

I raggi cosmici: A caccia di muoni

International Cosmic Day 2024 - 26.11.2024



**UNIVERSITY
OF TRENTO**



Istituto Nazionale
di Fisica Nucleare

TIFFPA

Trento
Institute for
Fundamental
Physics and
Applications



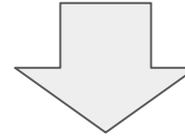
Materia? Da cosa e` fatta?

Particelle elementari, una lunghissima storia

PLATONE (400A.C.) 4+1

Poliedro	Vertici	Spigoli	Facce	Elemento
tetraedro 	4	6	4	fuoco
cubo 	8	12	6	terra
ottaedro 	6	12	8	aria
icosaedro 	12	30	20	acqua
dodecaedro 	20	30	12	etere ?

Da 2500 anni l'idea di base è rimasta:
“cercare di classificare la materia mediante simmetrie/geometria”



L'essere umano è da sempre alla ricerca di spiegazioni che cerchino di descrivere la realtà che lo circonda

Nella scienza, queste “spiegazioni” prendono il nome di **modelli**

Particelle elementari, una lunghissima storia

Mendeleev (1839) > 100 elementi

Group

1 1A 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
8A

1 H Hydrogen 1.0078

2 Li Lithium 6.938 Be Beryllium 9.0122

3 Na Sodium 22.990 Mg Magnesium 24.305

4 K Potassium 39.098 Ca Calcium 40.078 Sc Scandium 44.956 Ti Titanium 47.867 V Vanadium 50.942 Cr Chromium 51.996 Mn Manganese 54.938 Fe Iron 55.845 Co Cobalt 58.933 Ni Nickel 58.693 Cu Copper 63.546 Zn Zinc 65.38

5 Rb Rubidium 85.468 Sr Strontium 87.62 Y Yttrium 88.906 Zr Zirconium 91.224 Nb Niobium 92.906 Mo Molybdenum 95.96 Tc Technetium 98.9062 Ru Ruthenium 101.07 Rh Rhodium 102.91 Pd Palladium 106.42 Ag Silver 107.87 Cd Cadmium 112.41

6 Cs Cesium 132.91 Ba Barium 137.33 Hf Hafnium 178.49 Ta Tantalum 180.95 W Tungsten 183.84 Re Rhenium 186.21 Os Osmium 190.23 Ir Iridium 192.22 Pt Platinum 195.08 Au Gold 196.97 Hg Mercury 200.59

7 Fr Francium (223) Ra Radium (226) Rf Rutherfordium (261) Db Dubnium (262) Sg Seaborgium (266) Bh Bohrium (264) Hs Hassium (269) Mt Meitnerium (268) Ds Darmstadtium (268) Rg Roentgenium (268) Cn Copernicium (268) Uut Ununtrium (268) Fl Flerovium (268) Uup Ununpentium (268) Lv Livermorium (268) Uus Ununseptium (268) Uuo Ununoctium (268)

13 3A 14 4A 15 5A 16 6A 17 7A

5 B Boron 10.806 C Carbon 12.009 N Nitrogen 14.006 O Oxygen 15.999 F Fluorine 18.998

13 Al Aluminum 26.982 14 Si Silicon 28.084 15 P Phosphorus 30.974 16 S Sulfur 32.059 17 Cl Chlorine 35.446 18 Ar Argon 39.948

31 Ga Gallium 69.723 32 Ge Germanium 72.63 33 As Arsenic 74.922 34 Se Selenium 78.96 35 Br Bromine 79.904 36 Kr Krypton 83.798

49 In Indium 114.82 50 Sn Tin 118.71 51 Sb Antimony 121.76 52 Te Tellurium 127.60 53 I Iodine 126.90 54 Xe Xenon 131.29

81 Tl Thallium 204.38 82 Pb Lead 207.2 83 Bi Bismuth 208.98 84 Po Polonium (209) 85 At Astatine (210) 86 Rn Radon (222)

110 111 112 113 114 115 116 117 118

110 Ds Darmstadtium (268) 111 Rg Roentgenium (268) 112 Cn Copernicium (268) 113 Uut Ununtrium (268) 114 Fl Flerovium (268) 115 Uup Ununpentium (268) 116 Lv Livermorium (268) 117 Uus Ununseptium (268) 118 Uuo Ununoctium (268)

57 La Lanthanum 138.91 58 Ce Cerium 140.12 59 Pr Praseodymium 140.91 60 Nd Neodymium 144.24 61 Pm Promethium (145) 62 Sm Samarium 150.36 63 Eu Europium 151.96 64 Gd Gadolinium 157.25 65 Tb Terbium 158.93 66 Dy Dysprosium 162.50 67 Ho Holmium 164.93 68 Er Erbium 167.26 69 Tm Thulium 168.93 70 Yb Ytterbium 173.04 71 Lu Lutetium 174.97

89 Ac Actinium (227) 90 Th Thorium 232.04 91 Pa Protactinium 231.04 92 U Uranium 238.03 93 Np Neptunium (237) 94 Pu Plutonium (244) 95 Am Americium (243) 96 Cm Curium (247) 97 Bk Berkelium (247) 98 Cf Californium (251) 99 Es Einsteinium (252) 100 Fm Fermium (257) 101 Md Mendelevium (258) 102 No Nobelium (259) 103 Lr Lawrencium (262)

Period

11 — Atomic number
Na — Element symbol
Sodium — Element name
22.990 — Atomic weight

Alkali metals
Alkaline earth metals
Lanthanides
Actinides
Transition metals
Unknown properties

Post-transition metals
Metalloids
Other nonmetals
Halogens
Noble gases

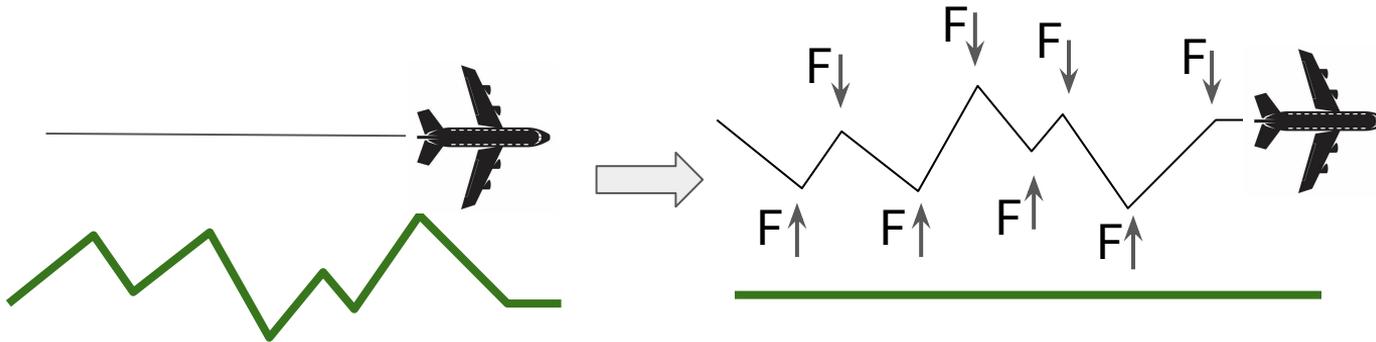
La materia che ci circonda è costituita da molecole

Le molecole sono composte da atomi

L'atomo è la struttura nella quale la materia è organizzata in unità fondamentali che costituiscono gli elementi chimici

... Il concetto di **SIMMETRIA** è centrale ancora oggi !!

- Perchè l'universo domani dovrebbe funzionare diversamente da oggi?
SIMMETRIA TEMPORALE → **CONSERVAZIONE ENERGIA**
- Perchè l'universo dovrebbe funzionare in modo diverso in posti diversi?
SIMMETRIA TRASLAZIONE SPAZIALE → **CONSERVAZIONE "MOMENTO"**
- Ad ogni **SIMMETRIA** corrisponde una **LEGGE DI CONSERVAZIONE**
(es. **conservazione carica elettrica**)



"Forze": nascono quando una simmetria delle leggi viene "rotta" dal sistema di riferimento

Particelle elementari, una lunghissima storia

Modello Standard della Fisica delle Particelle Elementari

Un insieme di leggi, formule, spiegazioni che cercano di fornire predizioni quantitative e sperimentabili

Universalmente accettato perché continuamente testato e messo alla prova dalla comunità scientifica

Disciplina che studia la realtà che ci circonda in modo quantitativo e rigoroso

Indivisibili e non scindibili o descrivibili mediante elementi più semplici

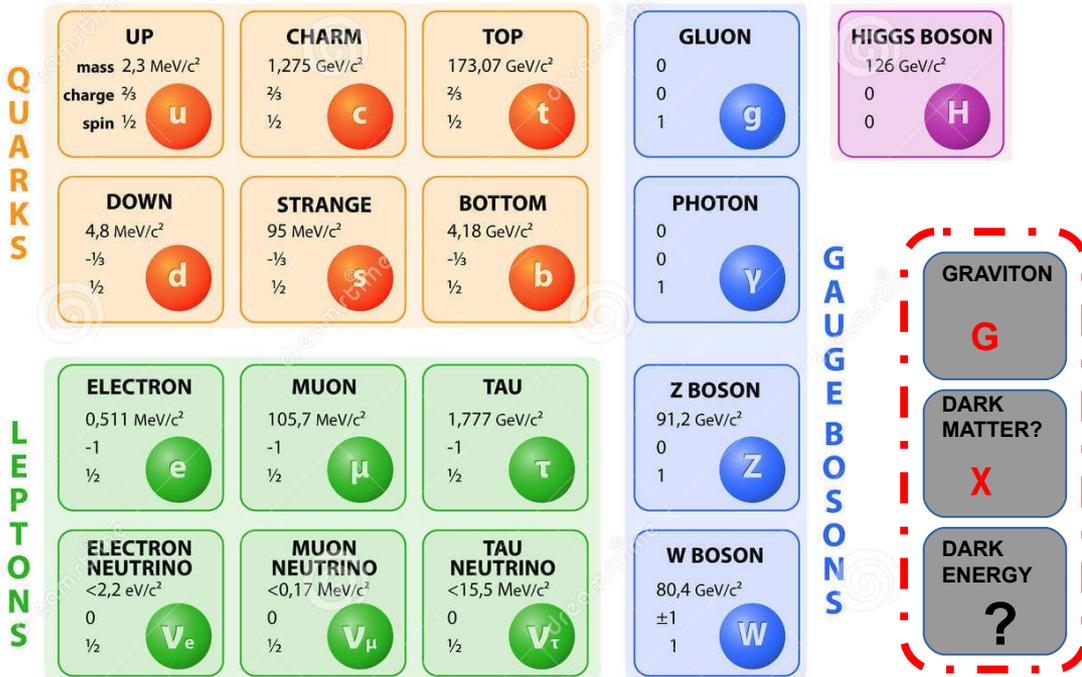
e delle Interazioni Fondamentali

Sono le forze che agiscono tra le particelle

Non descrivibili o riconducibili ad altre descrizioni più semplici

Particelle elementari, una lunghissima storia

“Standard Model”: 1970-now



La teoria che descrive:

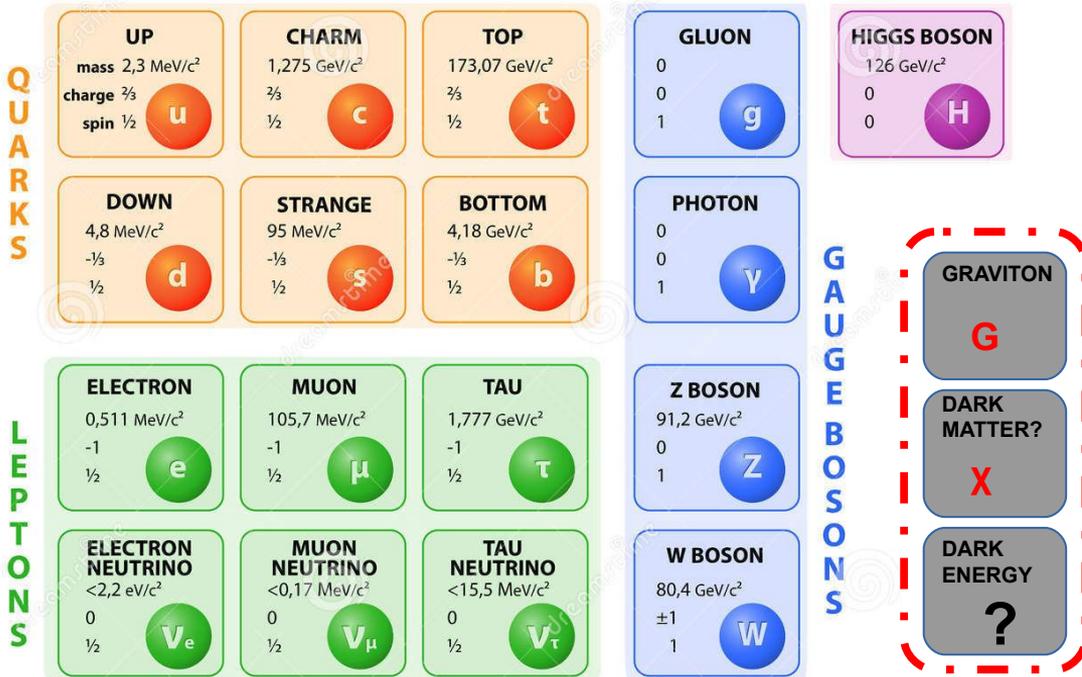
- Particelle elementari che compongono la materia
- Le interazioni fondamentali:
 - Elettromagnetica
 - Debole
 - Forte (nucleare)

Cosa vuol dire **fondamentale**?

Cosa vuol dire **elementare**?

Ma la storia non e` finita... Ci sono tante domande aperte

“Standard Model”: 1970-now



La materia ordinaria corrisponde solo al 4% del bilancio massa-energia dell'universo:

- Da cosa e` fatta la materia oscura?
- Che cos'è l'energia oscura?
- Perché vediamo così poca **anti-materia?**

Ci sono tante risposte che non riesce ancora a dare il modello standard.

Raggi Cosmici



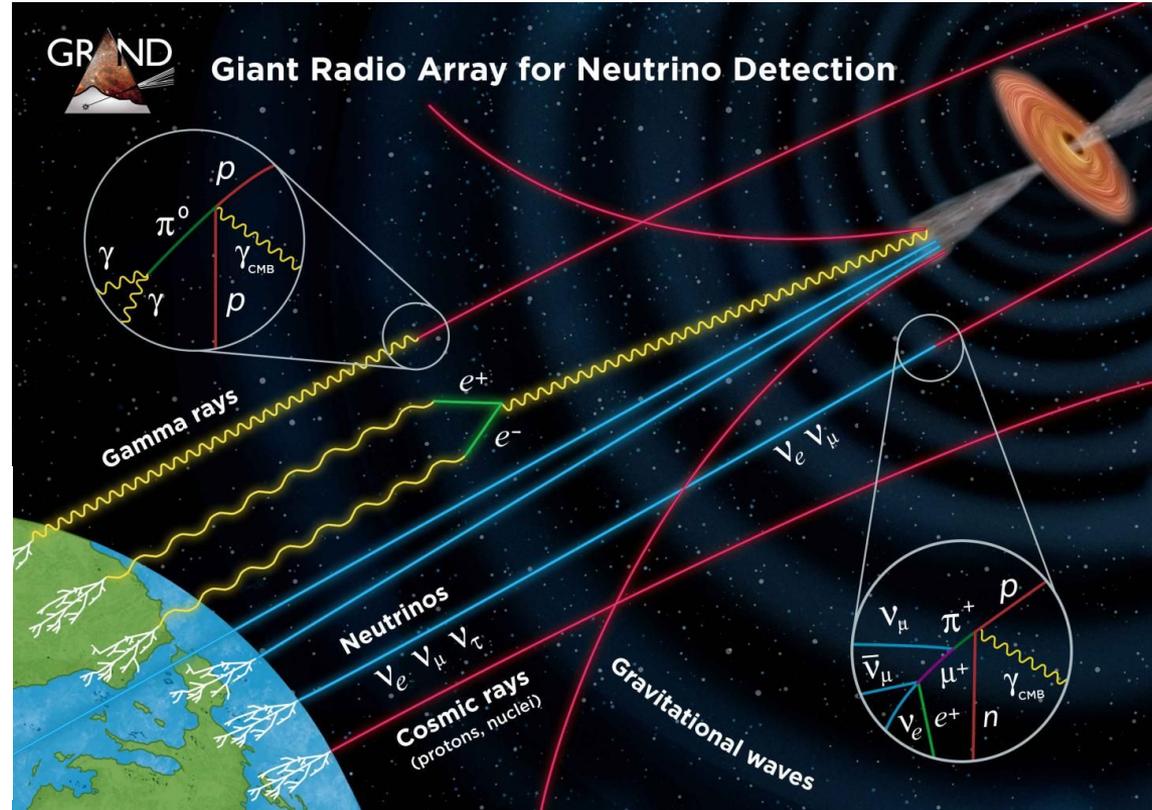
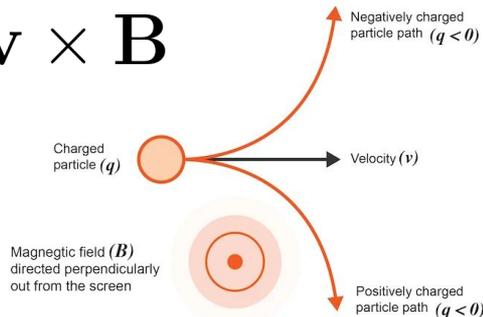
Cosa sono i Raggi Cosmici?

Particelle energetiche che vengono accelerate da sorgenti astrofisiche che viaggiano nello spazio

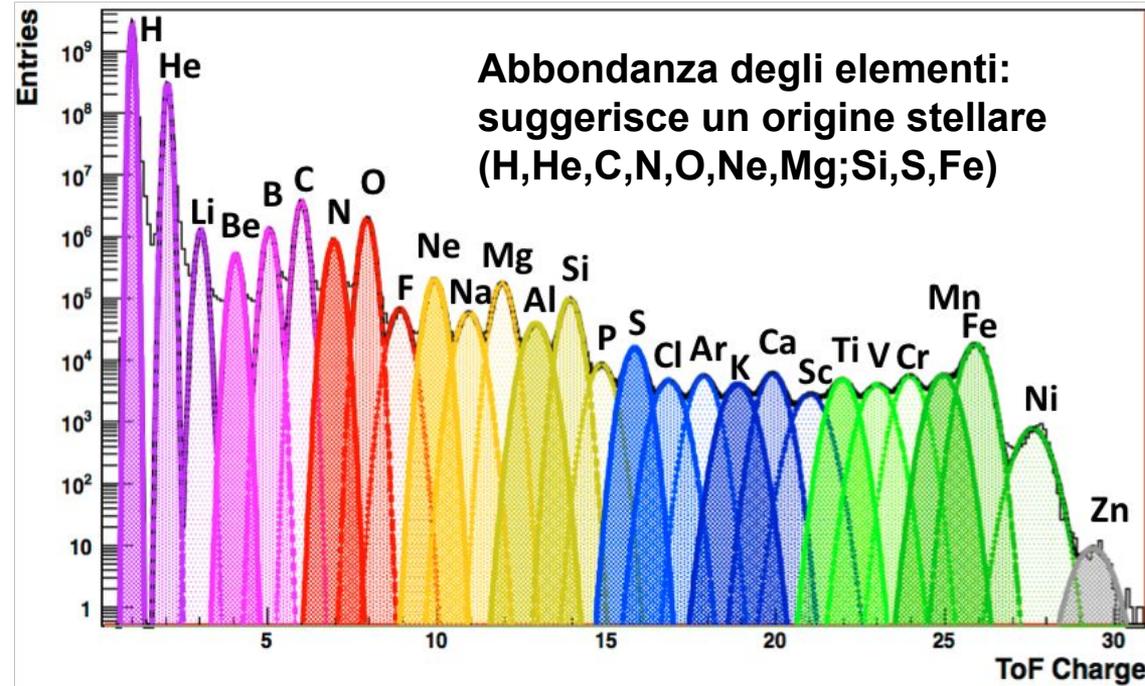
Particelle cariche sono deflesse da campi magnetici

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

Forza di Lorentz



Raggi cosmici: Una fabbrica di particelle ad alte energie



Principalmente composti da Protoni ed Elio.

Nei raggi cosmici troviamo anche:
1% altri nuclei
0.1% elettroni
2/10000 antimateria (positroni o antiprotoni)

Raggi gamma e neutrini essendo neutri
invece viaggiano in linea retta
(permettendo l'astronomia)

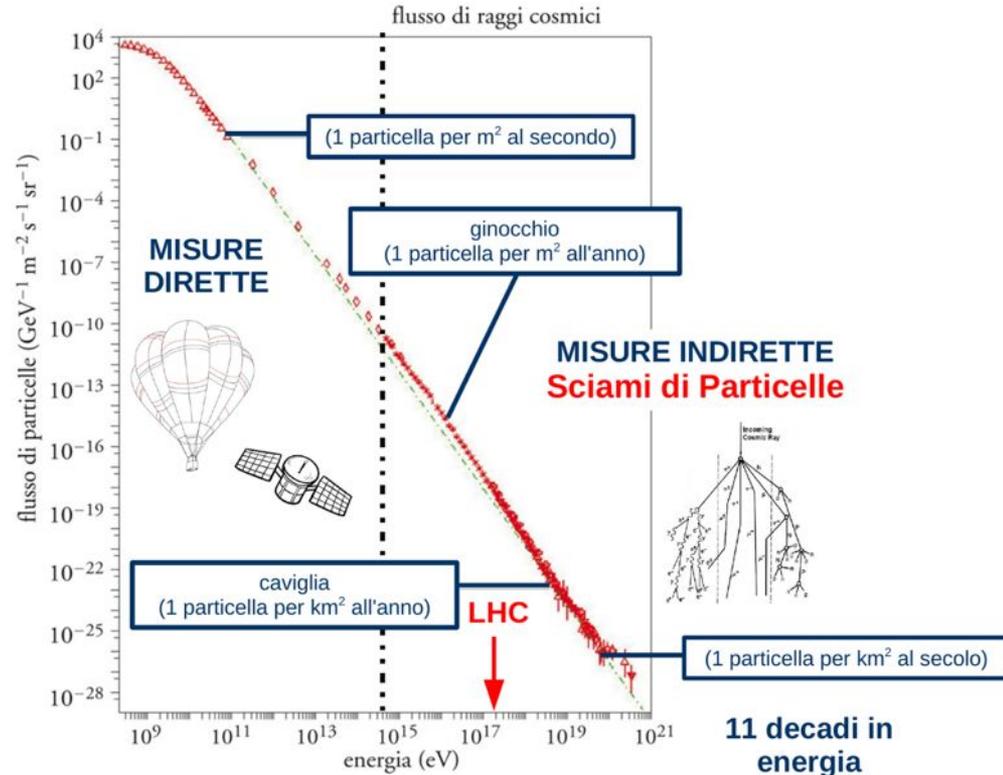
Raggi cosmici: Una fabbrica di particelle ad alte energie

Possono raggiungere energie elevatissime, molto maggiori delle energie che siamo capaci a fornire con gli acceleratori (LHC).

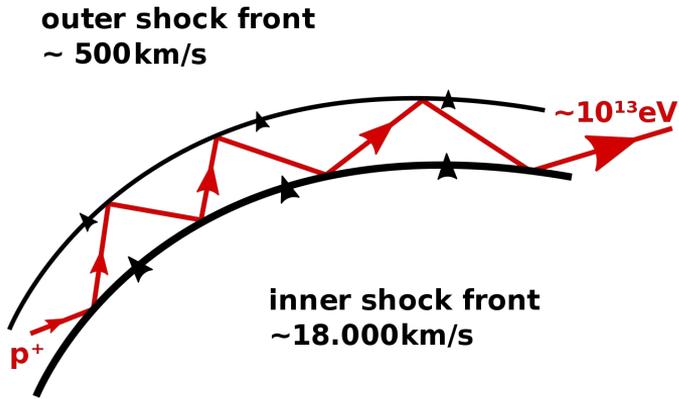
Ma la probabilità di osservarne scende con l'energia

Flusso: Numero di raggi cosmici per unità di tempo per unità di superficie

32 decenni in intensità

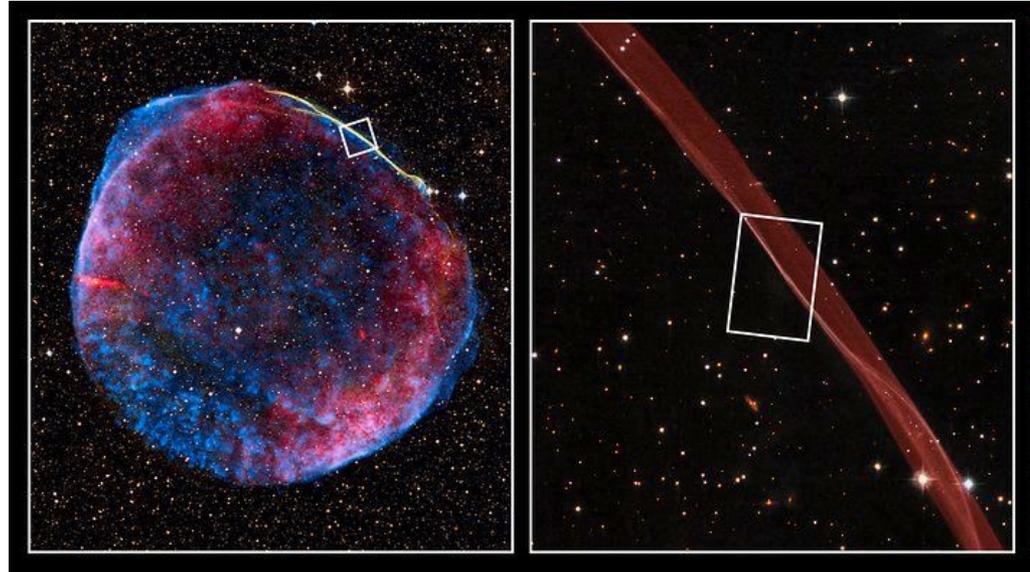


Chi produce i raggi cosmici? Si accettano risposte...



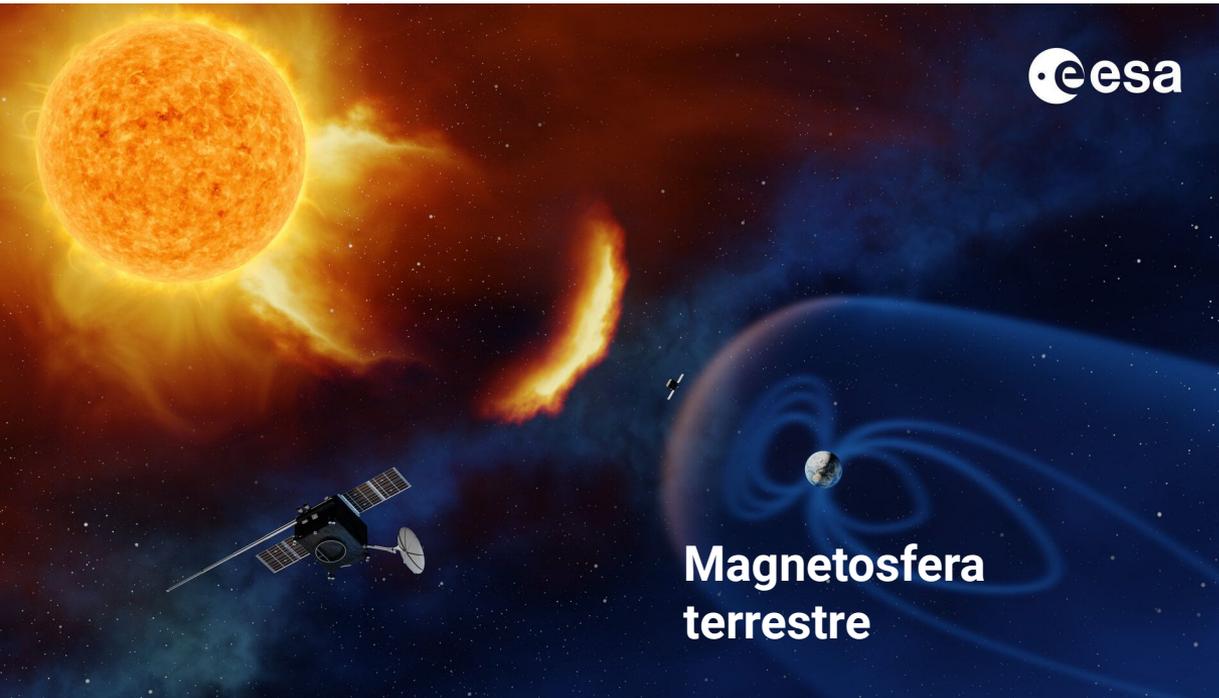
Si ritiene che i raggi cosmici galattici siano accelerati grazie ad innumerevoli passaggi attraverso un'onda di shock generata ad esempio dall'esplosione delle supernovae.

Le supernovae non sono in grado di spiegare i raggi cosmici più energetici, esistono anche altre sorgenti (pulsars, buchi neri, nuclei galattici attivi ...) in corso di studio.



Chi produce i raggi cosmici? Si accettano risposte...

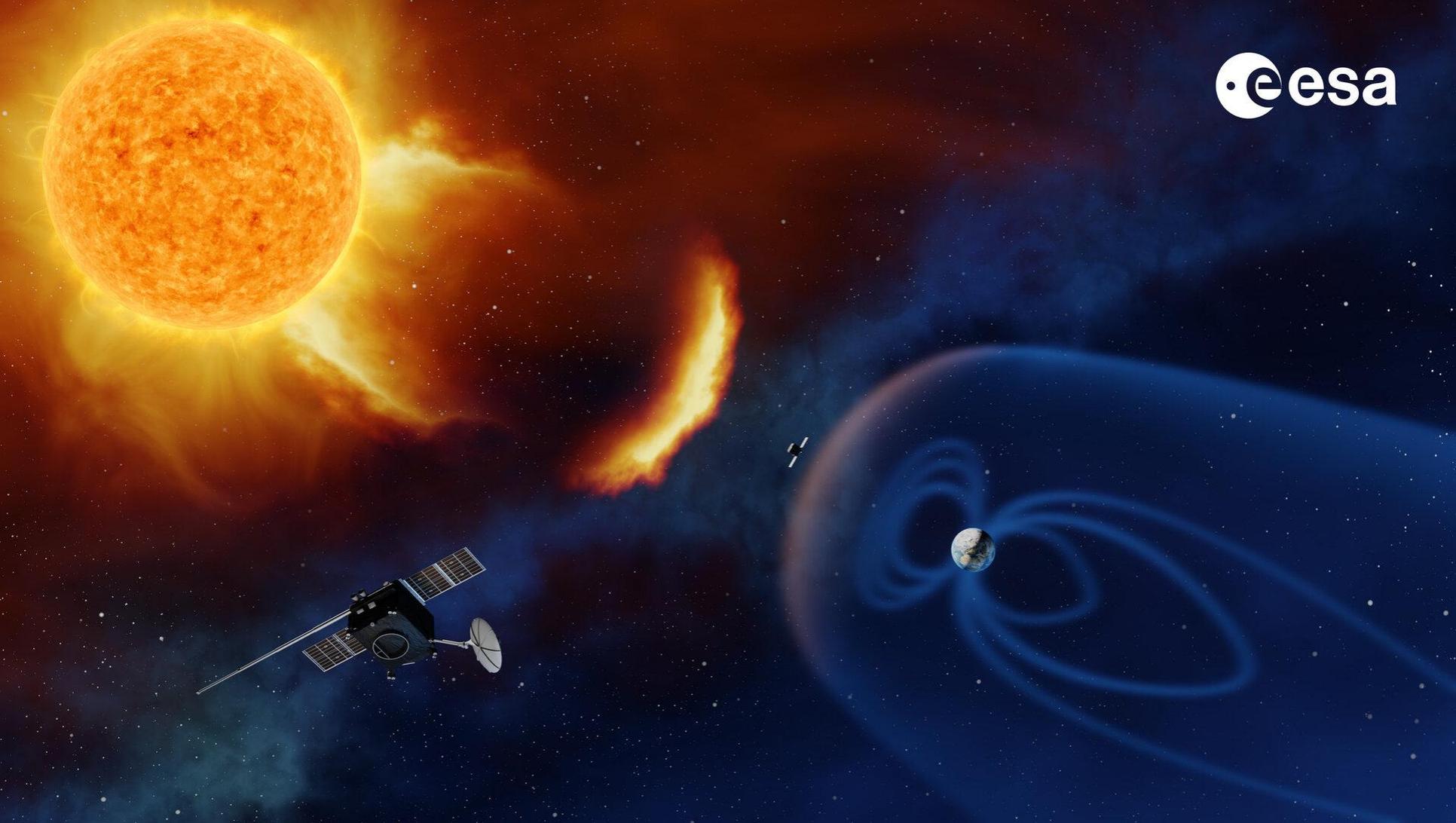
Il sole emette continuamente particelle cariche (elettroni, protoni) di bassa energia
Il campo magnetico terrestre deflette questo flusso di particelle



Ai poli le linee di campo sono perpendicolari alla superficie e le (moltissime) particelle di bassa energia possono penetrare → **aurora boreale**

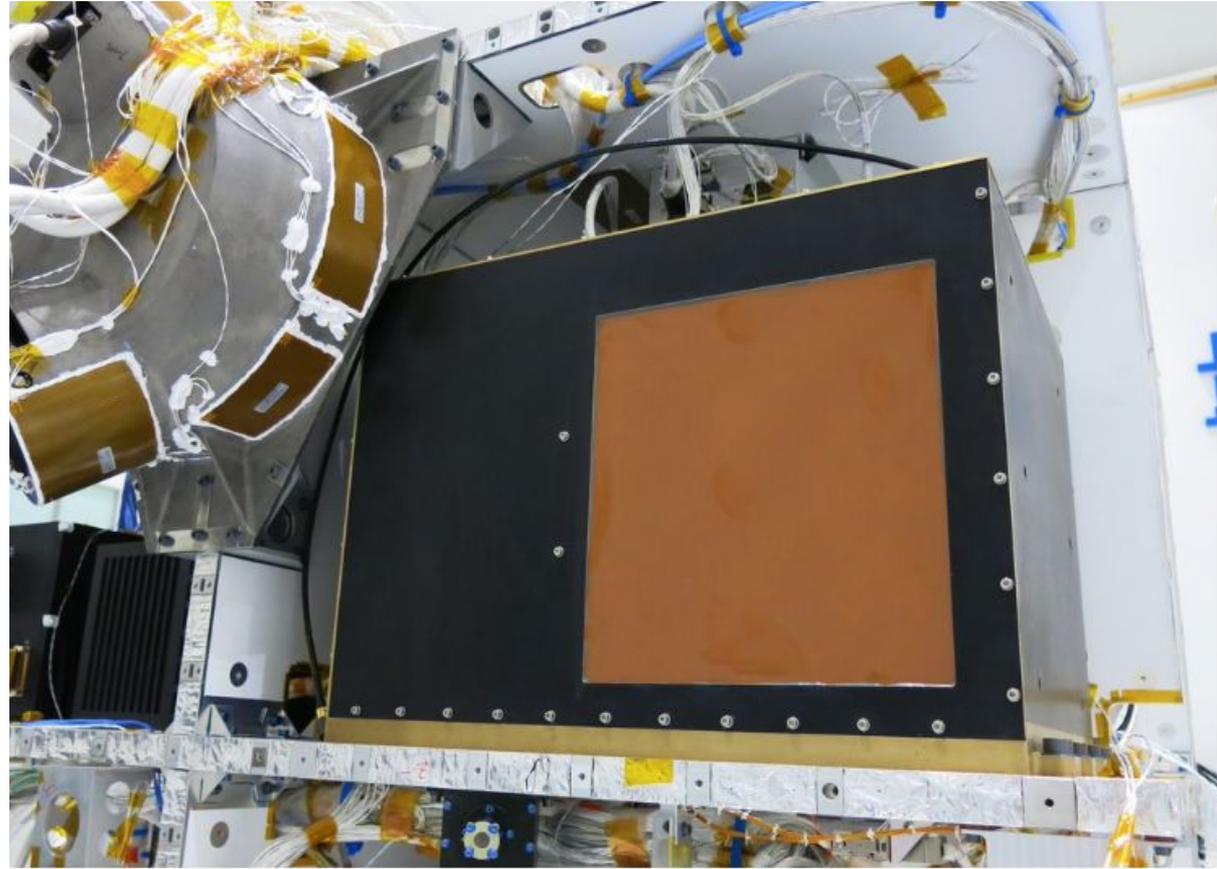
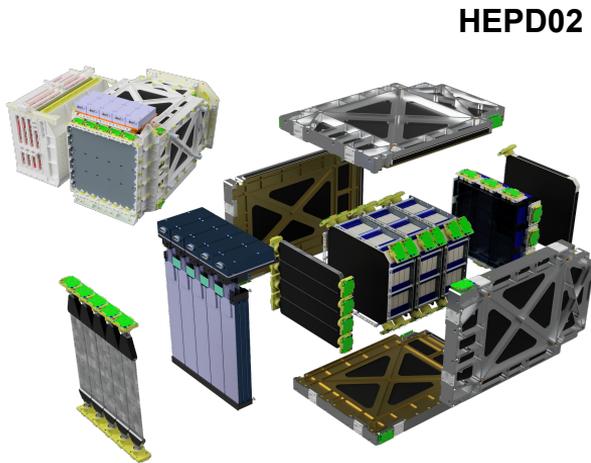
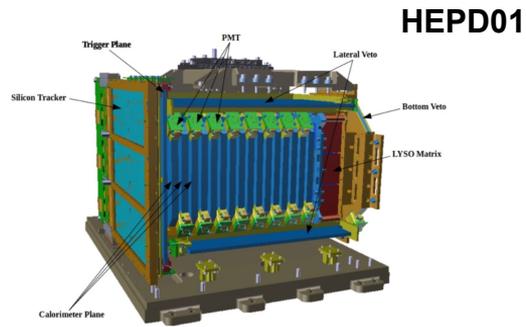


Misura diretta di particelle nello spazio
Attività INFN-TIFPA



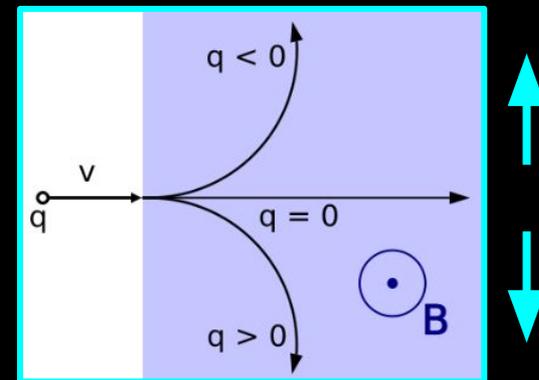


Limadou HEPD





Forza di Lorentz: $F_L = qv \otimes B$

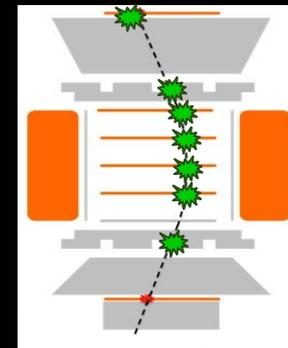


AMS - 02

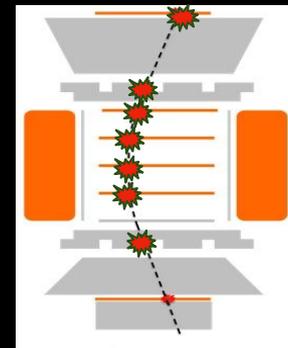


- Un osservatorio per raggi cosmici installato sulla stazione spaziale
- ... una versione "in miniatura" dei grandi esperimenti del CERN

Materia



Anti-materia



Vita all' AMS Payload Operation Control Centre @ CERN

AMS and CERN

AMS POCC

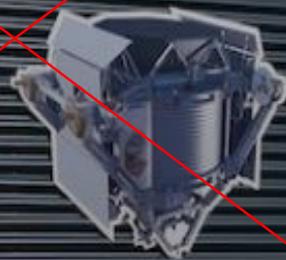


Route W. GENTNER



Vita all' AMS Payload Operation Control Centre @ CERN

AMS and CERN



Roma W. GENTNER

A caccia di Muoni



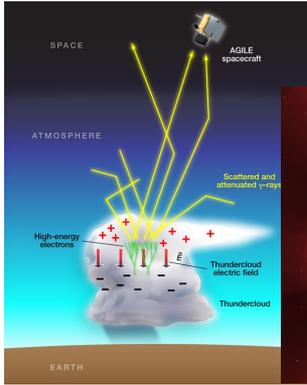
Small Particle Recognition Kit for Low Energies



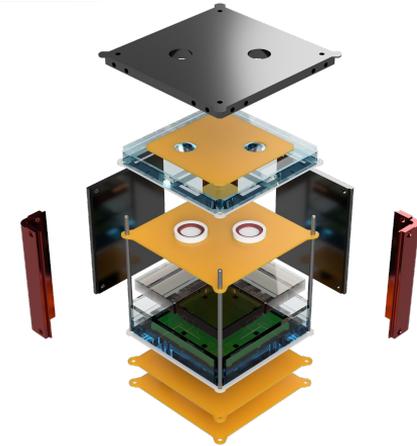
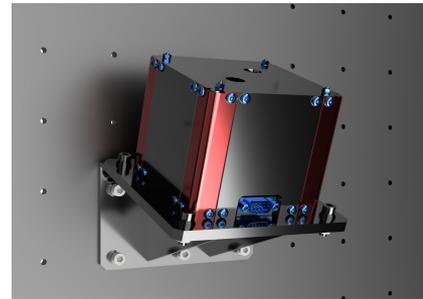
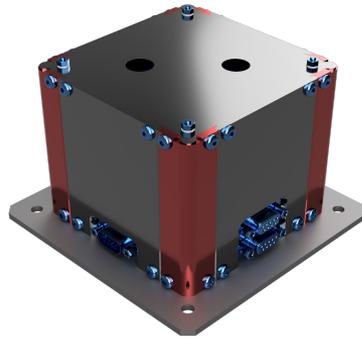
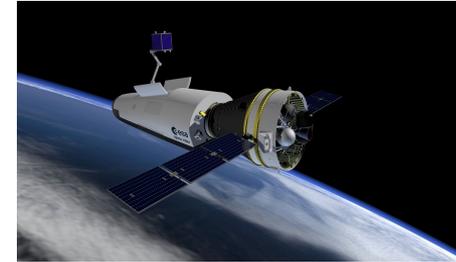
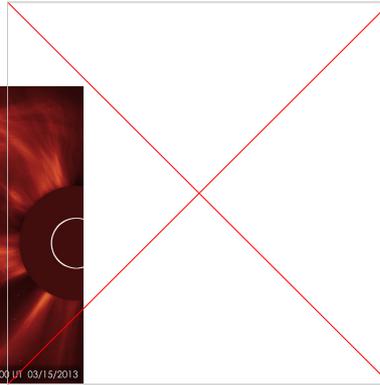
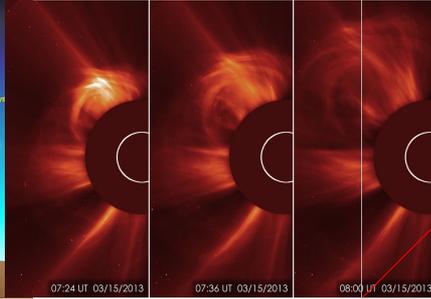
Terrestrial gamma ray flashes

Particelle intrappolate

Space Rider

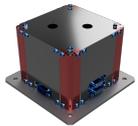


Event solari



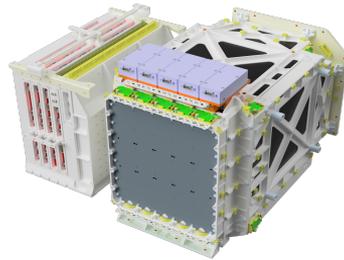
Le dimensioni sono
proporzionali all'energia
delle particelle da misurare

Sparkle

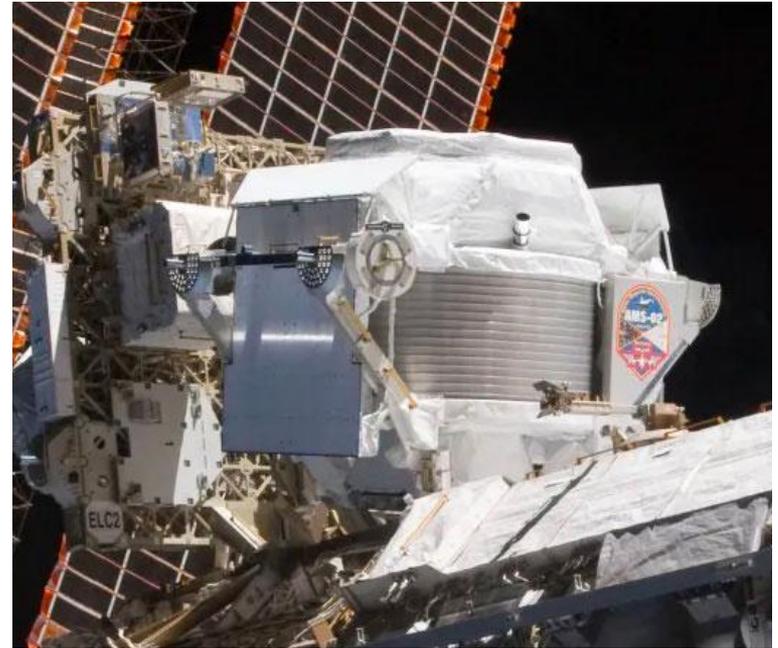


10 cm

HEPD



50 cm



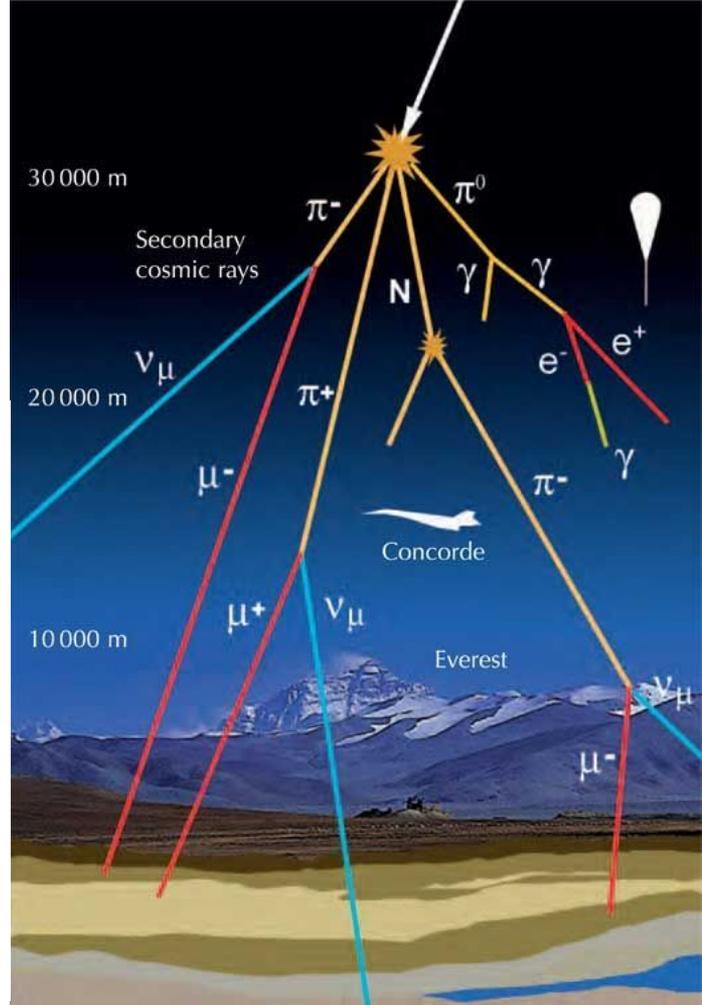
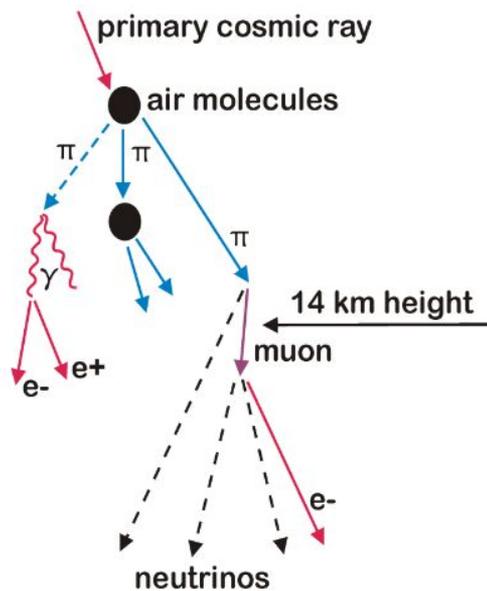
4 m

Cosa arriva a terra?

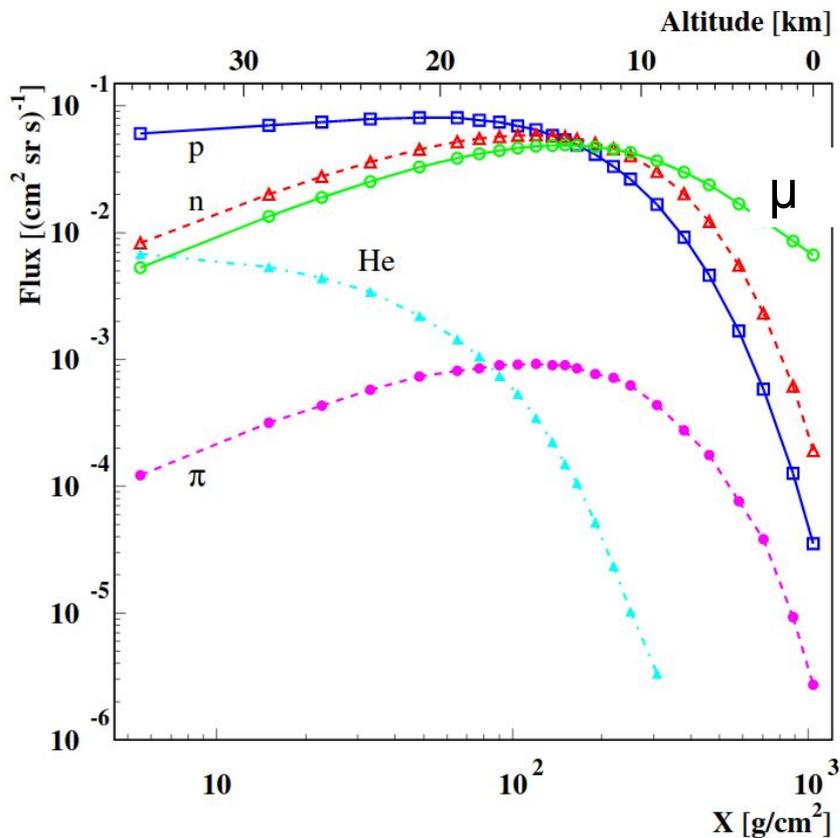
L'atmosfera ci protegge dai raggi cosmici di alta energia

Raggi cosmici impattano con le molecole dell'atmosfera e frammentano

Si generano pioni che decadono e diventano muoni

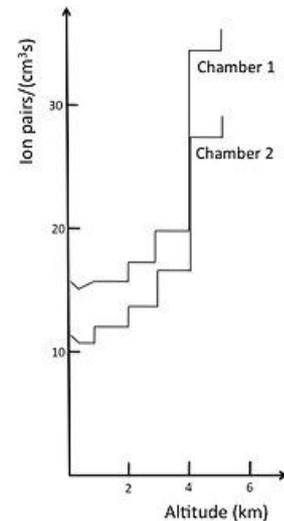
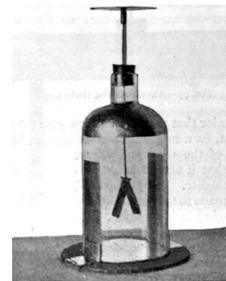


Il flusso dei muoni



Al suolo arrivano circa
100 muoni/ m^2 al secondo !!!
In quota questo flusso aumenta.

Per misurare un incremento sostanziale è
necessario salire 4km
(scoperta di Victor Hess del 1913)



Il flusso dei muoni

Domanda:

il muone è instabile la vita media è **2.2us**

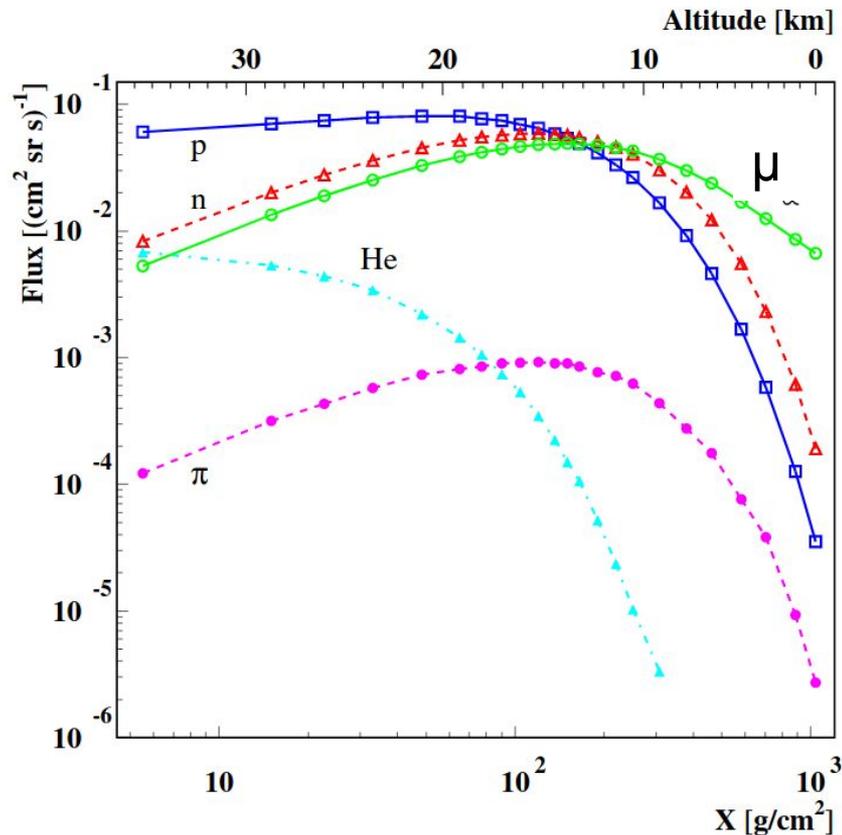
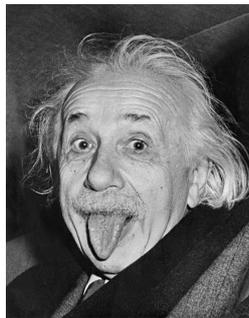
La velocità dei muoni è quasi **300m/us**.

Il flusso **non cala** drasticamente **dopo 660m**

Come mai il flusso aumenta così poco?

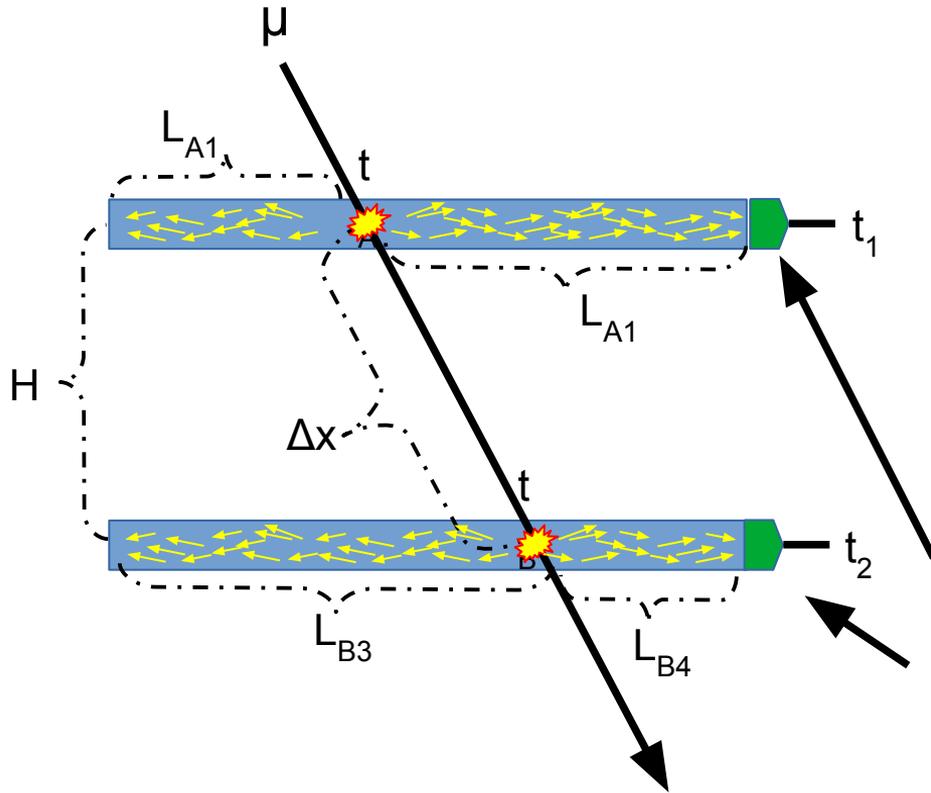
Come possono percorrere i 35km?

Risposta:
**dilatazione
dei tempi
relativistica**



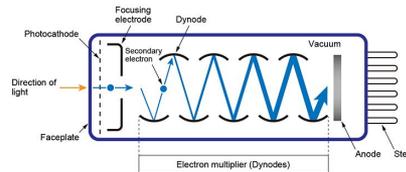
Misura del flusso di muoni

Come misurare particelle cariche come i muoni



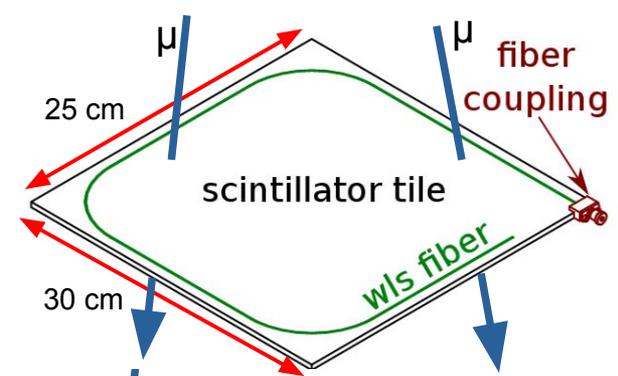
Scintillatori plastici

Speciale materiale plastico luminescente
Quando una particella carica lo attraversa lo
ionizza e si producono circa 10000 fotoni
visibili per ogni cm di percorso.

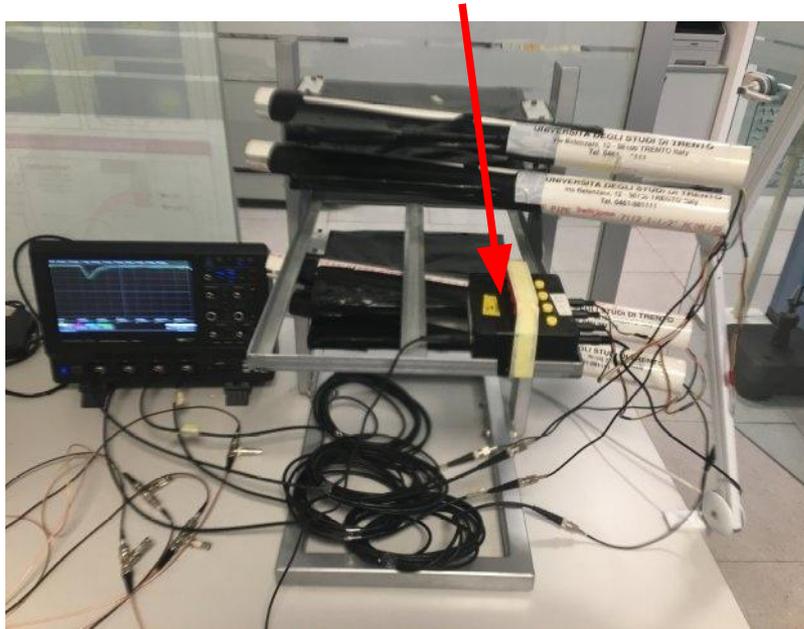


Tubi fotomoltiplicatori PMT
(trasformano un impulso luminoso
in un impulso elettrico)

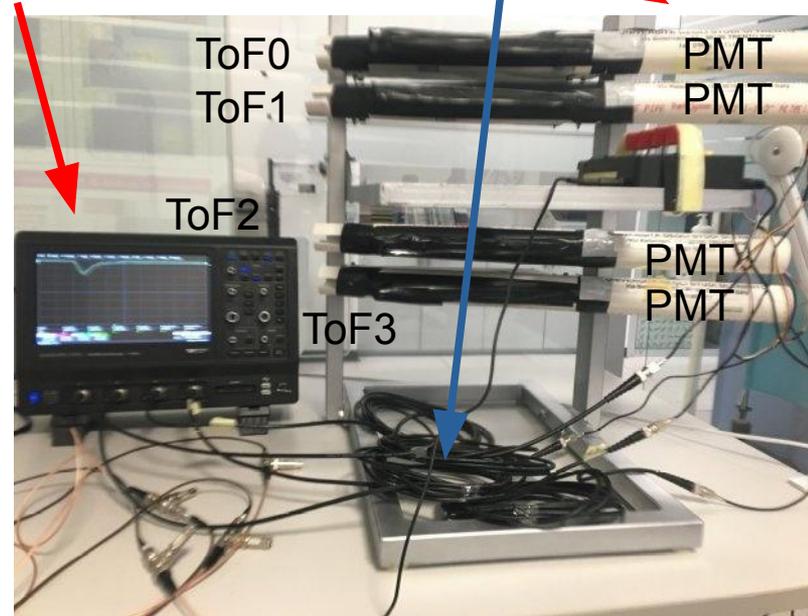
Telescopio di scintillatori plastici



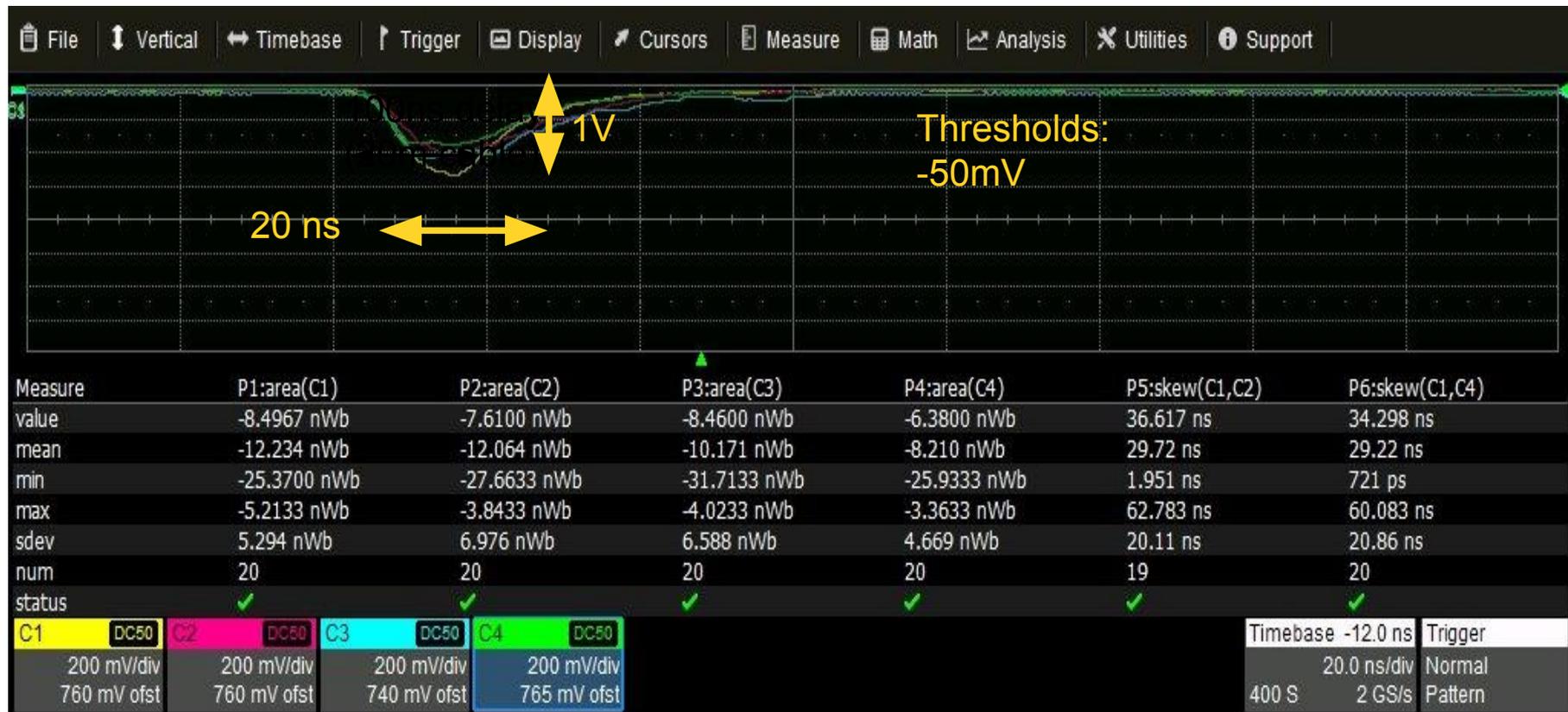
PMT voltage supply box



Oscilloscopio



Segnale indotto dal passaggio di muoni

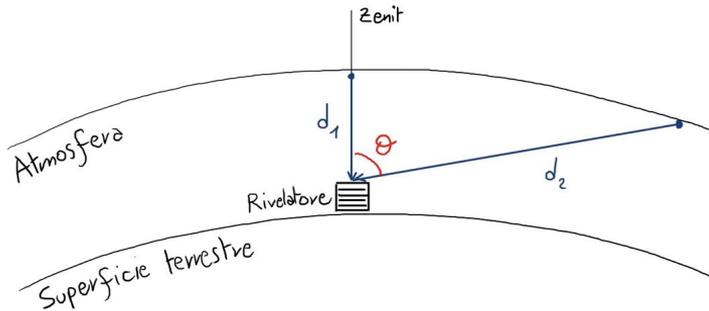


Misura del flusso di muoni

Il flusso si misura in conteggi per unità di tempo per unità di superficie

Quello che dobbiamo fare è quindi attendere un lasso di tempo T e contare il numero di eventi che accadono.

Usando la formula accanto possiamo quindi stimare il flusso di muoni!

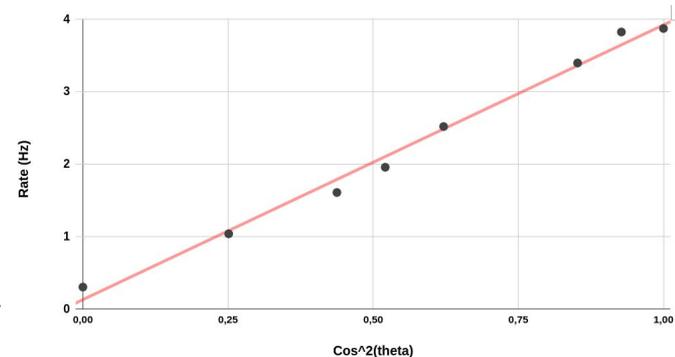


$$\Phi = \frac{N}{T \times A}$$

$$P(k; \lambda) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$$

$$E[k] = \lambda \quad \sigma[k] = \sqrt{\lambda}$$

$$\Phi \propto \cos(\theta^2)$$



Comunicato stampa INFN

Comunicati stampa

📅 25 NOVEMBRE 2024

INTERNATIONAL COSMIC DAY: STUDENTESSE E STUDENTI ALLA RICERCA DEI RAGGI COSMICI



Oltre 1200 studenti e studentesse in presenza e circa 1300 online partecipano oggi, 26 novembre, all'International Cosmic Day 2024, la giornata internazionale dedicata alla fisica dei raggi cosmici, coordinata in Italia dal progetto dell'INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare [OCRA - Outreach Cosmic Ray Activities](#), rivolto a docenti e studenti delle scuole superiori di tutta Italia per coinvolgerli nella fisica dei raggi cosmici.

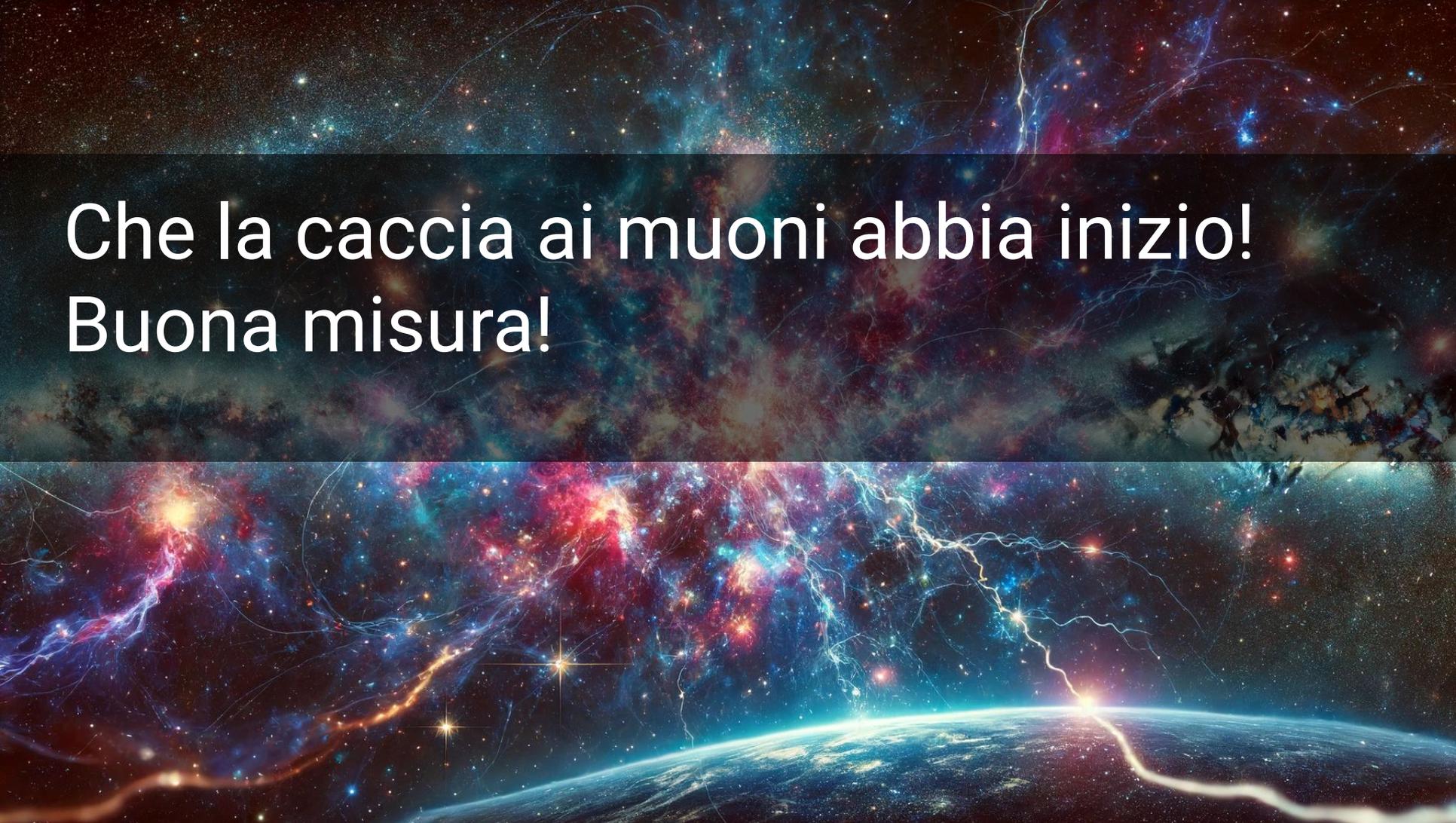
Che cosa sono le particelle cosmiche? Da dove provengono? Che messaggi portano? Come possiamo misurarle? Queste le domande a cui studenti e studentesse delle scuole superiori, in aule universitarie e laboratori di ricerca, proveranno a rispondere con esperimenti in prima persona in questa giornata dedicata ai raggi cosmici.

Gli studenti italiani, come altri coetanei all'estero, hanno oggi l'occasione di cimentarsi nell'analisi dei dati di un vero e proprio rivelatore di raggi cosmici, lo strumento con cui si rivela la pioggia di particelle proveniente dal cosmo. Nelle prossime settimane alcuni studenti parteciperanno, inoltre, a percorsi di approfondimento su varie tematiche nell'ambito dei raggi cosmici che prevedono attività sperimentali e la stesura di un articolo scientifico finale.

Gli incontri nelle università e nei laboratori dell'INFN sono stati organizzati quest'anno dalle Sezioni o gruppi collegati INFN di Bari, Catania, Cosenza, Ferrara, Firenze, Genova, Lecce, Milano Bicocca, Napoli, Padova, Palermo, Pavia, Perugia, Pisa, Roma Sapienza, Roma Tor Vergata, Roma Tre, Siena, Torino e Trieste, insieme al TIFPA di Trento e ai Laboratori Nazionali dell'INFN di Frascati, Legnaro e del Gran Sasso in collaborazione con il GSSI Gran Sasso Science Institute e l'Università degli Studi dell'Aquila.

Il collegamento online è organizzato dalla Sezione INFN di Milano ed è previsto alle 10.30 sul [canale YouTube dei progetti educational dell'INFN](#).

Il progetto OCRA e l'International Cosmic Day ICD

A cosmic background image featuring a dense network of galaxy filaments in shades of blue, red, and orange, set against a dark starry sky. The bottom portion of the image shows the curved horizon of the Earth, with a bright light source on the right side creating a lens flare effect.

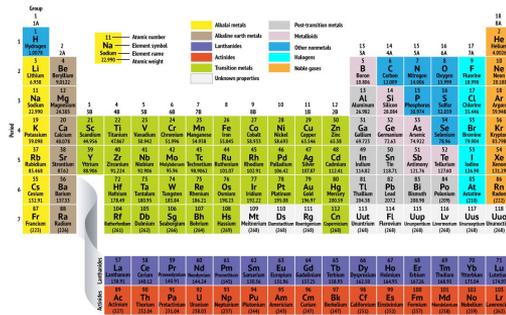
Che la caccia ai muoni abbia inizio!
Buona misura!



Backup

Particelle elementari, una lunghissima storia

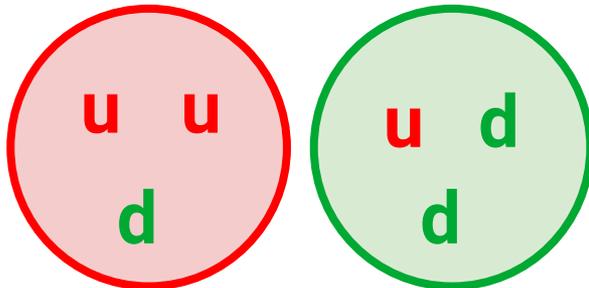
Esempio: Atomo di Elio ${}^4\text{He}$



Elemento atomico:

- Nucleo atomico con
 - 2 protoni: Carica +2
 - 2 neutroni
- Nube elettronica con
 - 2 elettroni: Carica -2

L'elettrone è una **particella elementare**: non è scindibile in ulteriori sottoelementi

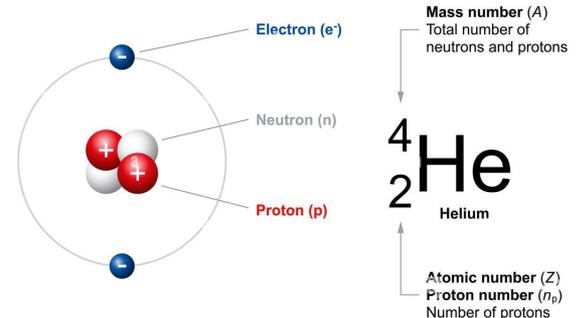


Protoni e Neutroni non sono elementari!!

- **Quark up (u):** Carica $+\frac{2}{3}$
- **Quark down (d):** Carica $-\frac{1}{3}$



Quale dei due è il protone e il neutrone?



	3 generazioni di fermioni			12 bosoni di gauge
	I	II	III	
massa	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV	0
carica	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nome	u up	c charm	t top	γ fotone
	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quark	d down	s strange	b bottom	g gluone
	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV	91,2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptoni	ν_e neutrino elettronico	ν_μ neutrino muonico	ν_τ neutrino tauonico	Z forza debole
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	80,4 GeV
	-1	-1	-1	\pm
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e elettrone	μ muone	τ tauone	W forza debole

Bosoni (Forze)