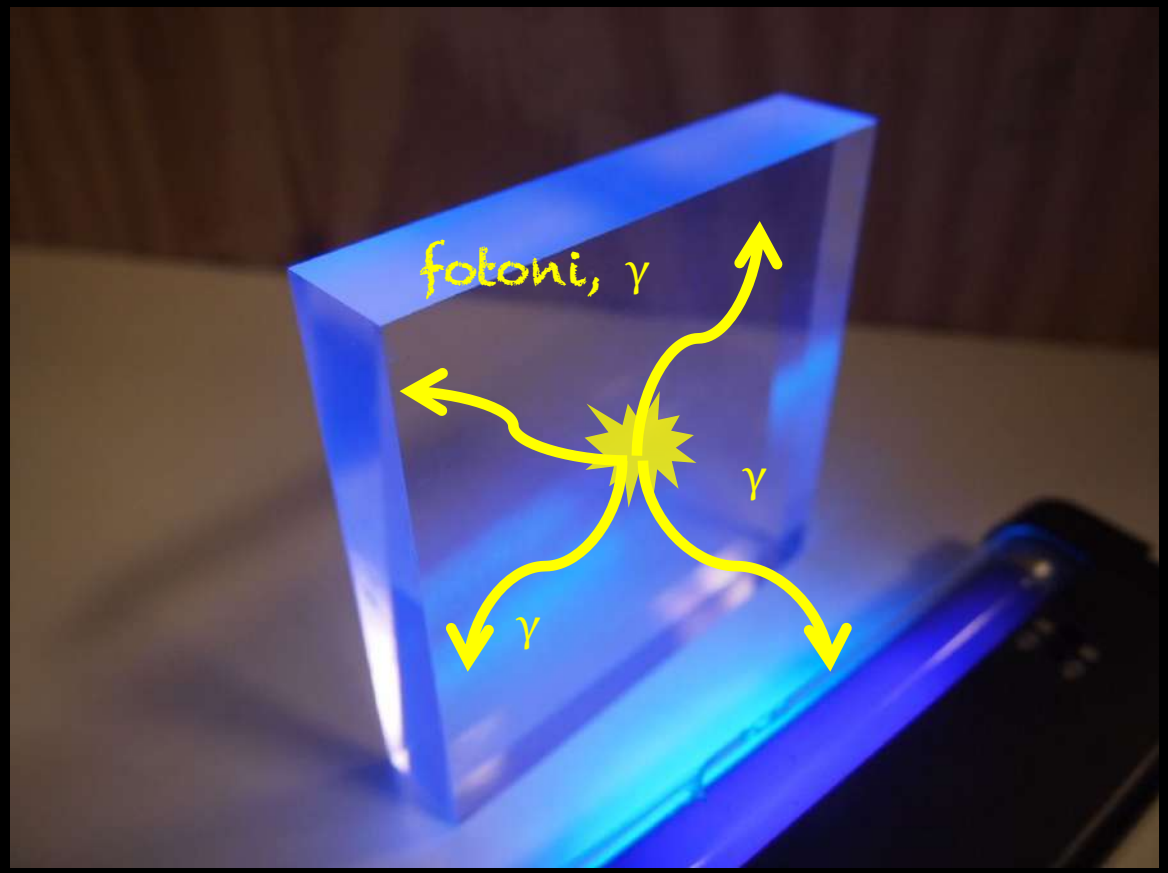
LA TECNICA SPERIMENTALE

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.

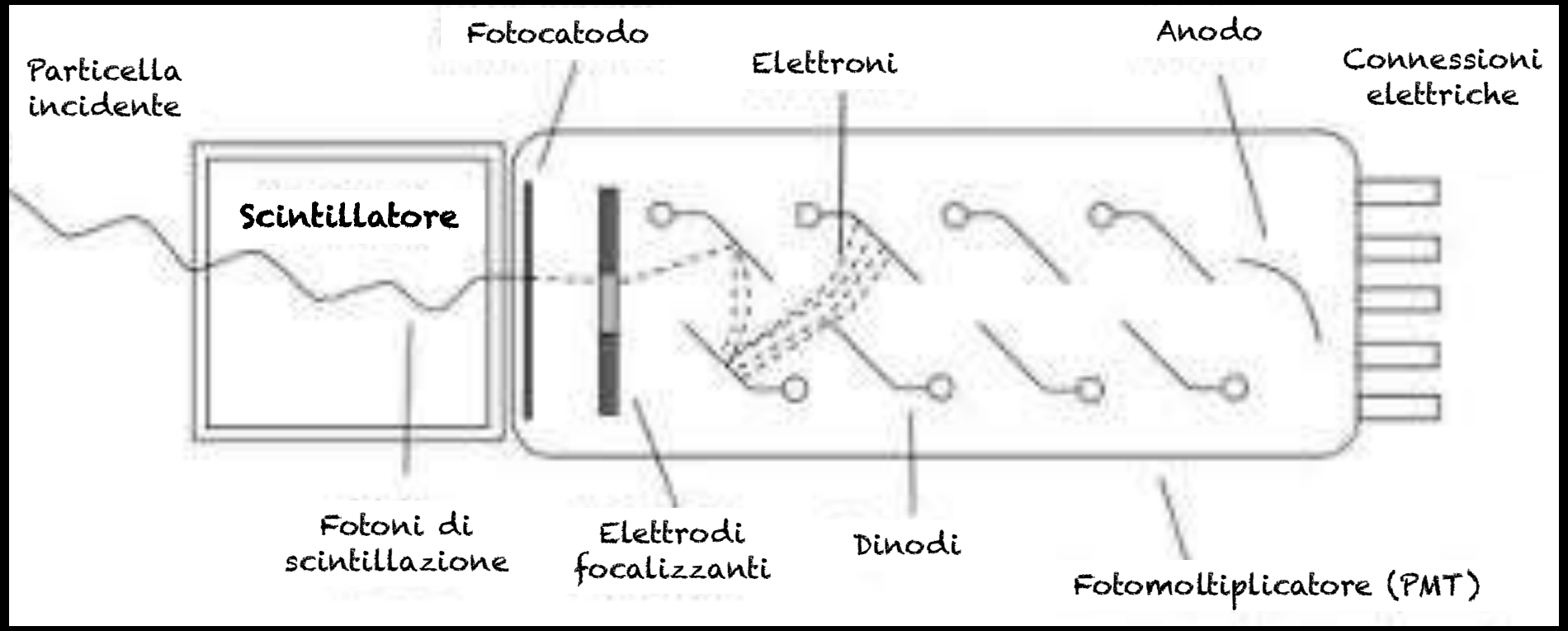


LA TECNICA SPERIMENTALE

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

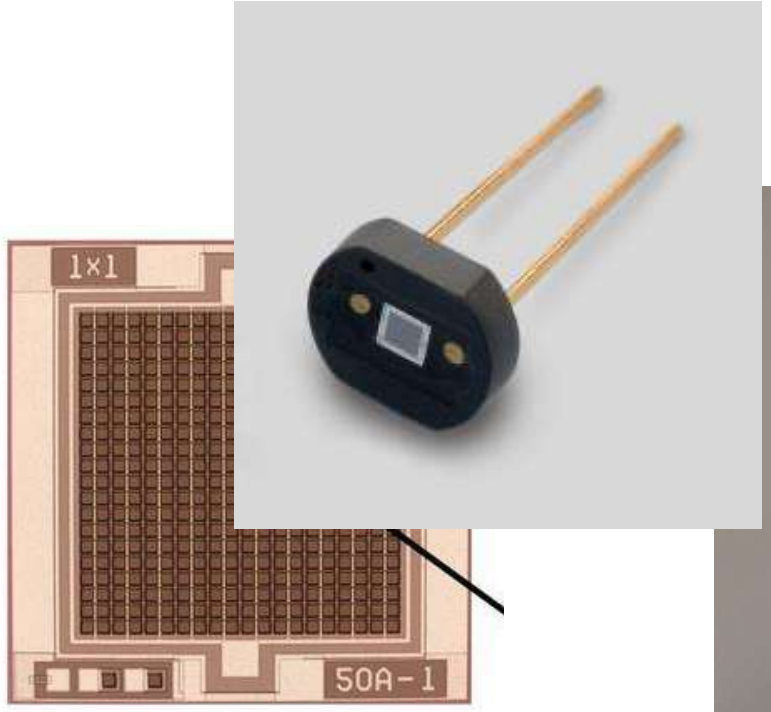
il fotomoltiplicatore (PMT)

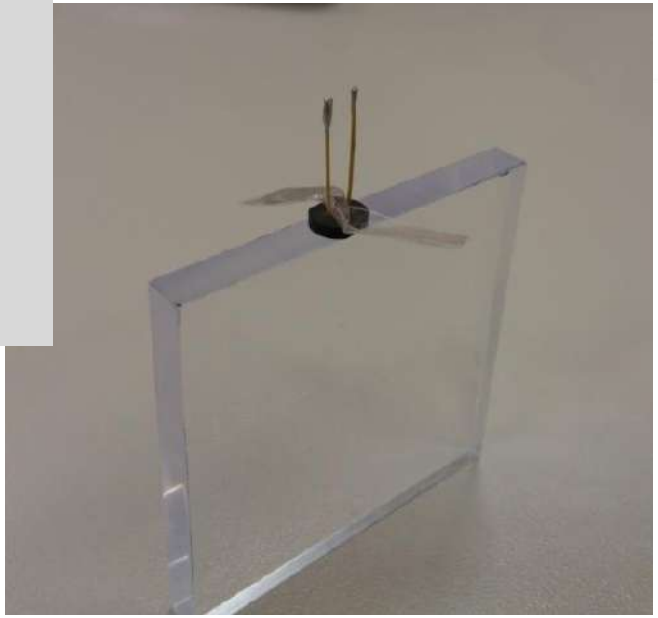
Un PMT è un tubo a vuto sottoposto ad alta tensione che converte la luce in elettroni, attraverso l'effetto fotoelettrico, e poi li moltiplica, generando una corrente.

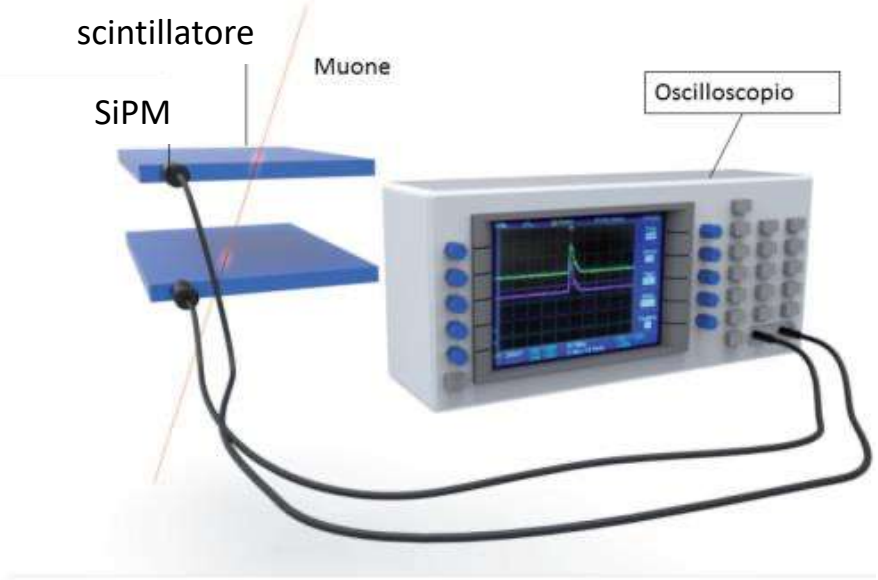


I fotomoltiplicatori al silicio SiPM

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

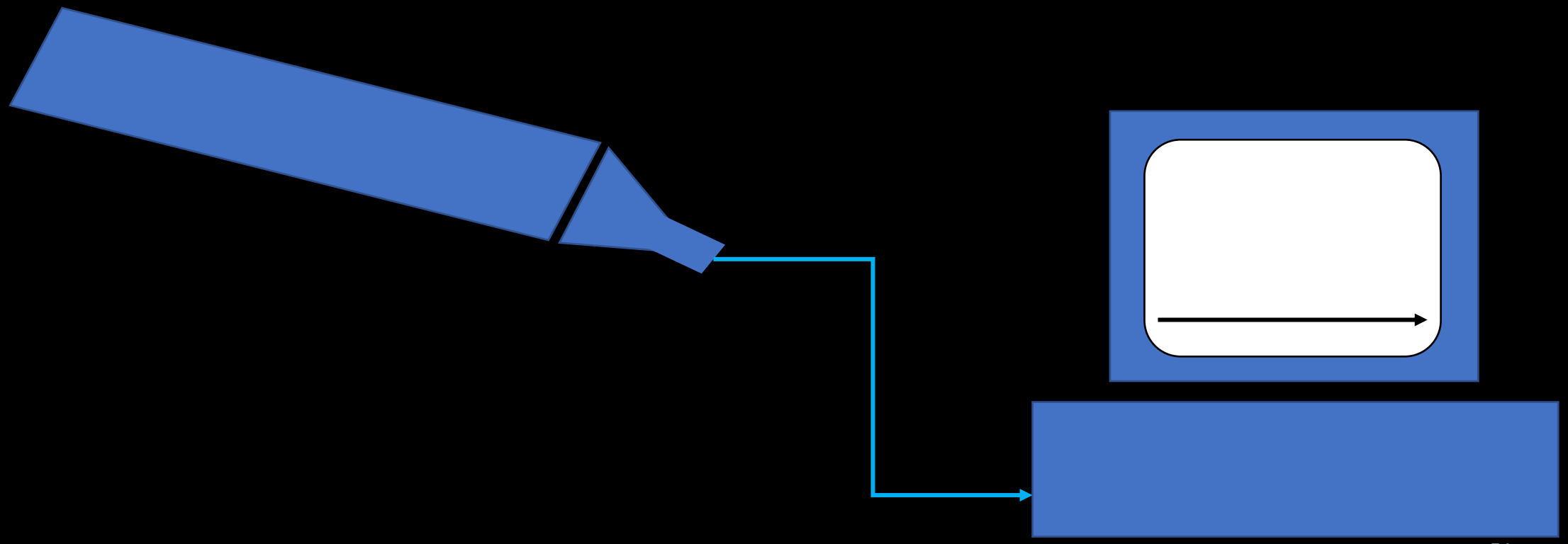






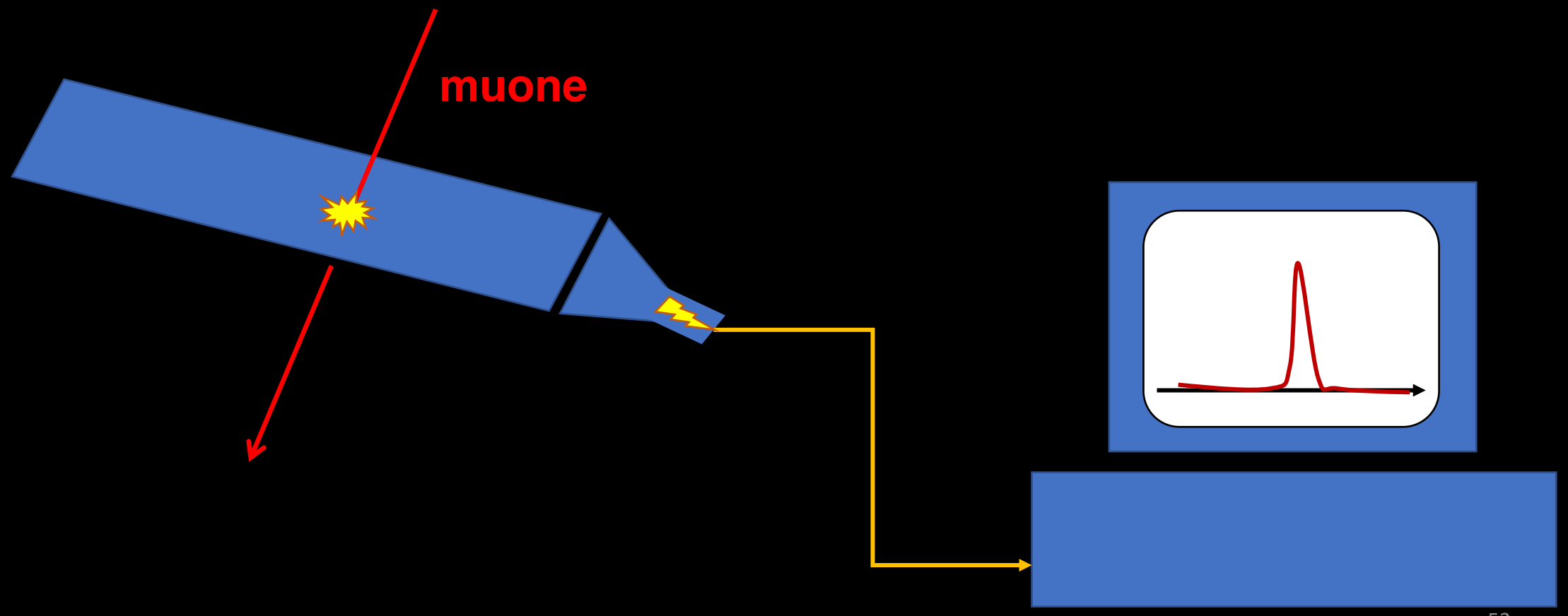
LA TECNICA SPERIMENTALE

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



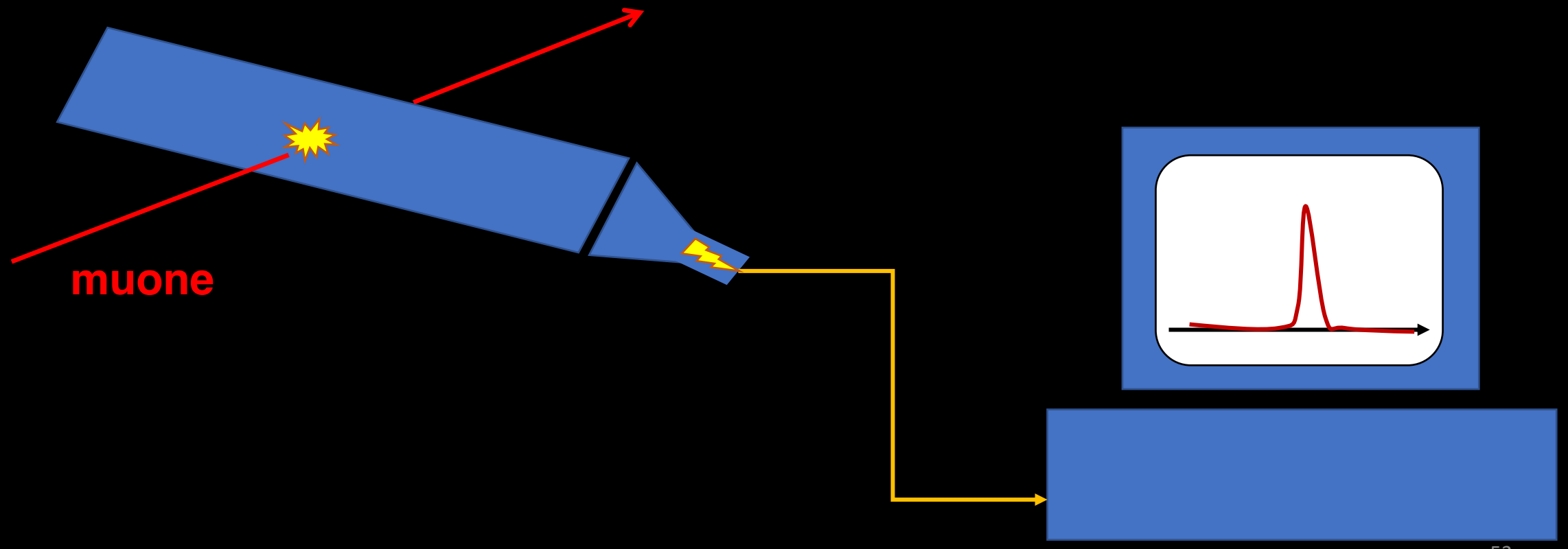
LA TECNICA SPERIMENTALE

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



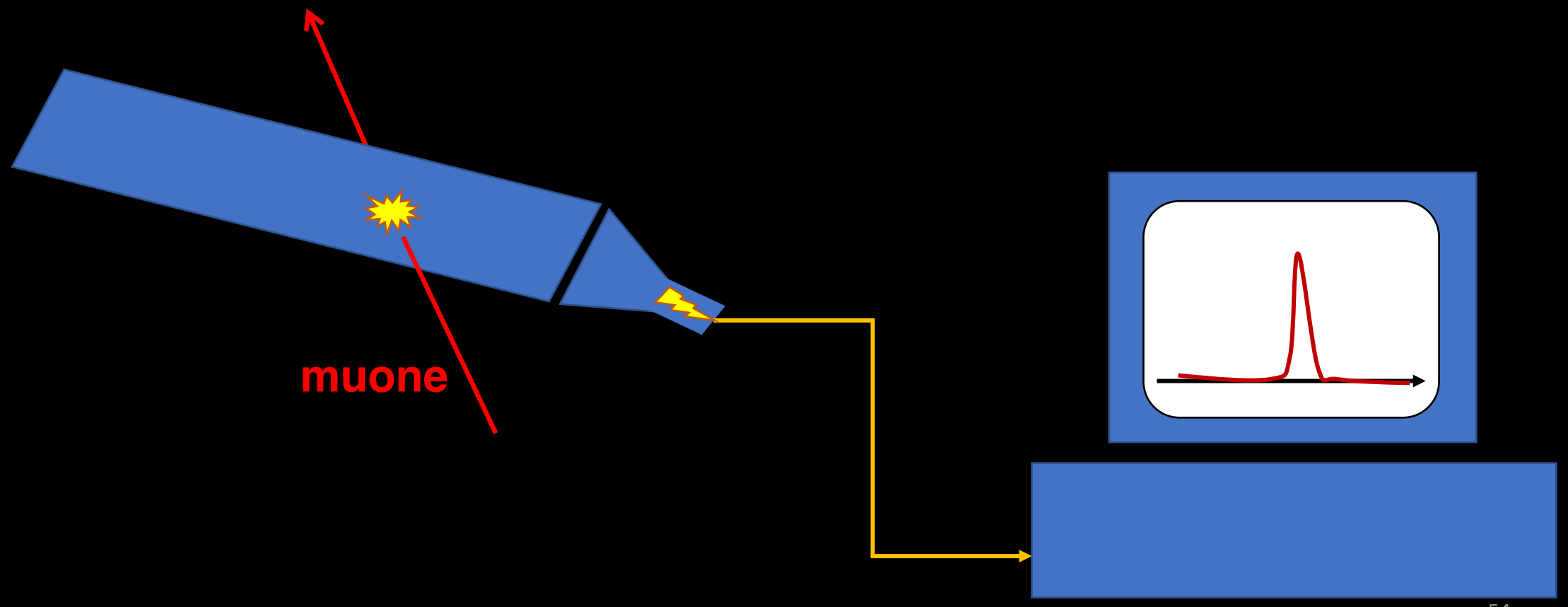
LA TECNICA SPERIMENTALE

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



LA TECNICA SPERIMENTALE

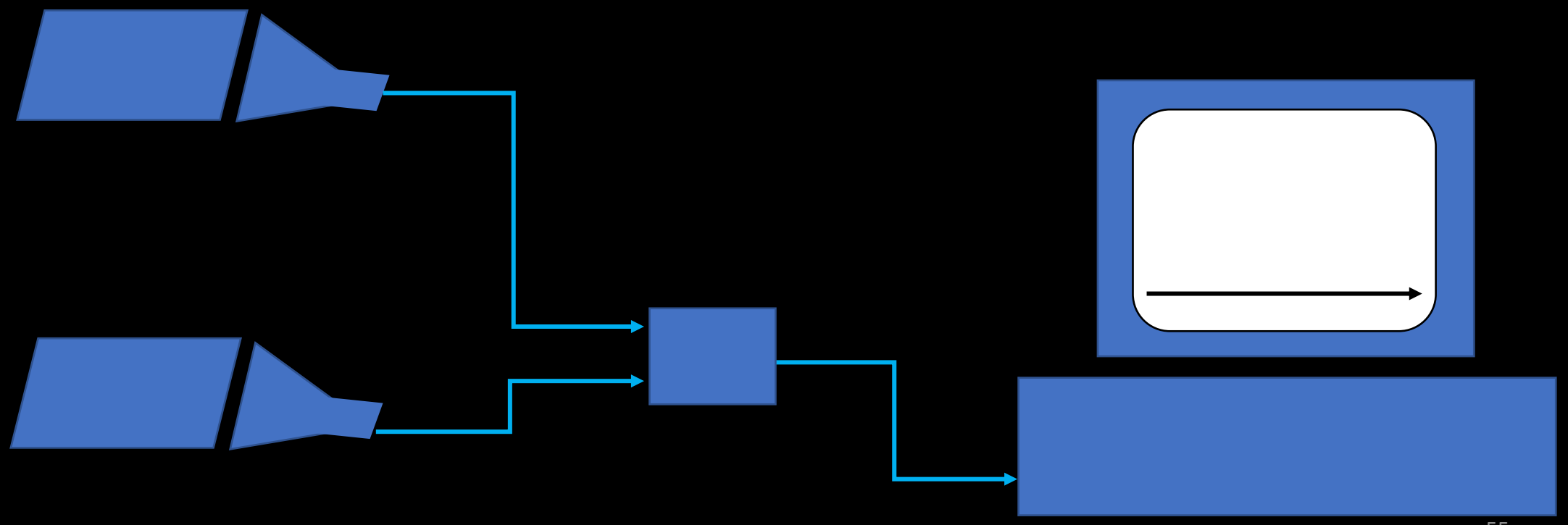
Accoppiamo un materiale scintillante ad un dispositivo che raccoglie la luce e la trasforma in segnale elettrico



LA TECNICA SPERIMENTALE

Possiamo fare di meglio: usiamo due piani di scintillatori

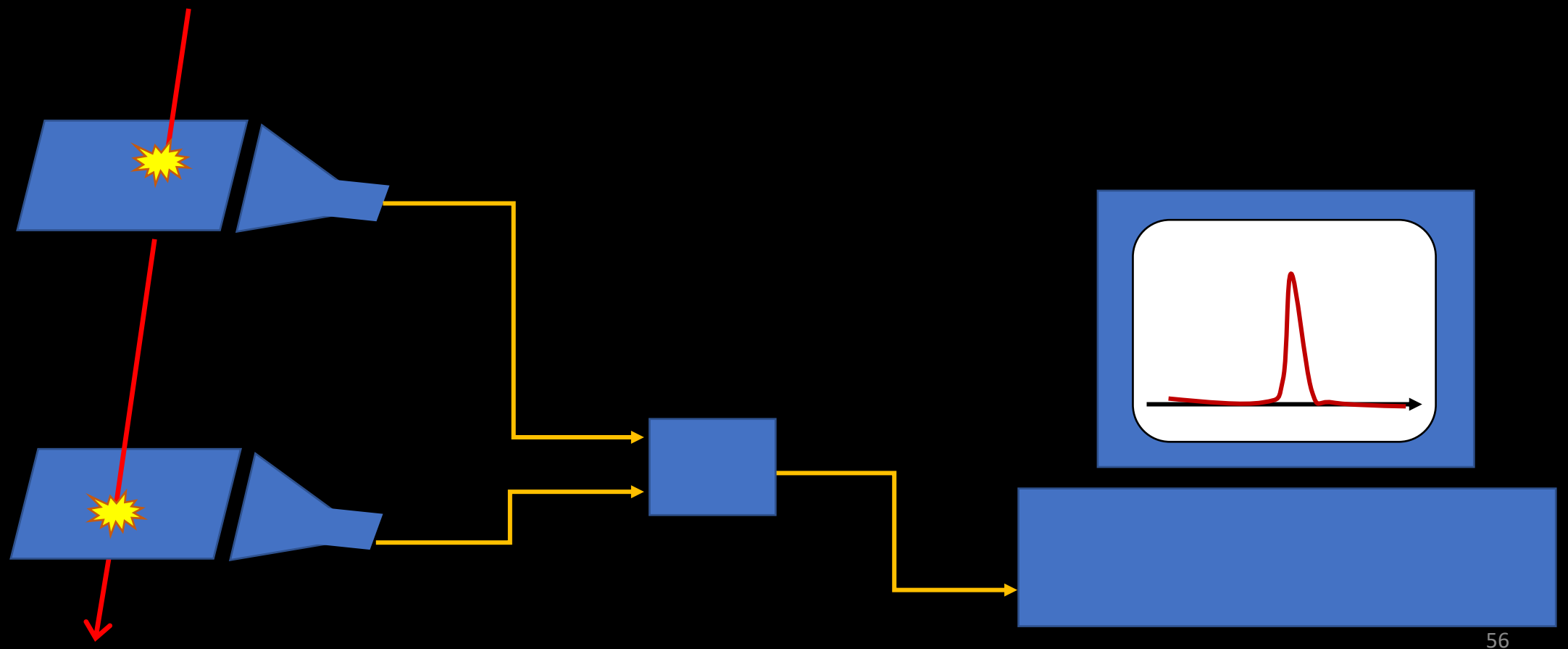
- Riveliamo il muone con maggior certezza
- Selezioniamo direzioni di arrivo (verticali)



LA TECNICA SPERIMENTALE

Usiamo due piani di scintillatori

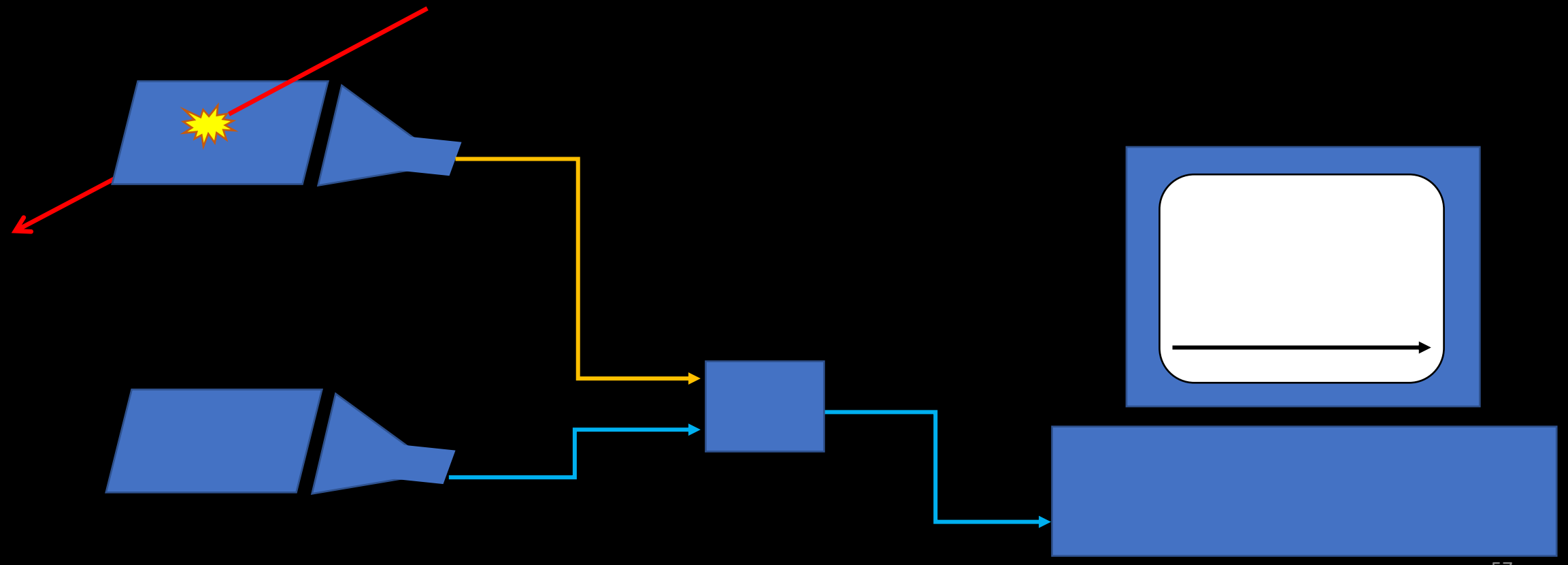
- Riveliamo il muone con maggior certezza
- Selezioniamo direzioni di arrivo (verticali)



LA TECNICA SPERIMENTALE

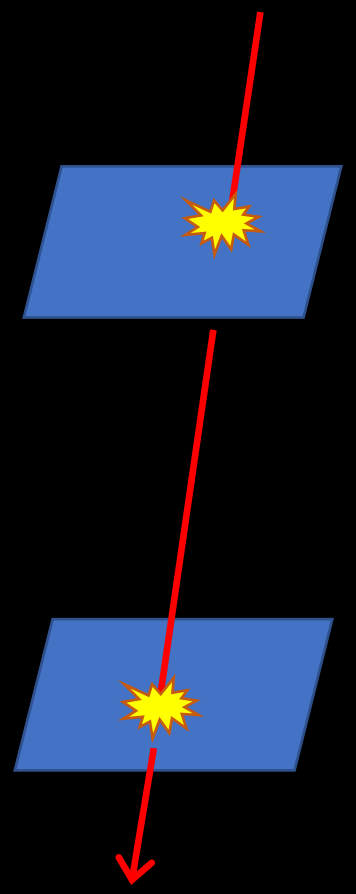
Usiamo due piani di scintillatori

- 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)

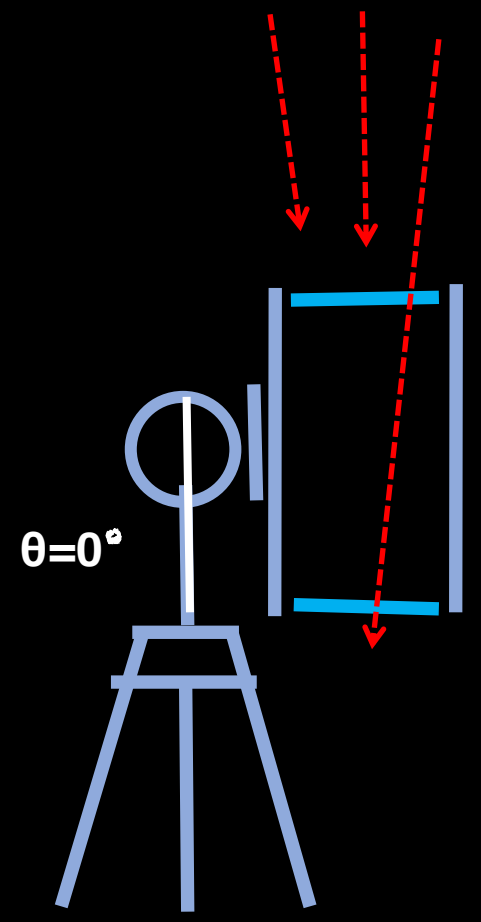
Esempio
Prendo dati per un minuto (T=60 secondi)
Lo strumento registra N=600 particelle

$I = N / T = 600/60 = 10$ particelle/secondo

LA TECNICA SPERIMENTALE

Ruotiamo il rivelatore di angolo θ con la verticale

Possiamo vedere se il flusso di particelle dipende dall'angolo

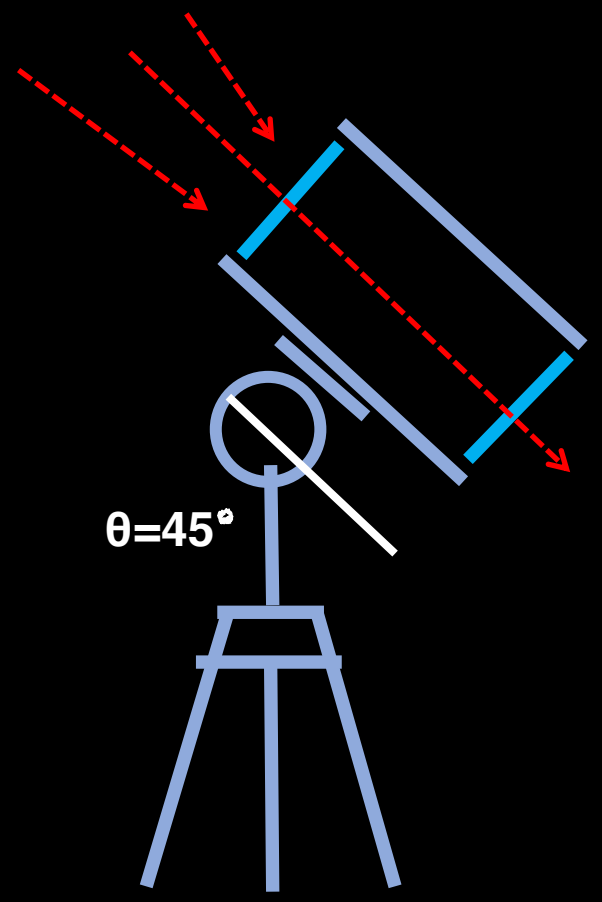


Il rivelatore guarda in alto, θ=0
Seleziona particelle verticali

LA TECNICA SPERIMENTALE

Ruotiamo il rivelatore di angolo θ con la verticale

Possiamo vedere se il flusso di particelle dipende dall'angolo

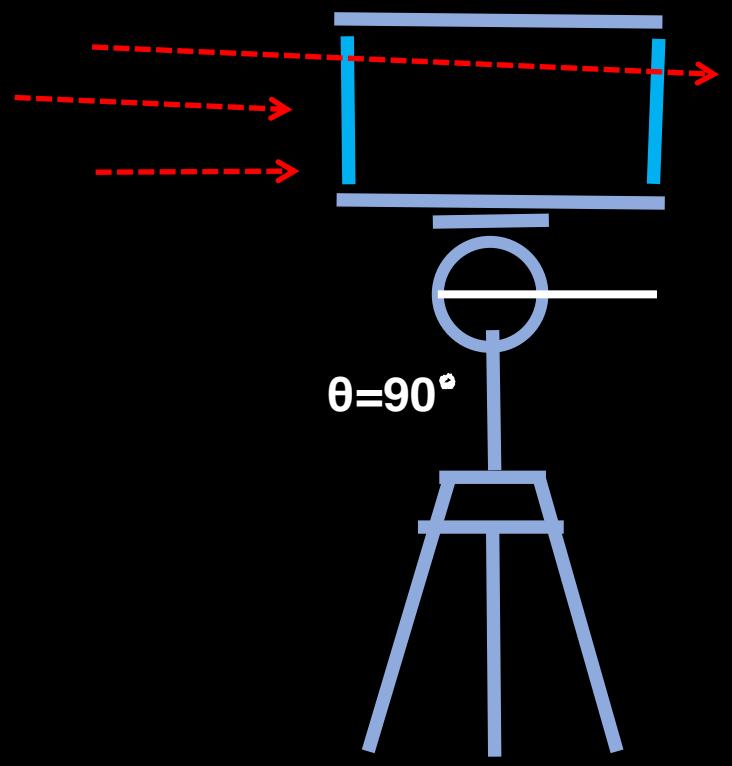


Guarda con inclinazione θ=45°
Seleziona particelle inclinate

LA TECNICA SPERIMENTALE

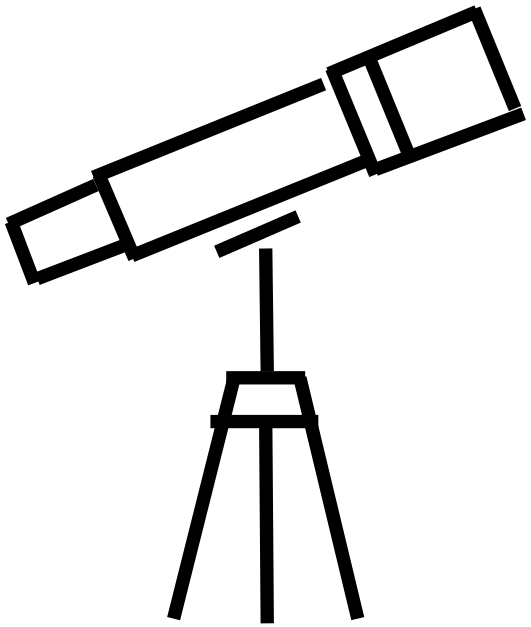
Ruotiamo il rivelatore di angolo θ con la verticale

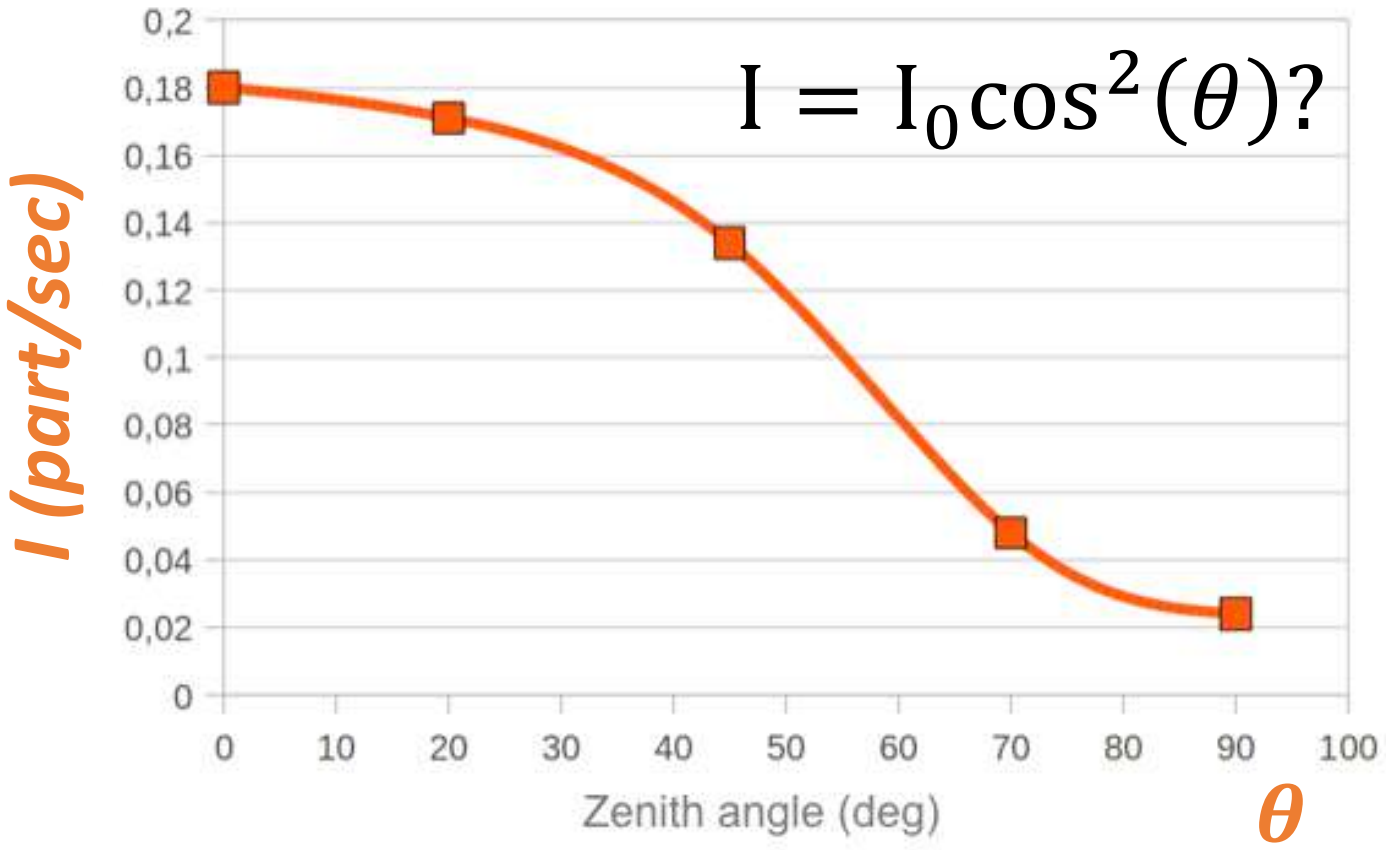
Possiamo vedere se il flusso di particelle dipende dall'angolo

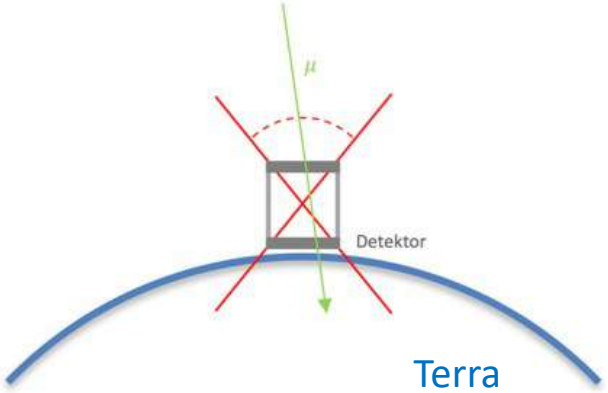


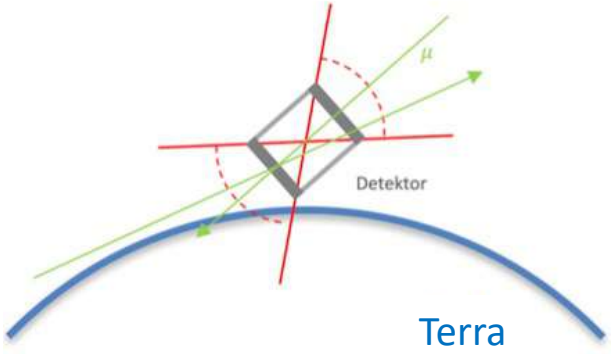
Guarda all'orizzonte θ=90°
Seleziona particelle orizzontali

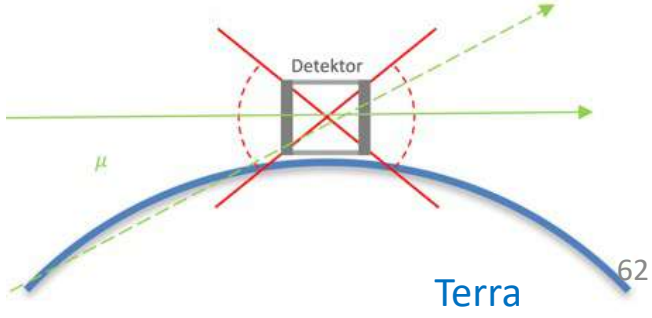
LA TECNICA SPERIMENTALE





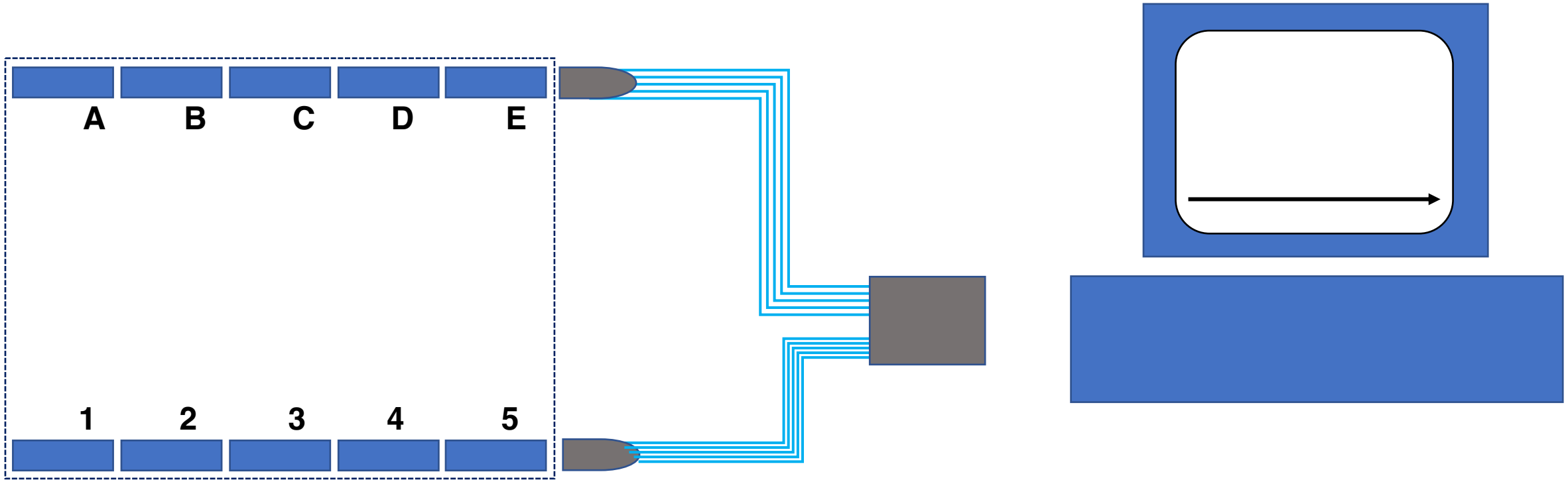






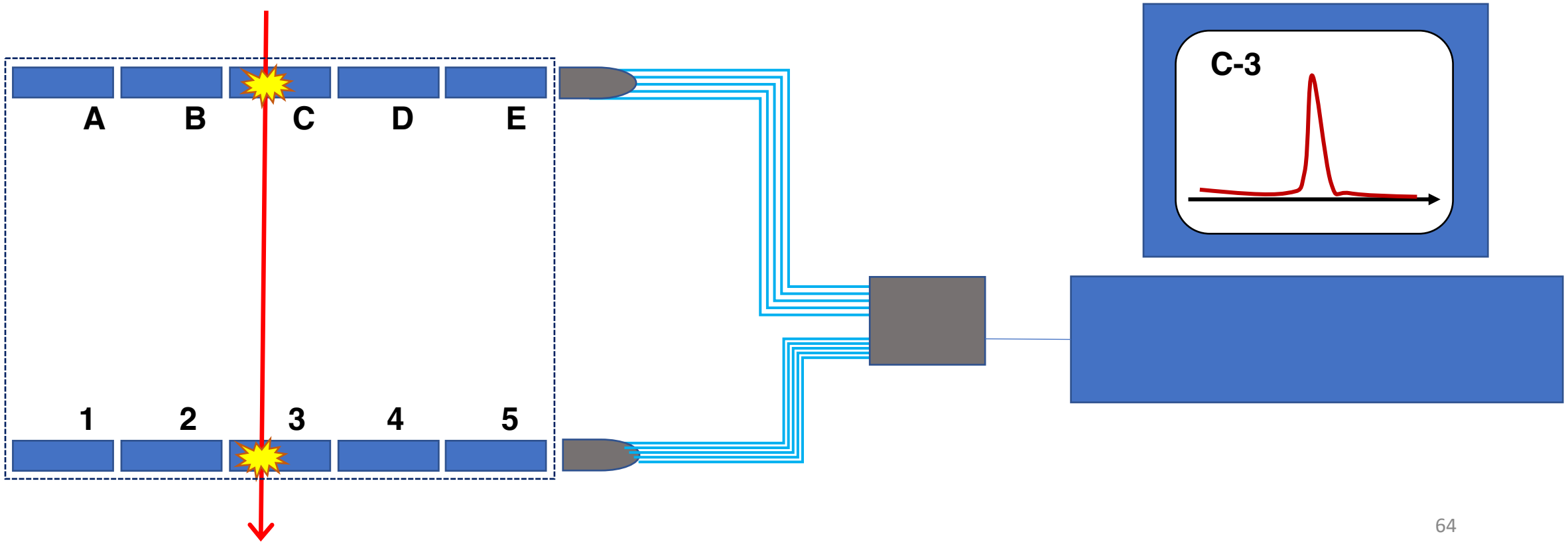
MAZINGA-2020

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



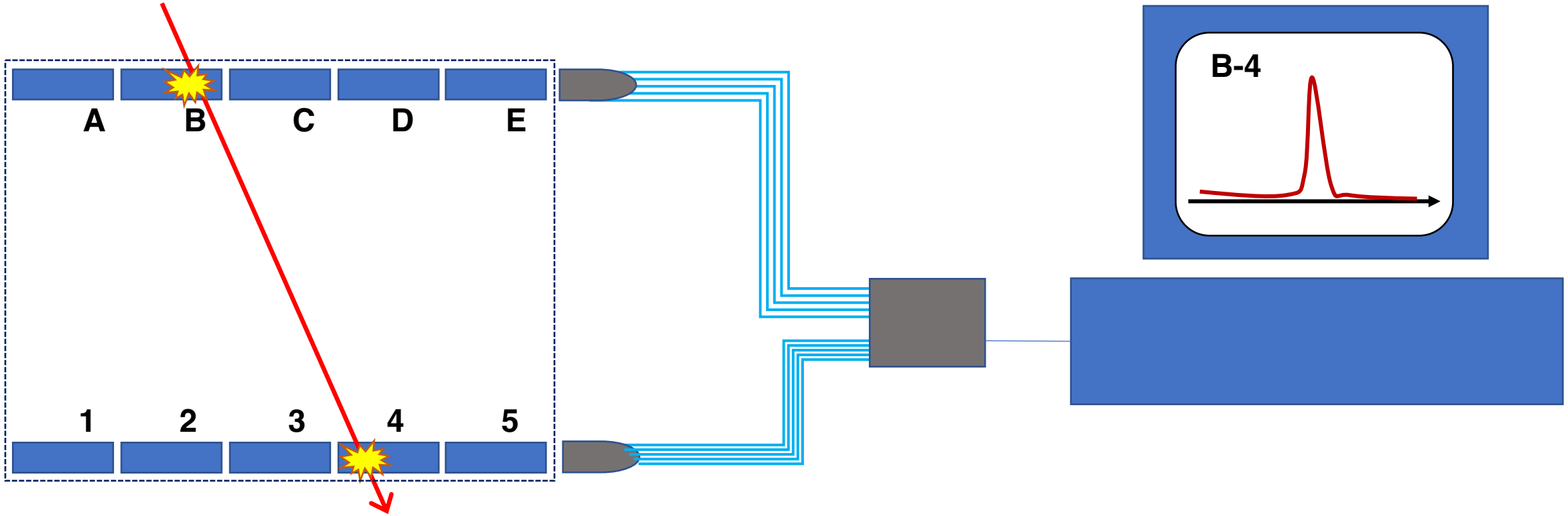
MAZINGA-2020

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



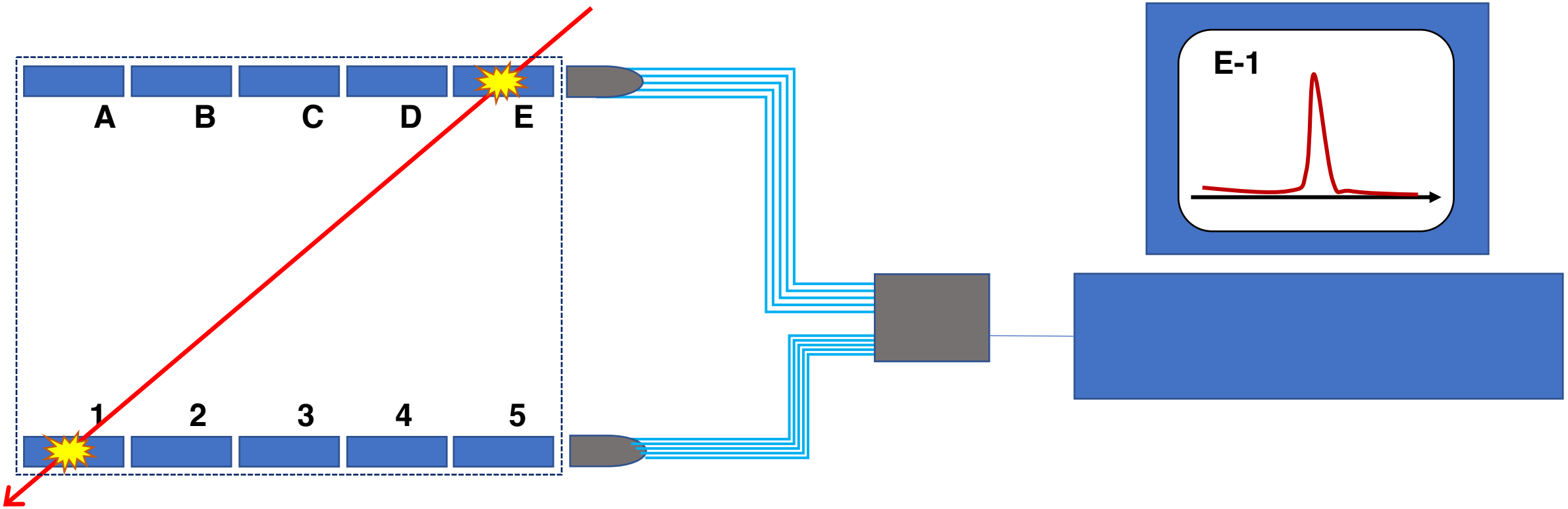
MAZINGA-2020

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



MAZINGA-2020

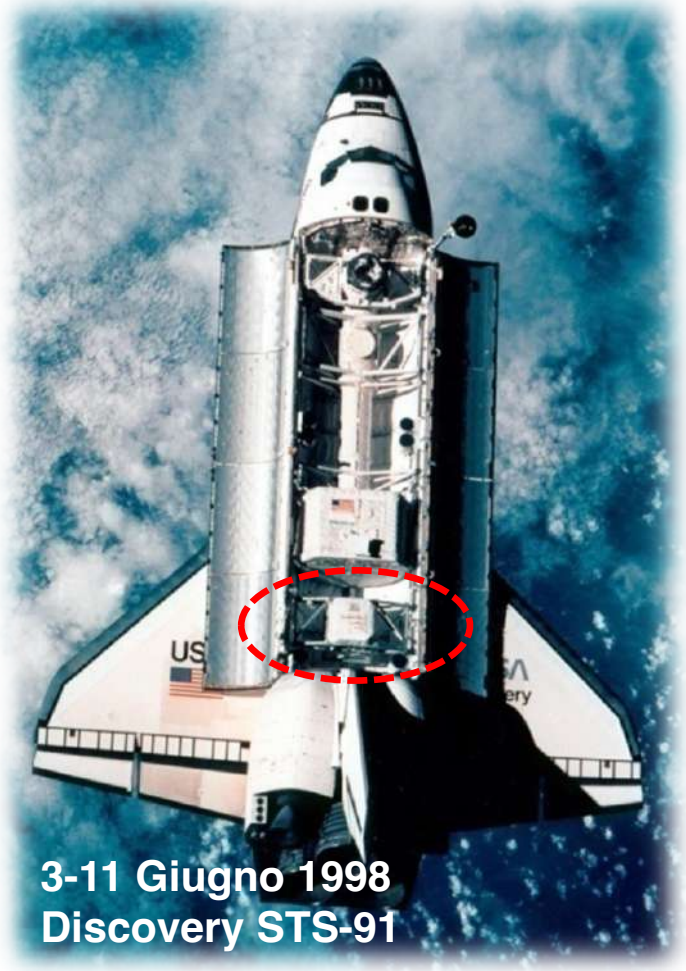
Un metodo più furbo (senza dover ruotare il rivelatore) che stiamo mettendo a punto per il prossimo appuntamento



LA TECNICA SPERIMENTALE

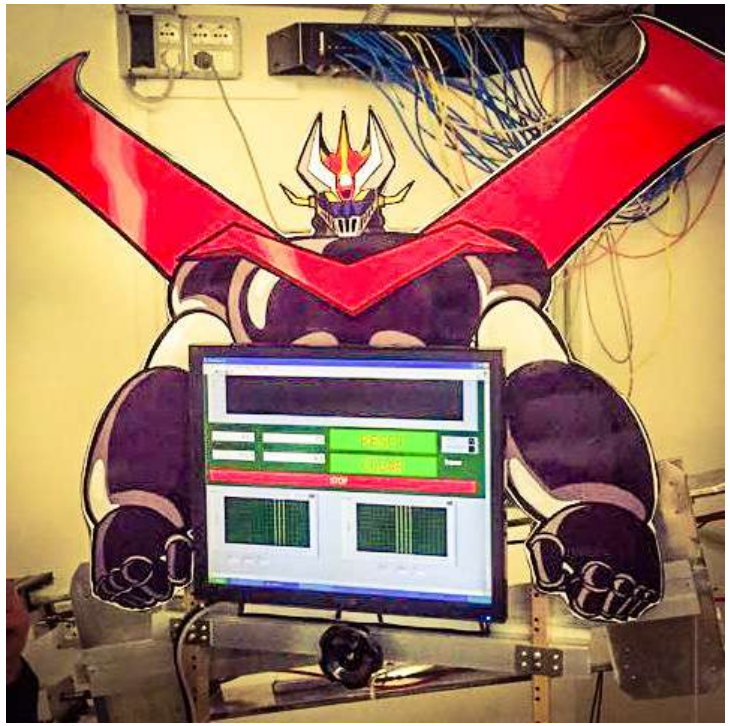
Esempio: l'esperimento AMS

La missione AMS-01



Matrice di scintillatori e PMT

MAZINGA 2018 Pathfinder

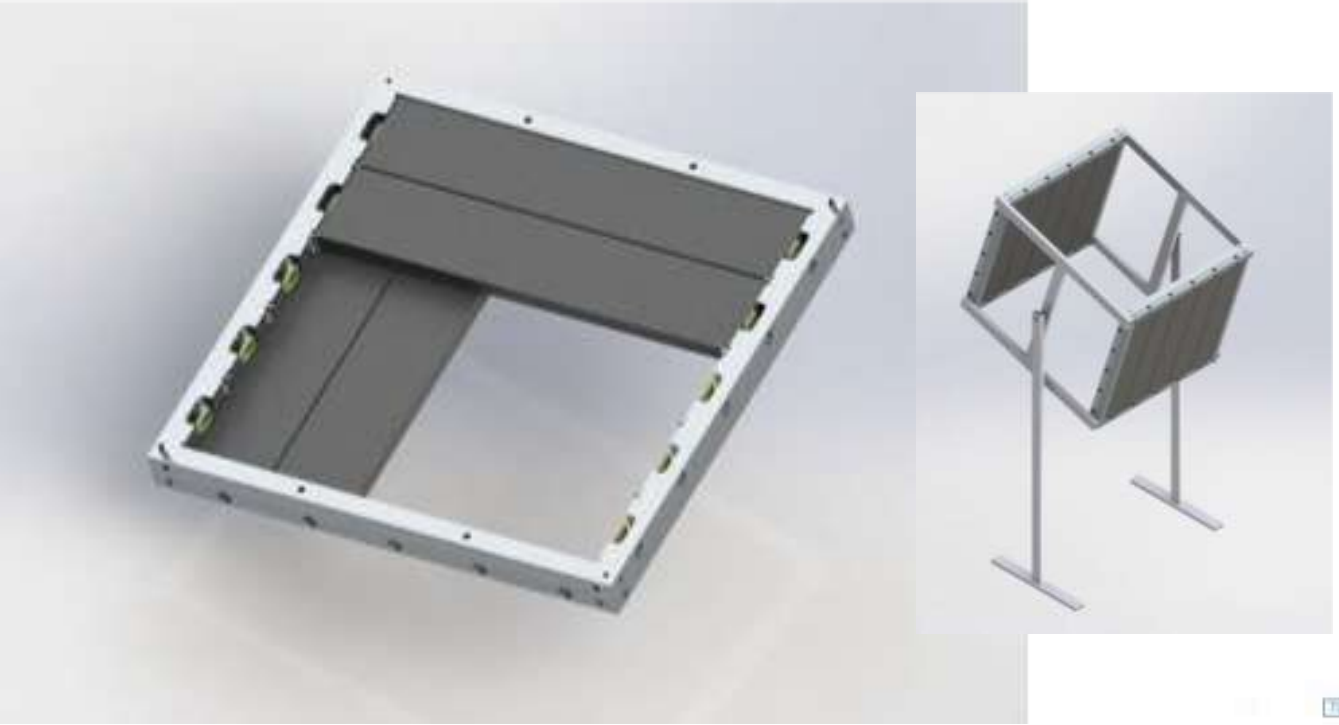


Abbiamo qui in laboratorio quelli di AMS-01, l'esperimento precursore di AMS-01, che ha volato nel 1998 a bordo dello space shuttle Discovery

Il nuovo MAZINGA

Rivelatore portatile e orientabile, con bassi consumi e alta efficienza

Matrice di scintillatori: misura la posizione dei RC



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 di ICD-Perugia 2022, con agneda, materiale e informazioni

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

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):

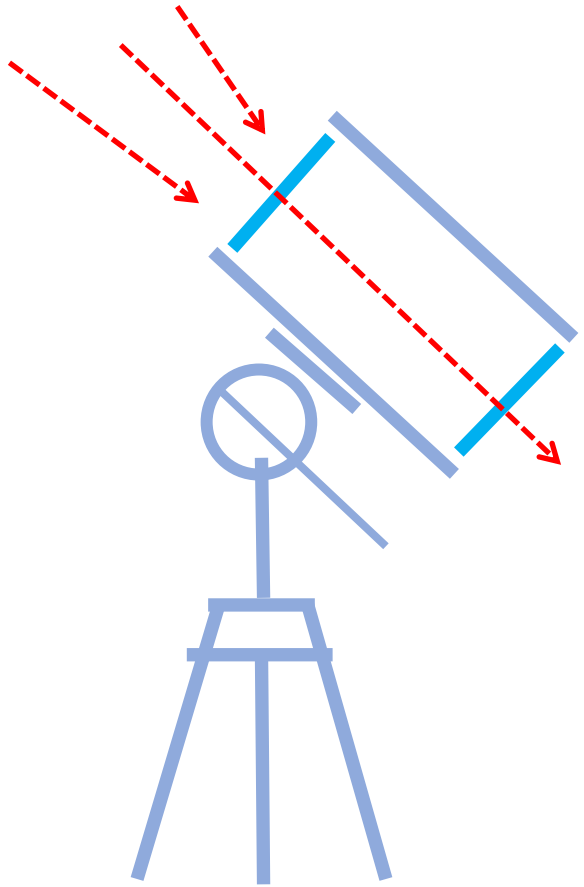
Questionario per gli studenti: <LINK>

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

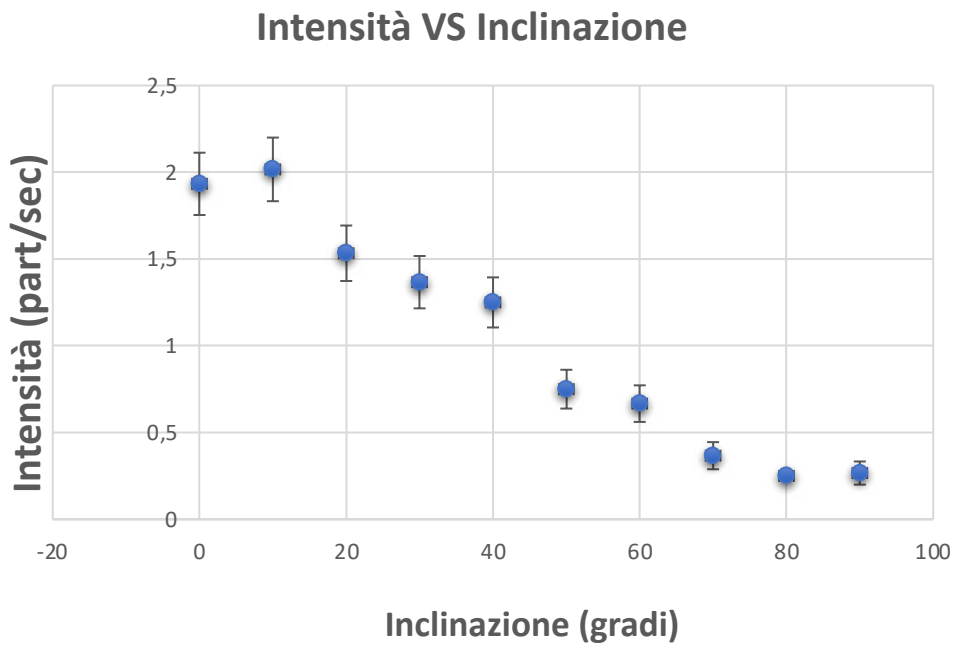
Inclinazione (gradi)	N. Particelle	Tempo (sec)
0	116	60
10	121	60
20	92	60
30	82	60
40	75	60
50	45	60
60	40	60
70	22	60
80	15	60
90	16	60

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

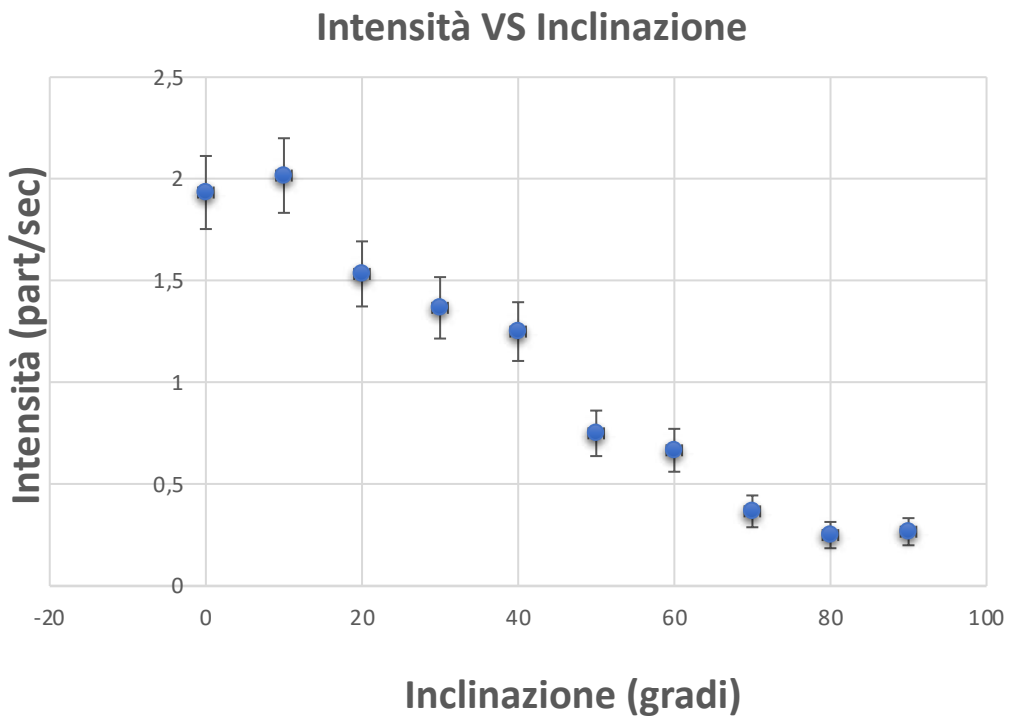
Angolo θ_{RAD}	$\cos(\theta_{RAD})$	$cos^2(\theta_{RAD})$
0	1	1
0,174532925	0,984807753	0,96984631
0,34906585	0,939692621	0,883022222
0,523598776	0,866025404	0,75
0,698131701	0,766044443	0,586824089
0,872664626	0,64278761	0,413175911
1,047197551	0,5	0,25
1,221730476	0,342020143	0,116977778
1,396263402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

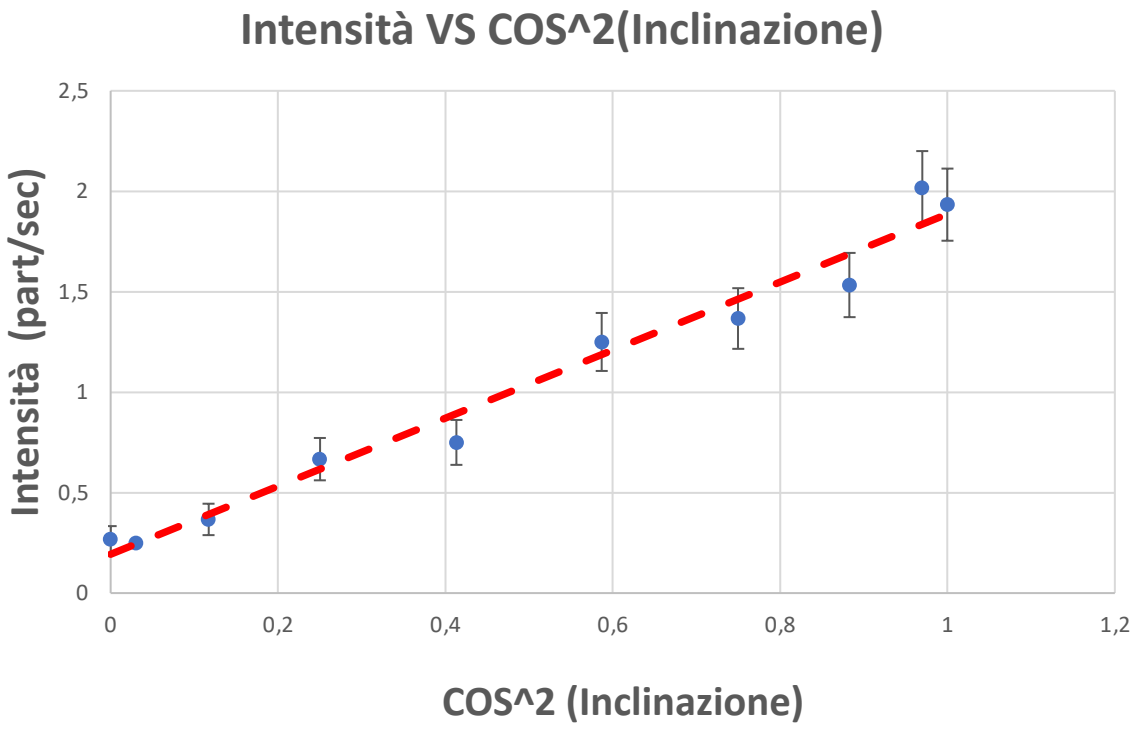
Errore δN	Errrore δI (part/sec)
10,77032961	0,179505494
11	0,183333333
9,591663047	0,159861051
9,055385138	0,150923086
8,660254038	0,144337567
6,708203932	0,111803399
6,32455532	0,105409255
4,69041576	0,078173596
3,872983346	0,064549722
4	0,066666667

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(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