

INTERNATIONAL COSMIC DAY

CENTRO
FERMI
Enrico Fermi

MUSEO
STORICO DELLA FISICA
E
CENTRO
STUDI E RICERCHE
ENRICO FERMI



Become a Scientist for a Day

06 Novembre 2019

Outline:

- Cosa sono I raggi cosmici?
- Da dove provengono?
- Come possono essere rivelati?
- Il Progetto EEE
- Introduzione all'analisi dei dati

P.La Rocca & M.Trimarchi



Da quando siete entrati in questa Aula il vostro corpo è stato attraversato da circa 1,000,000 di Raggi Cosmici

Benvenuti!

COSA SONO I RAGGI COSMICI?



Agli inizi del 1900 alcuni fisici osservarono l'esistenza di una radiazione naturale in grado di ionizzare l'aria...

COSA SONO I RAGGI COSMICI?



Agli inizi del 1900 alcuni fisici osservarono l'esistenza di una radiazione naturale in grado di ionizzare l'aria...

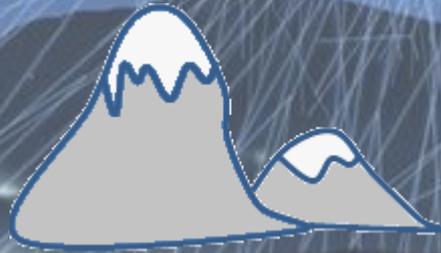
Quale era l'origine di tale radiazione?

COSA SONO I RAGGI COSMICI?



Agli inizi del 1900 alcuni fisici osservarono l'esistenza di una radiazione naturale in grado di ionizzare l'aria...

Quale era l'origine di tale radiazione?



COSA SONO I RAGGI COSMICI?



La prima evidenza sperimentale della presenza della radiazione
cosmica fu osservata per mezzo di:

COSA SONO I RAGGI COSMICI?



La prima evidenza sperimentale della presenza della radiazione cosmica fu osservata per mezzo di:

◆ **A:** un contatore Geiger

◆ **B:** una camera a nebbia

◆ **C:** un elettroscopio

◆ **D:** un microscopio

COSA SONO I RAGGI COSMICI?



La prima evidenza sperimentale della presenza della radiazione cosmica fu osservata per mezzo di:

◆ **A:** un contatore Geiger

◆ **B:** una camera a nebbia

◆ **C:** un elettroscopio

◆ **D:** un microscopio



Tale radiazione fu chiamata **RADIAZIONE COSMICA
(SECONDARIA)**

COSA SONO I RAGGI COSMICI?



Tale radiazione fu chiamata **RADIAZIONE COSMICA
(SECONDARIA)**

Da che particelle è composta?

COSA SONO I RAGGI COSMICI?



30% Componente Soft

Elettroni

Fotoni

Neutroni

Pioni

Kaoni

Neutrini

Bassa Energia

Poco penetranti

70% Componente Hard

Muoni

Flusso al livello del mare

~ 1 particella al cm² al minuto

Alta Energia ~ 1 GeV

Altamente penetranti

COSA SONO I RAGGI COSMICI?



Se si utilizza un rivelatore planare di dimensioni 100 cm x 150 cm,
quanti muoni in media ci si aspetta di misurare ogni secondo:

COSA SONO I RAGGI COSMICI?



Se si utilizza un rivelatore planare di dimensioni 100 cm x 150 cm, quanti muoni in media ci si aspetta di misurare ogni secondo:

◆ **A:** circa 250

◆ **B:** circa 10

◆ **C:** non si può calcolare

◆ **D:** diverse migliaia

COSA SONO I RAGGI COSMICI?



Se si utilizza un rivelatore planare di dimensioni 100 cm x 150 cm, quanti muoni in media ci si aspetta di misurare ogni secondo:

◆ **A:** circa 250

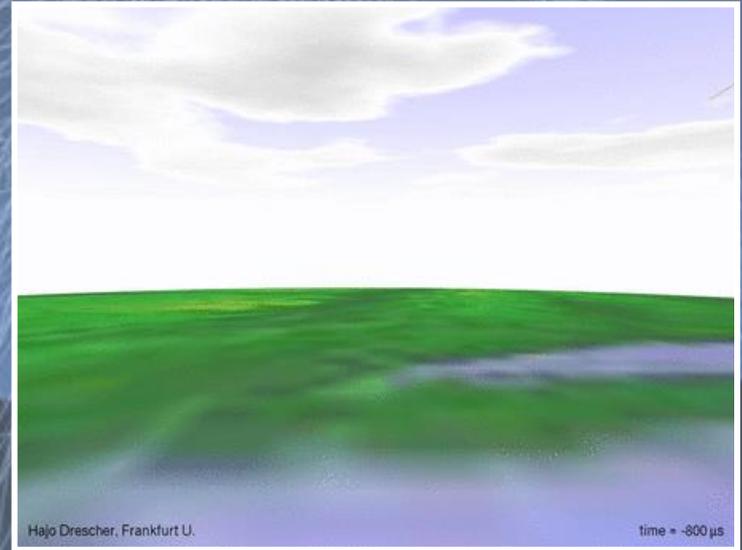
◆ **B:** circa 10

◆ **C:** non si può calcolare

◆ **D:** diverse migliaia

La radiazione cosmica **secondaria**

- I raggi cosmici secondari sono prodotti a seguito dell'interazione di particelle cosmiche **primarie** con l'atmosfera.
- Ciò che osserviamo sulla Terra è dunque il risultato di processi fisici iniziati nell'alta atmosfera da una singola particella di alta energia.

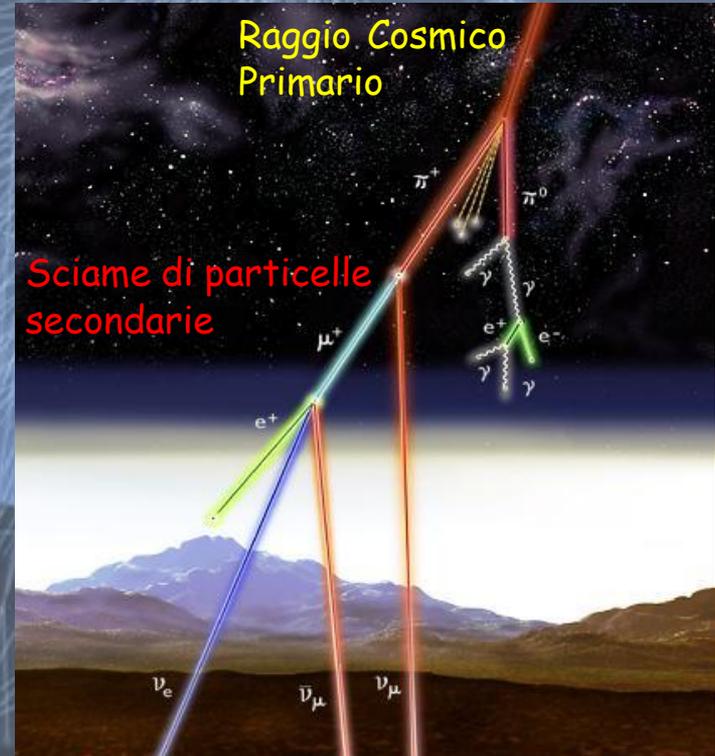


COSA SONO I RAGGI COSMICI?



I muoni sono la componente più penetrante degli sciami cosmici (componente hard).

A causa dell'effetto relativistico di dilatazione dei tempi, possono raggiungere la Terra, anche se la loro vita media a riposo è circa $2 \mu\text{s}$.



COSA SONO I RAGGI COSMICI?



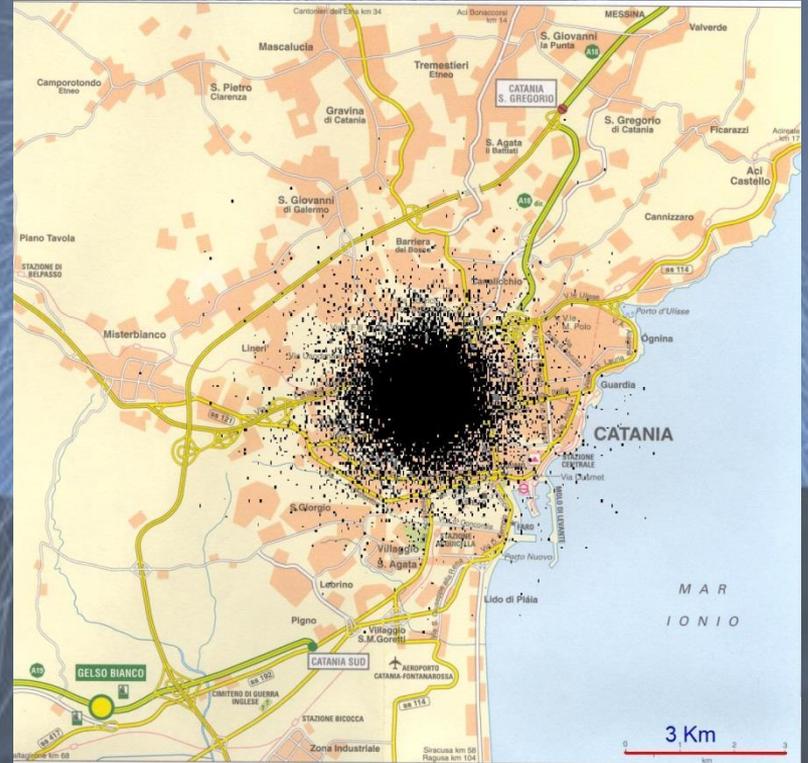
Esempio di distribuzione delle particelle di uno sciame cosmico sulla città di Catania, al variare dell'energia del primario.

$$E = 10^{13} \text{ eV}$$

$$E = 10^{14} \text{ eV}$$

$$E = 10^{15} \text{ eV}$$

$$E = 10^{16} \text{ eV}$$



COSA SONO I RAGGI COSMICI?



I raggi cosmici primari sono particelle energetiche provenienti dallo spazio esterno, alle quali è esposta la Terra e qualunque altro corpo celeste

COSA SONO I RAGGI COSMICI?

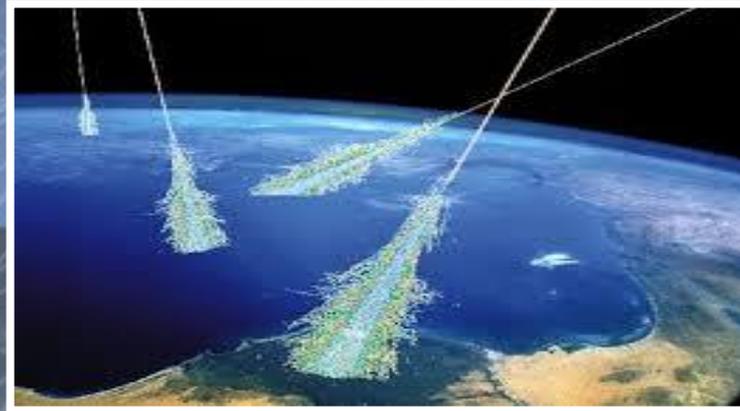


I raggi cosmici primari sono **particelle energetiche** provenienti dallo **spazio** esterno, alle quali è esposta la Terra e qualunque altro corpo celeste



La radiazione cosmica primaria

- I raggi cosmici primari sono particelle cariche di altissima energia
- I raggi cosmici primari investono continuamente la Terra provenendo da tutte le direzioni dello spazio



COSA SONO I RAGGI COSMICI?



I raggi cosmici primari sono costituiti principalmente da:

COSA SONO I RAGGI COSMICI?



I raggi cosmici primari sono costituiti principalmente da:

◆ **A:** muoni

◆ **B:** protoni e particelle α

◆ **C:** raggi gamma

◆ **D:** nuclei pesanti

COSA SONO I RAGGI COSMICI?



I raggi cosmici primari sono costituiti principalmente da:

◆ **A:** muoni

◆ **B:** protoni e particelle α

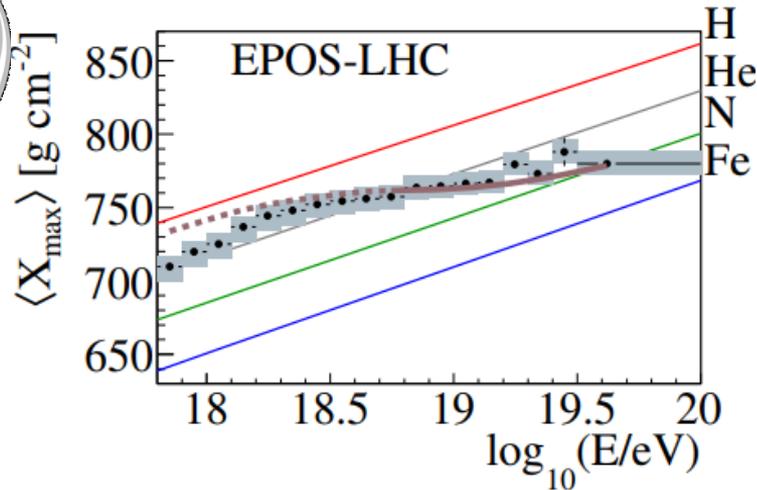
◆ **C:** raggi gamma

◆ **D:** nuclei pesanti

COSA SONO I RAGGI COSMICI?



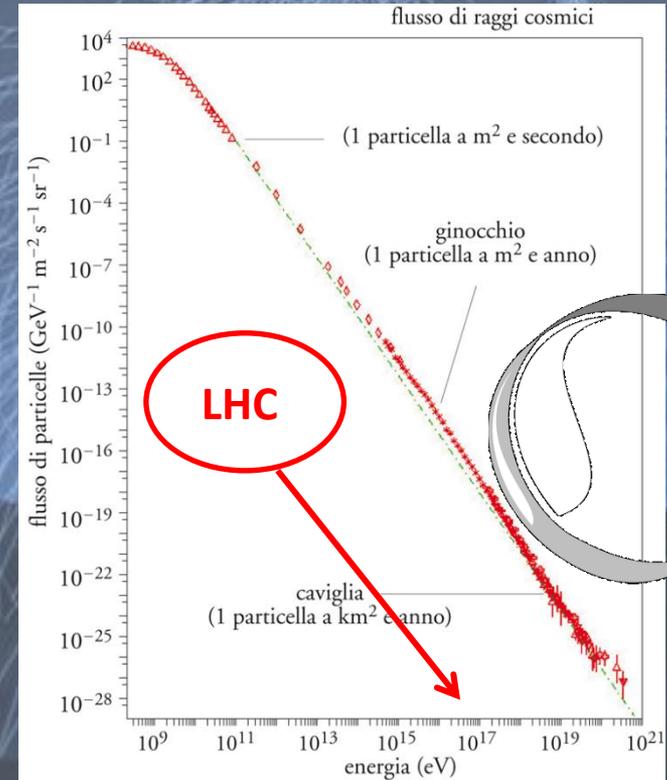
In realtà la composizione in massa dei raggi cosmici è ancora oggi oggetto di ricerca da parte di grandi esperimenti dedicati allo studio dei raggi cosmici.



Ma ci sono altre domande ancora senza risposta ...

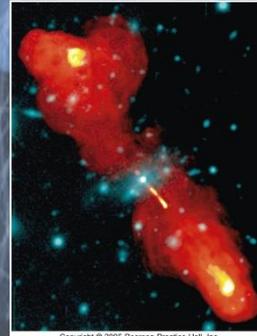
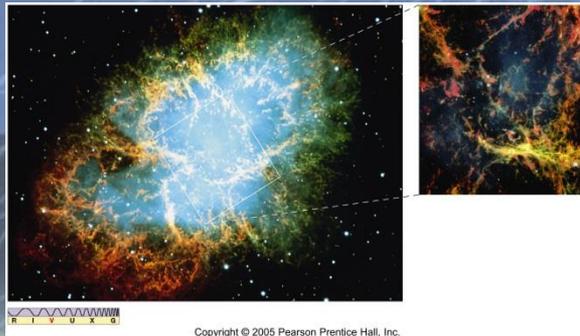
Spettro in energia dei raggi cosmici primari

- Si estende per oltre 10 ordini di grandezza in energia e per oltre 30 ordini in flusso.
- Presenza di un cut-off.
- Spettro ben descritto da una legge:
 $\text{Flusso} \propto E^{-n}$
- Quali meccanismi di accelerazione possono spiegare energie così elevate?



Possibili meccanismi di accelerazione

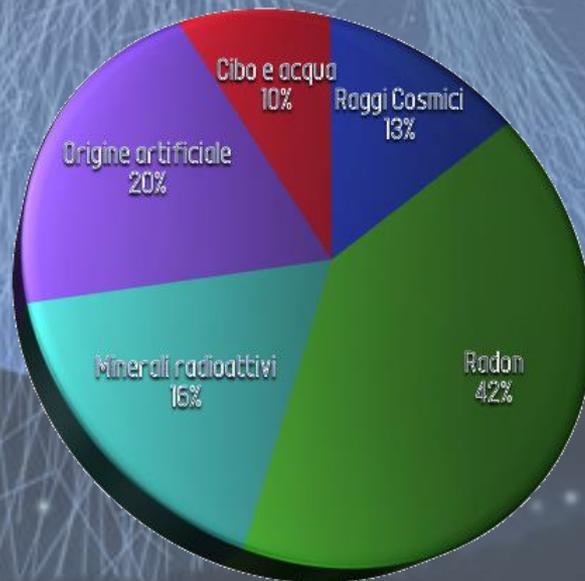
- Onde d'urto, causate ad esempio dall'esplosione di una supernova
- Attraversamento di nubi di plasma all'interno della nostra galassia
- Acceleratori cosmici (nuclei galattici attivi e i gamma ray burst)
- Modelli top-down (decadimento di particelle con masse enormi)





I raggi cosmici: una radiazione con cui convivere

La radiazione cosmica secondaria rappresenta una parte della radiazione naturale con cui l'uomo convive da sempre.

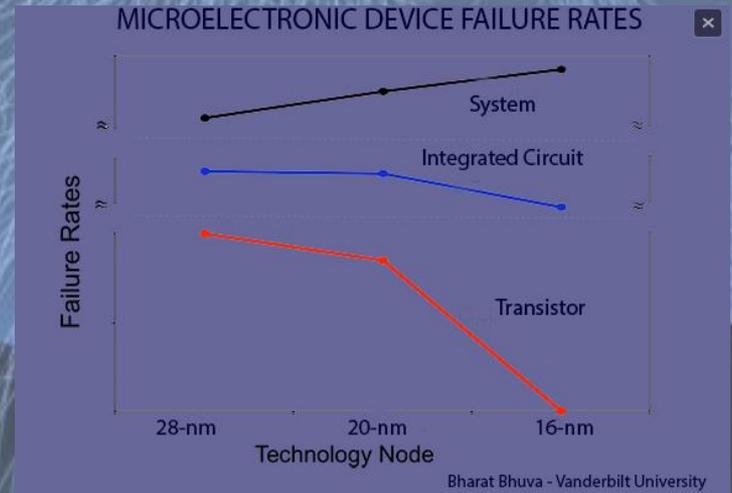


COSA SONO I RAGGI COSMICI?



Alcune curiosità...

- I raggi cosmici possono essere responsabili di malfunzionamenti anomali dei circuiti elettrici



Alcune curiosità...

- In un volo Francoforte – San Francisco la dose assorbita da un passeggero a causa dei raggi cosmici può arrivare al 4% della dose annua media assorbita da un individuo sulla Terra.

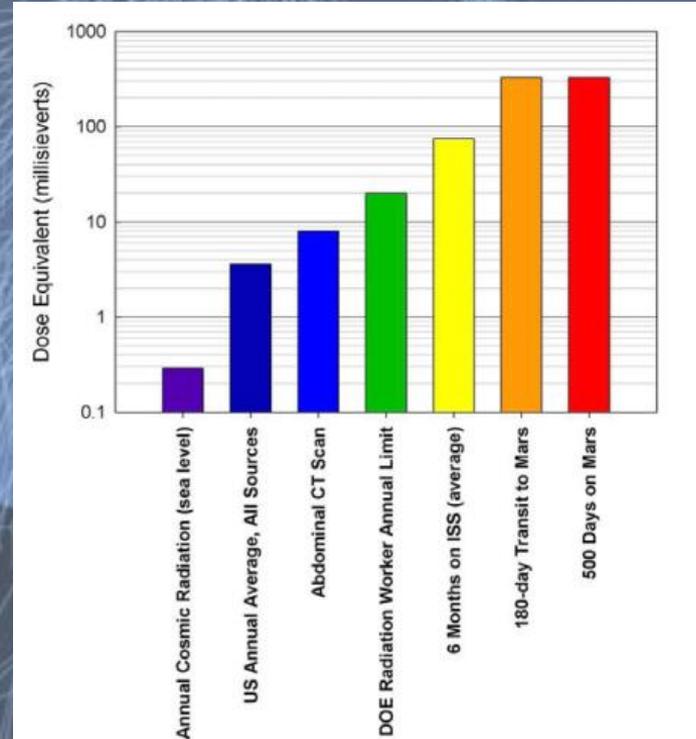
→ l'atmosfera agisce da schermo!



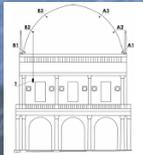
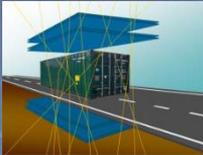
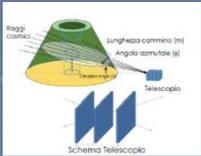


Alcune curiosità...

- Le missioni spaziali hanno generalmente una durata massima di 6 mesi.
- Missione verso Marte... possibile?



Raggi cosmici: possibili applicazioni



- Ispezione dei container alla ricerca di materiale fissile di contrabbando
- Esplorazione di monti e vulcani per studiarne la struttura interna
- Monitoraggio delle scorie radioattive (barre esaurite dai reattori)
- Ispezione dei rottami metallici per le fonderie alla ricerca di sorgenti radioattive orfane
- Controllo della stabilità degli edifici e delle grandi strutture
- E infine... la prospezione geologica di altri Pianeti

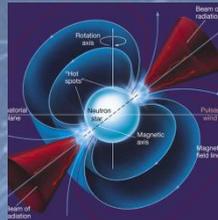


Sono state individuate possibili sorgenti di raggi cosmici

Relitti di supernova (SNR)



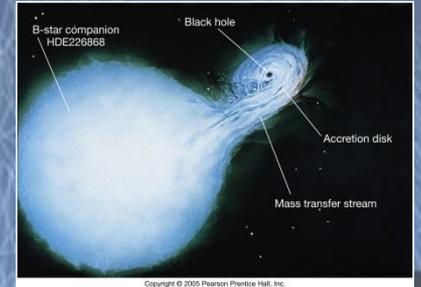
Pulsar



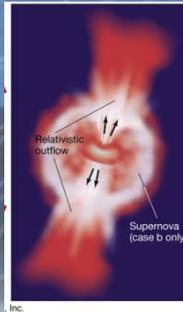
Relitti del big bang



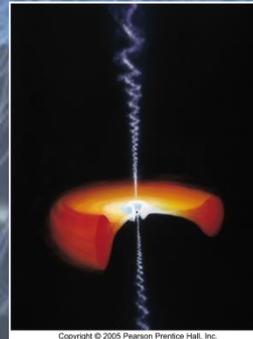
Sistemi binari



Gamma-Ray Burst (GRB)



Buchi neri nei centri delle galassie attive



Sole





Osservate anisotropie nelle
direzioni di arrivo dei cosmici
primari di elevata energia
→ Origine extra-galattica

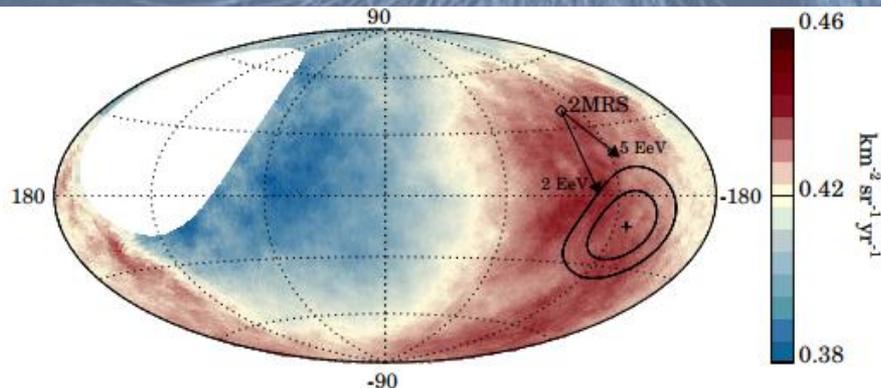
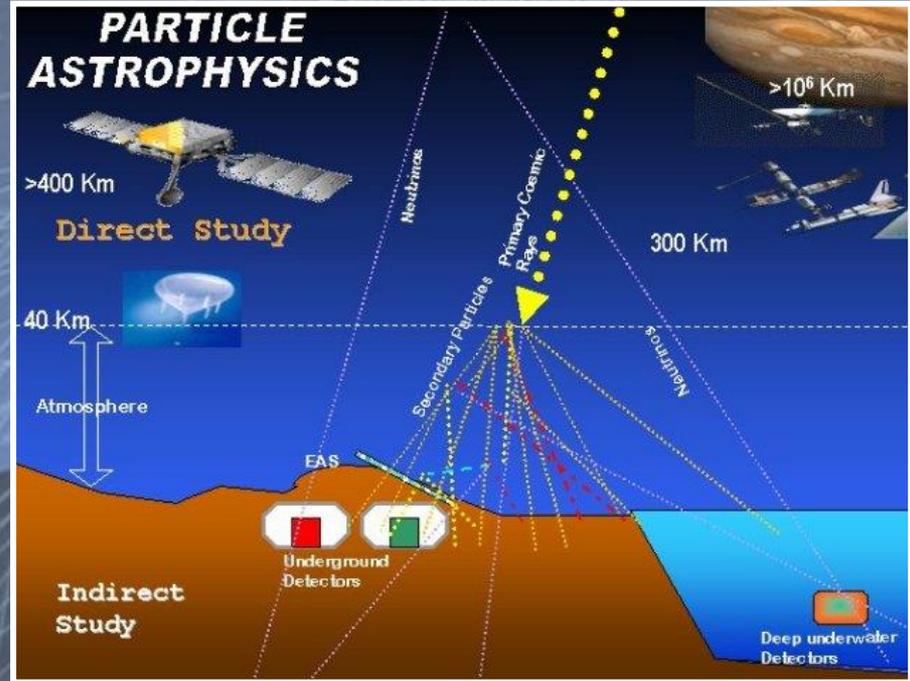


Figure 3: **Map showing the fluxes of particles in Galactic coordinates.** Sky map in Galactic coordinates showing the cosmic-ray flux for $E \geq 8$ EeV smoothed with a 45° top-hat function. The Galactic center is at the origin. The cross indicates the measured dipole direction; the contours denote the 68% and 95% confidence-level regions. The dipole in the 2MRS galaxy distribution is indicated. Arrows show the deflections expected for a particular model of the Galactic magnetic field [8] on particles with $E/Z = 5$ EeV or 2 EeV.

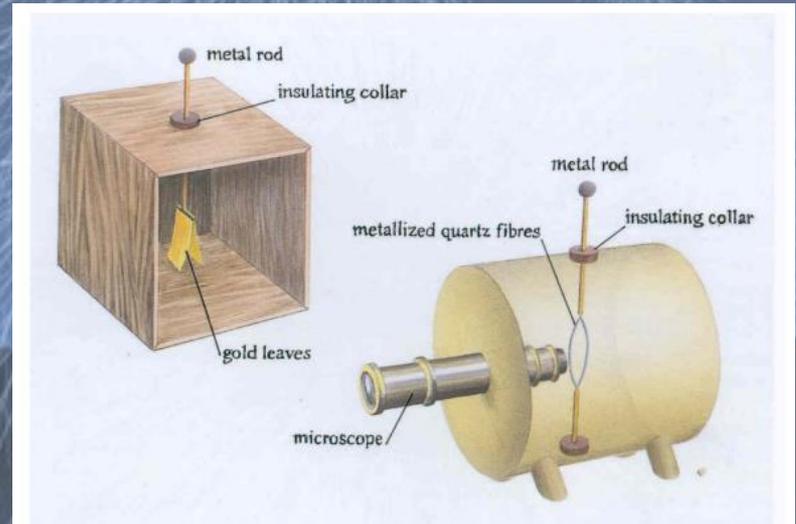
- Misure dirette fino a 10^{14} eV (palloni sonda e satelliti)
- Misure indirette oltre 10^{14} eV (rivelatori di superficie e telescopi)



Un po' di storia...

Le radiazioni emesse da sostanze radioattive venivano rivelate all'inizio del XX secolo mediante elettroscopi, che rivelavano la presenza di agenti ionizzanti.

Gli elettroscopi si scaricavano anche in assenza di una sorgente →
Presenza di una radiazione naturale



Un po' di storia...

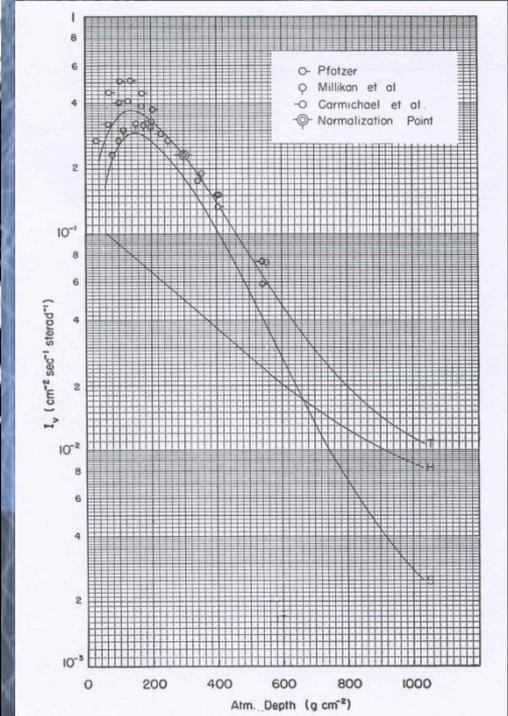
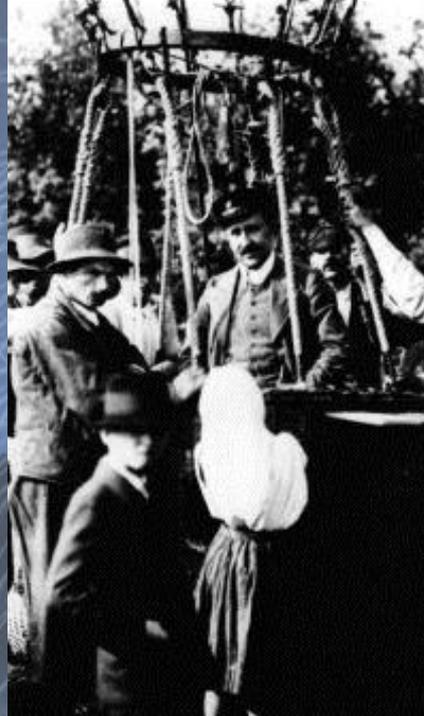
Wulf portò degli elettroscopi sulla Torre Eiffel, misurando una quantità di radiazioni maggiore del previsto

→ Origine extra-terrestre

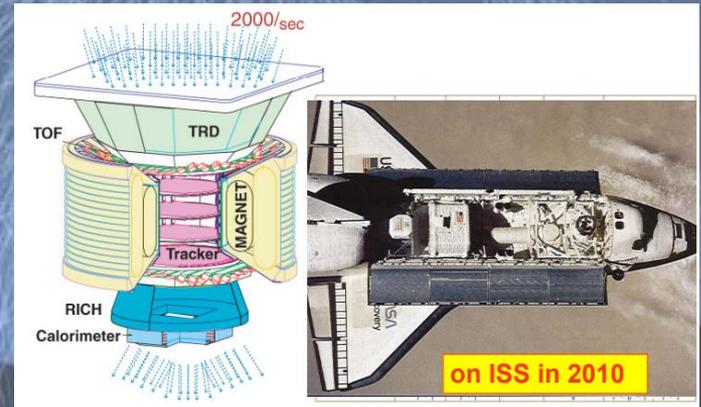
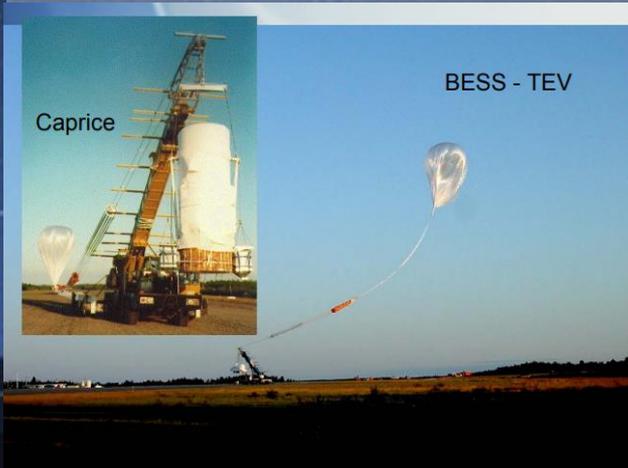


Un po' di storia...

1911-1912: l'origine extra-terrestre di questa radiazione viene verificata da Victor Hess, che dotato di alcuni elettroscopi, effettua una decina di ascensioni in pallone, fino alla quota di 5000 m.

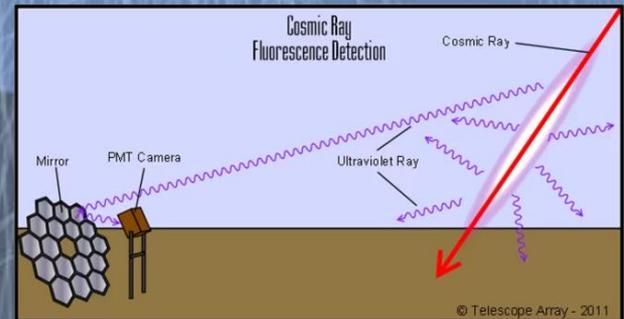
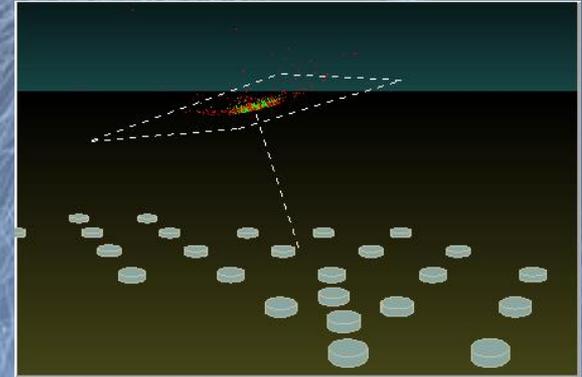
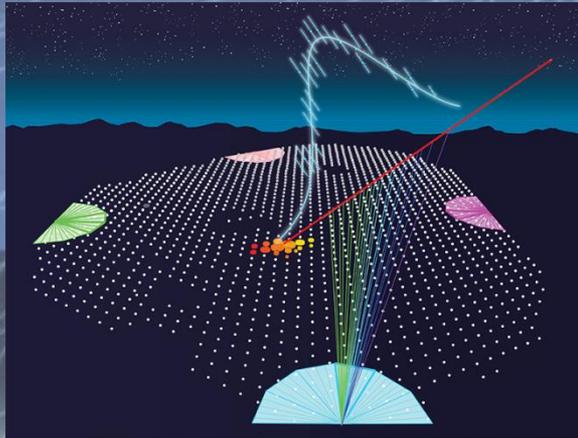


Misure odierne (dirette)



Misure odierne (indirette)

Si basano sull'osservazione degli sciami particelle indotte in atmosfera dai cosmici primari.

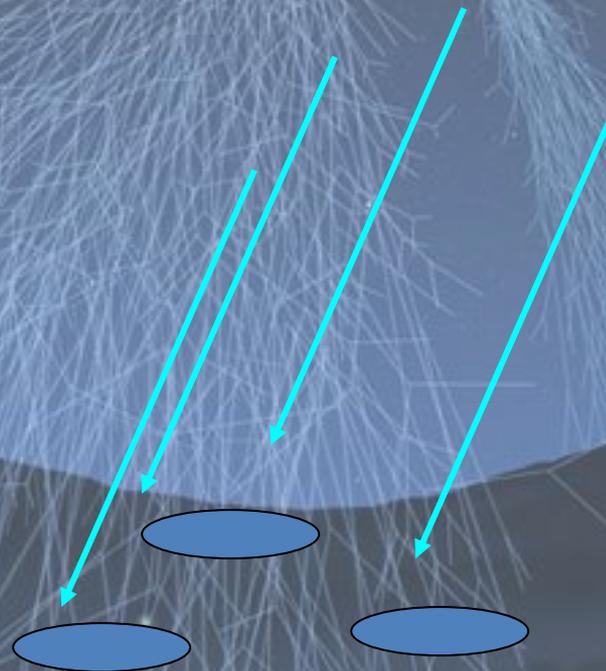




Rivelatori di superficie

Lo sviluppo sperimentale della tecnica di coincidenza venne fatto dall'italiano Bruno Rossi a Firenze negli anni '30.

Questa tecnica permette la rivelazione di particelle che giungono simultaneamente su rivelatori distanti anche alcuni km.



Uno dei primi array di rivelatori per cosmici (Volcano Ranch)

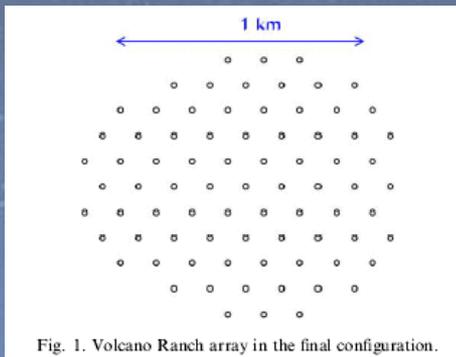
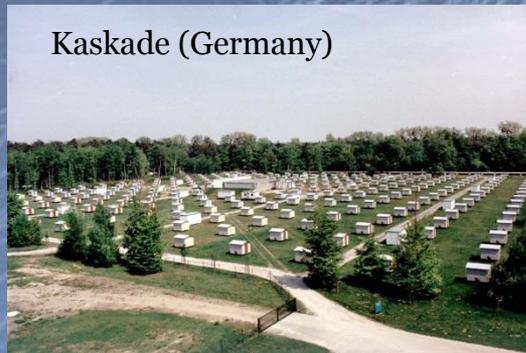
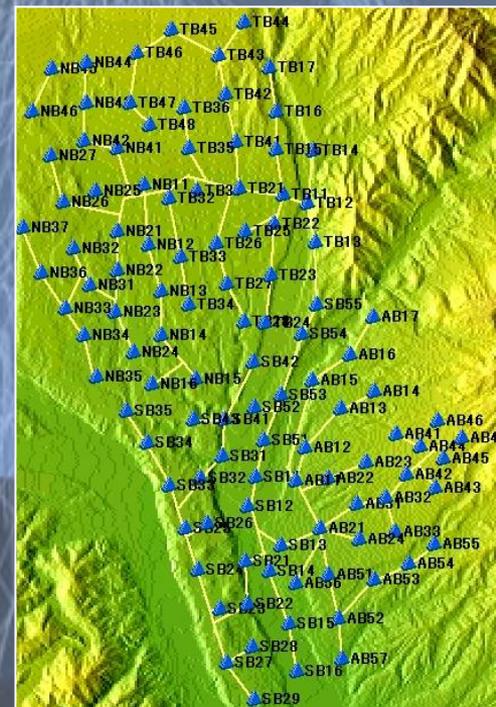


Fig. 1. Volcano Ranch array in the final configuration.

Kaskade (Germany)

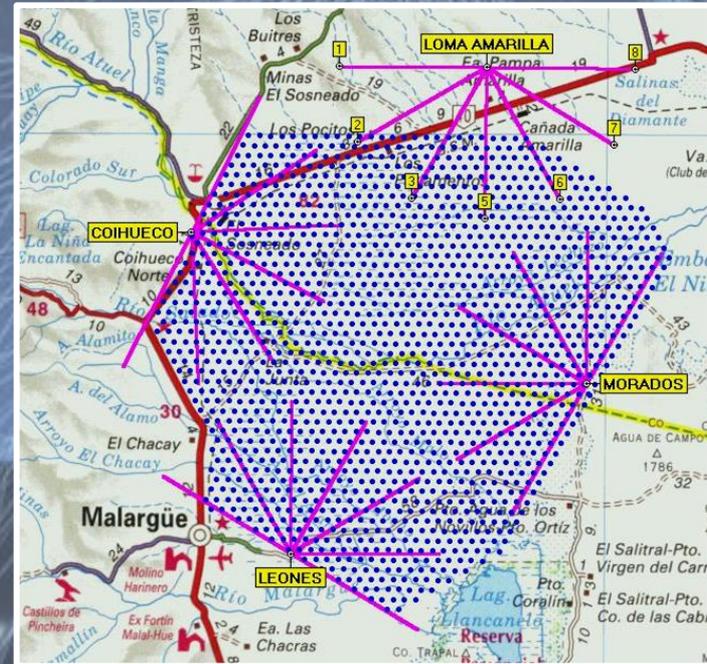


AGASA detector: Akeno (Japan), 100 km² ground array



OSSERVATORIO AUGER

1600 rivelatori spazati di 1.5 km

3000 km² covered

Rivelatori di fluorescenza





OBIETTIVO: realizzare un rete di rivelatori per raggi cosmici da installare in scuole del territorio Italiano.

59 telescopi installati:

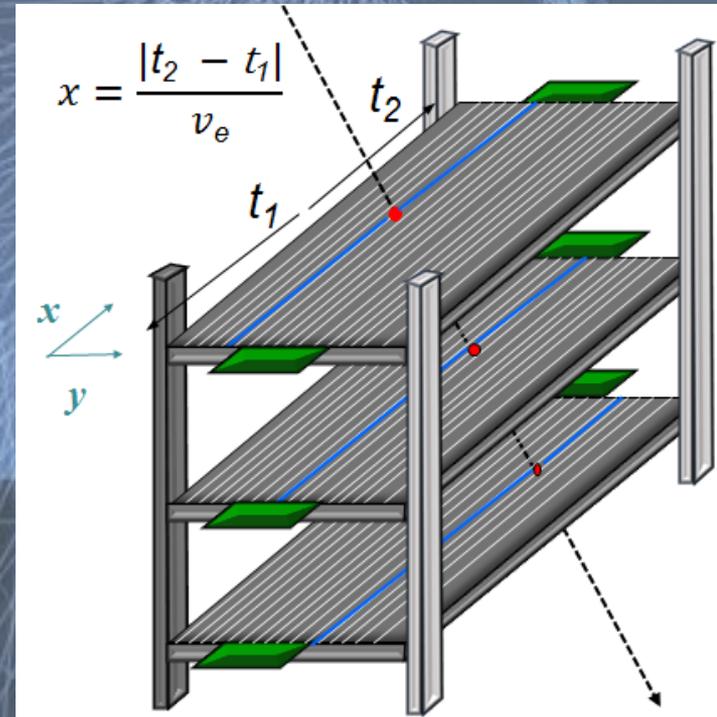
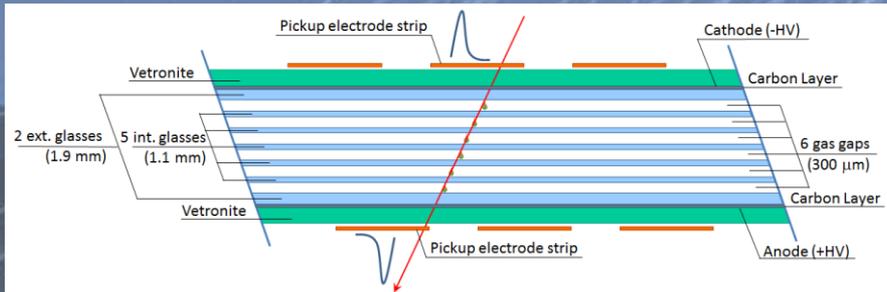
56 nelle scuole

4 nelle Sezione INFN

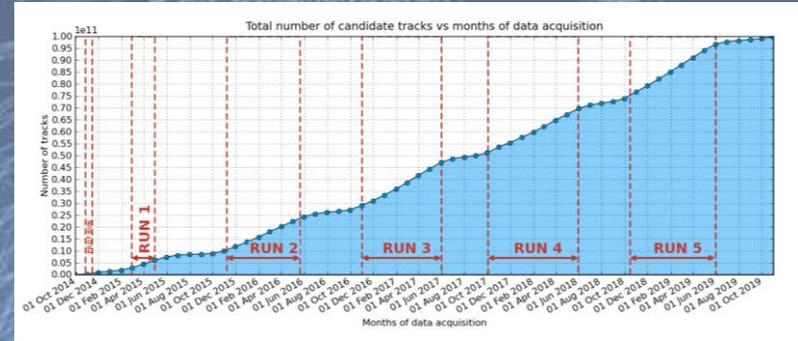
2 presso il CERN



- Il rivelatore è un telescopio costituito da camere MRPC
- Ogni camera è in grado di ricostruire il punto di passaggio dei muoni cosmici
- Utilizzando i 3 punti è possibile ricostruire la direzione di arrivo dei muoni



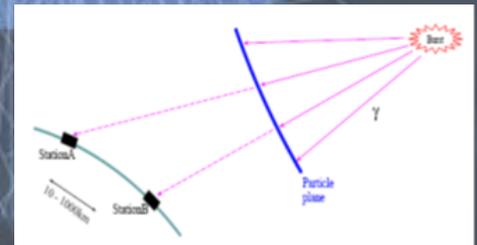
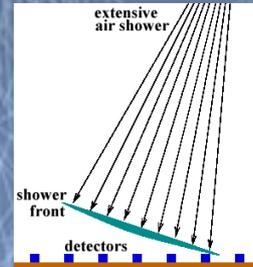
- **Pilot run (27 Ottobre – 14 Novembre 2014):** 23 telescopi in presa dati, circa 1 miliardo di eventi acquisiti.
- **Run-1 (2 Febbraio-30 Aprile 2015):** 35 telescopi in presa dati, circa 5 miliardi di eventi acquisiti.
- **Run-2 (28 ottobre 2015 - 20 maggio 2016):** circa 40 telescopi in presa dati, 14 miliardi di eventi acquisiti.
- **Run-3 (ottobre 2016 – maggio 2017):** circa 45 telescopi, 18 miliardi di eventi acquisiti.
- **Run-4 (ottobre 2017 – maggio 2018):** circa 50 telescopi, 20 miliardi di eventi acquisiti.



Run-6 (ottobre 2019): in corso

- **Run-5 (ottobre 2018 – maggio 2019):** circa 55 telescopi, 20 miliardi di eventi acquisiti.

- **Misure locali**, con un singolo telescopio, del flusso dei muoni cosmici (studio di eventi solari, dipendenza dalle condizioni atmosferiche, misura della vita media del muone ...).
- Rivelazione di **sciami atmosferici estesi** mediante telescopi installati nella stessa città (necessario utilizzo GPS).
- Ricerca di **correlazioni tra sciami atmosferici estesi** con telescopi posizionati a grandi distanze (città diverse)..



MISURA PROPOSTA PER L'ICD:

Misura della distribuzione angolare zenitale dei raggi cosmici secondari

L'atmosfera funge da assorbitore e il flusso dei raggi cosmici dipende dall'angolo zenitale θ

$\theta = 0^\circ$ direzioni verticali

$\theta = 90^\circ$ direzioni orizzontali





L'atmosfera influisce sul flusso dei muoni misurati a Terra tramite:

- Perdita di energia (collisioni con elettroni e nuclei dell'atmosfera)
- Probabilità di decadimento di Pioni e Kaoni (a seguito del quale vengono prodotti muoni)

In generale il flusso dei muoni al variare dell'angolo zenitale segue la legge:

$$\phi(\theta) = \phi(\theta = 0) (\cos \theta)^{n-1}$$

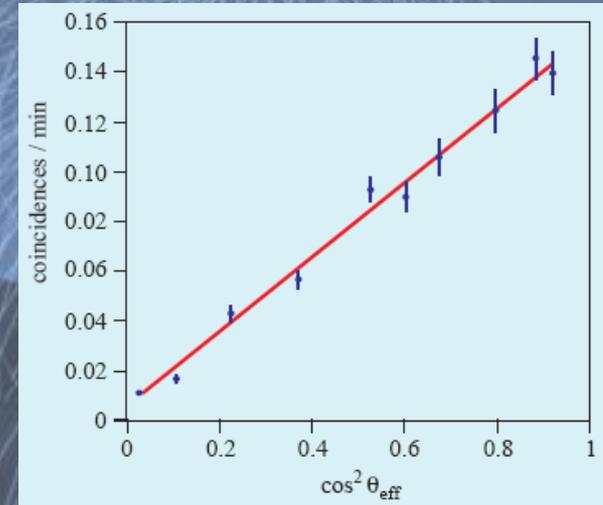
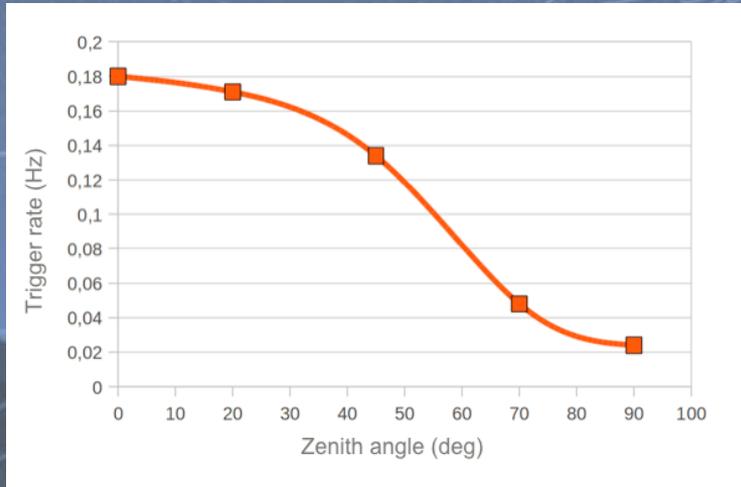


Il fattore $\cos \theta$ deriva da considerazioni geometriche (se la Terra fosse piatta)

La dipendenza dalla potenza $n-1$ deriva dallo spettro in energia dei cosmici primari ($n \sim 2.7$)

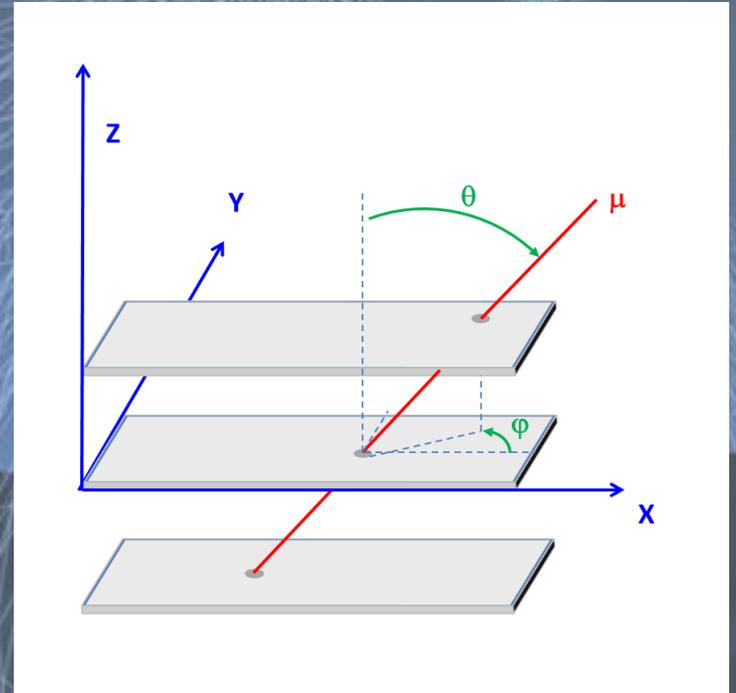
$$\text{Flusso} \propto \cos^2 \theta$$

DISTRIBUZIONE ATTESA

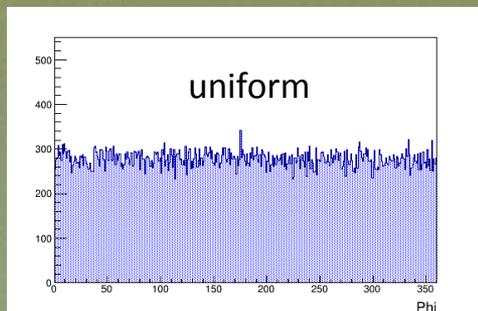


MISURA DELLA DISTRIBUZIONE ANGOLARE TRAMITE I TELESCOPI EEE

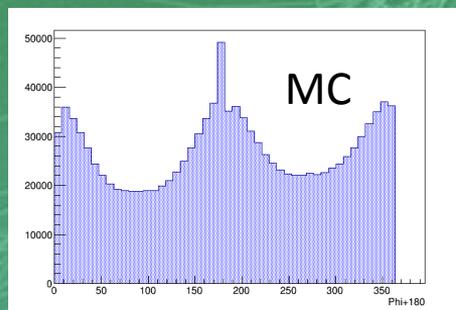
I telescopi misurano evento per evento la direzione delle tracce che attraversano le 3 camere, fornendo l'angolo zenitale θ e l'angolo azimutale φ .



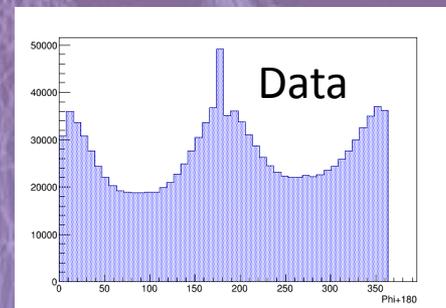
Azimuthal
distribution



Isotropic distribution

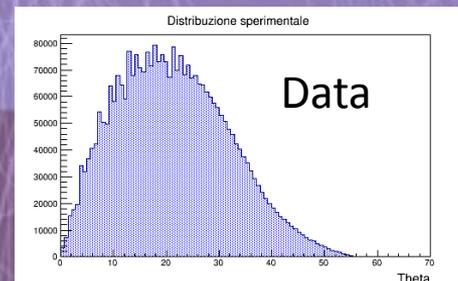
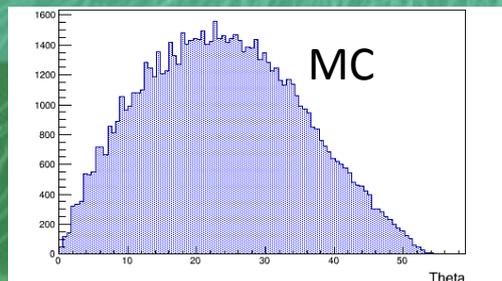
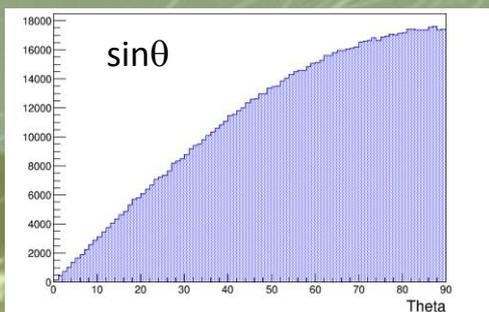


Isotropic distribution +
Detector acceptance



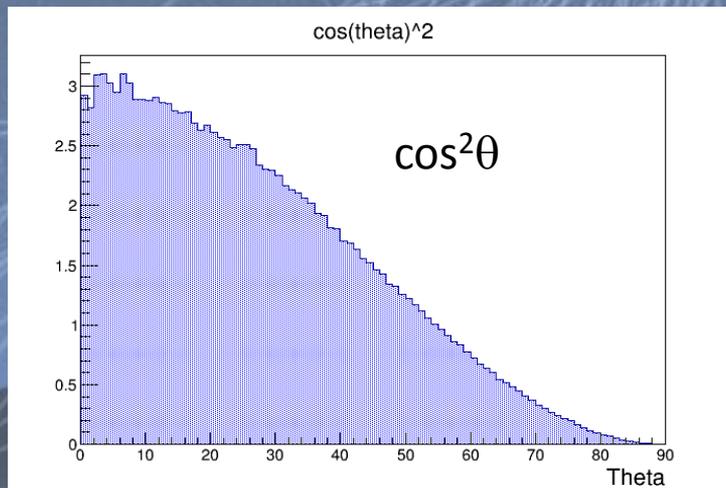
Isotropic distribution +
Detector acceptance + $\cos^2\theta$

Zenithal
distribution





PROCEDURA DI ANALISI

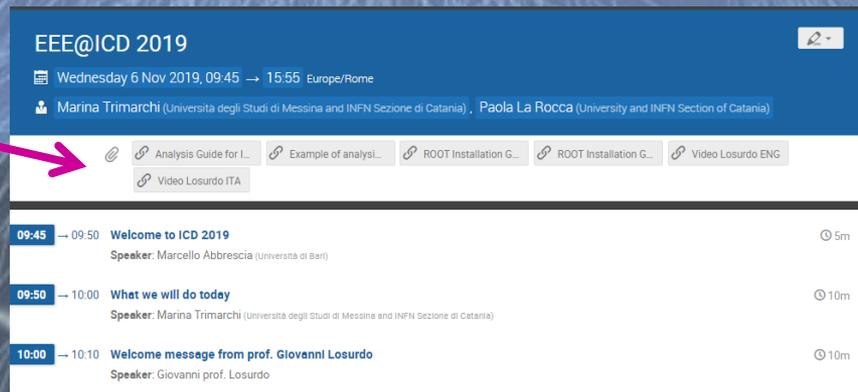


RAPPORTO TRA LA DISTRIBUZIONE n.3 (Dati) e n. 2 (MC)

Tutto il materiale è disponibile al seguente link:

<https://agenda.centrofermi.it/event/153/>

- GUIDA INSTALLAZIONE ROOT (windows/mac/unix)
- GUIDA ALLA ATTIVITA' DI ANALISI
- ESEMPIO CODICE DI ANALISI



EEE@ICD 2019

Wednesday 6 Nov 2019, 09:45 → 15:55 Europe/Rome

Marina Trimarchi (Università degli Studi di Messina and INFN Sezione di Catania) , Paola La Rocca (University and INFN Section of Catania)

Analysis Guide for L... Example of analysi... ROOT Installation G... ROOT Installation G... Video Losurdo ENG
Video Losurdo ITA

09:45 → 09:50 **Welcome to ICD 2019**
Speaker: Marcello Abbrescia (Università di Bari) 5m

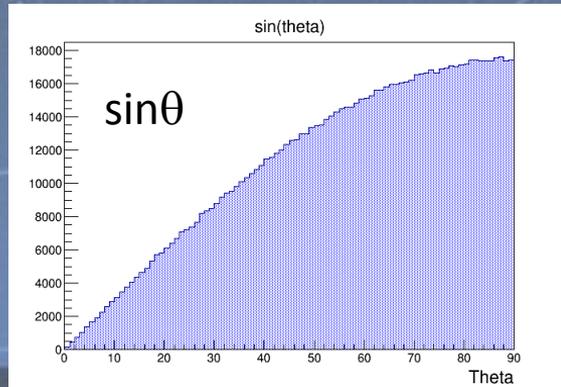
09:50 → 10:00 **What we will do today**
Speaker: Marina Trimarchi (Università degli Studi di Messina and INFN Sezione di Catania) 10m

10:00 → 10:10 **Welcome message from prof. Giovanni Losurdo**
Speaker: Giovanni prof. Losurdo 10m



BUON ICD!

PROCEDURA DI ANALISI



IN ASSENZA DI ATMOSFERA

