

Scoprire i Raggi Cosmici

INTERNATIONAL COSMIC DAY

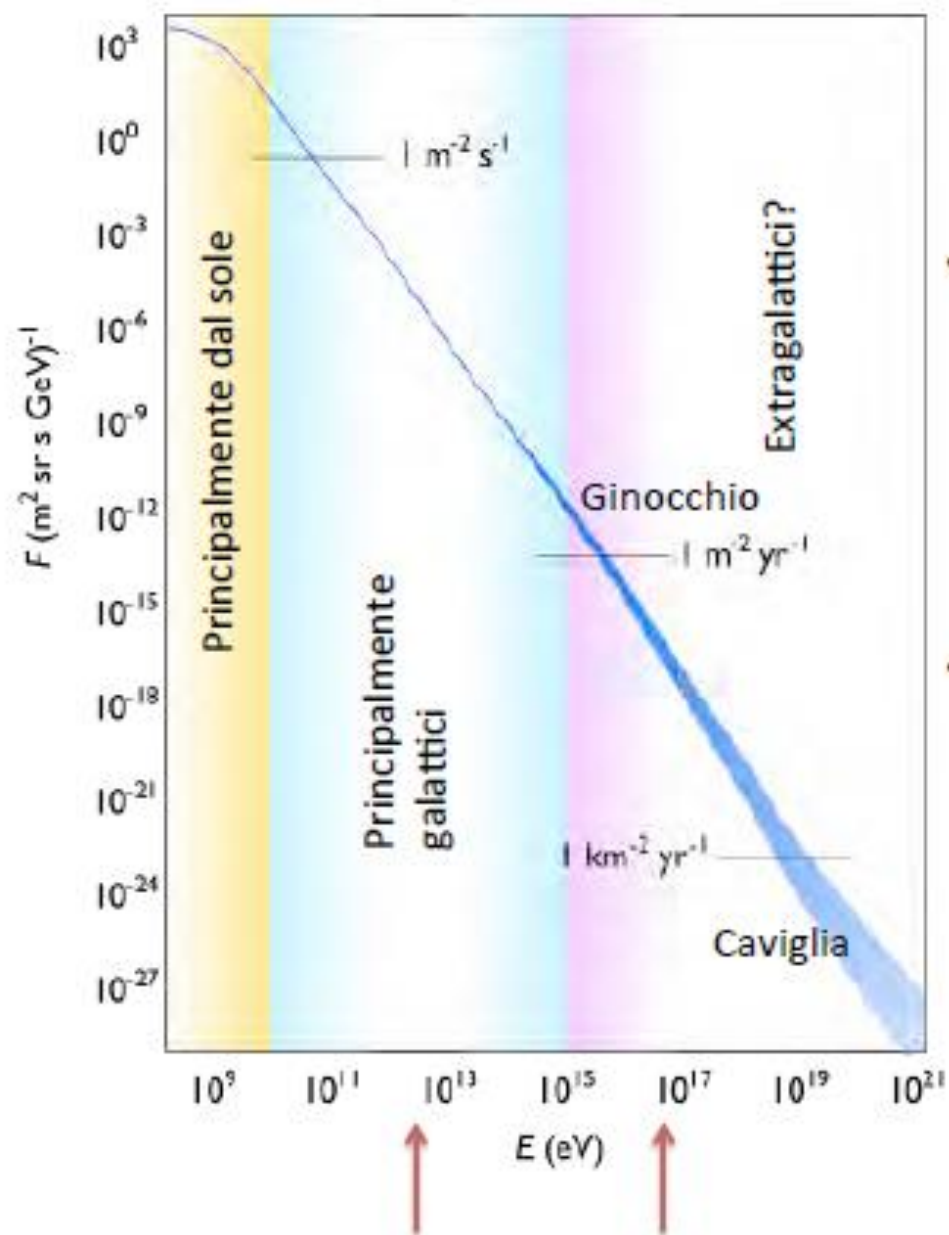
30 Novembre | 2017
INFN – Sezione di Napoli
e Dipartimento di Fisica "E. Pancini"
Università degli Studi di Napoli

I RAGGI COSMICI

Cieco chi guarda il cielo senza comprenderlo; è un viaggiatore che attraversa il mondo senza vederlo; è un sordo in mezzo a un concerto.

Camille Flammarion, astronomo

Carla Aramo – INFN Sezione di Napoli

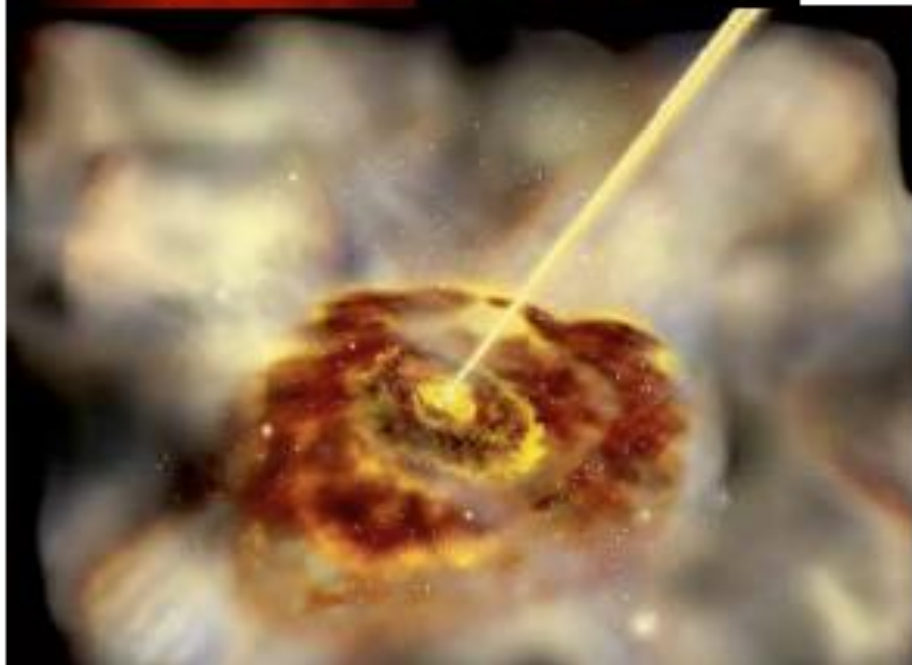


Che cosa sono i raggi cosmici?

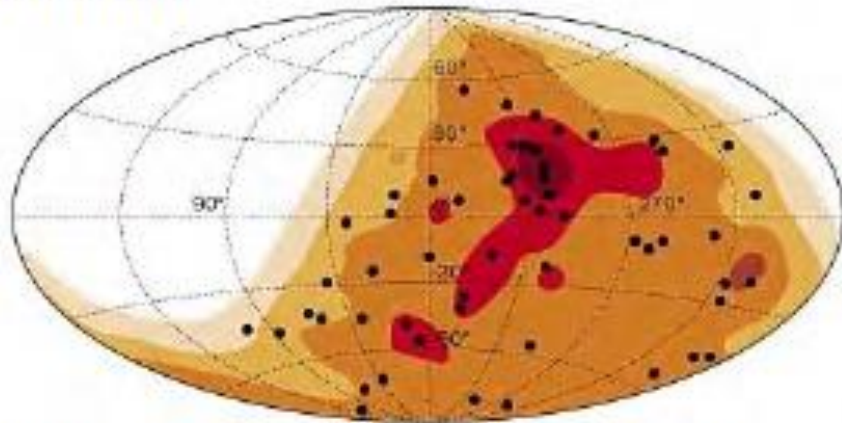
- Sono particelle subatomiche che arrivano sulla Terra
 - Perlopiù (~90%) protoni
 - Nuclei di elio (~9%);
 - Gli elettroni sono ~1%;
 - ~0.1% sono raggi gamma
- Il flusso diminuisce rapidamente all'aumentare dell'energia
 - Una volta al secondo arriva sulla Terra una particella con la stessa energia di una pallina da tennis
 - Le più alte energie in astrofisica
 - Oltre 100 milioni di volte più grandi delle energie che riusciamo a produrre sulla Terra (LHC)

Energie

- $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$: energia che serve a creare un protone (relazione di Einstein $E=mc^2$)
- $7000 \text{ GeV} = 7 \text{ TeV}$: energia di un protone accelerato in un fascio di LHC (energia cinetica di una zanzara)
- $6 \cdot 10^{18} \text{ eV} = 1 \text{ joule}$: energia cinetica di una massa di 100 grammi che cade da un metro
- 10^{21} eV : energia cinetica di una palla da tennis ben lanciata (sono le più grandi energie mai misurate in una particella singola, oltre cento milioni di volte più alte delle energie dei fasci di LHC)

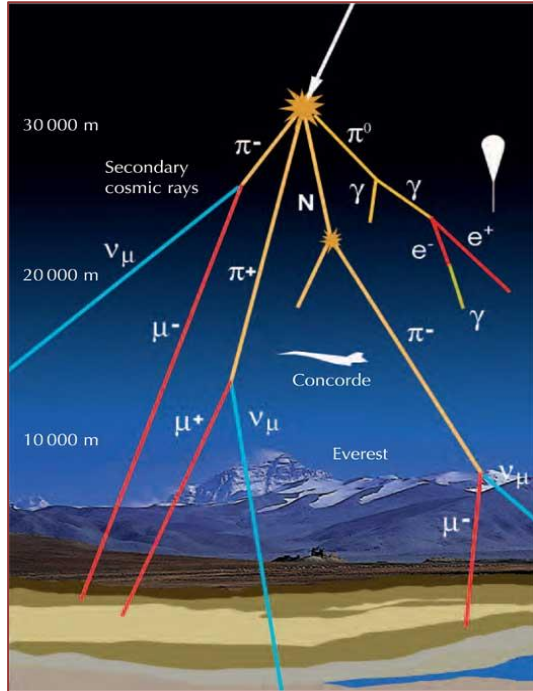


- I raggi cosmici non sembrano arrivare da una particolare direzione (a parte piccoli effetti)



- Abbiamo capito che le loro energie sono prodotte da collassi gravitazionali:
 - Meno di 1 millijoule: probabilmente galattici (resti di supernova)
 - Sopra 1 mJ: probabilmente extragalattici (buchi neri supermassicci al centro delle galassie)

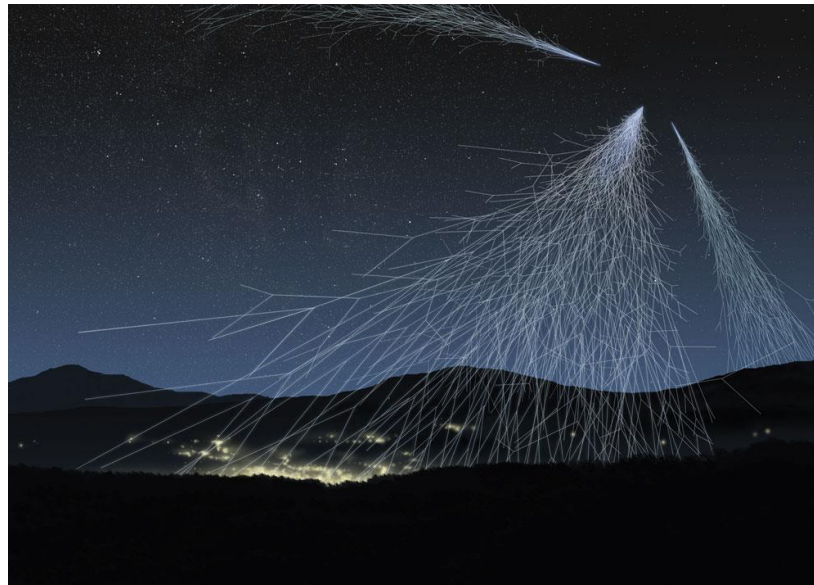
Una pioggia continua di particelle provenienti dallo spazio investe così l'atmosfera terrestre frantumandone i nuclei e inducendo una reazione a catena con la produzione di milioni e miliardi di particelle secondarie, principalmente elettroni, muoni e raggi gamma.



Il risultato è che il nostro corpo viene attraversato ogni momento da una radiazione naturale fatta di invisibili particelle elementari. Ogni secondo per ogni centimetro quadro del nostro corpo in media passa una particella cosmica.

Alle altezze di volo di un aereo (10-11 km), siamo colpiti dalla radiazione cosmica in misura 10-20 volte maggiore rispetto al suolo.

**I raggi cosmici:
uno sciame
continuo di
particelle
ionizzanti**



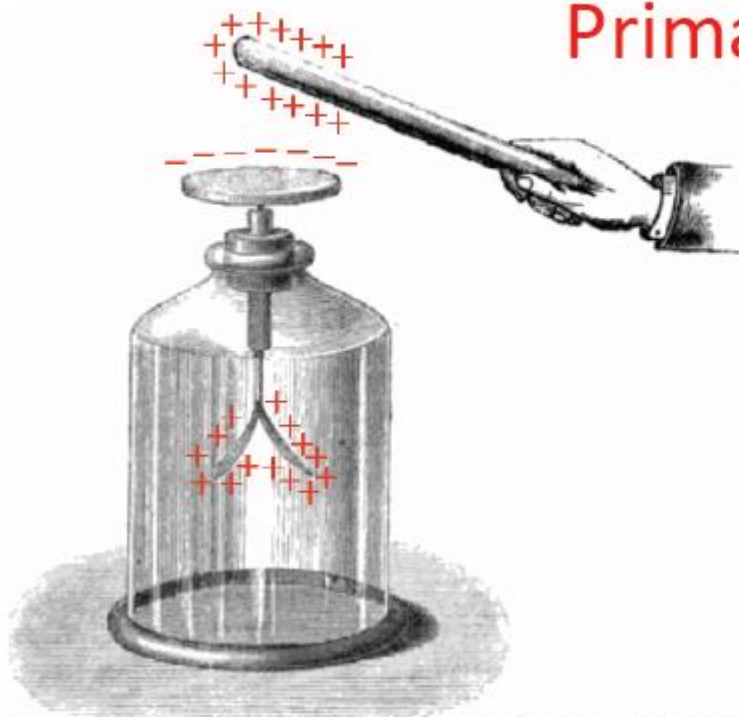
Oggi numerosi esperimenti studiano questa radiazione direttamente nello spazio (**satelliti**), nell'atmosfera (**palloncini**), sulla superficie terrestre (**array**), nel sottosuolo (**underground**) e nelle profondità marine (**undersea**)



Come abbiamo
imparato tutto
questo?
Un'indagine lunga un
secolo...

*(Film prodotto da
F. Capra/W. Disney
nel 1957)*

Prima osservazione: un elettroscopio si scarica spontaneamente



- 1785: Coulomb scoprì che un elettroscopio carico, anche se perfettamente isolato, si scarica
- 1900: Le scoperte di Marie (33 anni) e Pierre Curie consentono di concludere che questa scarica spontanea è dovuta alla radioattività naturale
 - L'elettroscopio viene utilizzato come radiometro

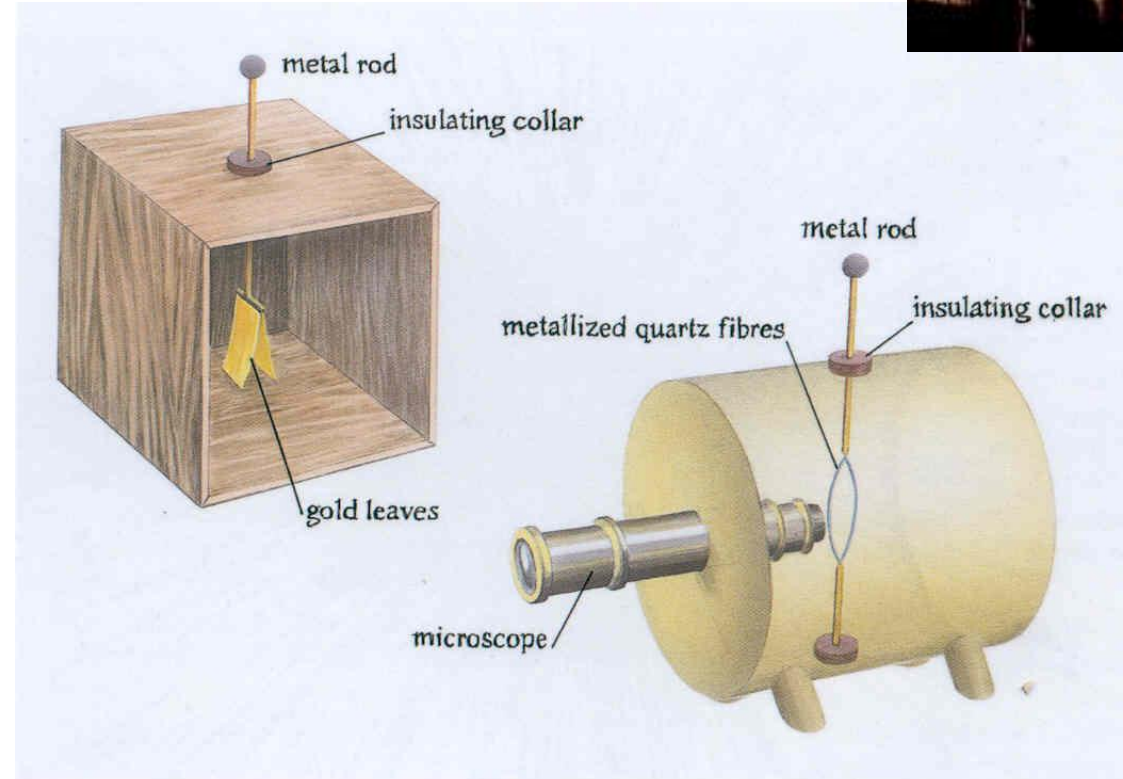


(4 premi Nobel in questa foto)

La ionizzazione dell'atmosfera



La presenza di particelle cariche nell'atmosfera fu dovuta a Coulomb che nel 1785 notò che un elettroscopio a foglie d'oro, fino allora solo strumento di curiosità e svago, si scaricava con il tempo anche se nessuno lo toccava.



Lo strumento quindi segnalava la presenza nell'atmosfera di una radiazione ionizzante che annullava la carica accumulata dall'elettroscopio.

La fisica a fine ottocento

Ma fu a fine ottocento che avvennero le scoperte fondamentali che aprirono la via alla fisica moderna.

- 1879 **William Crookes** scopre i raggi catodici
- 1895 **Wilhelm Conrad Röntgen** scopre i raggi X
- 1896 **Henri Becquerel** scopre la radioattività naturale
- 1897 **John Joseph Thomson** scopre l'elettrone
- 1899 **Ernest Rutherford** scopre i raggi α e poi i β e i γ .

La conclusione di questi studi fu che le molecole dell'atmosfera terrestre venivano ionizzate dalla radiazione naturale che proveniva dal suolo terrestre.



L'esperimento di Wulf

Nel 1907 Padre **Theodore Wulf** perfeziona l'elettrometro e nel 1910 porta la sua strumentazione a Parigi sulla Tour Eiffel e compie misure fino a 300 metri di distanza dal suolo. Egli si aspettava, secondo le conoscenze del tempo, di osservare una decrescita esponenziale della ionizzazione dell'atmosfera.

Invece il segnale diminuiva molto meno di quanto previsto.

Due erano le possibili conclusioni:

1. L'assorbimento in aria della radiazione naturale era minore di quanto previsto;
2. Esisteva una ulteriore sorgente di radiazione non ancora scoperta.



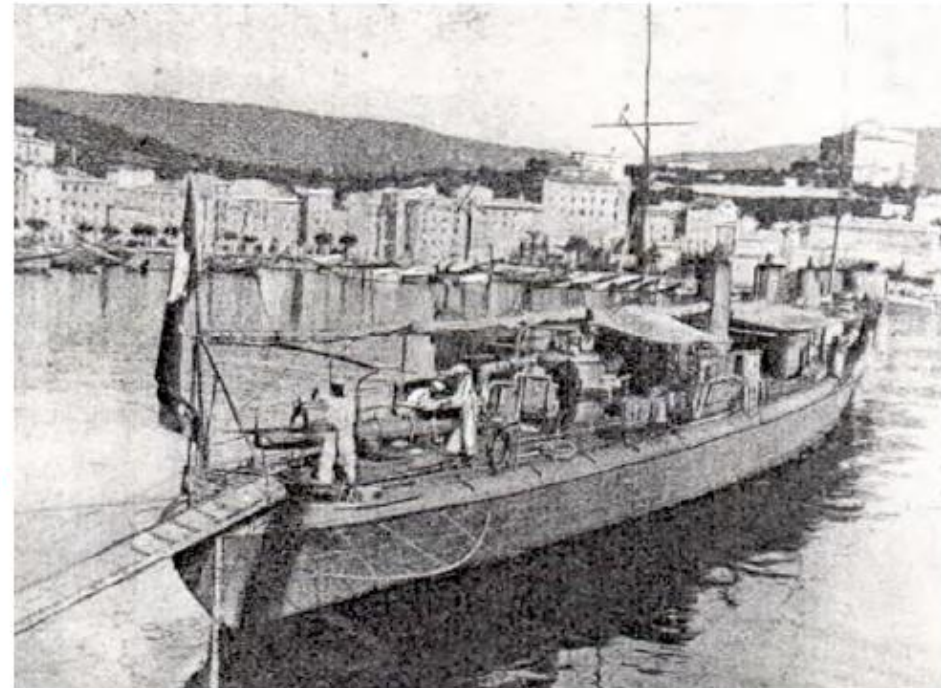


L'opinione dominante non venne accettata da Domenico Pacini, giovane fisico che lavorava all'Università di Roma

L'idea di Pacini: confrontare la radioattività alla superficie del mare con quella misurata sott'acqua (è l'inizio della fisica sottomarina)

Dal 1908, Pacini ha a disposizione il cacciatorpediniere "Fulmine", messo a disposizione dalla Regia Marina su richiesta del Direttore dell'IMG

- Se parte della radioattività non viene dalla Terra, dev'essere assorbita dall'acqua: sarà quindi minore nelle profondità marine
 - a 3 metri di profondità a Livorno (e poi in ottobre a Bracciano) Pacini riscontra, in accordo con la sua ipotesi, una riduzione del 20% della radioattività
 - Nel febbraio 1912 scrive sul Nuovo Cimento che esiste *"una sensibile causa ionizzante, con radiazioni penetranti, indipendente dall'azione diretta delle sostanze radioattive del terreno."*



7 agosto 1912

Questa è la data che viene comunemente indicata come data di nascita della Fisica dei Raggi Cosmici. Quel giorno infatti Victor Franz Hess effettuò un volo in pallone raggiungendo i 5.350 metri di altezza. Egli portava con sé un elettroscopio a fibre di quarzo e un microscopio con scala graduata.

Con questo semplice strumento misurava l'intensità della radiazione ambientale e notò che essa diminuiva lentamente con l'altezza fino a stabilizzarsi verso i 700 metri.



Ma a partire dai 1500 metri di quota il segnale riprendeva a crescere fino ad arrivare, a 5.000 metri, a una intensità doppia di quella a terra.

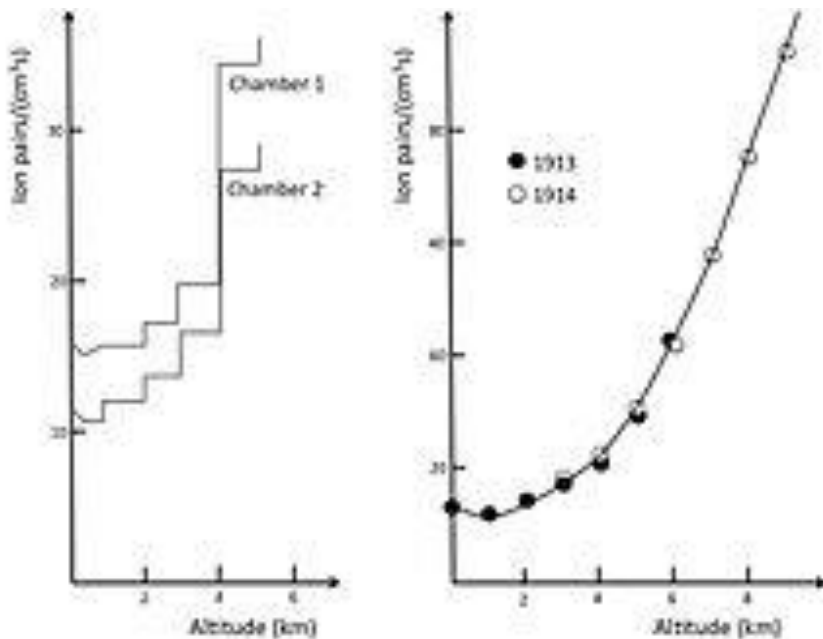
Inoltre, in successivi voli, trovò che il segnale aveva valori molto simili sia durante il giorno che durante la notte.



Conclusioni di Hess

“I risultati delle presenti osservazioni potrebbero essere spiegati assumendo che una radiazione di potere altamente penetrante entra nella nostra atmosfera dall'esterno, ed ancora produce, nei livelli più bassi, parte della ionizzazione osservata in laboratorio”

(Victor F. Hess, *Physikalische Zeitschrift*, novembre 1912)



Inoltre Hess notò che il segnale non diminuiva sensibilmente neanche durante un eclisse solare, per cui concluse che la radiazione misteriosa non poteva essere generata dal Sole, ma doveva giungere dallo spazio.

Di qui il nome di:

Raggi cosmici

Un italiano dimenticato: Domenico Pacini



Pacini, che aveva raggiunto le sue importanti conclusioni un anno prima di Hess e che ne conosceva il lavoro fin dall'epoca dei suoi esperimenti sottomarini, in una lettera datata 6 marzo 1920 lo contattò per lamentarsi della mancanza di attenzione (e di citazioni) verso gli esperimenti italiani.

Lettera a Hess: “... ho potuto vedere alcune Sue pubblicazioni sui fenomeni elettro-atmosferici da Lei Spedite al direttore del R. Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica (...) Mentre devo farle in proposito i miei complimenti per la chiarezza con cui espone in forma semplice lo stato della importante questione, mi duole che non siano stati citati affatto i lavori italiani su questo argomento, lavori a cui spetta senza dubbio la priorità, per quanto si riferisce alla previsione delle importantissime conclusioni a cui sono successivamente pervenuti il Gockel, Ella stessa, signor Hess, ed il Kolhörster; e tanto più me ne duole, in quanto, nelle mie pubblicazioni, io non ho mai dimenticato parlare e citare chi di dovere...”.

Hess e Pacini



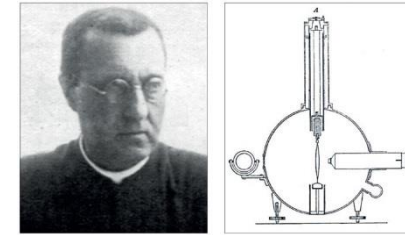
Victor Hess

La risposta di Hess fu immediata e cortese: *“Caro professore, la sua importante lettera datata 6 marzo è stata per me particolarmente preziosa perché mi ha dato l’opportunità di ristabilire i nostri legami che, purtroppo, sono stati interrotti durante la guerra. (...) Il mio breve saggio **“Die Frage der durchdring. Strahlung ausserterrestrischen Ursprunges”** è una relazione ad una conferenza pubblica, e non ha quindi alcuna pretesa di completezza. Dal momento che riporta le misure del primo pallone, non ho fornito una spiegazione approfondita delle sue misure di mare, che mi sono ben note. Quindi la prego di scusarmi per la mia scortese omissione, che era veramente lontana dai miei scopi [...]”*

Intanto però nel 1936 il Premio Nobel per la scoperta dei raggi cosmici fu assegnato a **Victor Franz Hess e a **Carl David Anderson**.**

Altri protagonisti

Ovviamente molti altri ricercatori avevano condotto esperimenti sulla radiazione cosmici. Il volo di Hess fu solo il punto di arrivo di una serie di ricerche condotte in tutto il mondo e il punto di partenza di infinite altre.



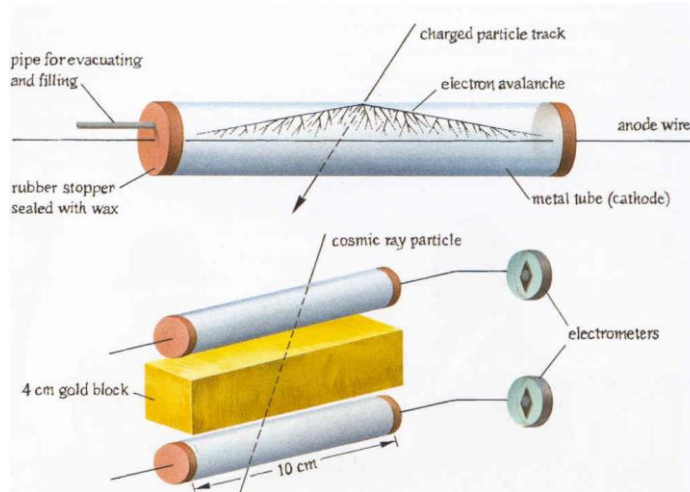
Tra tanti ci piace ricordare:

1. **Franz Linke**, che tra il 1902 e il 1903 effettuò ben 12 voli in pallone durante il suo PhD a Berlino;
2. **Millikan**, che, tentando di confutare le teorie di Hess, confermò l'origine extraterrestre della radiazione;
3. **Dmitri Skobeltsyn** che con una camera a nebbia osservò particelle molto energetiche non deviate dai campi magnetici, e, nel 1929, gruppi di particelle, cioè sciame.

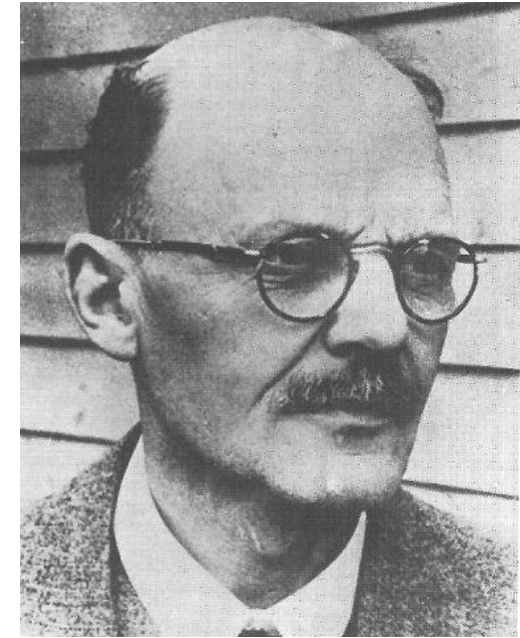


1913

Geiger e Muller mettono a punto un rivelatore a gas, ex. miscela di argon e alcool, che permetteva misure molto più accurate anche su singole particelle ionizzanti. Inoltre consentiva di mettere in coincidenza due o più contatori.



I vantaggi di questo rivelatore erano l'alta sensibilità alle radiazioni, dovuta all'elevato campo elettrico: anche una particella debolmente ionizzante avrebbe prodotto una scarica nel contatore e quindi un segnale misurabile.



Hans Geiger

Questa tecnica permise a **Bothe e Kolorster** di costruire il primo telescopio per raggi cosmici e dimostrare che erano costituiti in gran parte da radiazione penetrante, in grado di attraversare grossi spessori di assorbiteore.

I raggi cosmici NON erano quindi costituiti da raggi gamma, ma da particelle cariche altamente penetranti.

Bruno Rossi



Negli anni 30 **Bruno Rossi** inventò dei circuiti di coincidenza elettronici che permettevano di misurare coincidenze tra dispositivi posti a distanza tra loro, non più solo uno sopra l'altro.

Le coincidenze osservate non potevano essere quindi dovute a singole particelle, ma a più particelle che arrivavano a terra allo stesso istante.

Con questa strumentazione Rossi scoprì l'esistenza degli sciami che investivano grandi superfici con un numero elevatissimo di particelle ionizzanti.

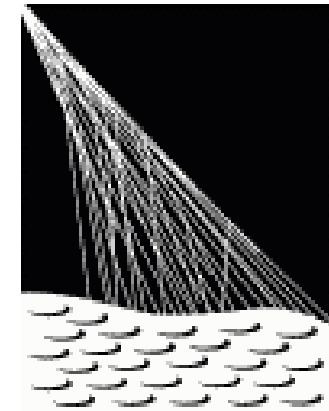
Pierre Auger



Nel 1938 **Pierre Auger e Roland Maze** dimostrano che contatori Geiger-Muller posti a diversi metri l'uno dall'altro registrano contemporaneamente l'arrivo di particelle da raggi cosmici, indicando così che esse sono particelle secondarie provenienti da una sorgente comune.

E' la conferma definitiva dell'esistenza degli sciami atmosferici estesi (Extensive Air Shower, EAS)

La collisione di particelle primarie di alta energia con le molecole dell'aria produce una cascata di particelle secondarie che arriva fino alla quota di osservazione.



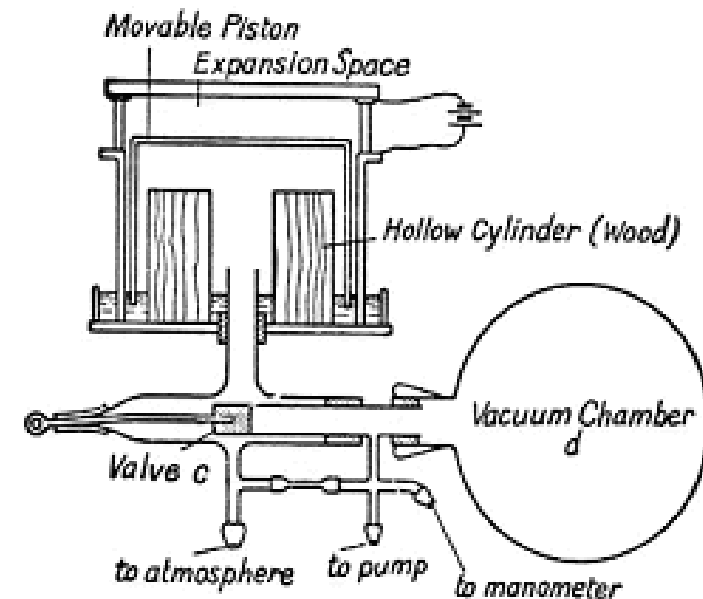
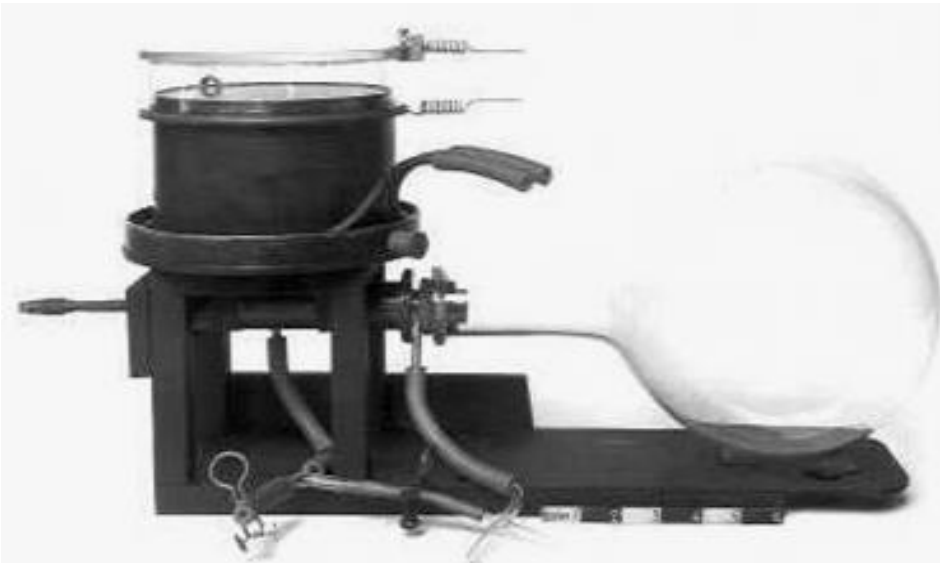
Registrando coincidenze tra contatori distanziati fino a 200 metri, Auger concluse che gli sciami osservati arrivavano fino a una energia di 10^{15} eV, energia strabiliante per quei tempi in cui il limite di energia osservato era solo di pochi MeV.

Camera a nebbia di Wilson (1912)

Primo strumento che permette di “vedere” le particelle e le loro interazioni. Consente inoltre di fotografare le tracce e quindi di fare misure quantitative sul loro potere penetrante.

Immersa in un campo magnetico permette di calcolare massa e carica della particella.

Ernest Rutherford la definì come *“the most original and wonderful instrument in scientific history.”*



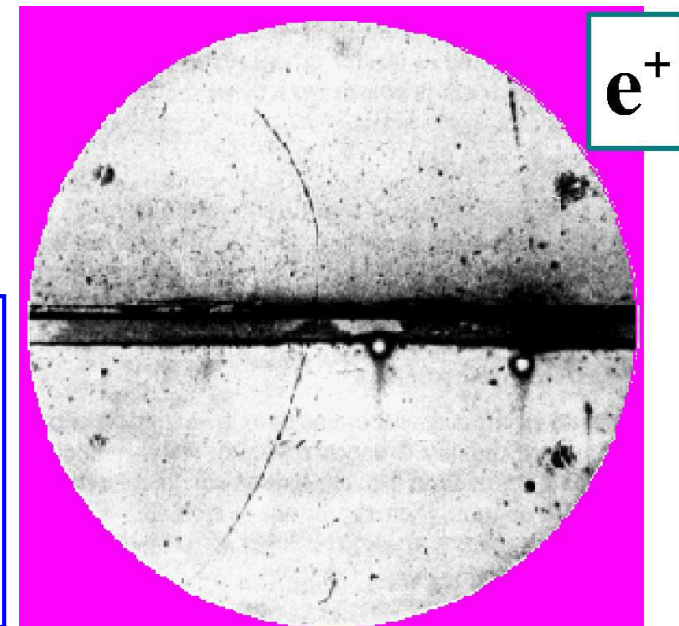
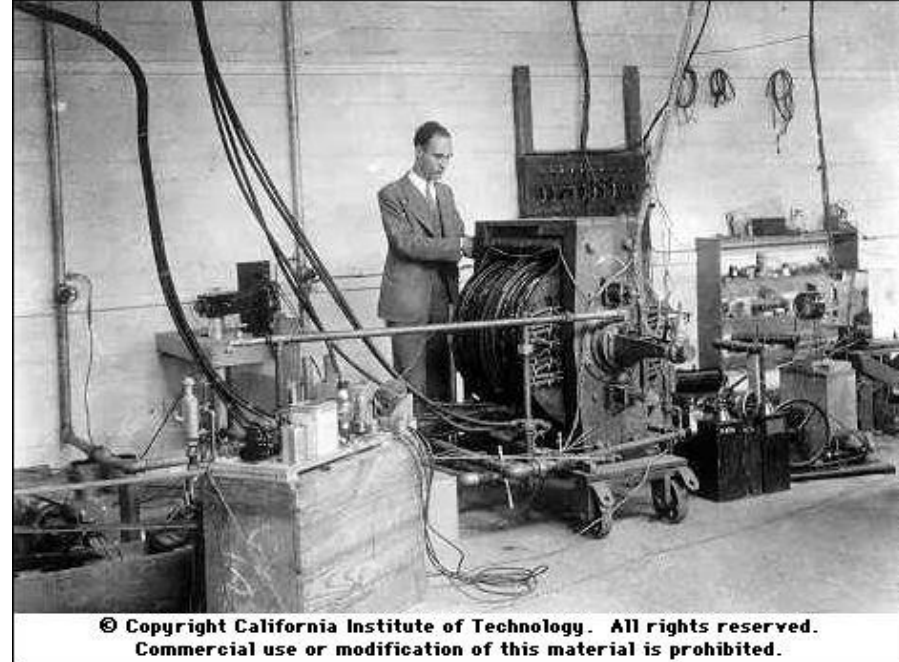
Carl Anderson

L'invenzione della **camera a nebbia** permise di “vedere” le particelle generate dai raggi cosmici e permise la scoperta di nuove particelle in essi contenute tra il 1920 e il 1930.

La camera immersa in un campo magnetico permetteva di risalire alla massa e al segno della carica delle particelle tramite la curvatura della traccia nel campo magnetico.

Nel 1932 Carl Anderson osservò la traccia di una particella della stessa massa dell'elettrone, ma di carica opposta.

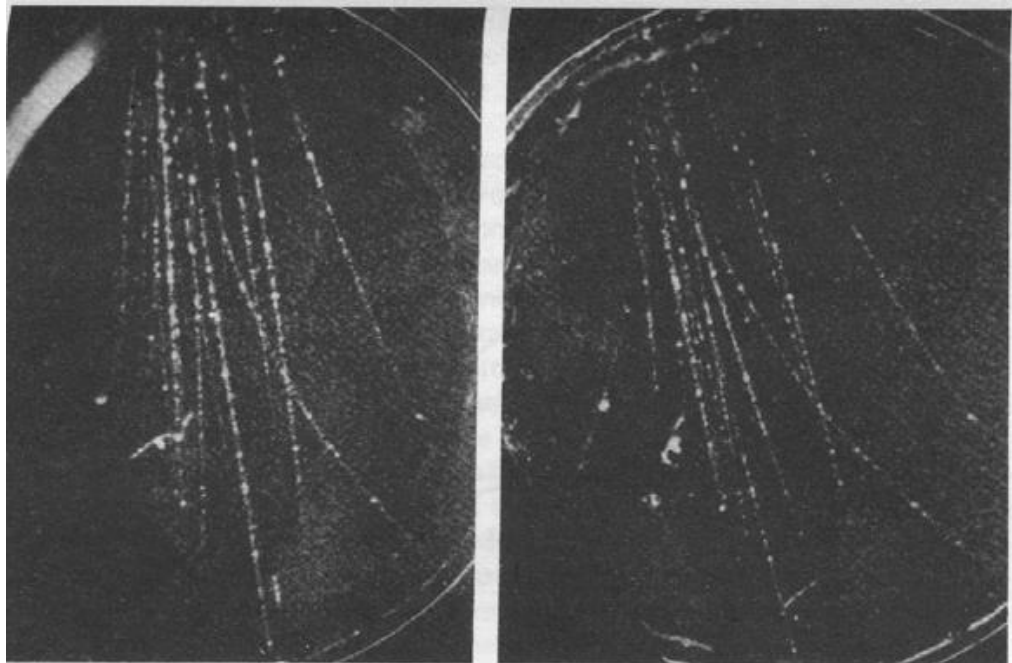
Aveva scoperto il positrone!



Patrick Blacket e Giuseppe Occhialini

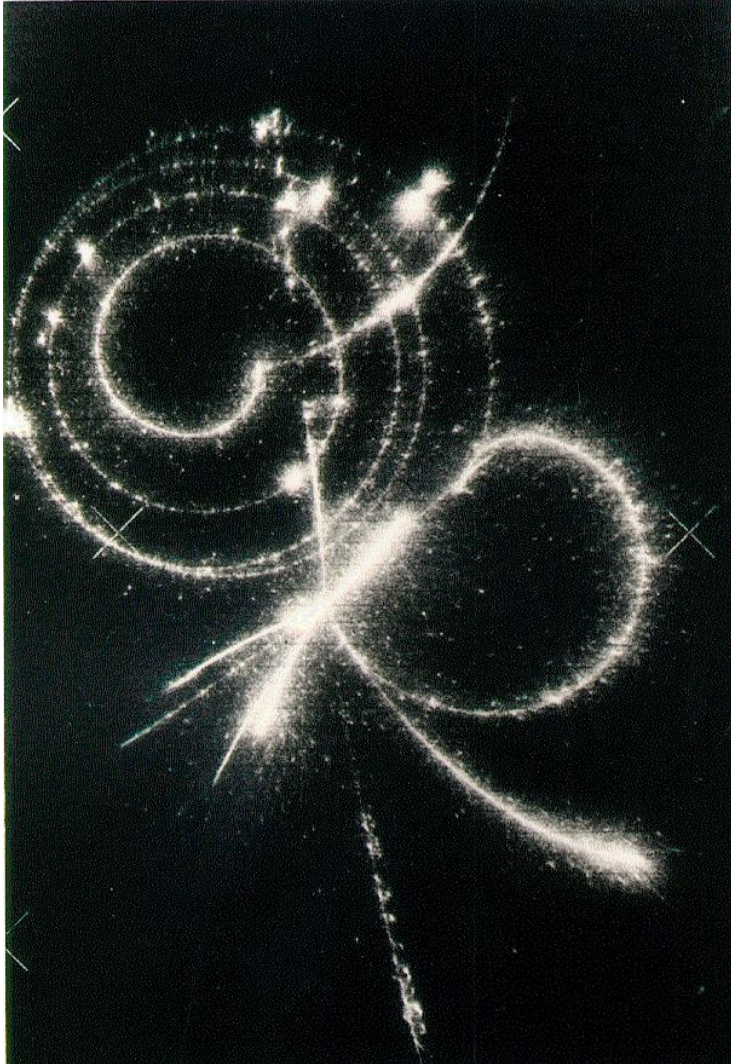
Nel 1933 Blacket e Occhialini sfruttarono il sistema di coincidenza inventato da Bruno Rossi per generare un “trigger” tra due contatori Geiger-Muller posti sopra e sotto la camera a nebbia

In questo modo la camera non scattava alla cieca, e si potevano fotografare le tracce ogni due minuti, praticamente a colpo sicuro.



Fu così che si poterono per la prima volta fotografare gli **sciami** generati dalle interazioni delle particelle che interagivano con le pareti della camera.

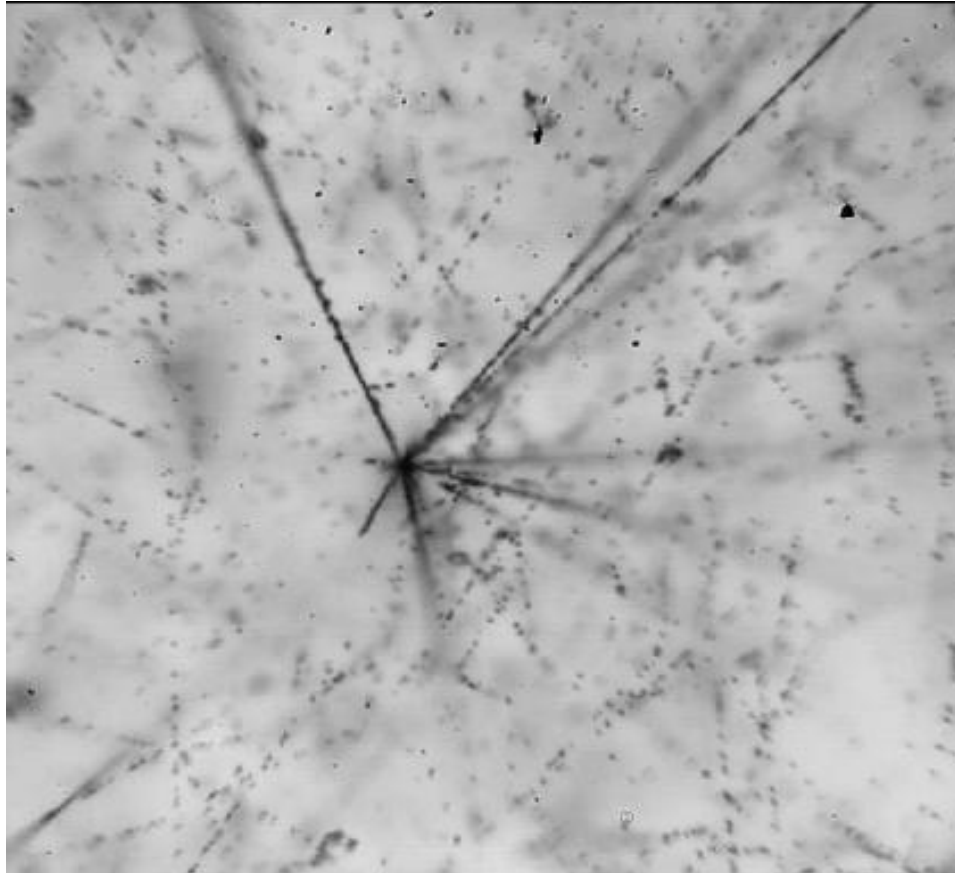
Il mesone μ



Nel 1937 **Carl D. Anderson** e **Seth H. Neddermeyer** e, in modo indipendente, **J.C. Street** e **E.C. Stevenson**, rivelano l'esistenza di una nuova particella a vita breve e di massa intermedia tra elettrone e protone. La nuova particella veniva deviata dal campo magnetico esterno con raggio di curvatura maggiore di quello degli elettroni ma minore di quello dei protoni. Di qui il nome di “**mesone**”.

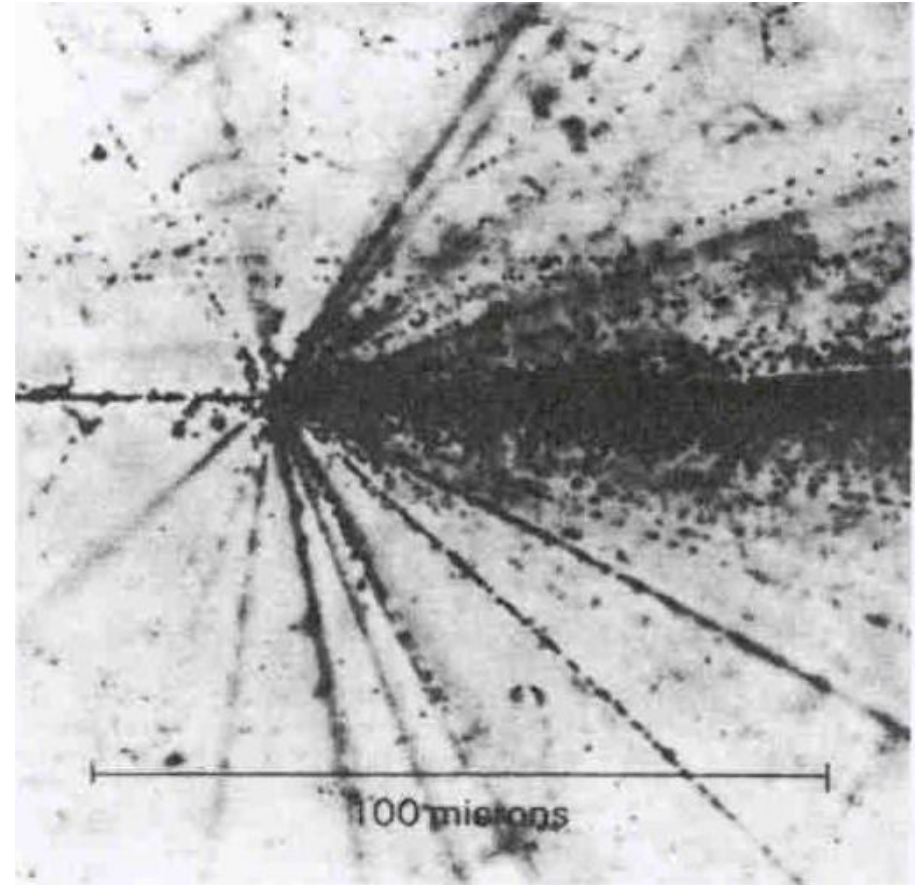
Alla particella viene dato il nome di mesone μ .

Le emulsioni nucleari



Esse inoltre permettevano di ricostruire anche eventi di interazioni molto complesse con un gran numero di particelle secondarie.

L'utilizzo di emulsioni nucleari aprì la via alla identificazione di particelle di vita media molto breve, avendo una precisione di pochi micron.



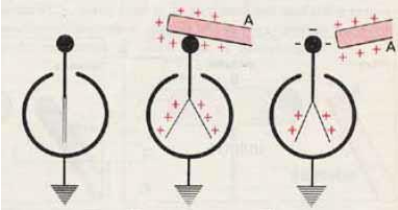
Emulsioni in pallone

Queste emulsioni vennero portate dapprima in alta montagna, evidenziando l'esistenza di altre particelle, tra cui il **pione** (*il mesone ipotizzato da Yukawa, e inizialmente confuso con il muone*).

Successivamente le emulsioni vennero portate a grandi altezze per mezzo di palloni.

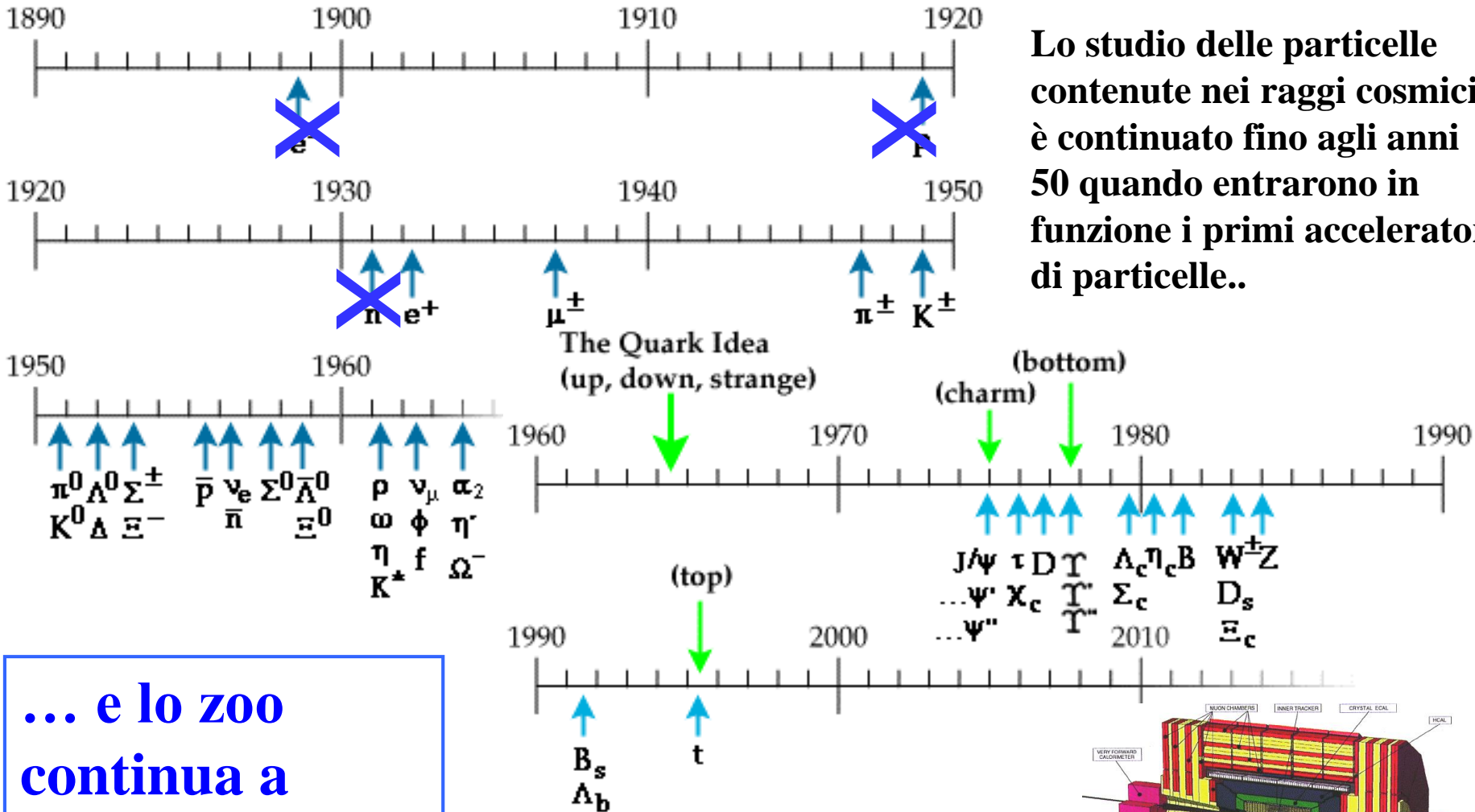
Esse permisero così di ricostruire l'interazione del nucleo primario con un nucleo dell'atmosfera e il successivo sviluppo dello sciame di particelle secondarie da essa generato.



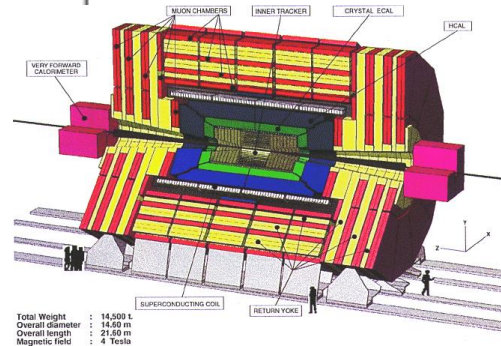


Lo “zoo” di particelle

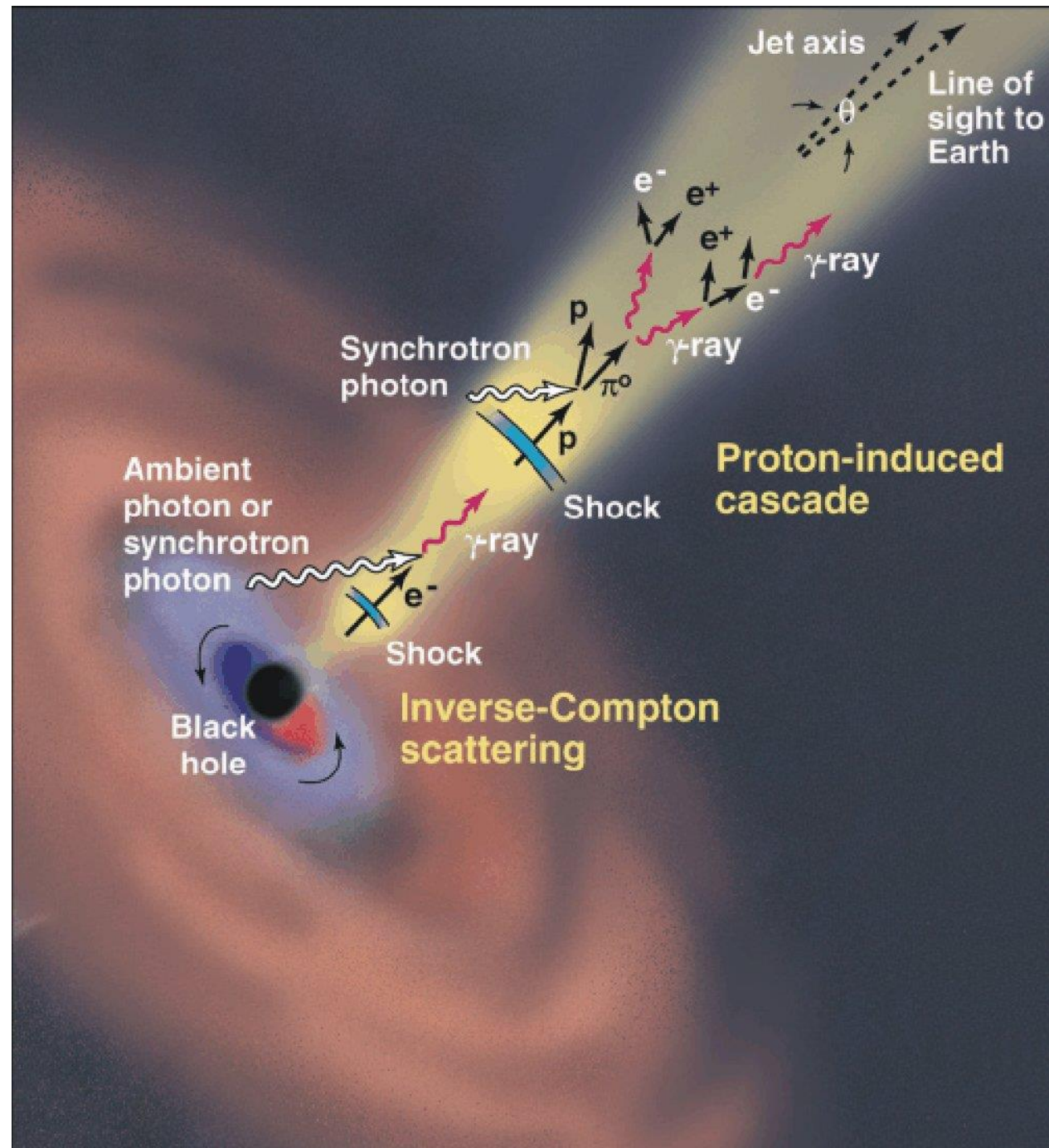
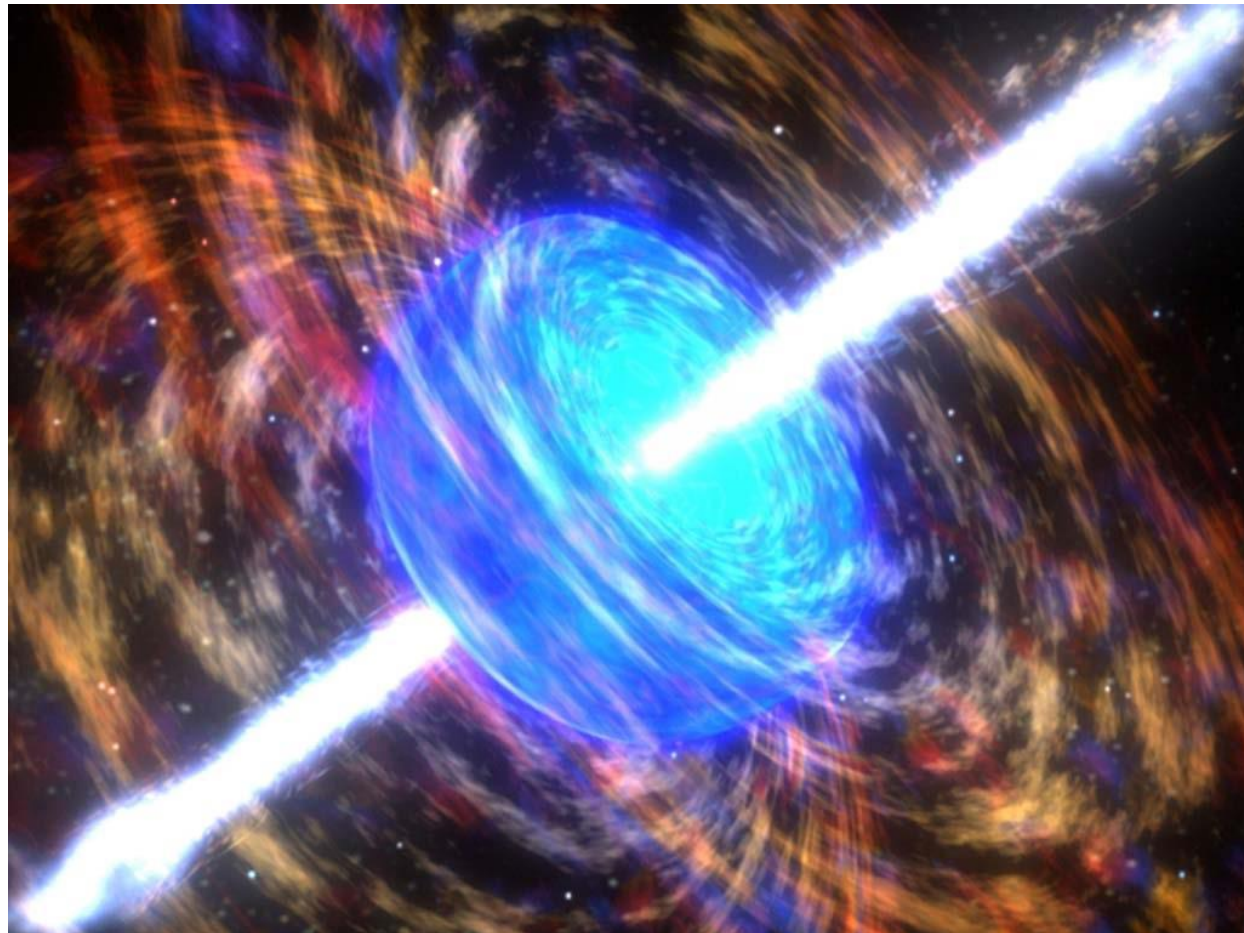
Lo studio delle particelle contenute nei raggi cosmici è continuato fino agli anni 50 quando entrarono in funzione i primi acceleratori di particelle..



... e lo zoo continua a crescere ...



I raggi cosmici: messaggeri invisibili di un Universo in evoluzione.

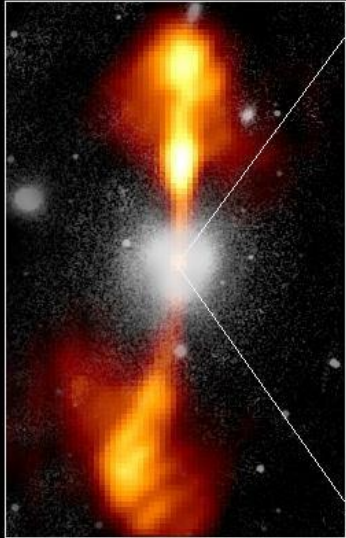


I grandi cataclismi cosmici

Core of Galaxy NGC 4261

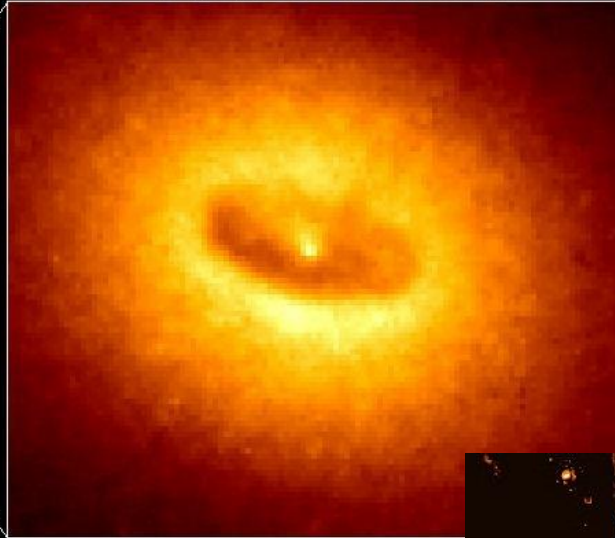
Hubble Space Telescope
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image

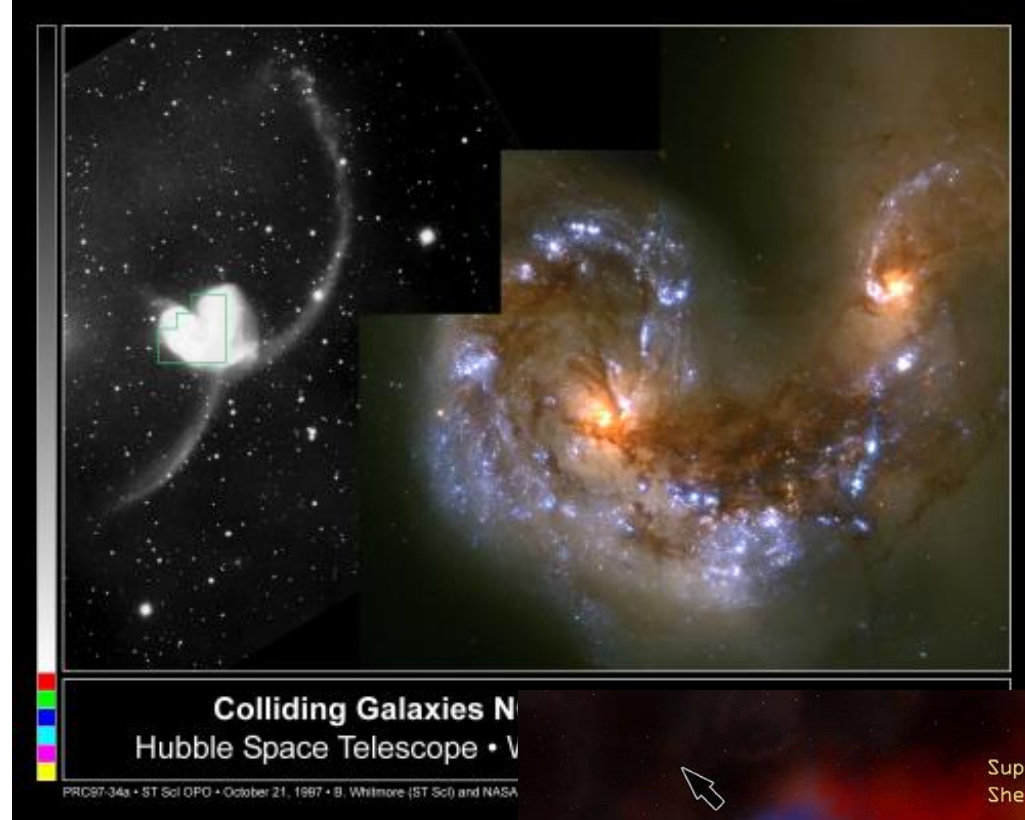


380 Arc Seconds
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk

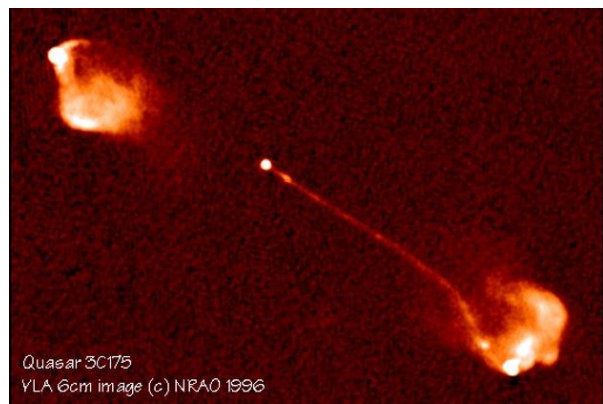
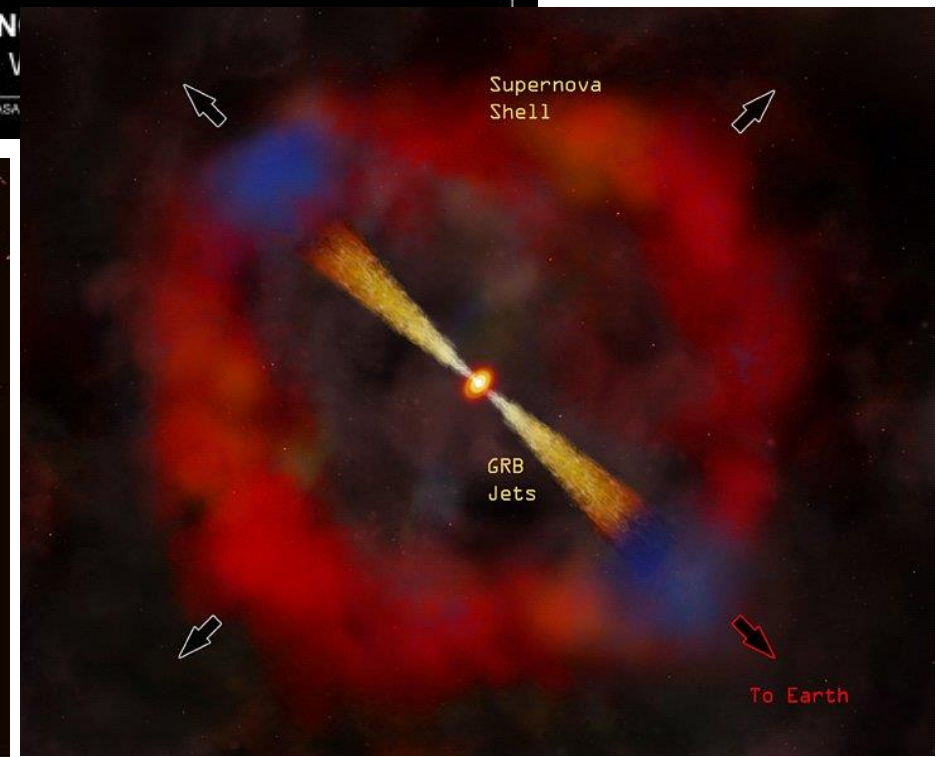
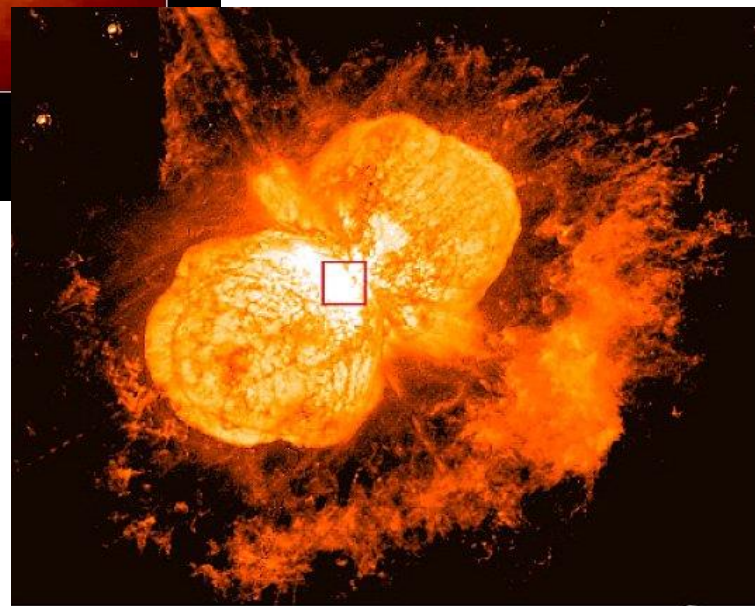


17 Arc Seconds
400 LIGHTYEARS

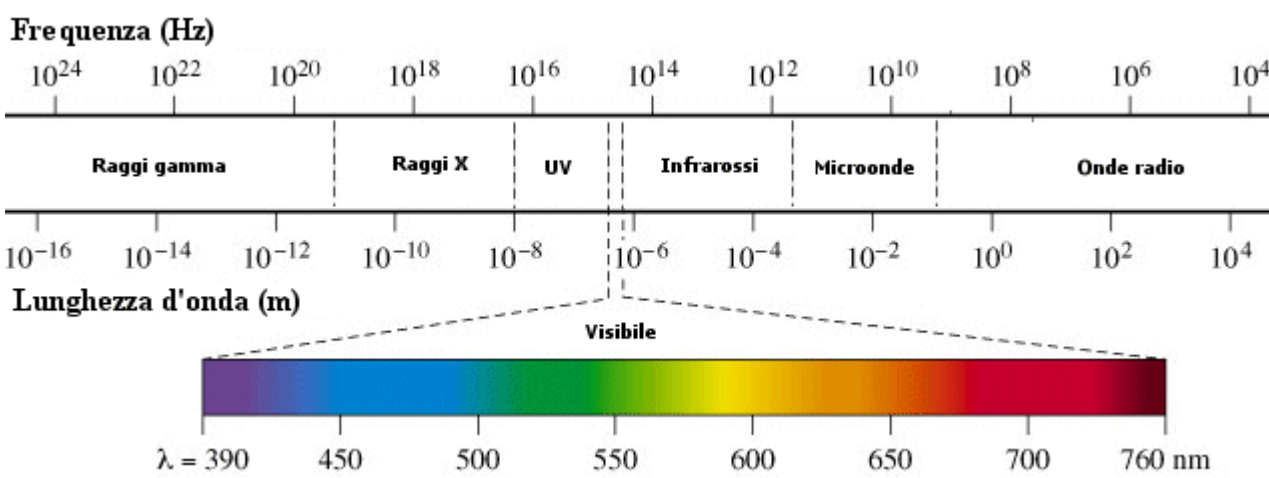


Colliding Galaxies NGC 3603
Hubble Space Telescope • V

PRC97-34a • ST Sol OPD • October 21, 1997 • B. Whitmore (ST Sol) and NASA



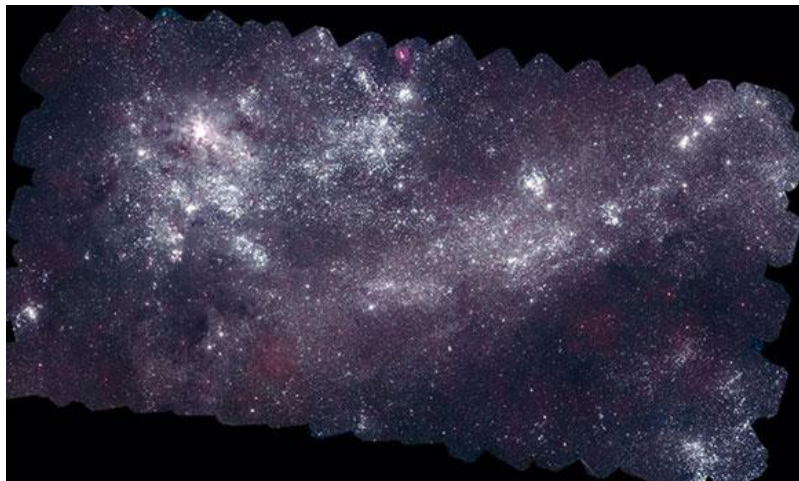
Quasar 3C175
VLA 6cm image (c) NRAO 1996



Il nostro occhio è sensibile solo a una piccolissima fetta dello spettro delle radiazioni che ci arrivano dall'Universo.

L'immagine di quest'ultimo cambia sensibilmente secondo la lunghezza d'onda a cui si guarda.

La Grande Nube di Magellano vista nell'ultravioletto, nel visibile e nell'infrarosso



Galactic Center region (visible light)



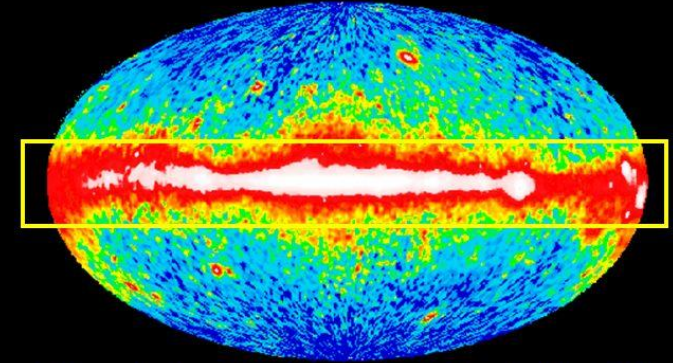
Galactic Center region (VISTA, infrared)



Unidentified γ -Ray Sources (UIDs)

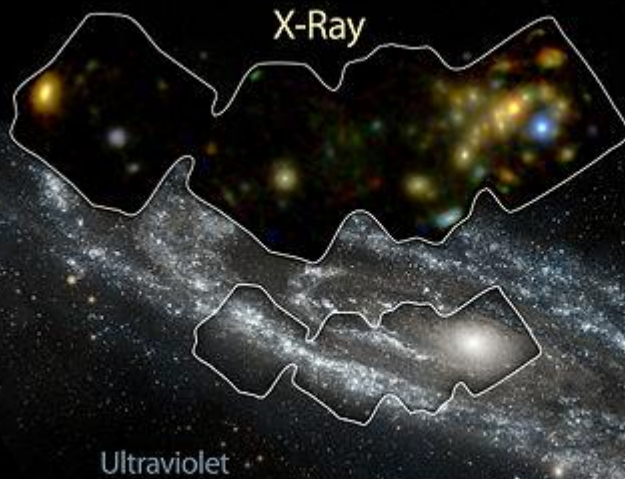
Out of 270 sources in the EGRET catalog (sources of > 100 MeV γ -rays), 170 are unidentified!

Also, about two dozen TeV γ -ray sources (detected by HESS, MAGIC) are unidentified.



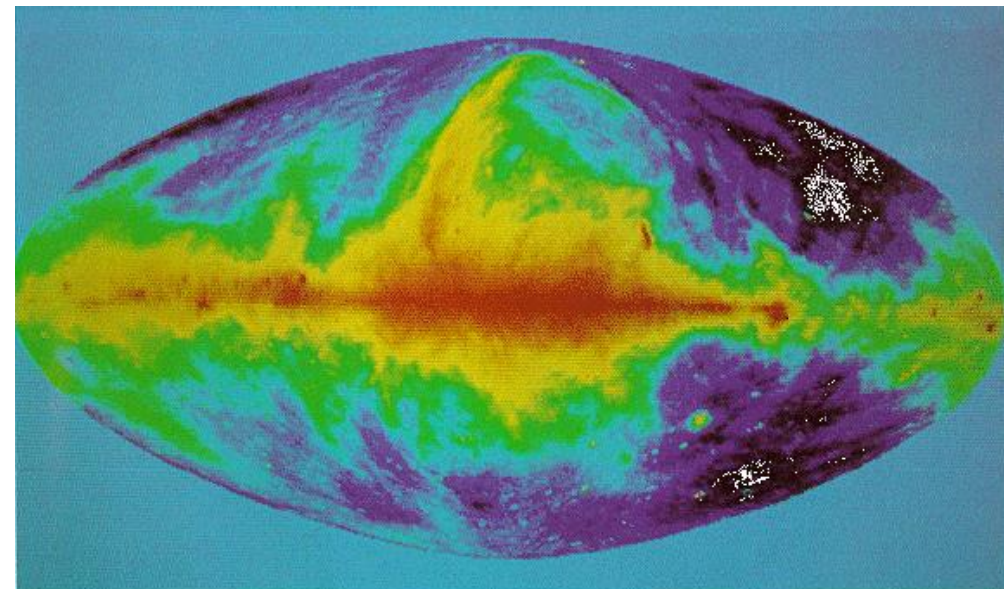
Almost all within Galactic latitude $|l| < 30^\circ$

=> Almost certainly of Galactic origin



M31

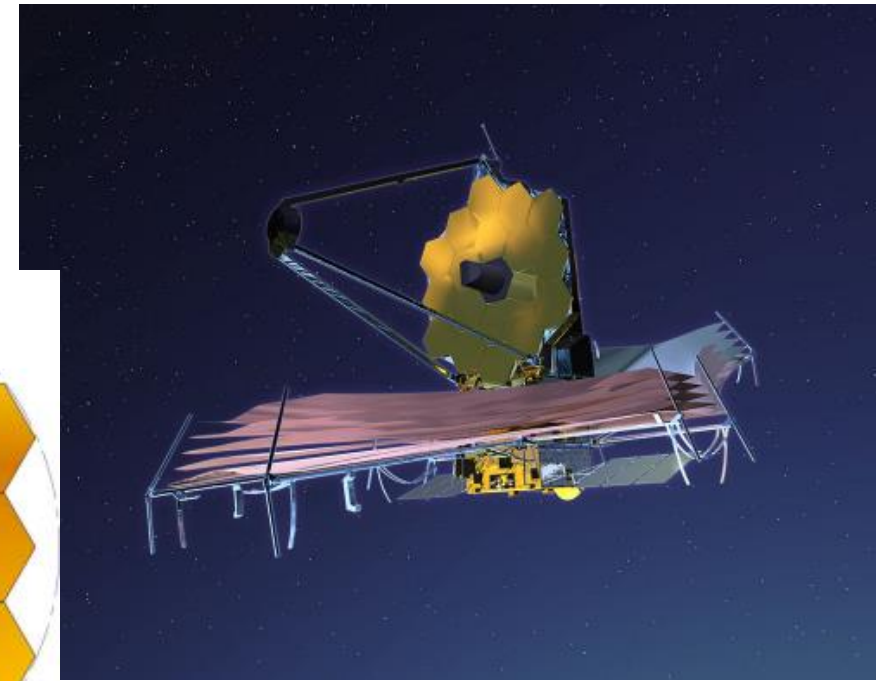
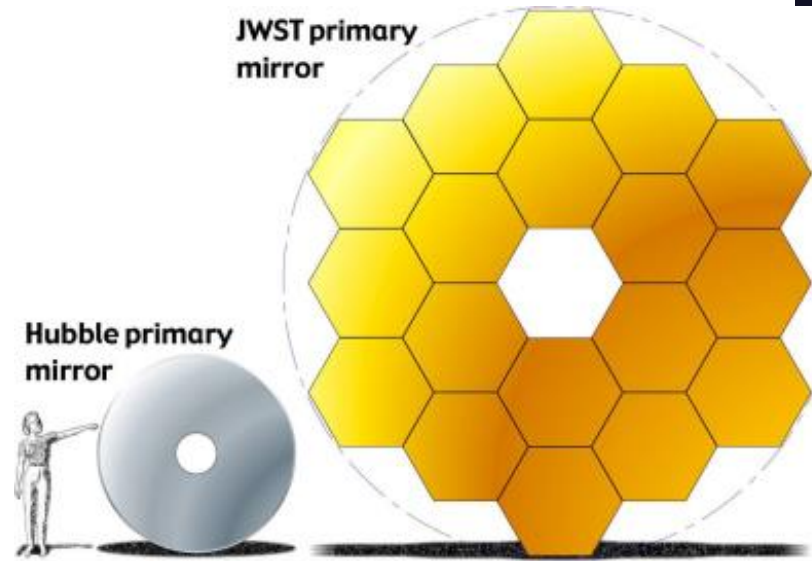
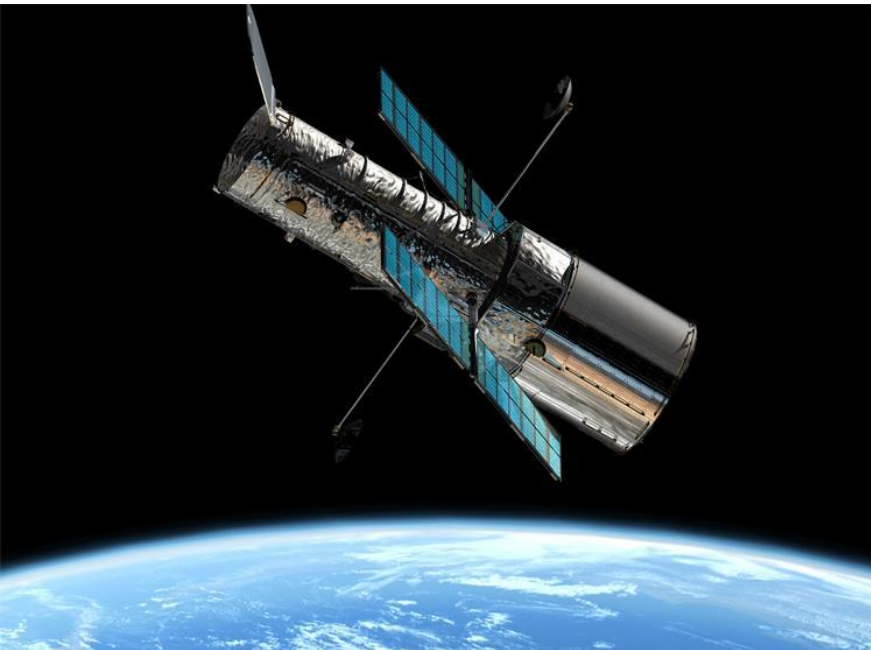
Occhi
diversi
mostrano
cieli diversi

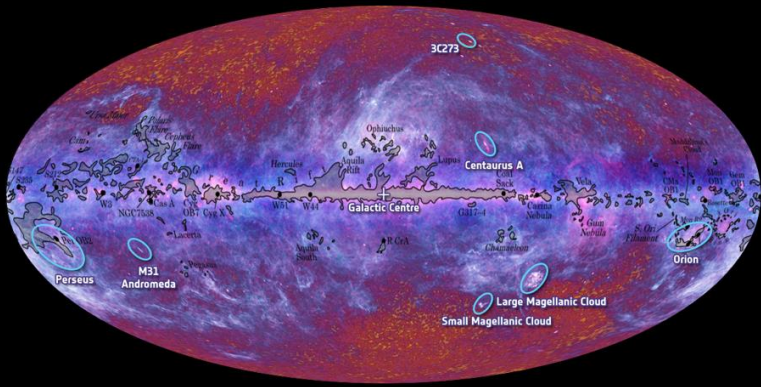


Radio View of the Milky Way

L'osservazione dell'Universo

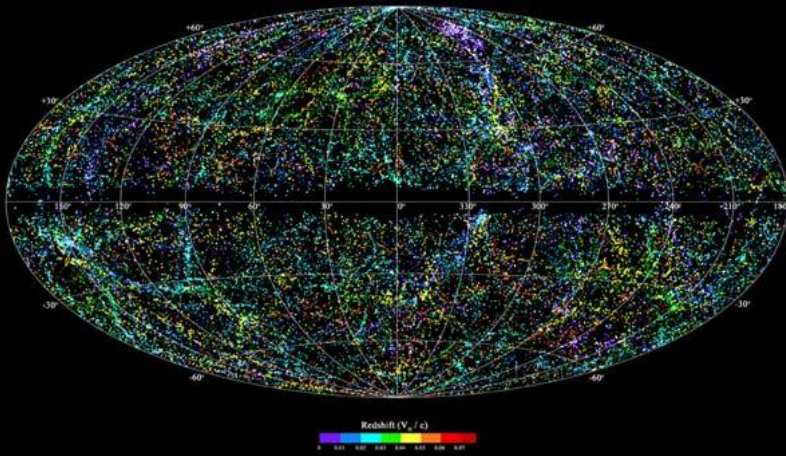
Oggi abbiamo strumenti potentissimi che ci consentono di penetrare i segreti dell'Universo più profondo. Dal nostro infinitesimo pianetino arriviamo a esplorare quasi tutto lo spazio infinito!



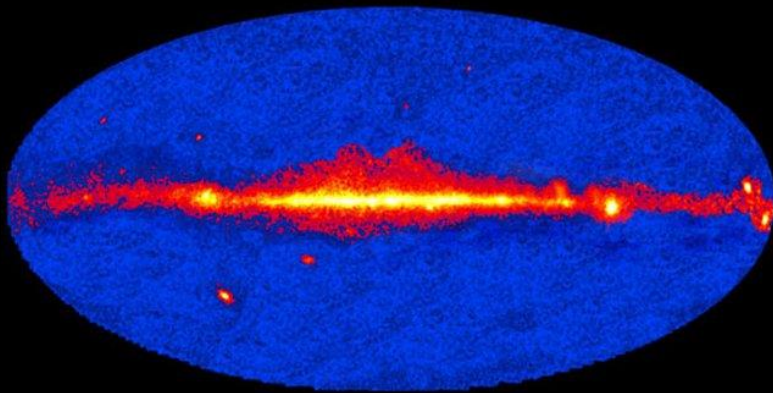


Universo a
microonde

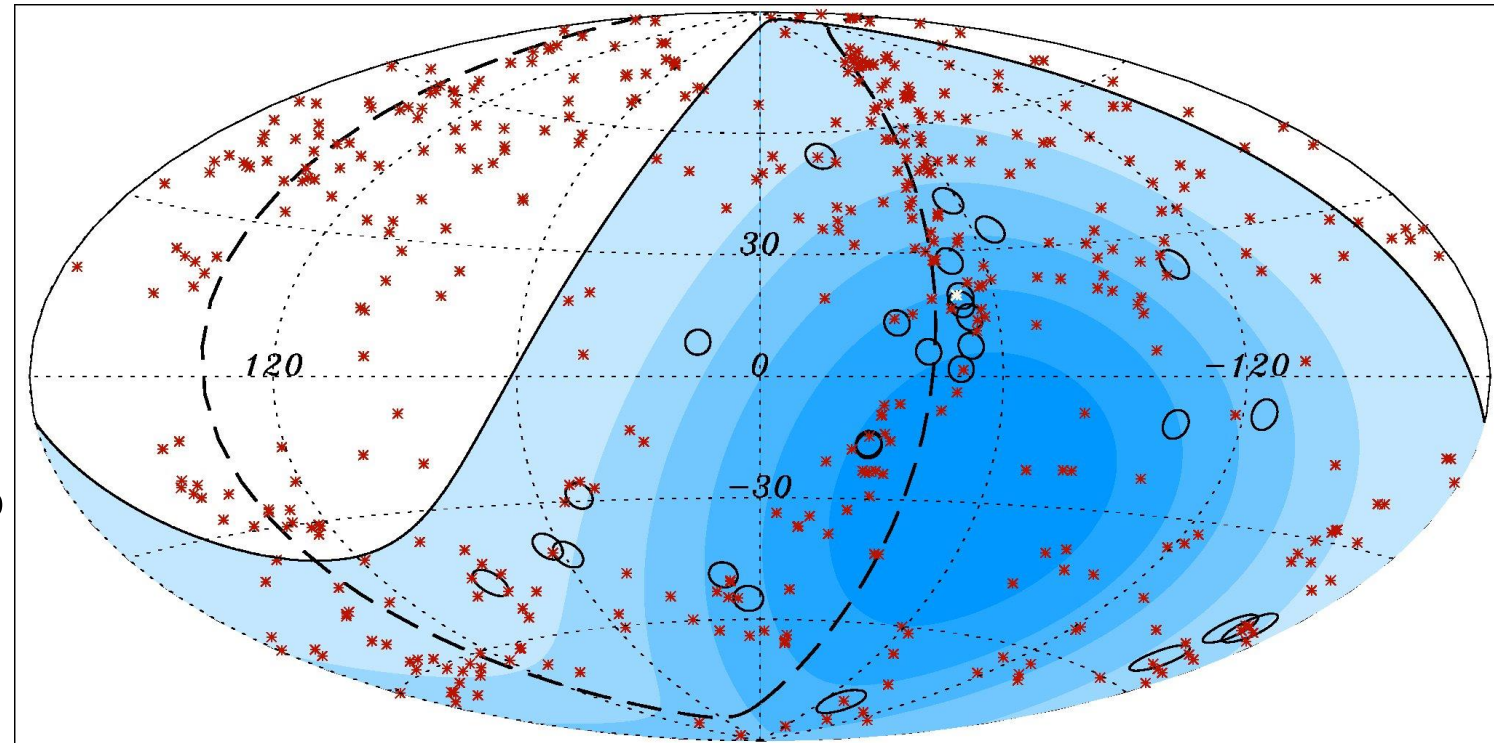
L'Universo in astroparticelle



Universo
visibile



Universo
in raggi
gamma

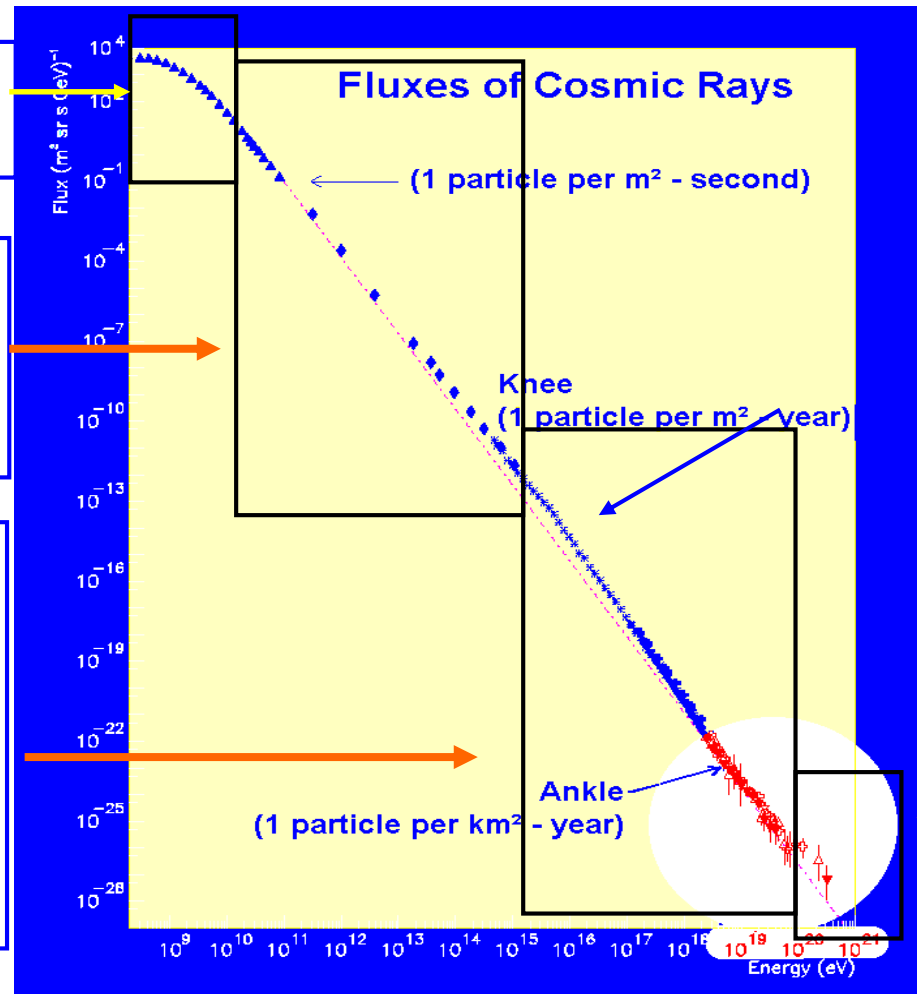


Origine dei raggi cosmici

$10^9 \div 10^{10}$ eV:
origine solare

$10^{10} \div 10^{15}$ eV:
origine galattica
(esplosioni di SuperNovae)

$10^{15} \div 5 \times 10^{19}$ eV:
origine extragalattica
(esplosioni di Super Novae,
pulsar con intensi campi
magnetici,
buchi neri,
nuclei galattici attivi)

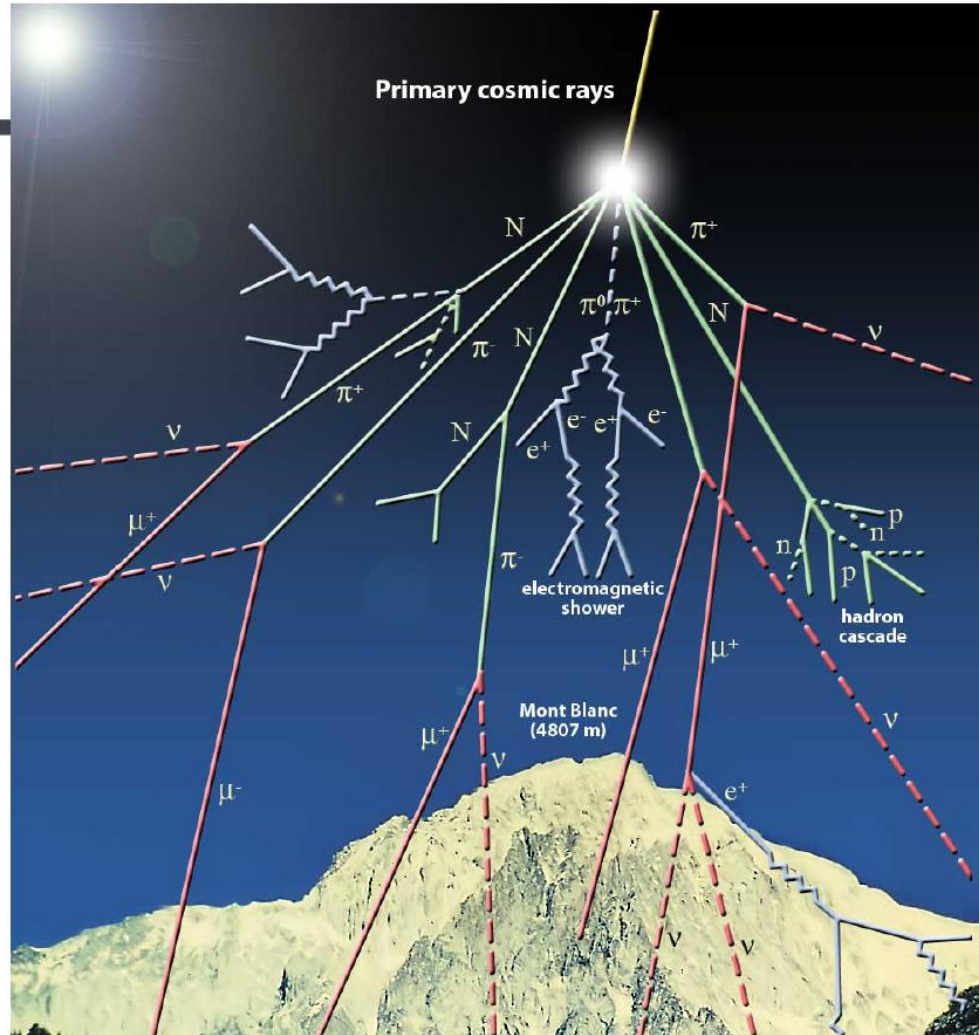


oltre 5×10^{19} eV:
origine ignota

- Collisioni tra galassie o ammassi di galassie, radio galassie ?
- Decadimento di particelle create subito dopo il Big Bang ?

Cascate di particelle

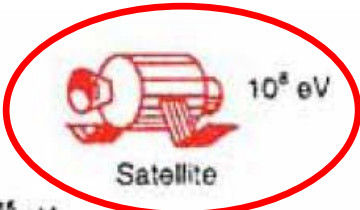
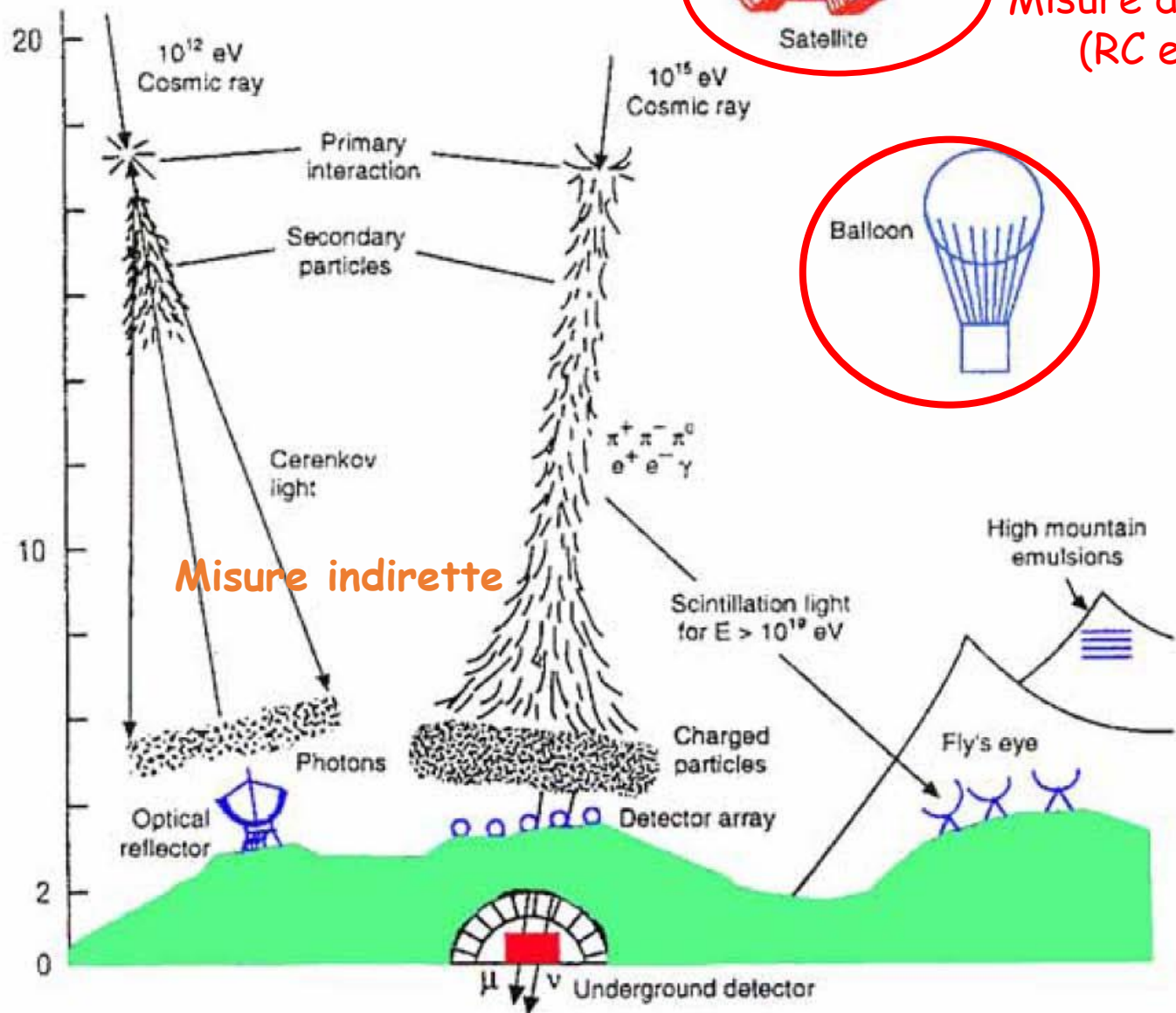
- In ogni momento, sopra la nostra testa si creano **cascate di particelle**
- Il processo che avviene più spesso è:
 - Protone \rightarrow pione \rightarrow **muone**
- Più tardi misureremo muoni:
 - Pesa circa come 200 elettroni
 - Vive molto a lungo: circa 2.2 μ s (2.2 milionesimi di secondo)



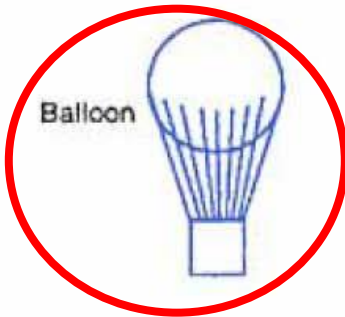
In uno sciame atmosferico generato da un protone ($\sim 90\%$) o da un nucleo ($\sim 10\%$) nell'interazione con l'atmosfera terrestre si susseguono continue interazioni adroniche ed elettromagnetiche che generano tutte le possibili particelle originabili con quella energia:

Pioni carichi e neutri;
Mesoni di ogni genere;
Raggi gamma energetici;
Leptoni;
Neutrini

Altitude (km)



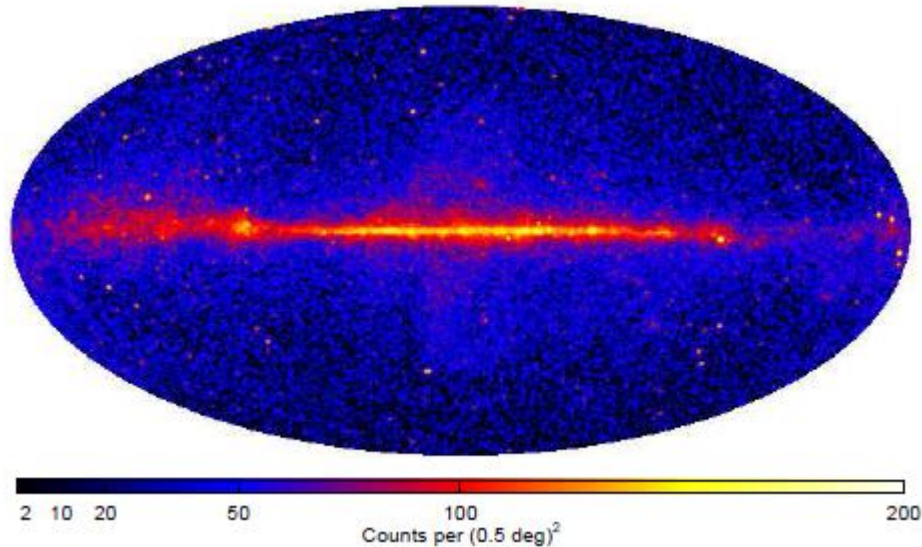
Misure dirette
(RC e γ)



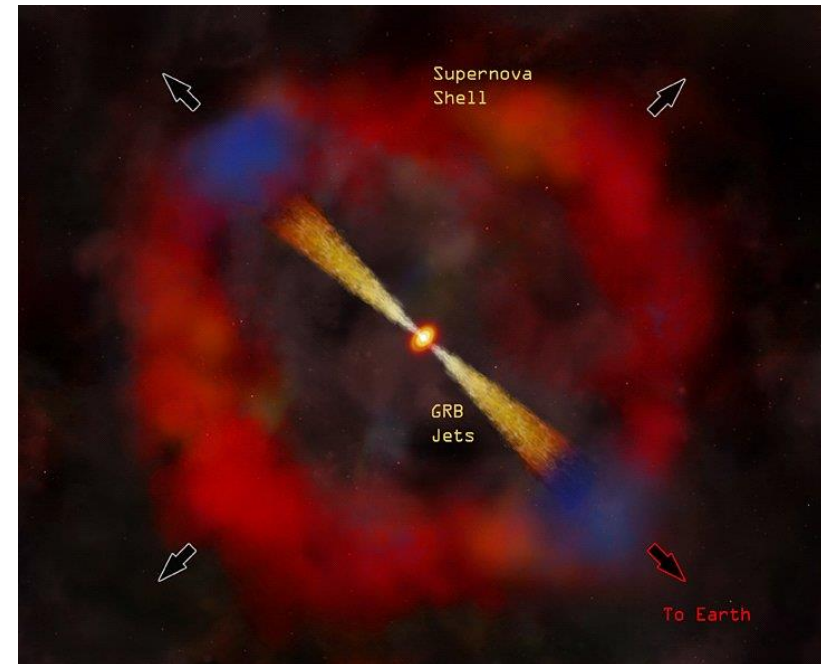
Misure indirette

Esperimenti nello spazio: $E_0 < 10^{11}$ eV

A bordo di satelliti o sonde spaziali, i rivelatori intercettano i raggi cosmici prima che interagiscano con l'atmosfera. Possono così essere rivelati i segnali più rari, come quelli dell'antimateria. I vincoli di peso e potenza elettrica per operare nello spazio limitano le dimensioni degli strumenti che non riescono a intercettare il debolissimo flusso di raggi cosmici di grande energia.

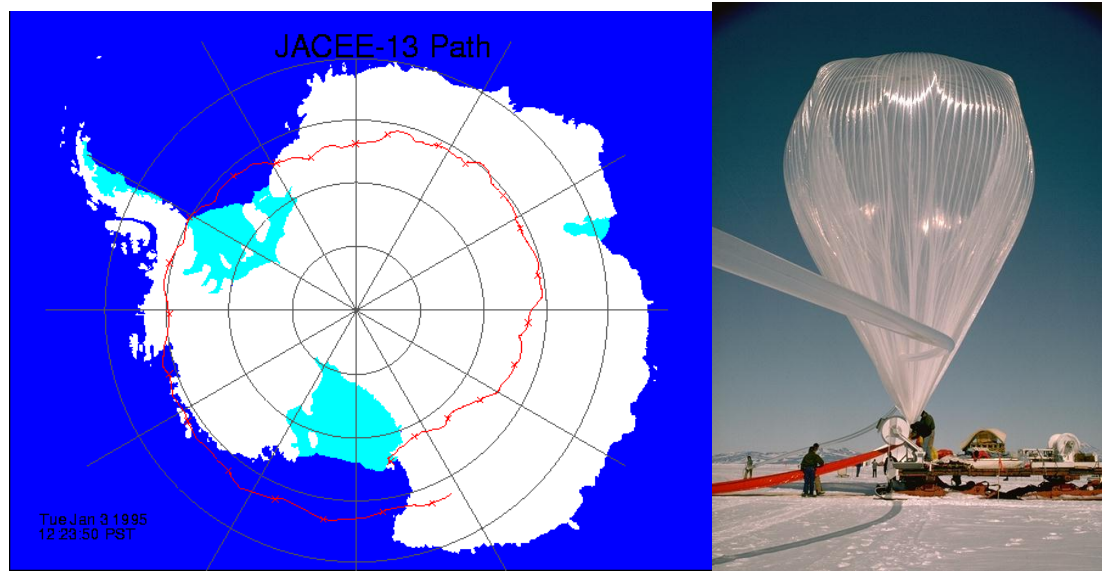
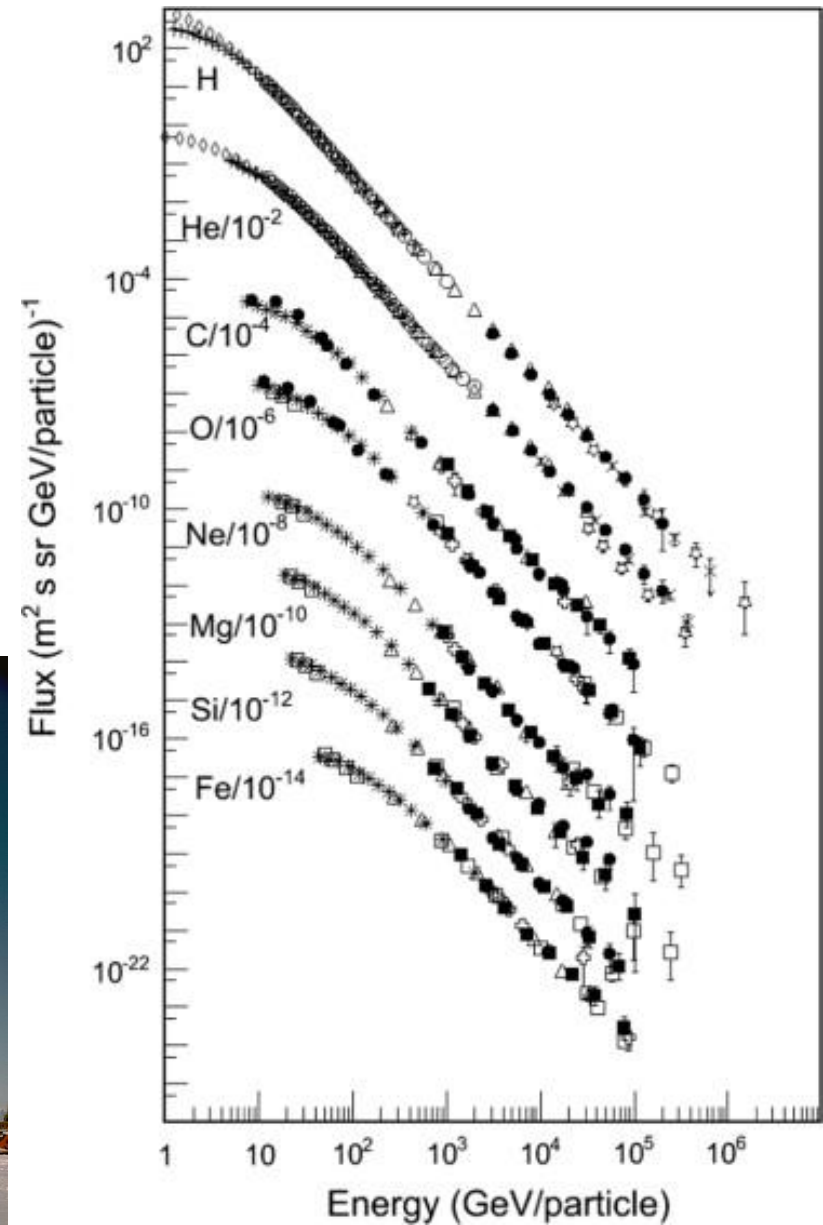


Mappa dei conteggi di raggi gamma sopra i 10 GeV registrati dal LAT (Fermi-LAT collaboration)



Esperimenti su palloni: $10^{11} \text{ eV} < E_0 < 3 \times 10^{14} \text{ eV}$

Collocati su palloni stratosferici, gli esperimenti hanno una minima contaminazione da parte dei raggi cosmici atmosferici e il vantaggio di una maggior semplicità nella realizzazione con costi più contenuti e più frequenti opportunità di volo. La durata delle osservazioni va da poche ore a qualche decina di giorni. In genere viene preferita la rotta polare perché le stelle sono fisse (*ricerca di sorgenti γ*) e l'orbita è chiusa.



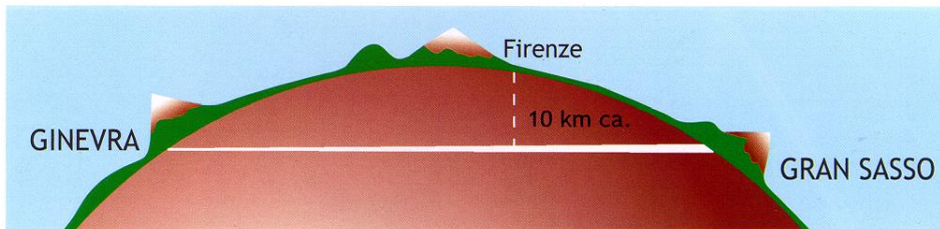
Esperimenti in laboratori sotterranei

(particelle elusive, neutrini, muoni)

Protetti da km di roccia sovrastante, nei laboratori sotterranei arriva solo un milionesimo del flusso dei raggi cosmici misurato in superficie. Sono l'ambiente ideale per rivelare i segnali deboli e rari dei neutrini o delle particelle di materia oscura che, interagendo debolmente con la materia, penetrano facilmente nelle profondità terrestri.

Già dalla seconda metà del novecento furono scavati laboratori nel traforo del Monte Bianco e del Frejus. Attualmente i laboratori nazionali del Gran Sasso d'Italia dell'INFN sono una struttura all'avanguardia nel mondo per queste ricerche.

IL FENOMENO DI OSCILLAZIONE DEI NEUTRINI



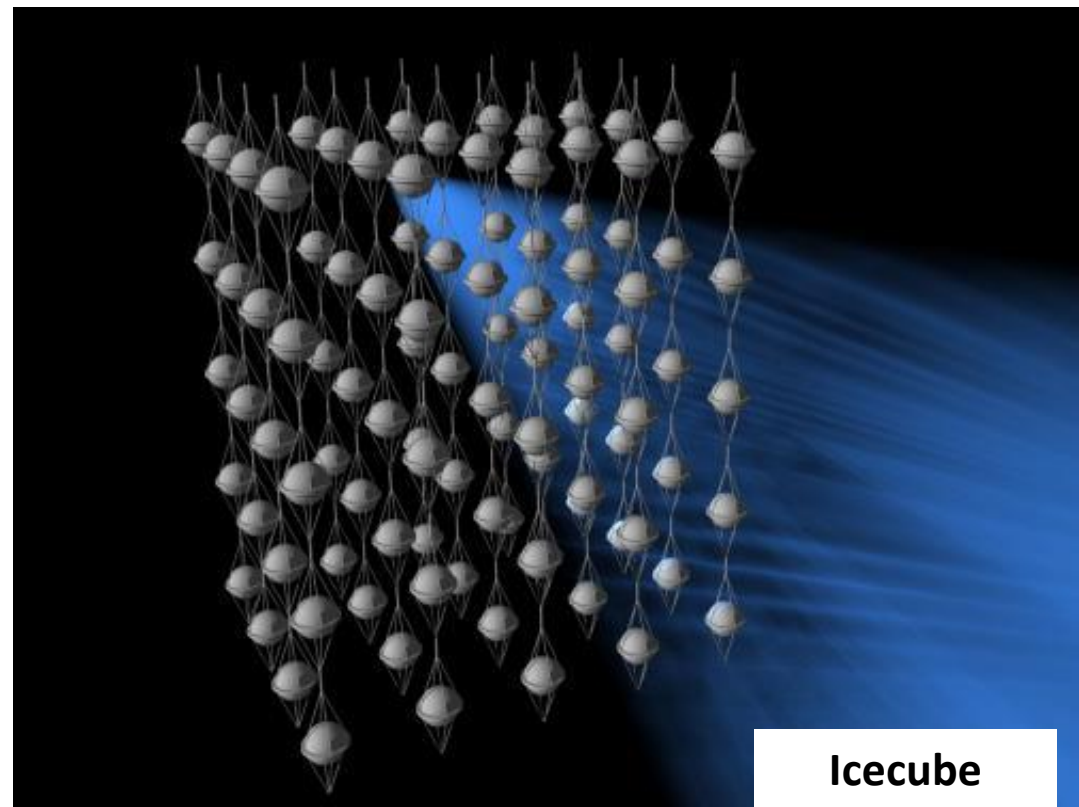
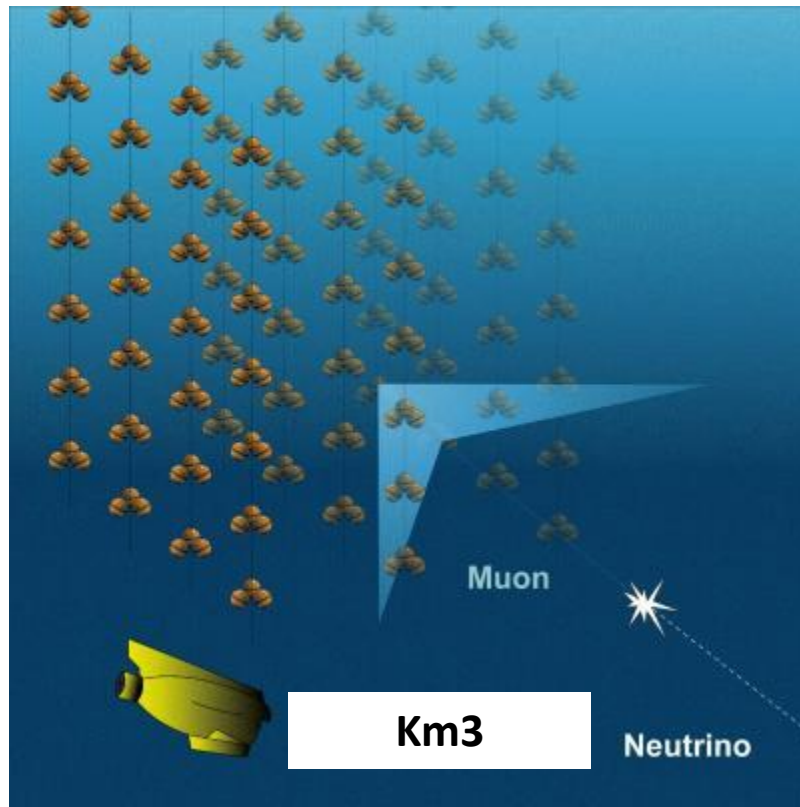
Monopole, **A**strophysics, and **C**osmic **R**ay **O**bservatory



Super Kamiokande

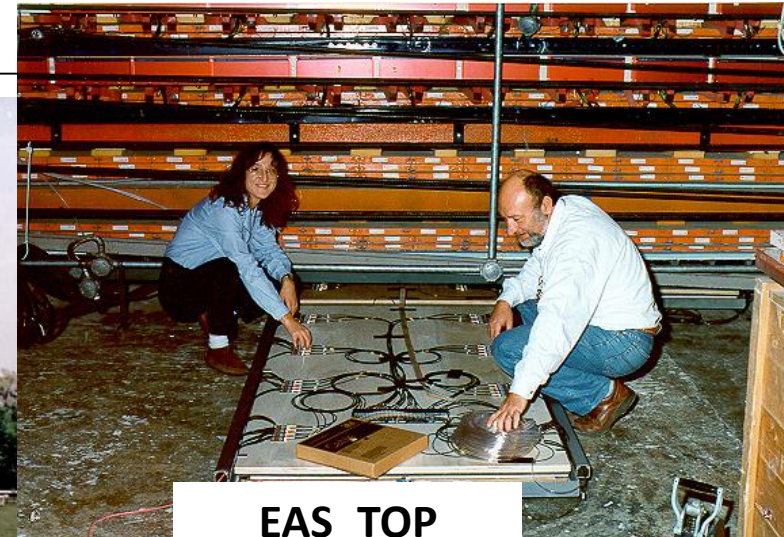
Esperimenti sottomarini o nel ghiaccio

La caccia ai neutrini di più alta energia richiede non solo un ambiente protetto dal “rumore” delle altre particelle ma anche volumi estremamente grandi in cui i neutrini abbiano una probabilità significativa di interagire generando muoni come particelle secondarie, più facili da rivelare. I telescopi subacquei e quelli nel ghiaccio dell’Antartide sfruttano l’intero globo terrestre come volume di interazione e cercano i muoni estremamente energetici provenienti dall’interno della Terra, prodotti dai neutrini che hanno raggiunto la Terra nel punto opposto del globo.



Esperimenti a terra: $10^{12} \text{ eV} < E_0$

Si studiano gli sciame di particelle e i segnali di luce mediante un insieme di rivelatori su grandi superfici. Dalle caratteristiche delle particelle rivelate e dalla luce emessa si ricostruiscono direzione, energia e natura del raggio cosmico primario. Con questi esperimenti si possono studiare i raggi cosmici superiori a 10^{12} eV. Il numero, la spaziatura e la collocazione a diverse quote dei rivelatori varia a seconda dell'intervallo di energia a cui lo studio vuole essere sensibile.





Volcano Ranch

Volcano Ranch, la "Regina del deserto"

1957: Nel deserto di **Volcano Ranch**, New Mexico, **Jonh Linsley e Livio Scarsi** installano 19 contatori formati da scintillatori plastici (*area 3.3 m^2 ciascuno*) disposti in un array a forma di esagono regolare ($\varnothing_{max} = 1.800 \text{ m}$). Gli scintillatori vengono accoppiati a fotomoltiplicatori e ad oscillografi corredati da un sistema di registrazione fotografica

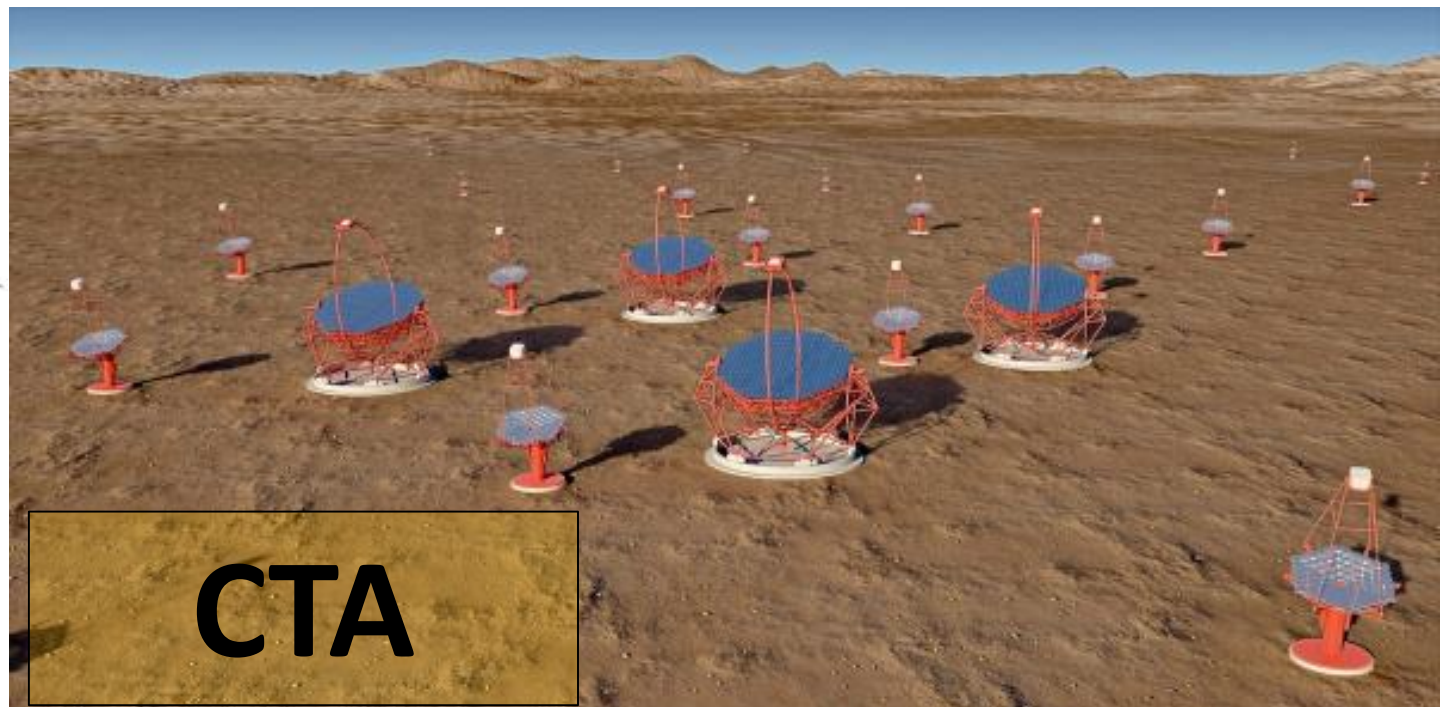


Fra i tanti sciami registrati, ne viene osservato uno contenente 30 miliardi di particelle originato da un cosmico primario di energia

$$E_0 = 6 \times 10^{19} \text{ eV}$$

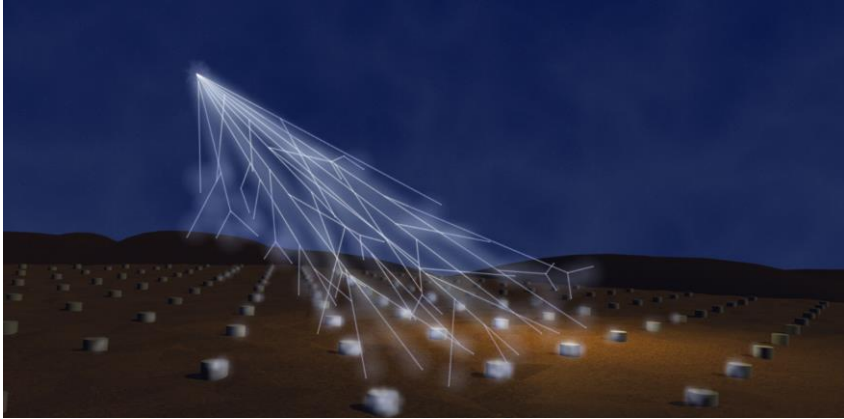
Esperimenti a terra: quelli che misurano le particelle nelle cascate e quelli che misurano la luce

Pierre Auger Observatory PAO dedicato alla rivelazione di Very High Energy Cosmic Rays, è nella pampa argentina e occupa una superficie di 3.000 kmq. Il secondo è dedicato alla rivelazione di raggi gamma ed è diviso in sito Nord (*La Palma, Isole Canarie*), e sito Sud (*Cile*). In entrambi sono coinvolte circa 100 Università ed Enti di Ricerca di 21 Nazioni.



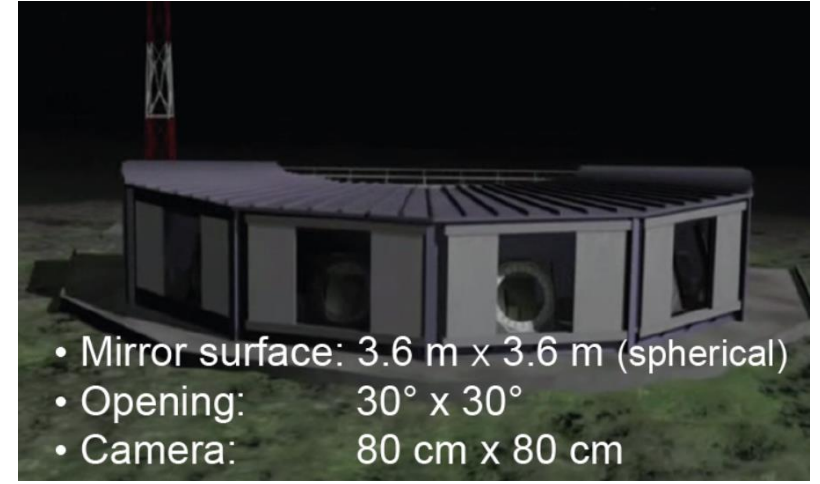
Pierre Auger Observatory@Pampa

Il più grande esperimento per la rivelazione di UHECR – 3000 km²

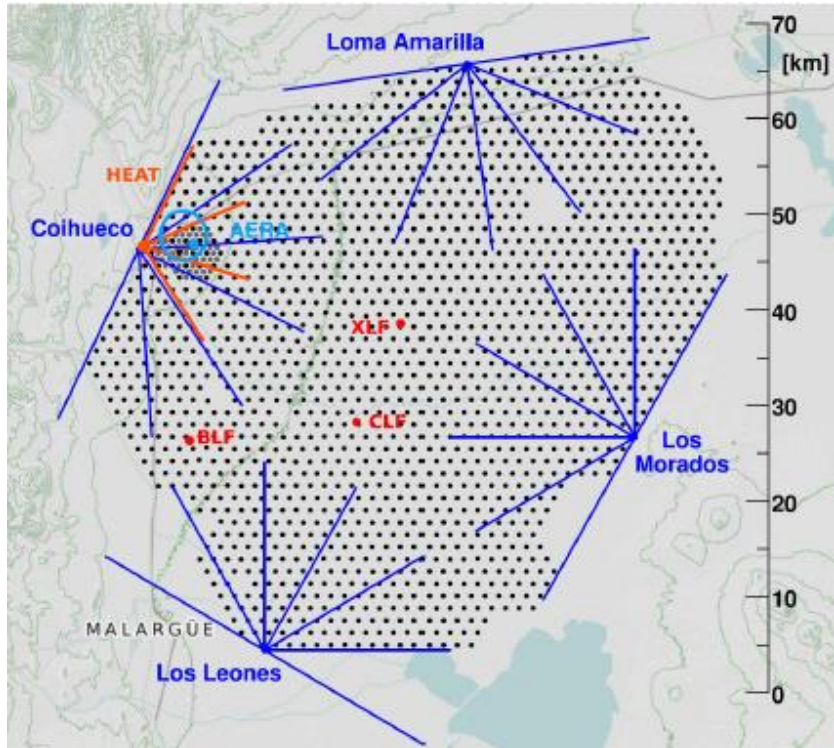


Tecnica ibrida:

- Array 1660 tank per luce Cherenkov
- 4 occhi di fluorescenza (27 telescopi)



- Mirror surface: 3.6 m x 3.6 m (spherical)
- Opening: 30° x 30°
- Camera: 80 cm x 80 cm



Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes

(most sensitive instruments for gamma ray astronomy)

30 GeV ... 300 TeV

air shower

only in dark nights
(10% duty cycle)
require good knowledge
of atmosphere

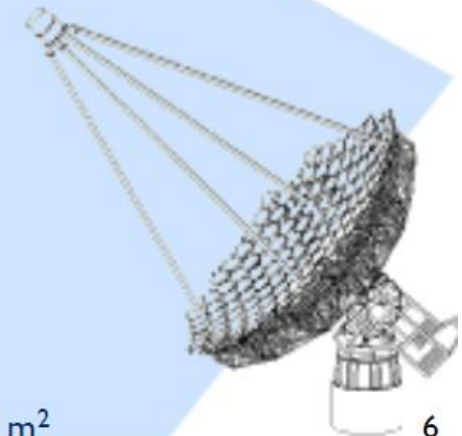
Fast charged particles in shower
produce Cherenkov light.
(forward emission)

“Photograph” (ns) shower with
imaging telescopes.

Reconstruct identity (γ , p , ...) and energy
of primary and direction to source.

Cherenkov light

eff. detector size: $\sim 10^5 \text{ m}^2$





VERITAS



MAGIC

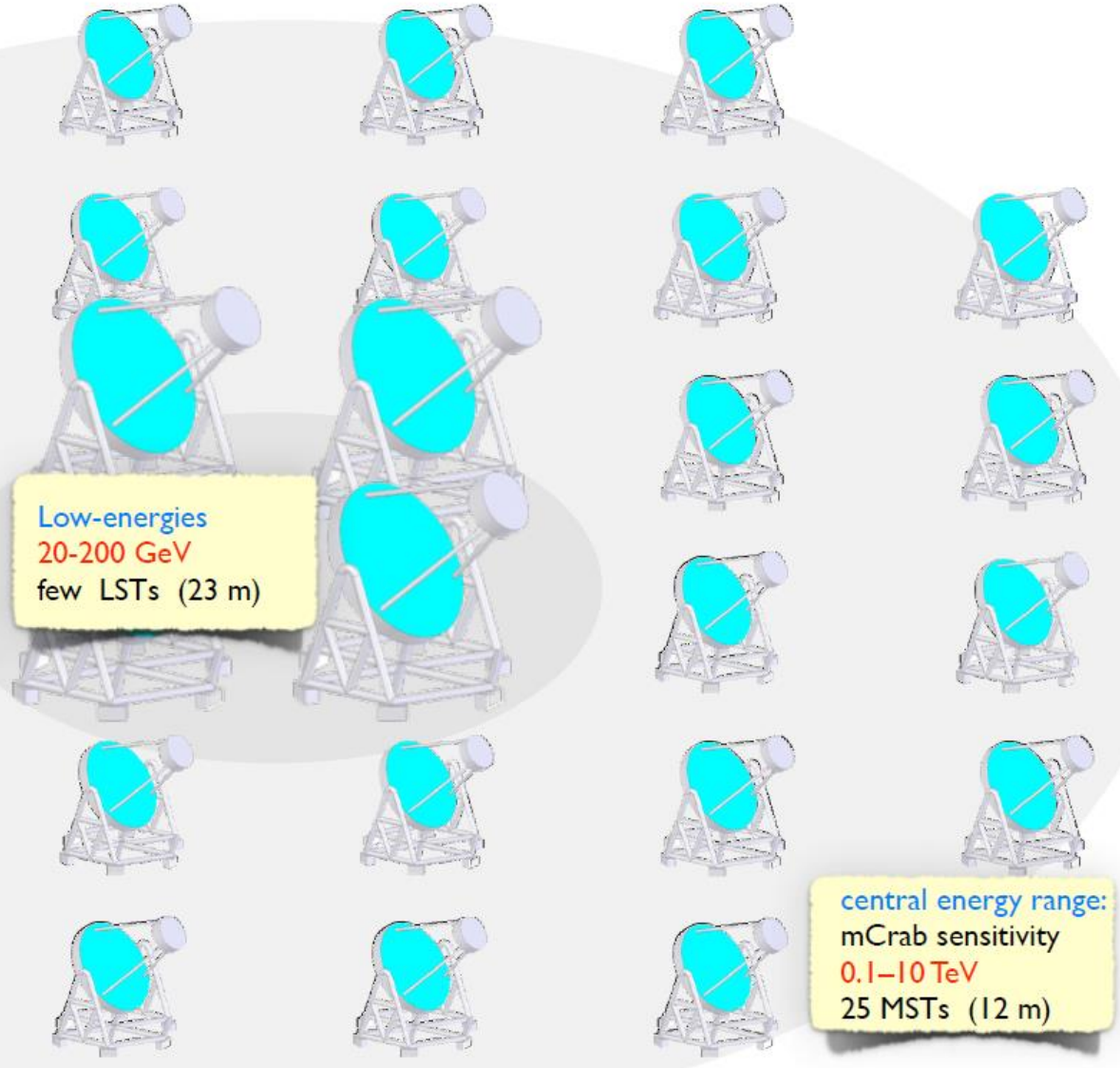


HESS



Current Imaging
Cherenkov Telescopes

3 Telescope sizes for a wide energy range:



Low-energies
20-200 GeV
few LSTs (23 m)

central energy range:
mCrab sensitivity
0.1-10 TeV
25 MSTs (12 m)

High-energies
10 km² area at
5-300 TeV
70 SSTs (4 m)

30 GeV ... 300 TeV



One observatory with two sites

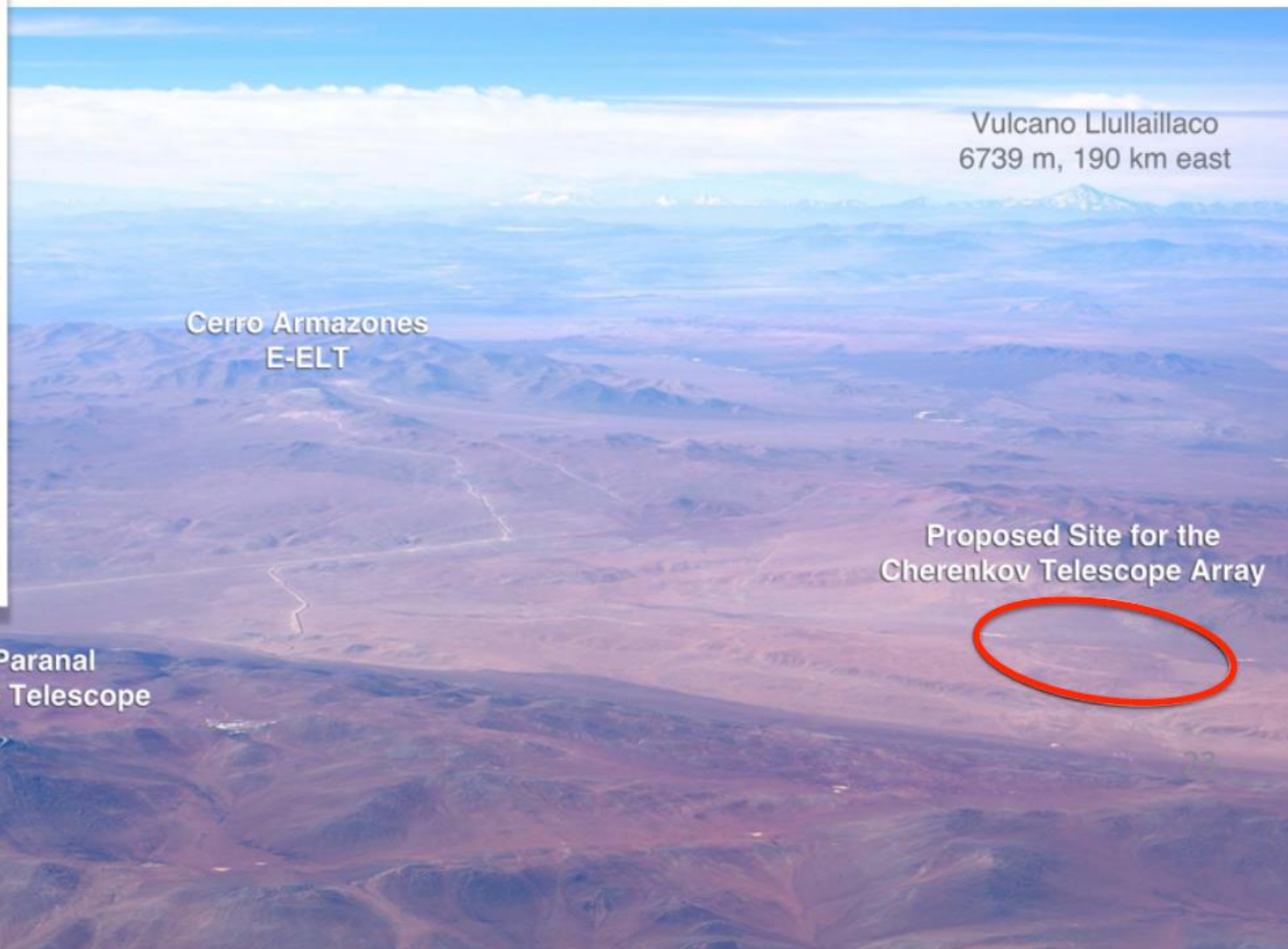


La Palma

Chile

mid latitude, large, flat area,
~2 km altitude,
good seeing, easy access, ...

Paranal, Chile (ESO site, Atacama desert)





Ogni secondo più di cento particelle di alta energia attraversano ciascuno di noi. Sono i raggi cosmici, hanno energie spesso molto maggiori di quelle che noi umani riusciamo a produrre, e provengono da sorgenti extraterrestri. Sono stati scoperti cent'anni fa grazie a un lavoro geniale e oscuro.

- La scoperta dei raggi cosmici ha coinvolto scienziati di tutto il mondo e si è svolta in un periodo caratterizzato da mancanza di comunicazione e dal nazionalismo causato principalmente dal clima pre- e post- grande guerra
- I raggi cosmici sono all'origine di grandi risultati in fisica fondamentale e in astrofisica, e a cent'anni dalla loro scoperta sono ancora la scienza di frontiera, piena di enigmi e di possibilità