

INTERNATIONAL COSMIC DAY

INFN sezione di Napoli
29 Novembre 2018

Come si rivelano i raggi cosmici?

Mario Buscemi

Dip. di Fisica e Astronomia "E. Majorana" Università di Catania
INFN-Catania

Image credit: DESY, Science Communication Lab



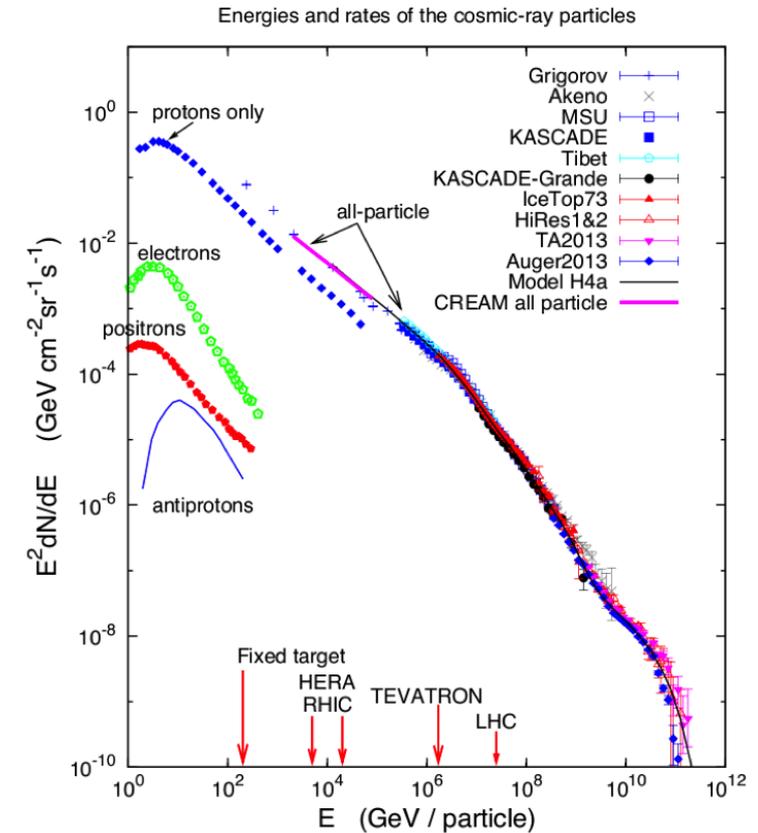
Cosa vogliamo misurare?

Che particelle sono?

Quante sono?

Che energia hanno?

Da dove vengono?



Tecniche di rivelazione

Diversi tipi di particelle

Cariche: Elettroni, positroni

Protoni, antiprotoni

Nuclei

Neutre: fotoni e neutrini

Diversi range di energia

Da 10^9 eV (1GeV)

a 10^{20} eV (100 miliardi di GeV)

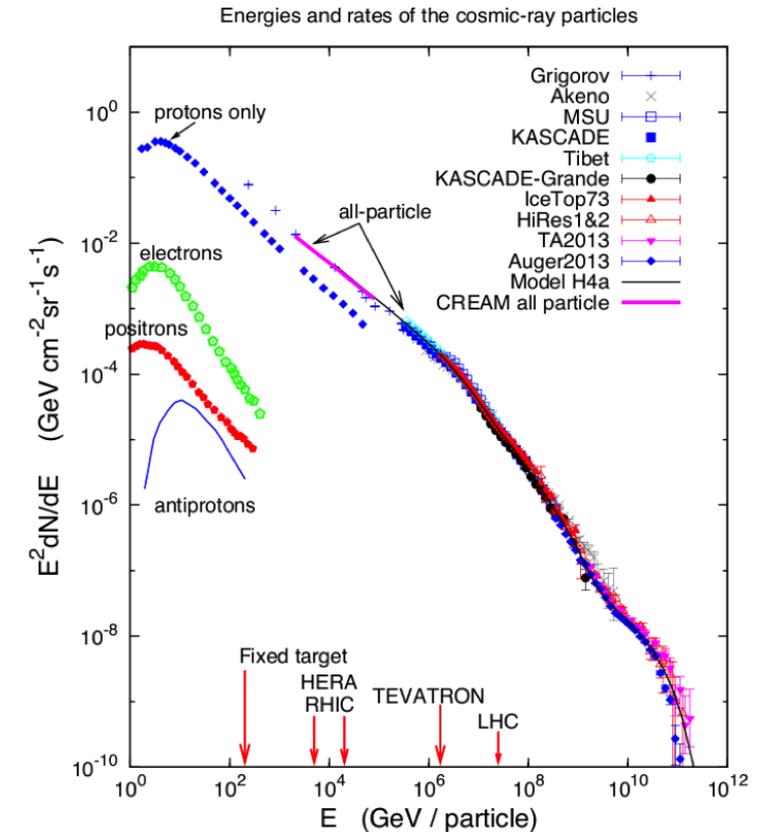
Diverso valore del flusso

Da 1 particella/m²/s

A 1 particella/km²/anno

Diverse sorgenti:

Galattiche e extra-galattiche



- **Misure dirette**

esperimenti nello spazio

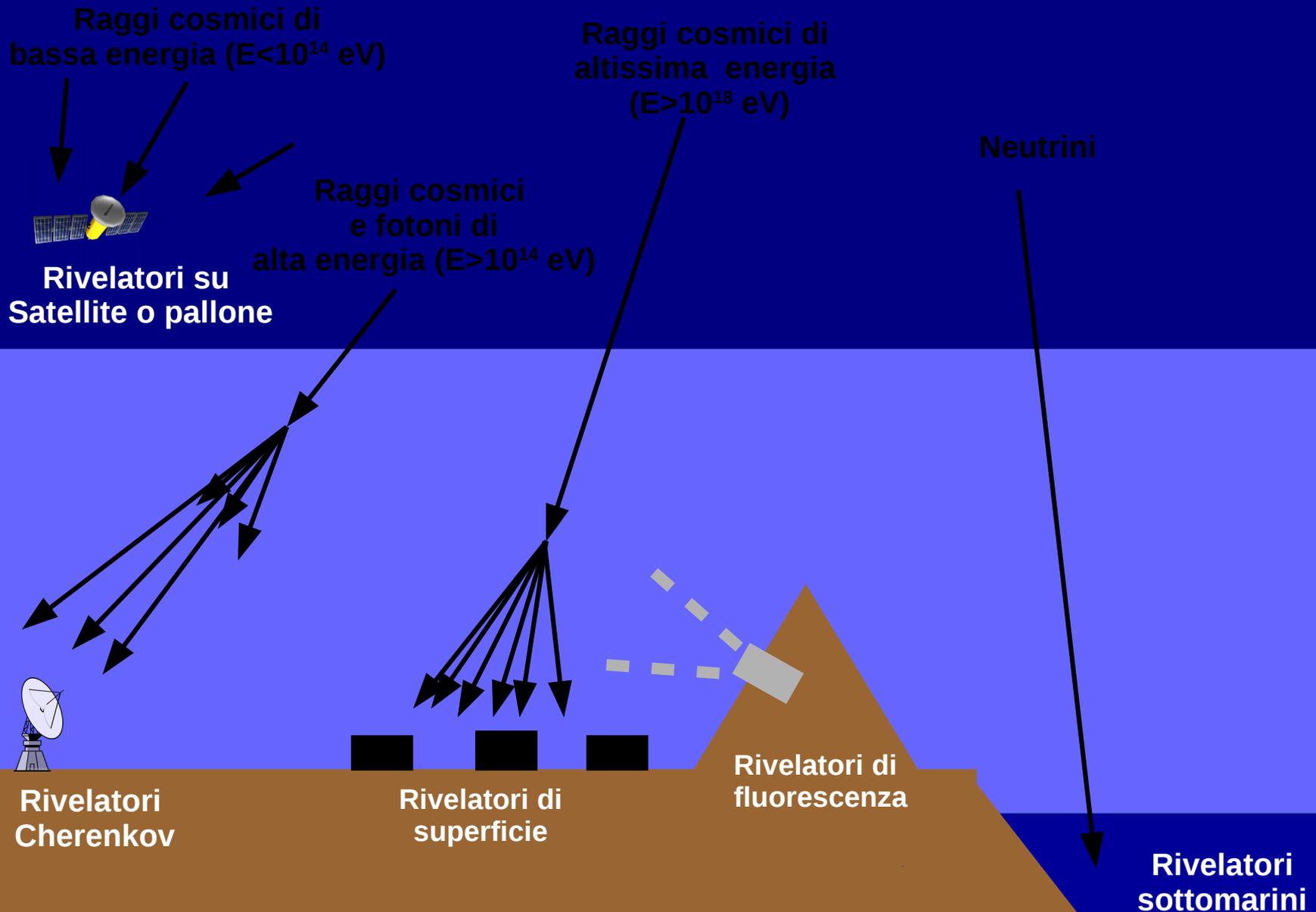
e su palloni stratosferici

- **Misure indirette**

esperimenti al suolo,

sotterranei e sottomarini

Tecniche di rivelazione

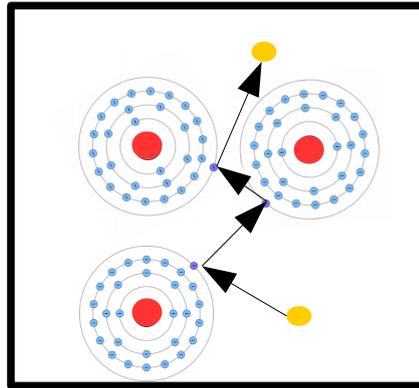


Interazione delle particelle cariche

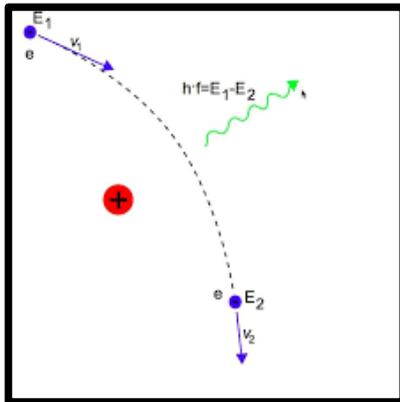
Elettroni/Muoni



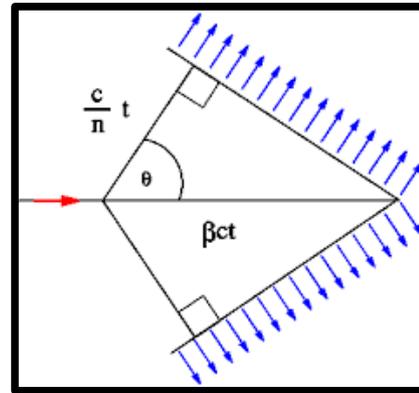
Ionizzazione



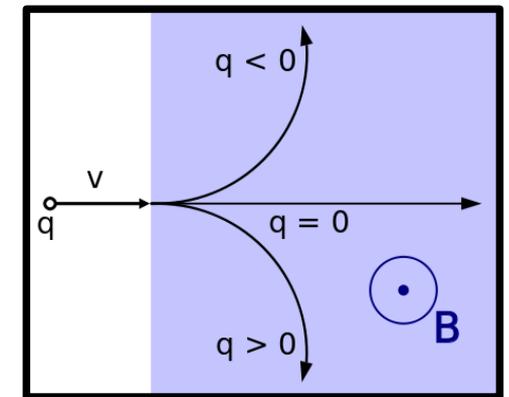
Protoni/Nuclei



Bremsstrahlung



Effetto Cherenkov

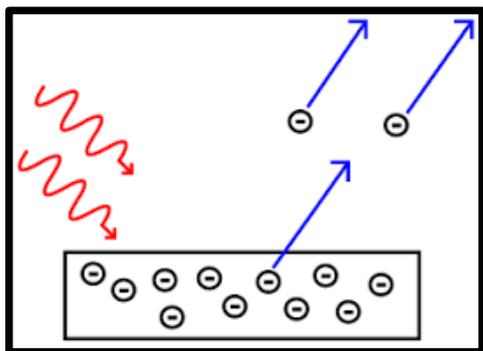


Campi Magnetici

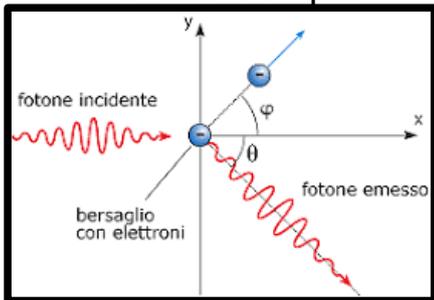
Interazione delle particelle neutre

Fotoni gamma

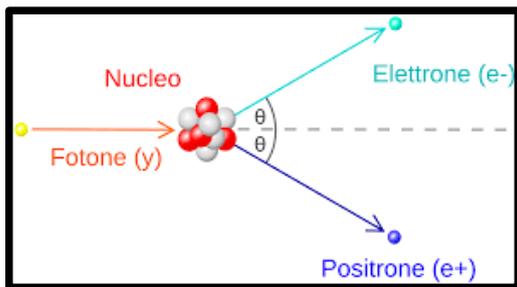
effetto fotoelettrico



effetto Compton

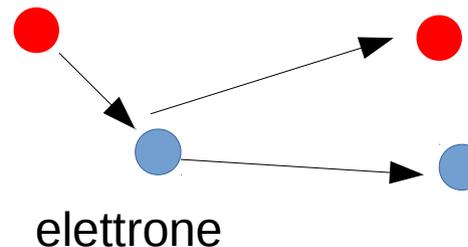


produzione di coppie

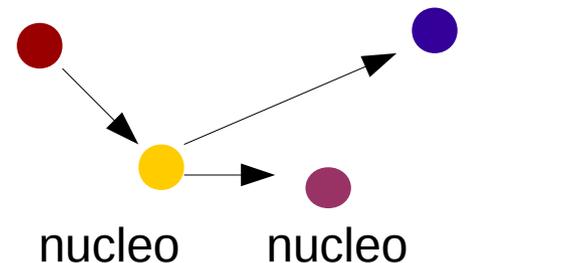


Neutrini

Neutrino



Neutrino muonico



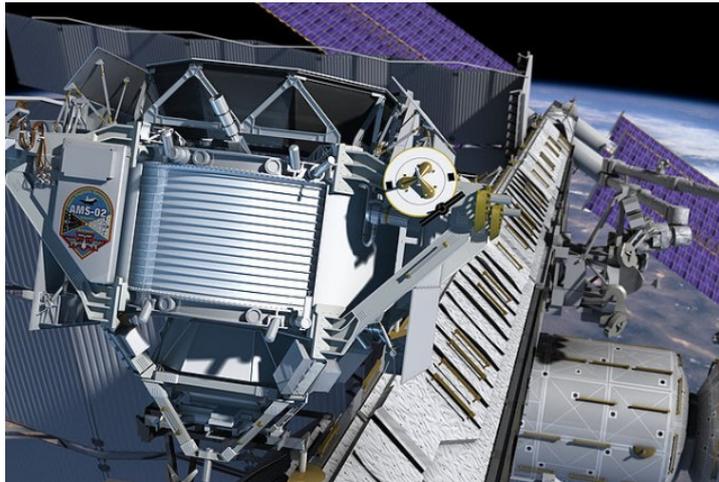
Misure dirette nello spazio

$E < 10^{12}$ 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.

Particelle cariche

AMS-02



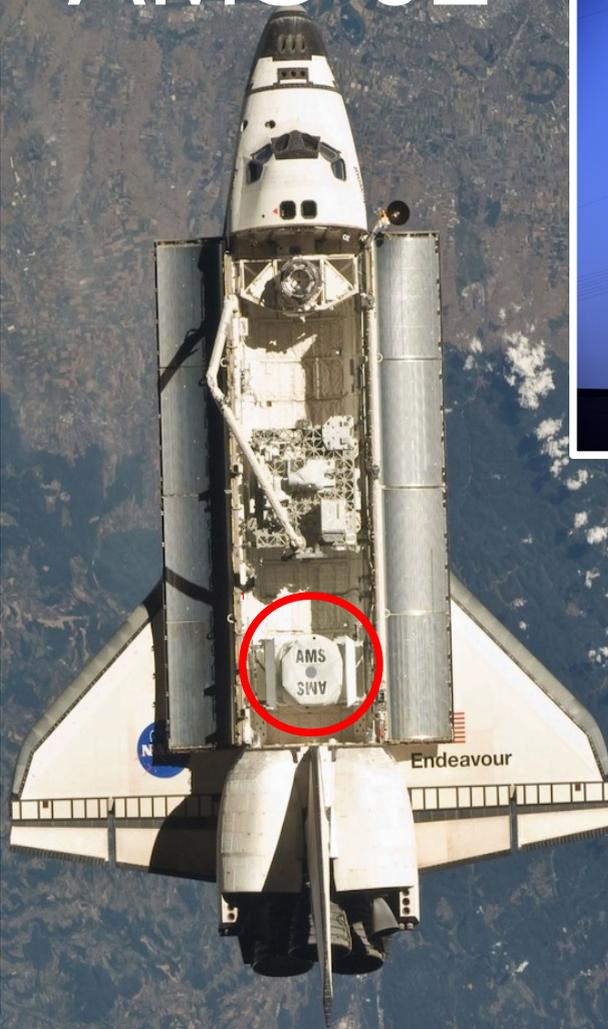
Fotoni

Fermi-LAT



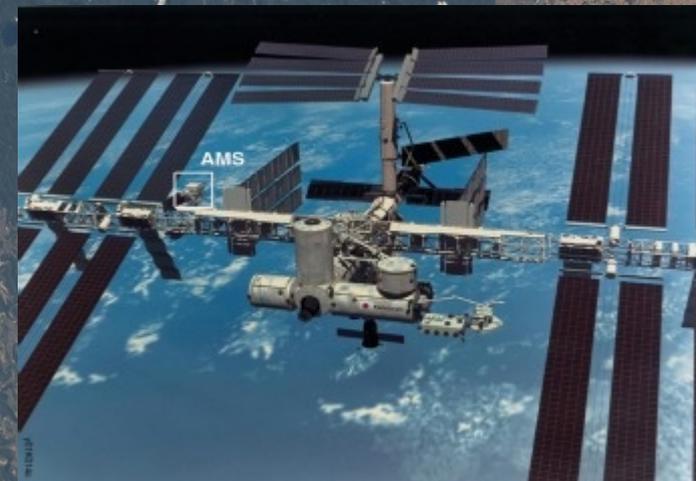
AMS-02

L'Alpha Magnetic Spectrometer (AMS-02) è un rivelatore di particelle progettato per operare come modulo esterno sulla Stazione Spaziale Internazionale. Grazie alle condizioni uniche dell'ambiente spaziale, potrà studiare l'Universo e le sue origini cercando le evanescenti tracce dell'**antimateria** primordiale e della **materia oscura**, attraverso misure di precisione della composizione e del **flusso dei raggi cosmici**.



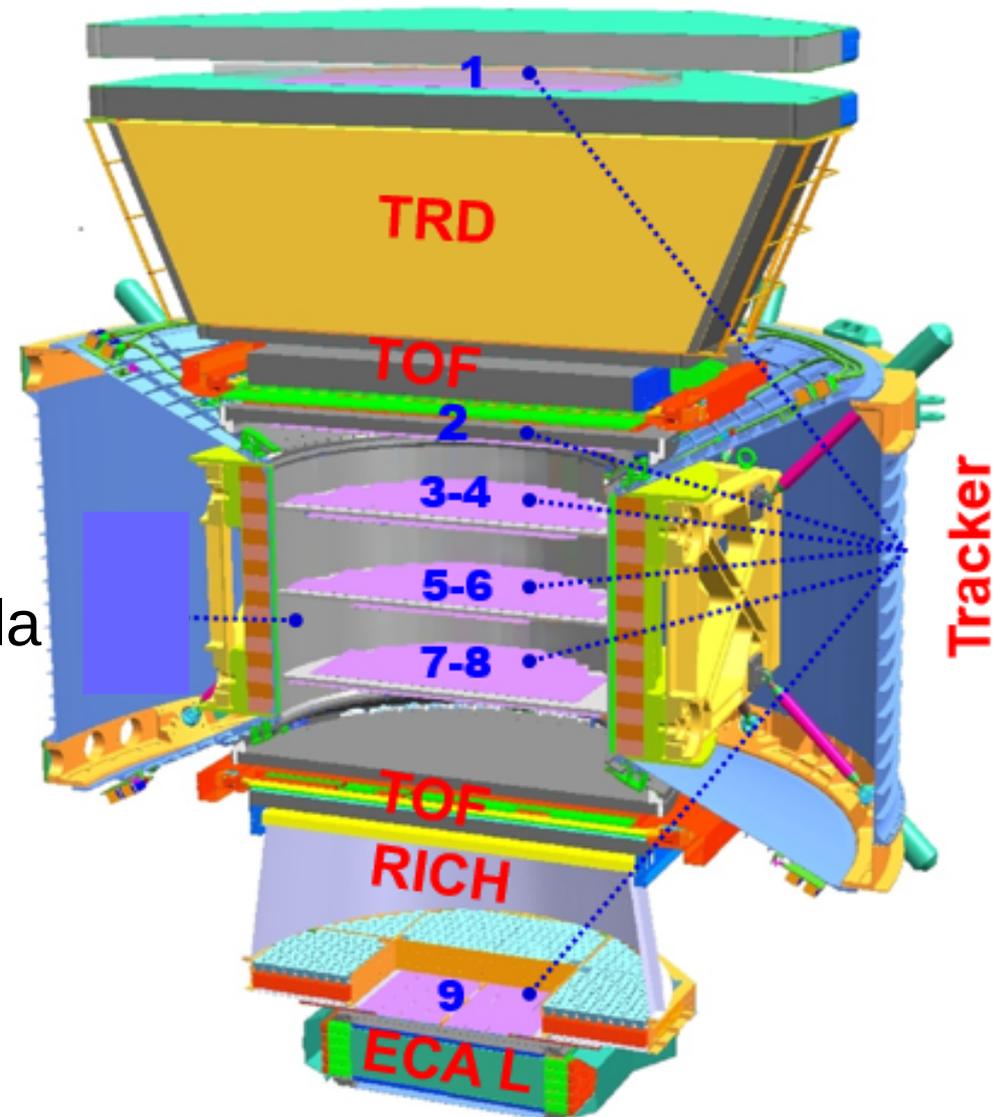
© Michele Famiglietti / AMS Collaboration

16 Maggio 2011
AMS-02 parte da Cape Canaveral
a bordo dell'Endeavour



AMS-02

- TRD
elettroni ultra relativistici
- TOF
Trigger, misura Z
- Tracker
Misura Z, particella/antiparticella
- RICH
Misura massa
- ECAL
 e^+/p



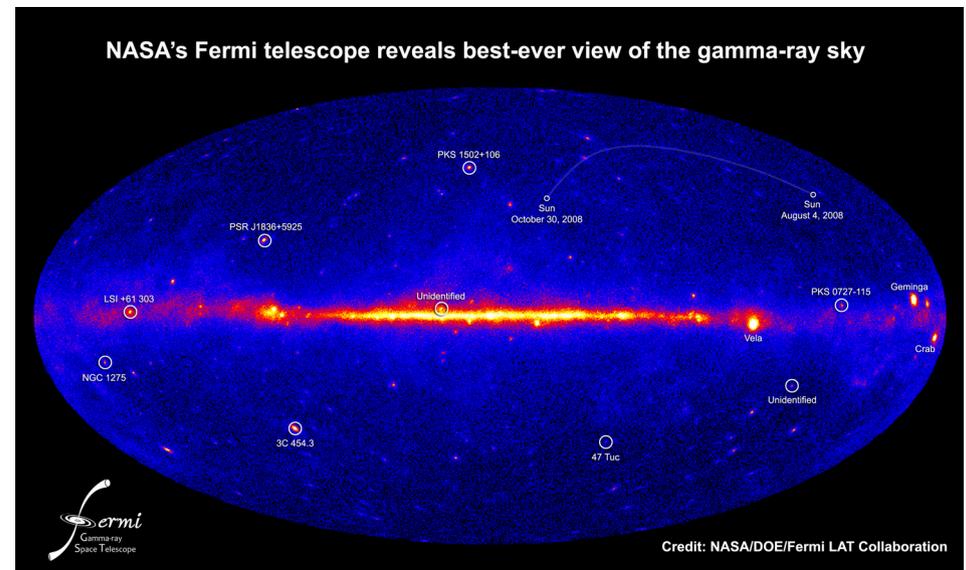
Fermi - LAT

Fermi-LAT è un telescopio per raggi gamma di alta energia:

(20 MeV – 300 GeV)

Ogni osservazione copre il 20% del cielo

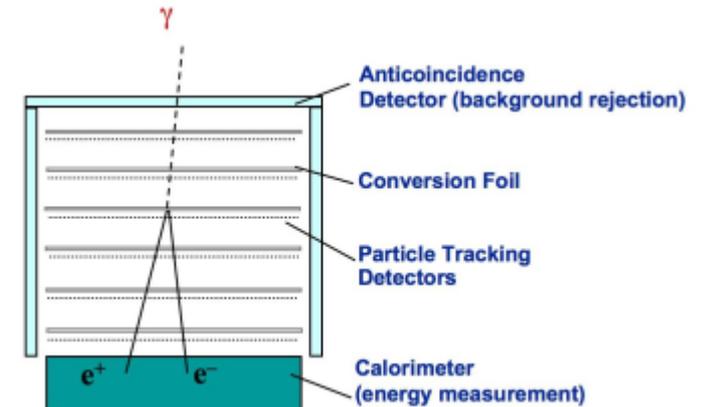
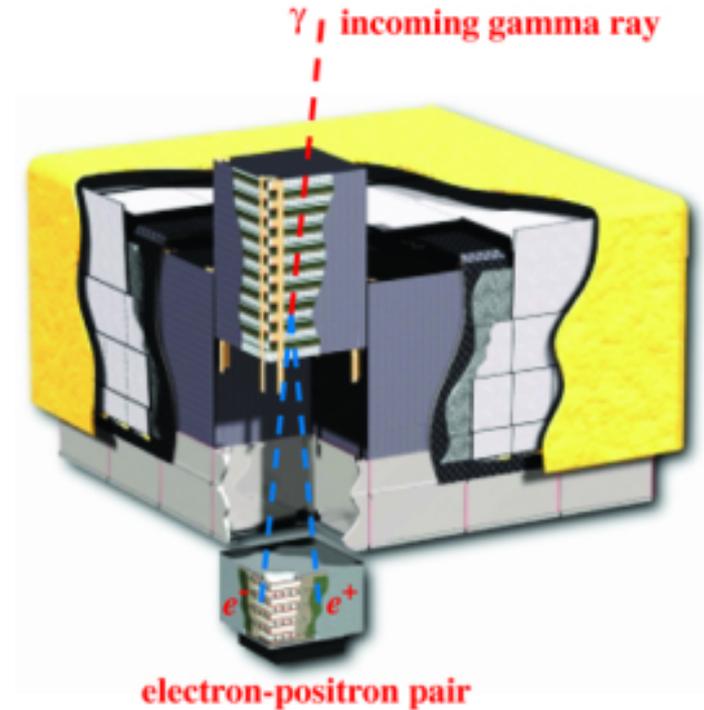
- Ogni tre ore si ha uno scan completo dell'intero cielo



<https://glast.sites.stanford.edu/>

Fermi-LAT

- Rivelatore di anti coincidenza
 - rimozione fondo particelle cariche
- Convertitore e tracciatore
 - generazione di coppie $e^+ e^-$
- Calorimetro
 - misura energia $e^+ e^-$



Misure dirette con palloni $E < 10^{15}$ 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 e l'orbita è chiusa.

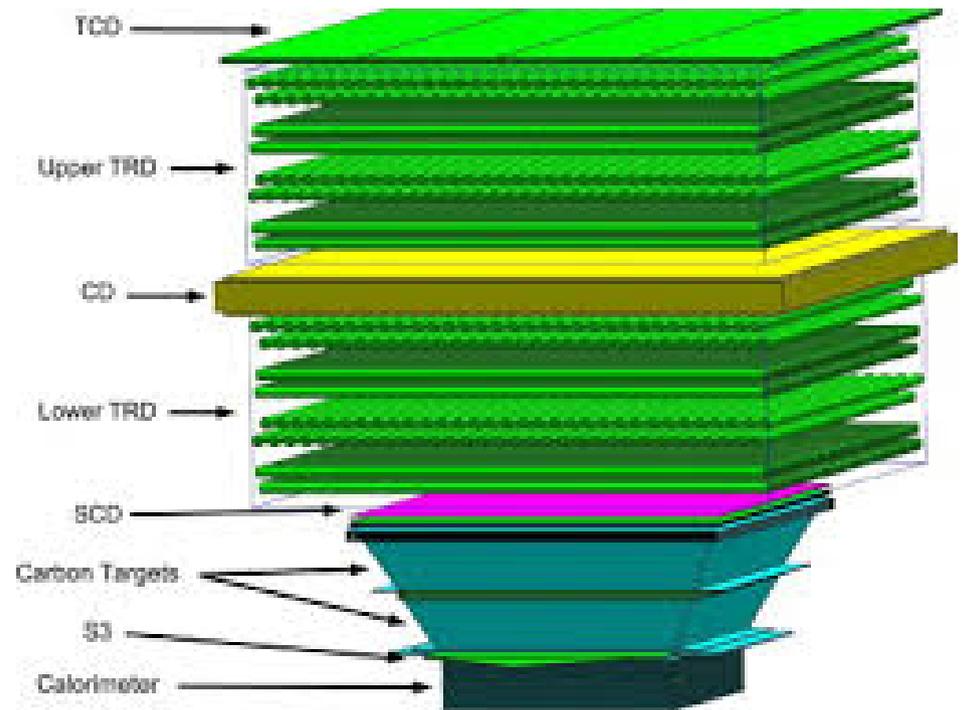


CREAM

Timing Charge Detector (TCD),
Cherenkov Detector (CD)
Transition Radiation Detector (TRD)
Cherenkov Camera (CherCam)
Silicon Charge Detector (SCD)
scintillating fiber hodoscopes
tungsten-scintillating fiber calorimeter.

MISSIONI:

(1) 12/16/04 – 1/27/05	CREAM-I
(2) 12/16/05 – 1/13/06	CREAM-II
(3) 12/19/07 – 1/17/08	CREAM-III
(4) 12/19/08 – 1/7/09	CREAM-IV
(5) 12/1/09 – 1/8/10	CREAM-V
(6) 12/20/2010 – 12/26/2010	CREAM-VI
(7) 11/28/2016 – 12/28/2016	BACCUS



<https://cosmicray.umd.edu/cream/>

Misure indirette

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

- Particelle cariche

Pierre Auger Observatory

Telescope Array

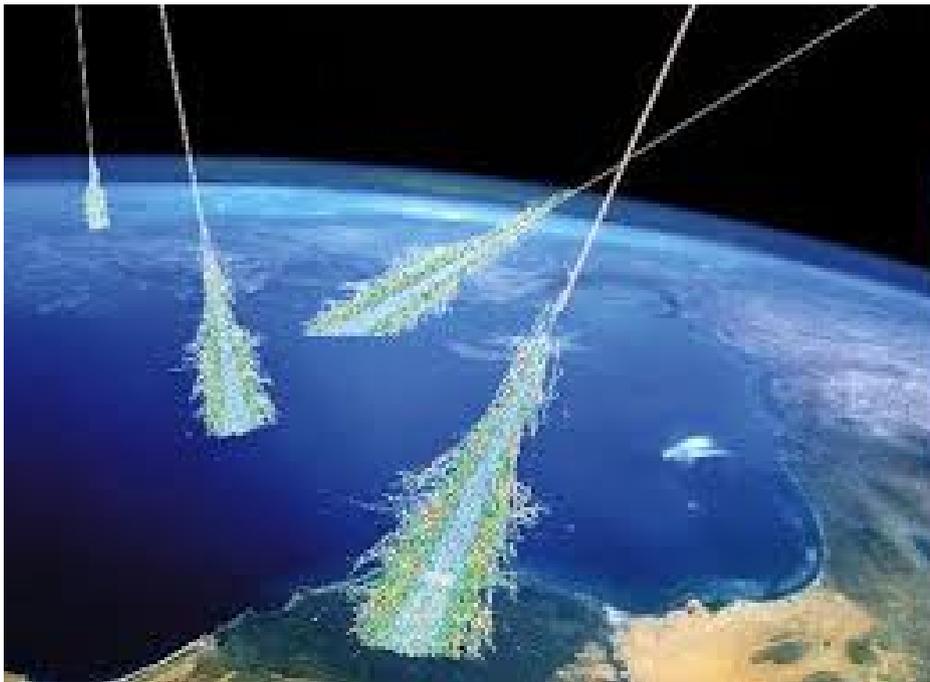
- Particelle neutre:

Fotoni:

VERITAS, MAGIC , CTA

Neutrini:

KM3Net, IceCube

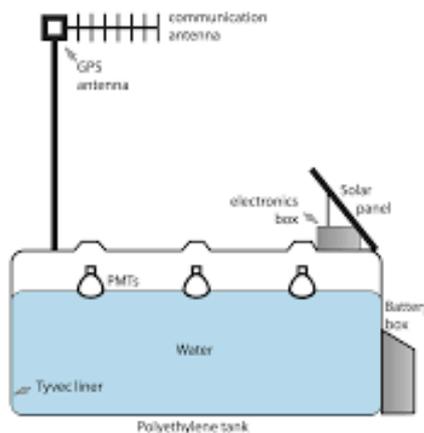


Particelle cariche

Studio degli sciame adronici ed elettromagnetici per ricostruire il valore dell'energia, la composizione chimica e la direzione di arrivo dei raggi cosmici

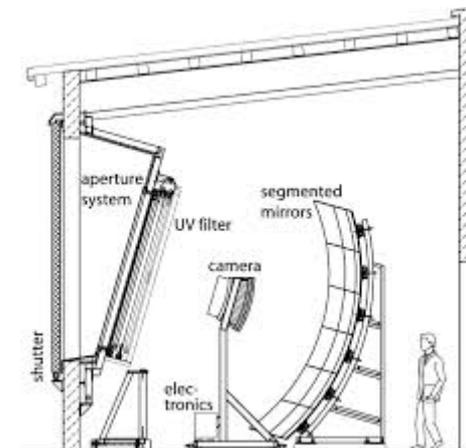
- Rivelatori di superficie

Rivelano le particelle dello sciame che raggiungono il suolo (elettroni, fotoni, muoni)



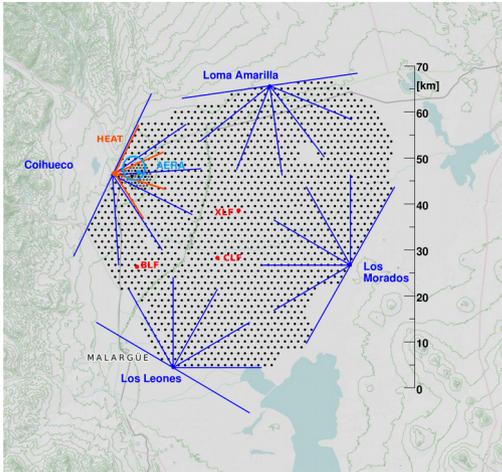
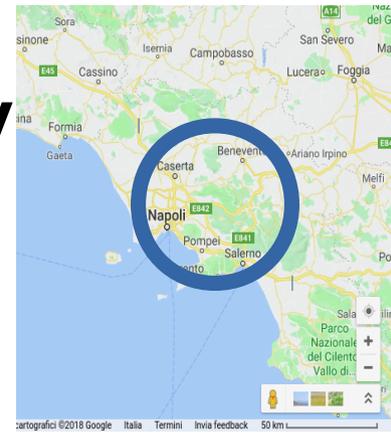
- Rivelatori di fluorescenza

Rivelano la luce di fluorescenza emessa dal passaggio dello sciame in atmosfera

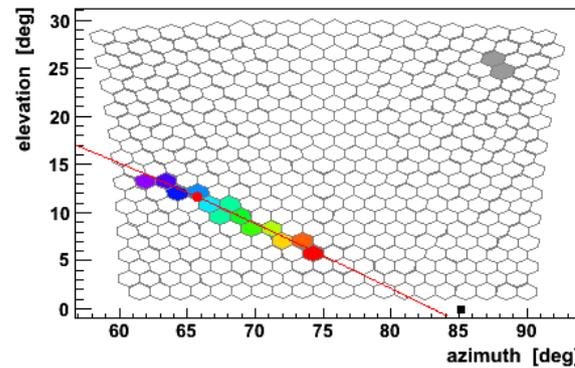


Pierre Auger Observatory

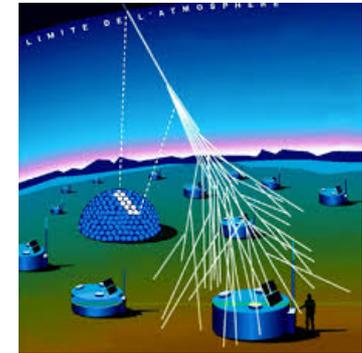
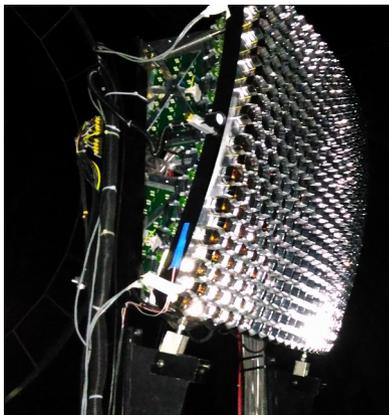
Energia fino a 10^{20} eV



Rivelatore ibrido nella Pampa Argentina
Con una superficie di 3000 km^2
è il più grande osservatorio
di raggi cosmici al mondo



Rivelatore di fluorescenza
27 Telescopi



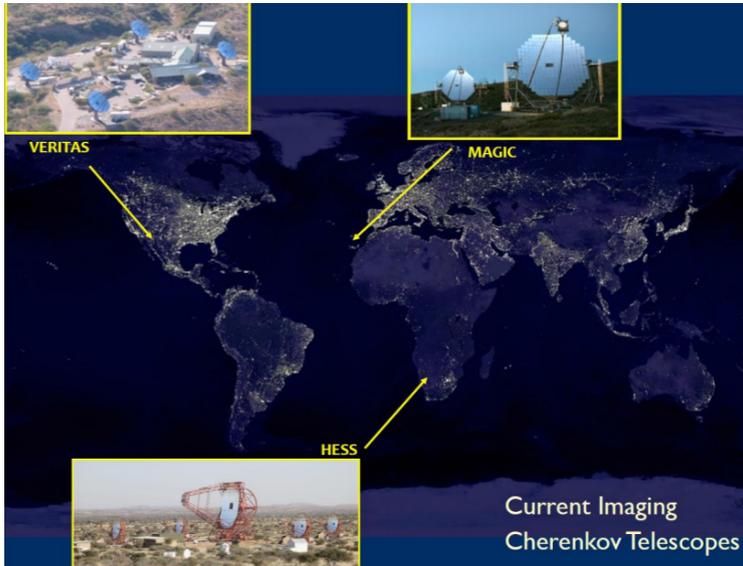
Rivelatore di Superficie
1660 rivelatori Cherenkov ad acqua



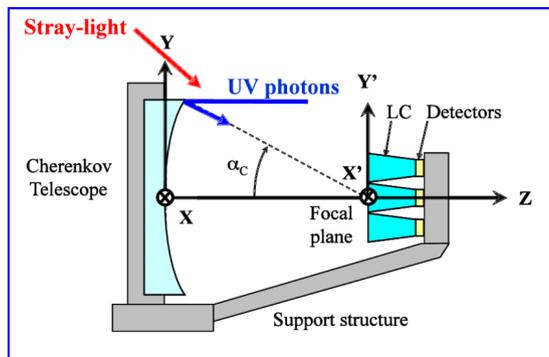
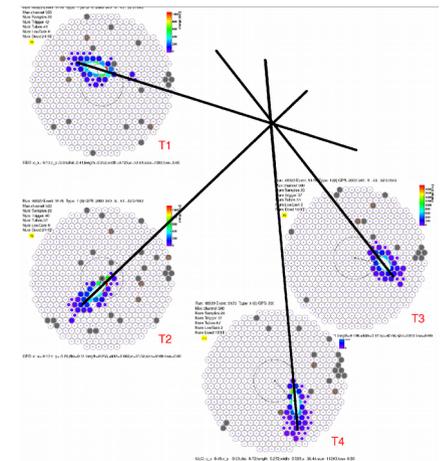
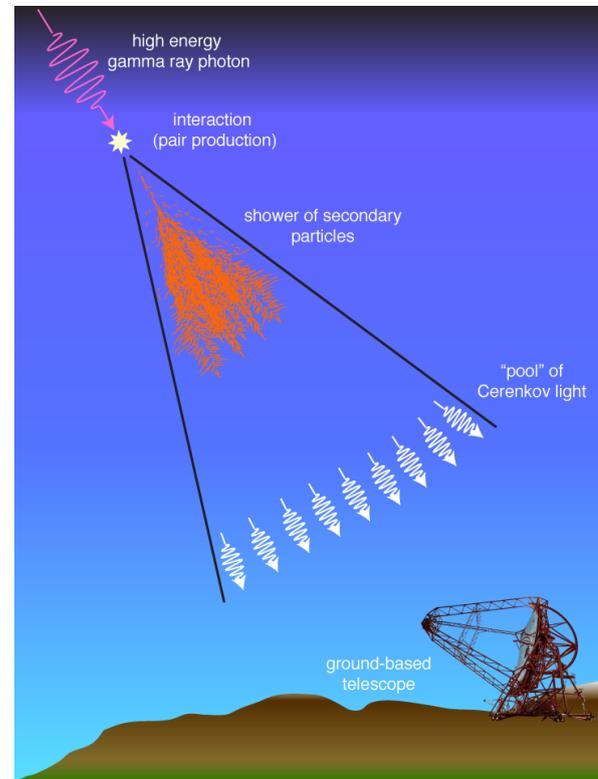
<https://www.auger.org/>

Particelle neutre: Fotoni

$30 \text{ GeV} < \text{Energia} < 300.000 \text{ GeV}$

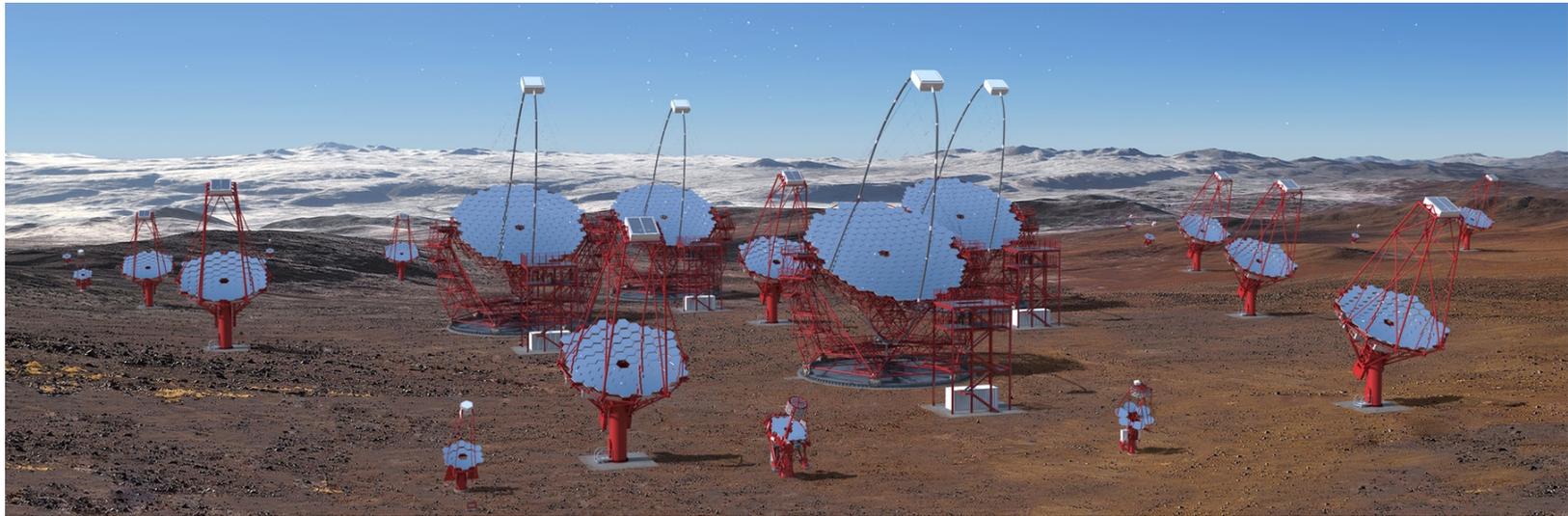


Array di rivelatori di luce Cherenkov



CTA

La Palma (Canarie) - Paranal(Cile)



Tre tipi di telescopio saranno installati nell'emisfero nord e sud:

Small-Sized Telescope (SST) (4 m) → 5 – 300 TeV

Medium-Sized Telescope (MST) (12 m) → 0.1 – 10 TeV

Large-Sized Telescope (LST) (23 m) → 20 – 200 GeV

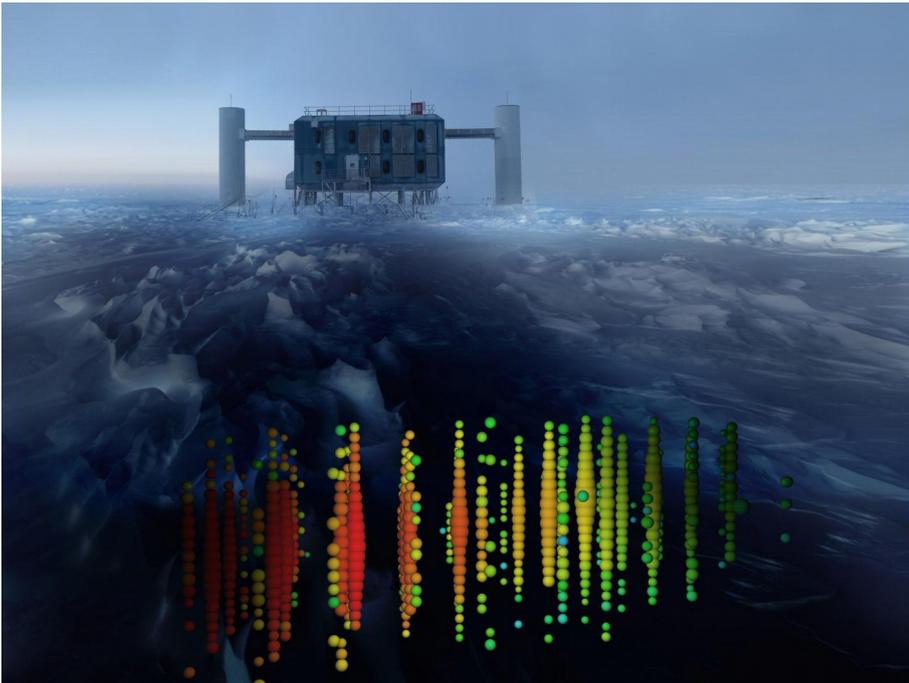
<https://www.cta-observatory.org/>

18

Particelle neutre: Neutrini

Perché?

Neutrini astrofisici permettono di osservare le regioni più “nascoste” delle sorgenti astrofisiche grazie alla loro bassa propensione ad interagire con la materia



Dove?

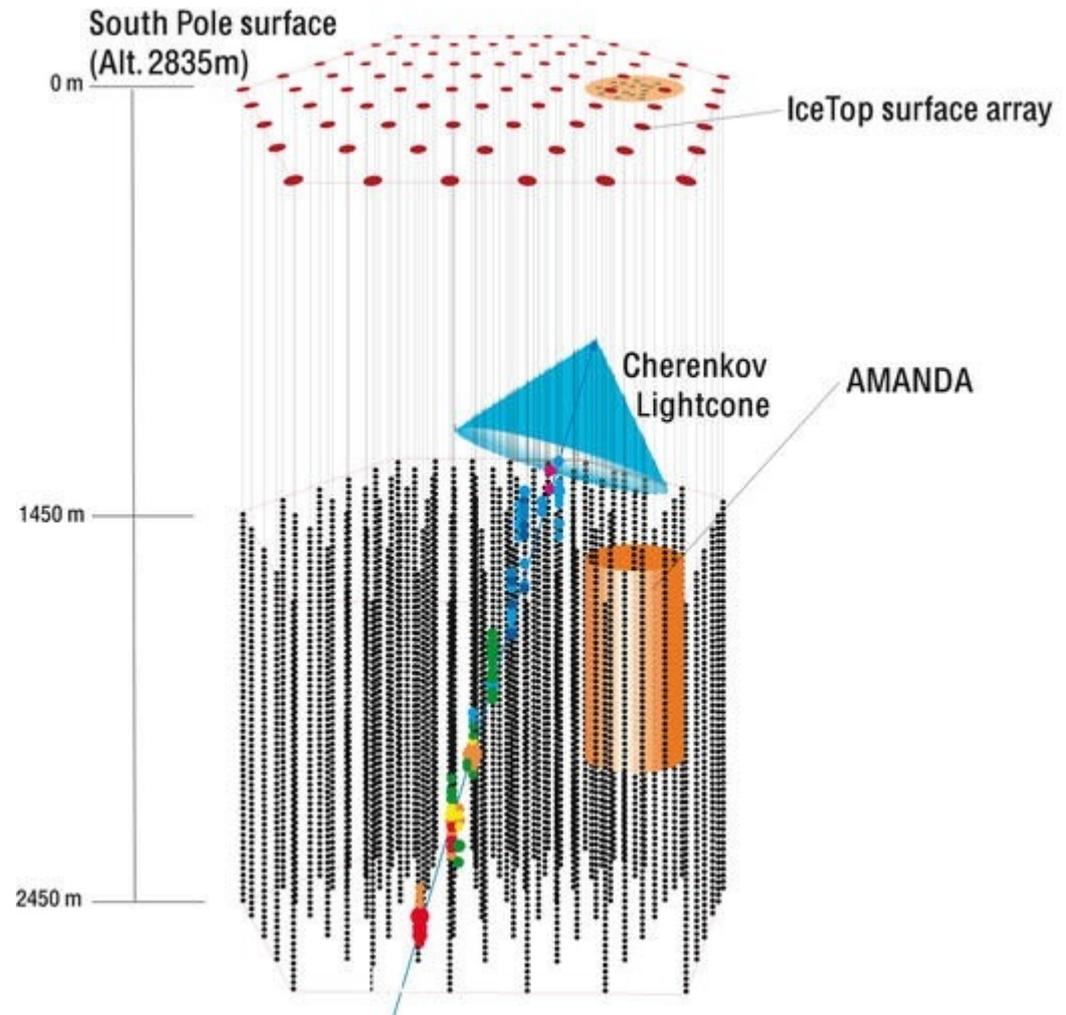
La caccia ai neutrini richiede un ambiente protetto dal “rumore” delle altre particelle e volumi estremamente grandi in cui i neutrini abbiano una probabilità significativa di interagire generando muoni come particelle secondarie, più facili da rivelare.

- Sotto le montagne → LNGS
- Sotto i ghiacci polari → IceCube
- In fondo al mare → Km3NET

IceCube

1000 GeV – 1.000.000 GeV

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.



<https://icecube.wisc.edu/>

Km3NET

Due telescopi sono in costruzione nel mar Mediterraneo

- **ARCA**

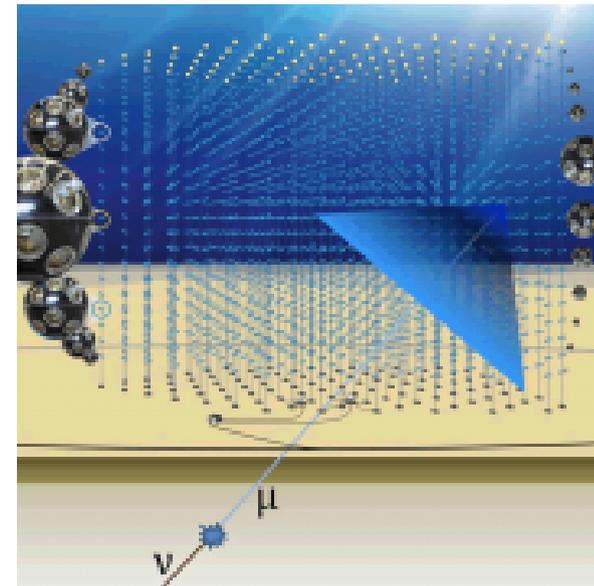
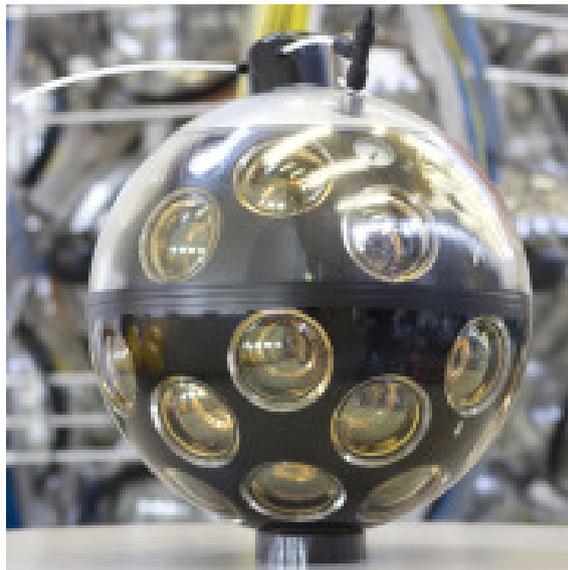
Portopalo di Capopassero - IT

Neutrini da sorgenti astrofisiche (TeV-PeV)

- **ORCA**

Toulon- FR

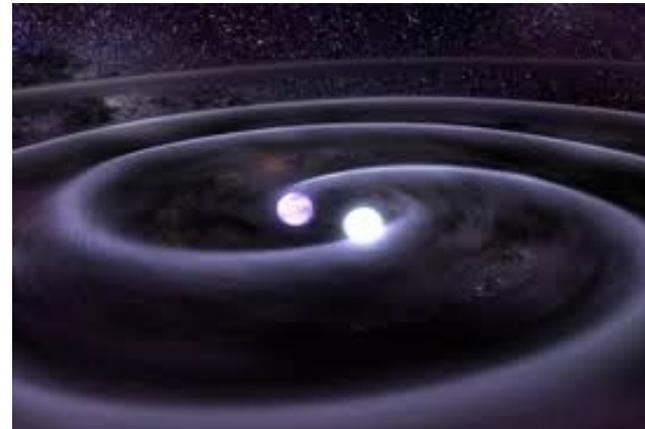
Neutrini atmosferici (GeV)



<https://www.km3net.org/>

Astronomia Multimessaggera

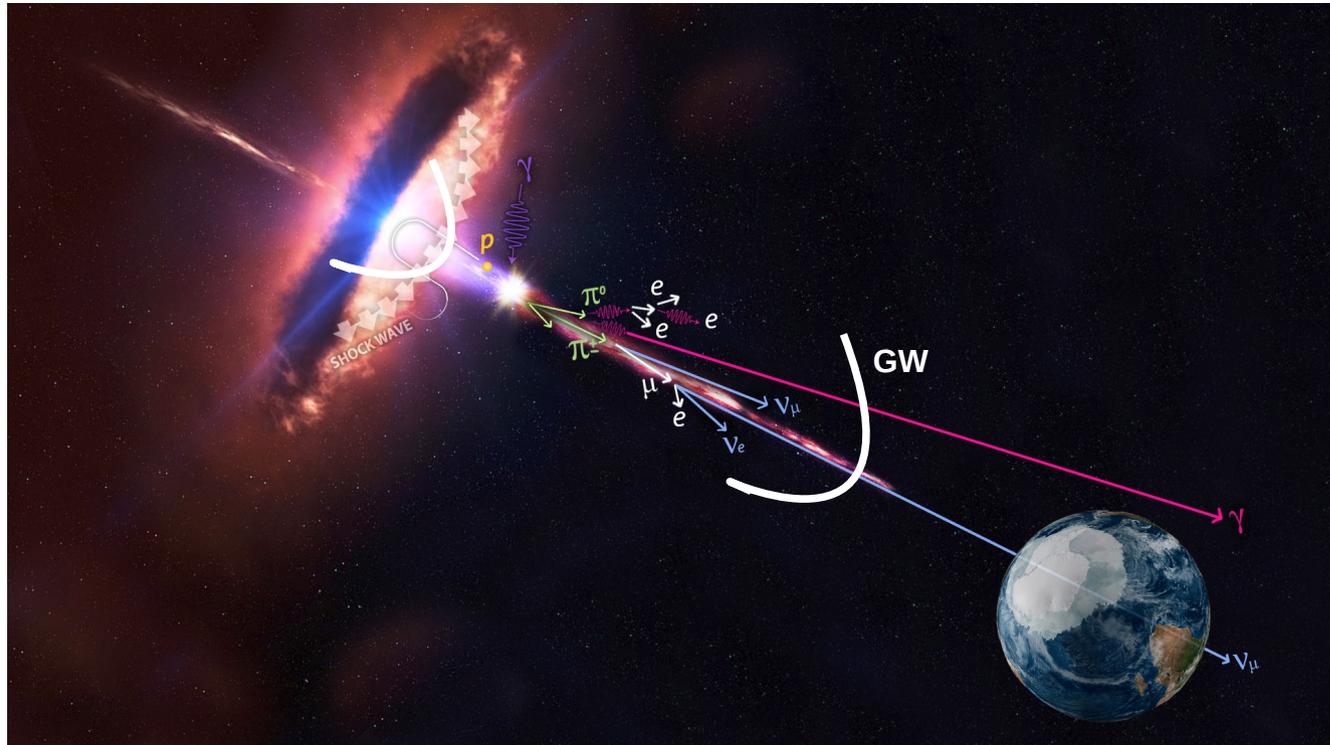
La radiazione elettromagnetica, le onde gravitazionali, i neutrini e i raggi cosmici sono generati da processi astrofisici diversi e possono dunque rivelare informazioni diverse riguardo alle loro sorgenti.



Tra le varie sorgenti, le principali in grado di fornire tutti questi diversi segnali ci si aspetta che siano sistemi binari di oggetti particolarmente compatti (quindi sistemi di buchi neri e stelle di neutroni), supernovae, stelle di neutroni irregolari, nuclei galattici attivi e getti relativistici.

Anche il rilevamento di uno di questi segnali e il mancato rilevamento di un altro da parte del rilevatore dedicato può essere fonte di informazione sull'evento sorgente.

Astronomia Multimessaggera



LIGO/VIRGO-GW170817
onda gravitazionale
da coalescenza di due
stelle di neutroni
seguita da oltre
70 osservazioni
in tutto lo spettro
elettromagnetico

IceCube-170922A
neutrino di energia quasi **300 TeV** .
Direzione di arrivo consistente con la posizione di una nota **blazar** che
emette raggi gamma

Oltre la scienza...

