

La Fisica nello Spazio: Astroparticelle

Elisa Antolini

Università di Perugia & INAF

Dario Gasparrini

INFN sez. Perugia

ASI Science Data Center

Fisica delle Astroparticelle

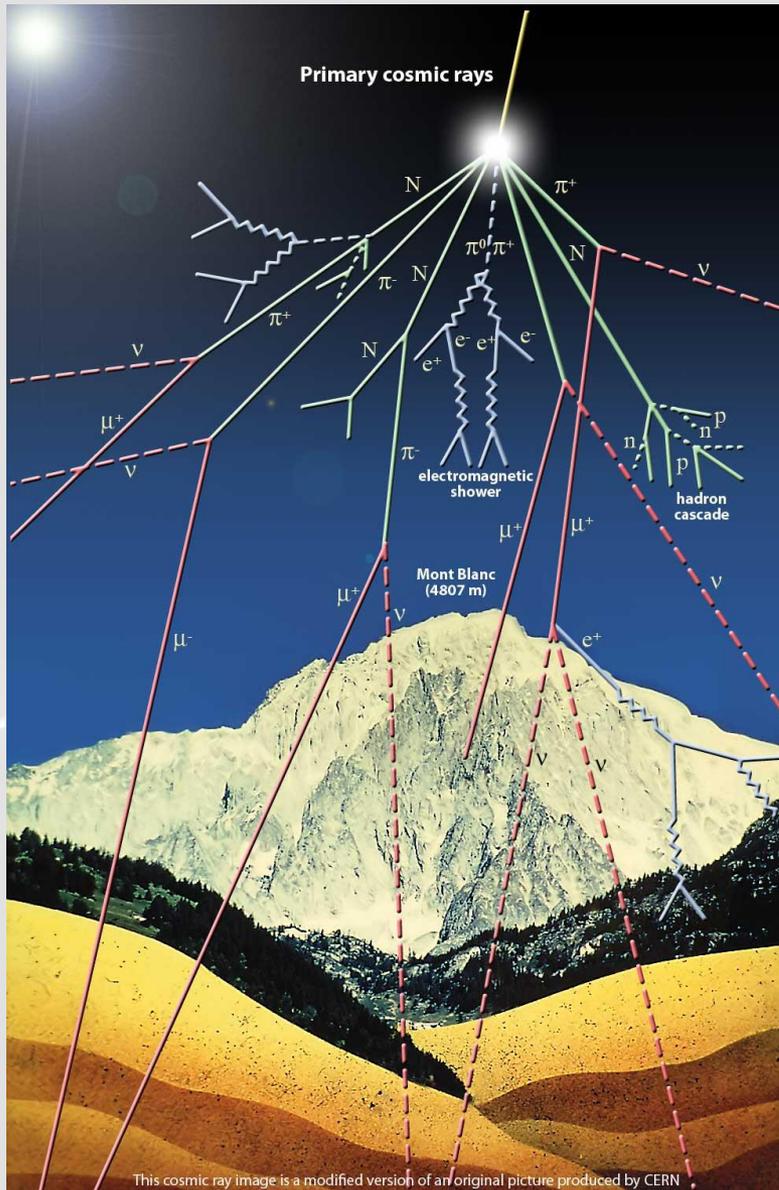
- Radiazione elettromagnetica ad alta energia
 - Raggi γ , Emissioni TeV
- Raggi cosmici (RC)
 - Protoni, Nuclei di He, Anti Protoni, Elettroni, Positroni
- Neutrini
- Onde gravitazionali

Una utile unità di misura: elettronvolt (eV)

L'energia delle particelle si misura in eV : Energia acquisita da un elettrone che si muove in una differenza di potenziale di 1 Volt ($1,602 \cdot 10^{-19}$ J)

- Energia molecola atmosferica $\sim 0,03$ eV
- Energia luce visibile $\sim 1,6 - 3,4$ eV
- Energia raggio gamma > 30 MILIONI eV
- Energia particelle cariche generate da un'esplosione nucleare $\sim 0,3-$
3 MILIONI di eV (MeV)
- Energia particelle cariche ad LHC ~ 1000 MILIARDI di eV (TeV)
- Neutrino più energetico ~ 2 MILIONI di MILIARDI di eV (PeV)
- Le **particelle più energetiche dei RC** sono state misurate con un' Energia di **100 000 MILIARDI di MILIONI di eV**

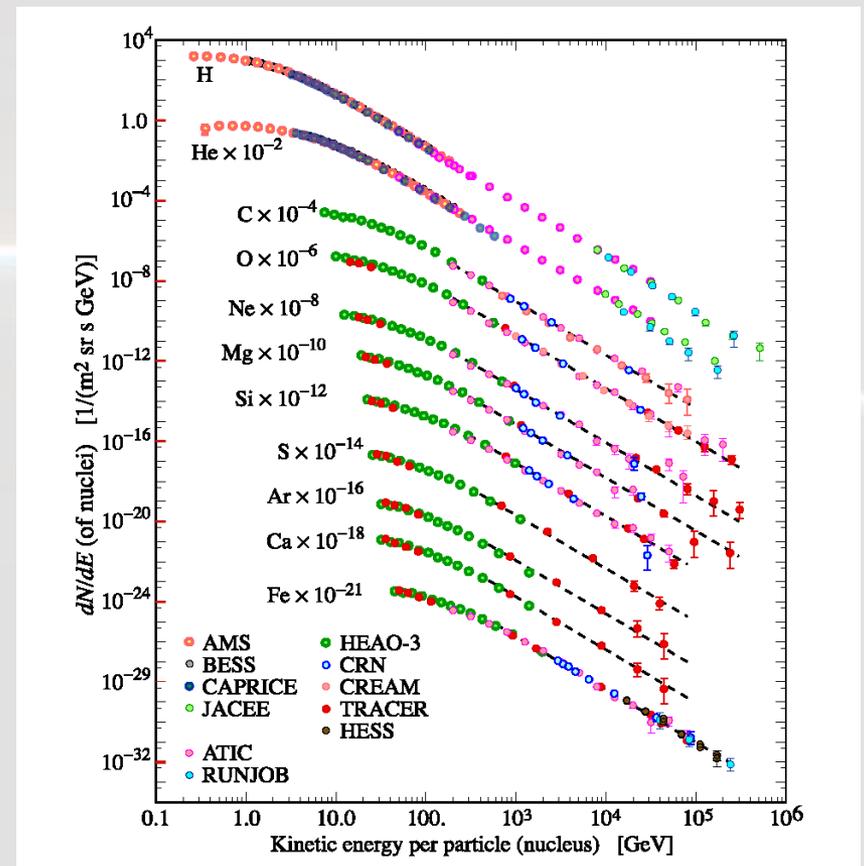
Che cosa sono i Raggi Cosmici?



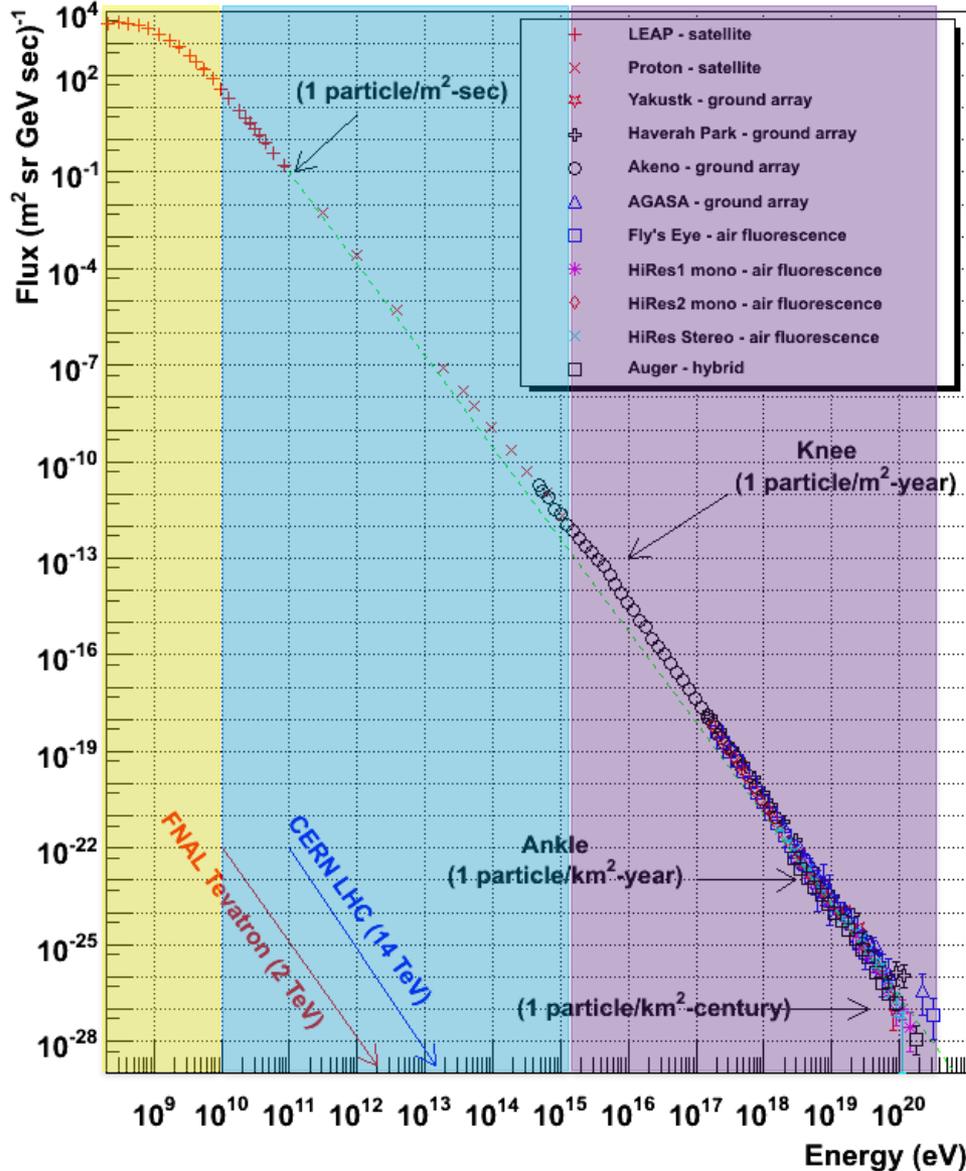
- I raggi cosmici sono un flusso di particelle cariche ad alta energia
- Origine:
 - Dal Sole
 - Dalla nostra galassia (Galattici)
 - Al di fuori della Via Lattea (Extragalattici)
- La Terra è bombardata costantemente da un flusso di particelle ($E = \text{GeV}$, $1/s \text{ cm}^2$)
- La maggior parte dei RC di bassa energia, non supera il campo magnetico terrestre e/o l'atmosfera
- A Terra arriva un flusso di 1 particella al min per cm^2 (principalmente sono muoni) .

Raggi Cosmici : Composizione

- Protoni (nuclei di idrogeno) $\sim 87\%$
- Nuclei di He $\sim 12\%$
- 1% nuclei pesanti (principalmente carbonio)
- $< 1\%$ elettroni
- anti-protoni e positroni



Spettro dei raggi cosmici



- Spettro di potenza fino a $\sim 10^{20}$ eV.
- Il flusso è inversamente proporzionale all'energia in modo non uniforme (Ginocchio a 10^{15} eV , Caviglia a 10^{18} eV)

COSA DEDUCIAMO

- Popolazione dei raggi cosmici originata da meccanismi diversi di accelerazione
- RC con $E < 10^{10}$ eV -> Origine Solare
- RC con $10^{10} < E < 10^{15}$ eV -> Origine Galattica (supernovae)
- RC $E > 10^{15}$ eV -> Origine Extragalattica

Sono all'opera potenti acceleratori di altissima energia

Studio dei raggi cosmici

COSA RIMANE UN MISTERO

- Origine dei RC tra il ginocchio e la caviglia
- Origine dei RC con $E > 10^{18}$ eV , cioè l'origine della radiazione alle altissime energie

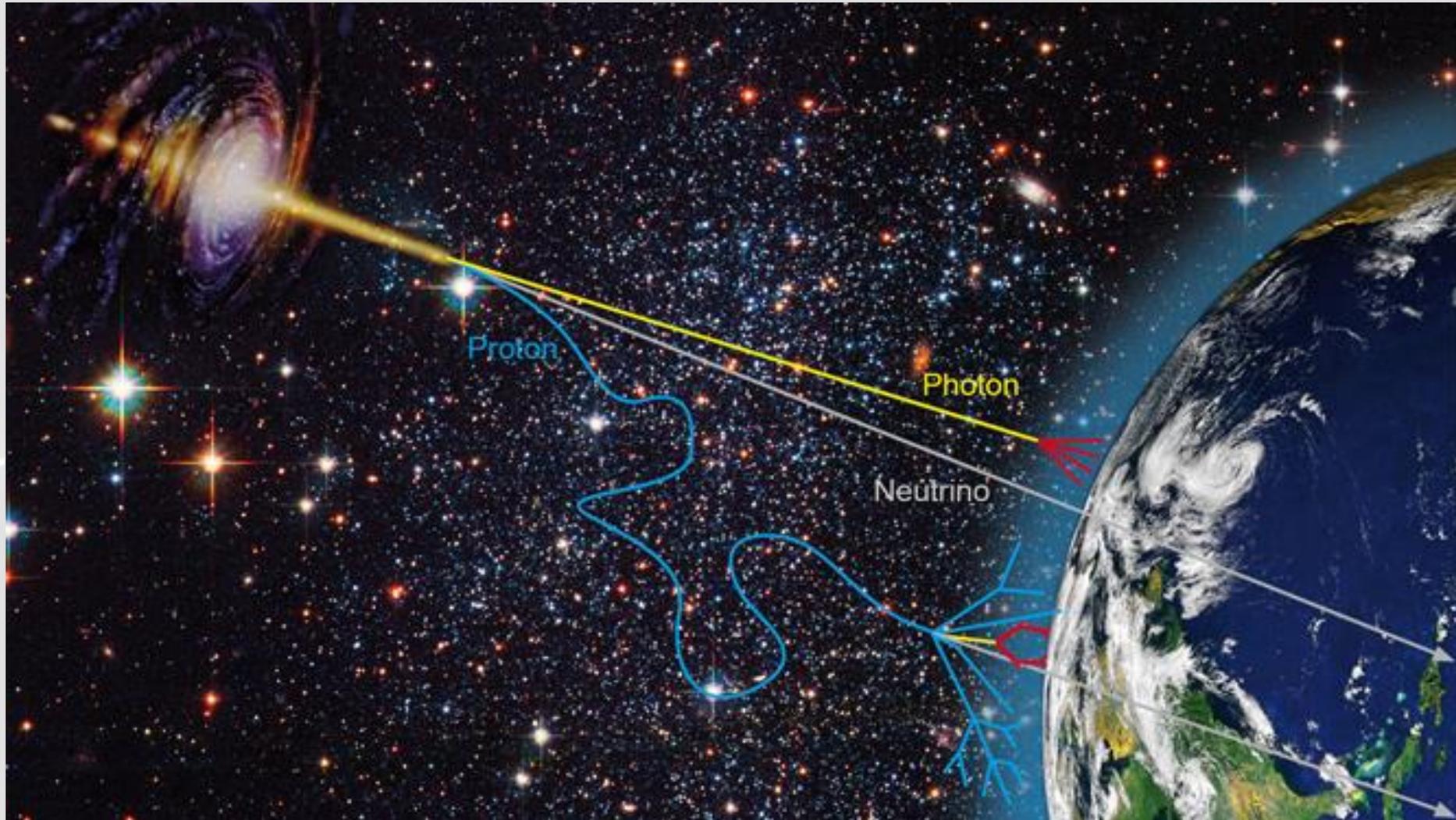
Perché studiare i raggi cosmici primari?

Sono campioni di materia galattica ed extragalattica che arrivano da remote zone dell'universo, accelerati a energie molto elevate. Costituiscono l'unico campione diretto della materia esistente al di fuori del sistema solare

La caratterizzazione dei RC (Energia, composizione, origine, accelerazione, propagazione) ci aiutano a capire meglio :

- i processi di accelerazione astrofisica,
- la cosmologia
- la simmetria materia/antimateria
- nuove particelle/interazioni.

L'atmosfera ci protegge, bisogna pensare più in alto



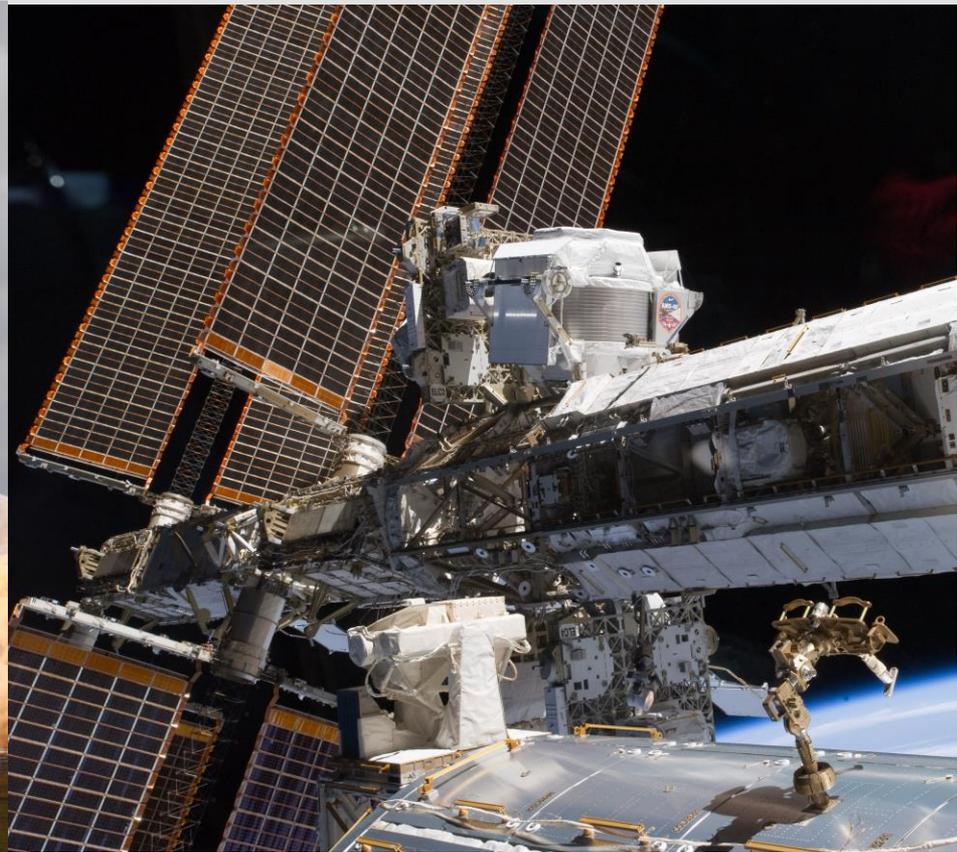
Alpha Magnetic Spectrometer (AMS)



AMS sull'International Space Station

Lancio: 16 Maggio 2011

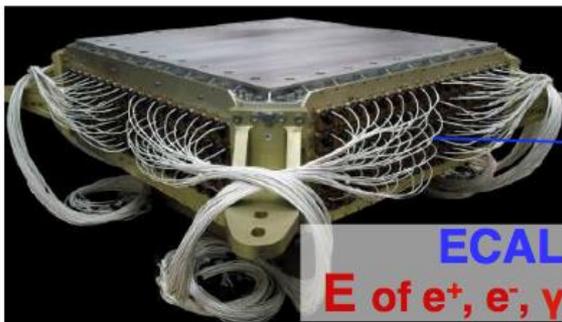
Fine Setup: 19 Maggio 2011



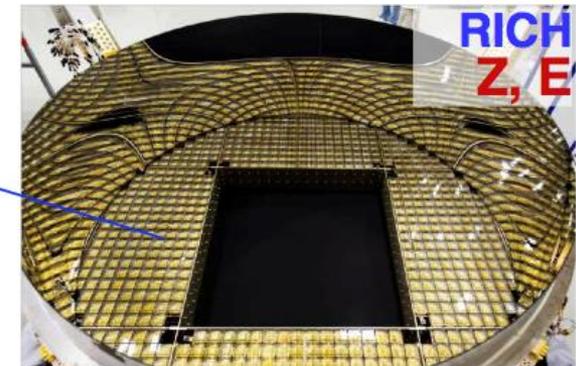
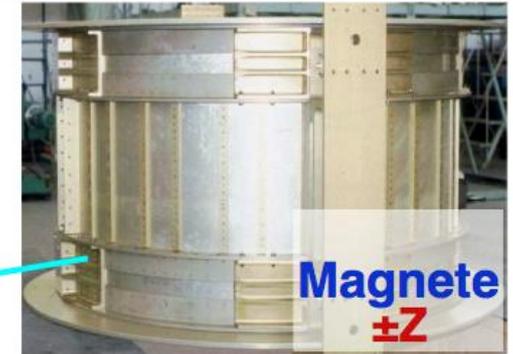
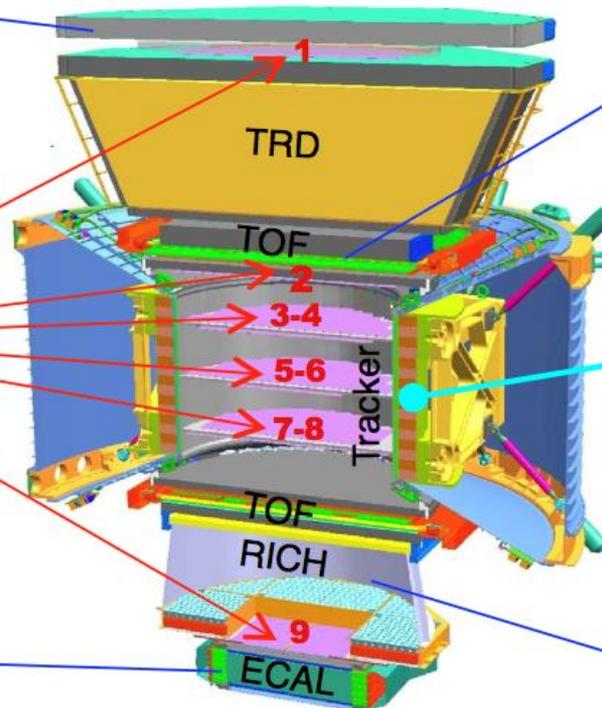
Scopi di AMS-02

- Antimateria e Materia Oscura:
 - Origine primordiale (segnale: anti-nuclei)
 - Annichilazione neutralino (segnale: eccesso di particelle cariche)
- Composizione e origine dei CRs
 - Sorgenti e Accelerazione: dai Protoni al Ferro.
 - Propagazione nel mezzo interstellare

Rilevatori per raggi cosmici: AMS



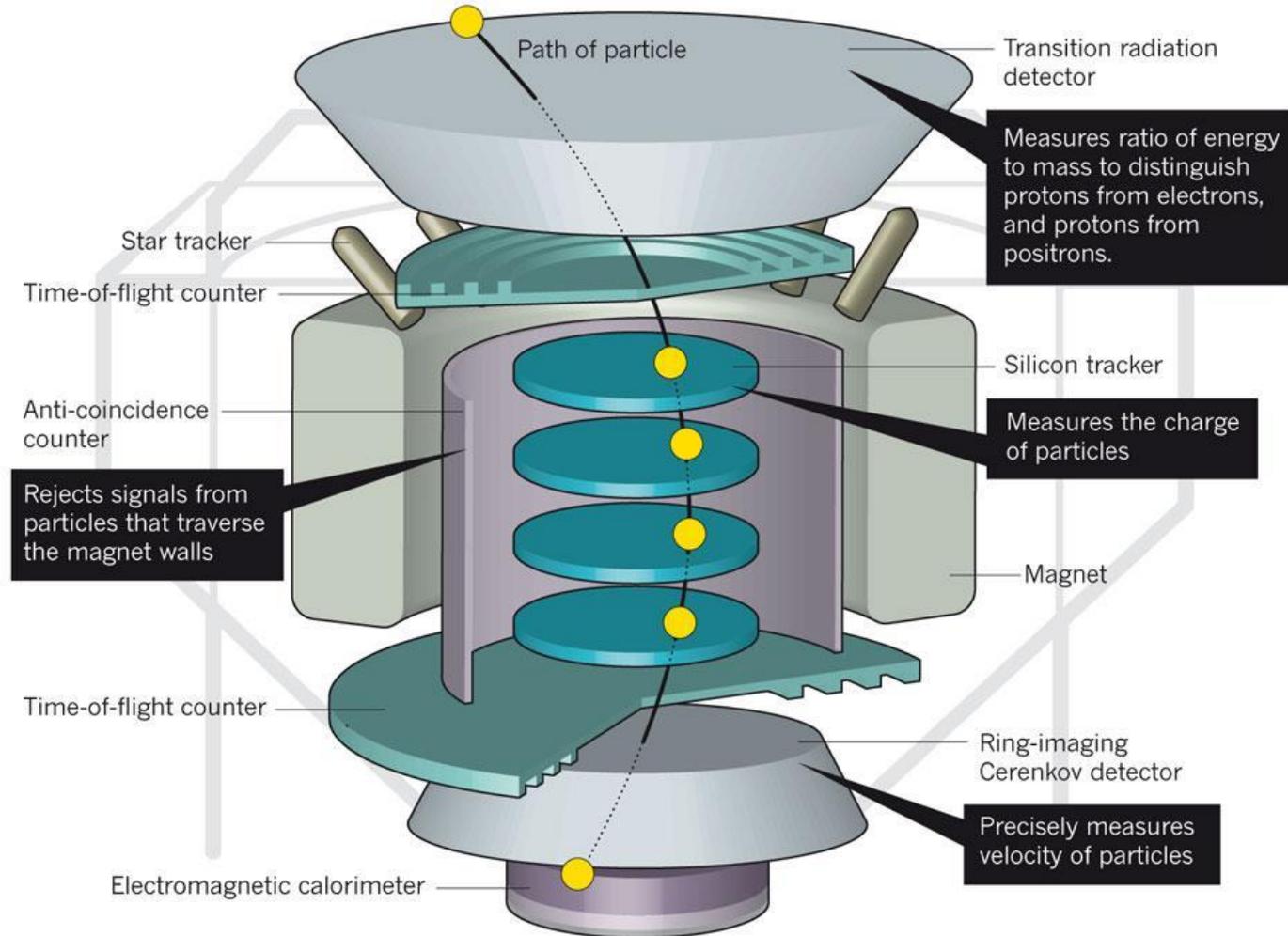
Z, P sono misurate indipendentemente da Tracker, RICH, TOF e ECAL



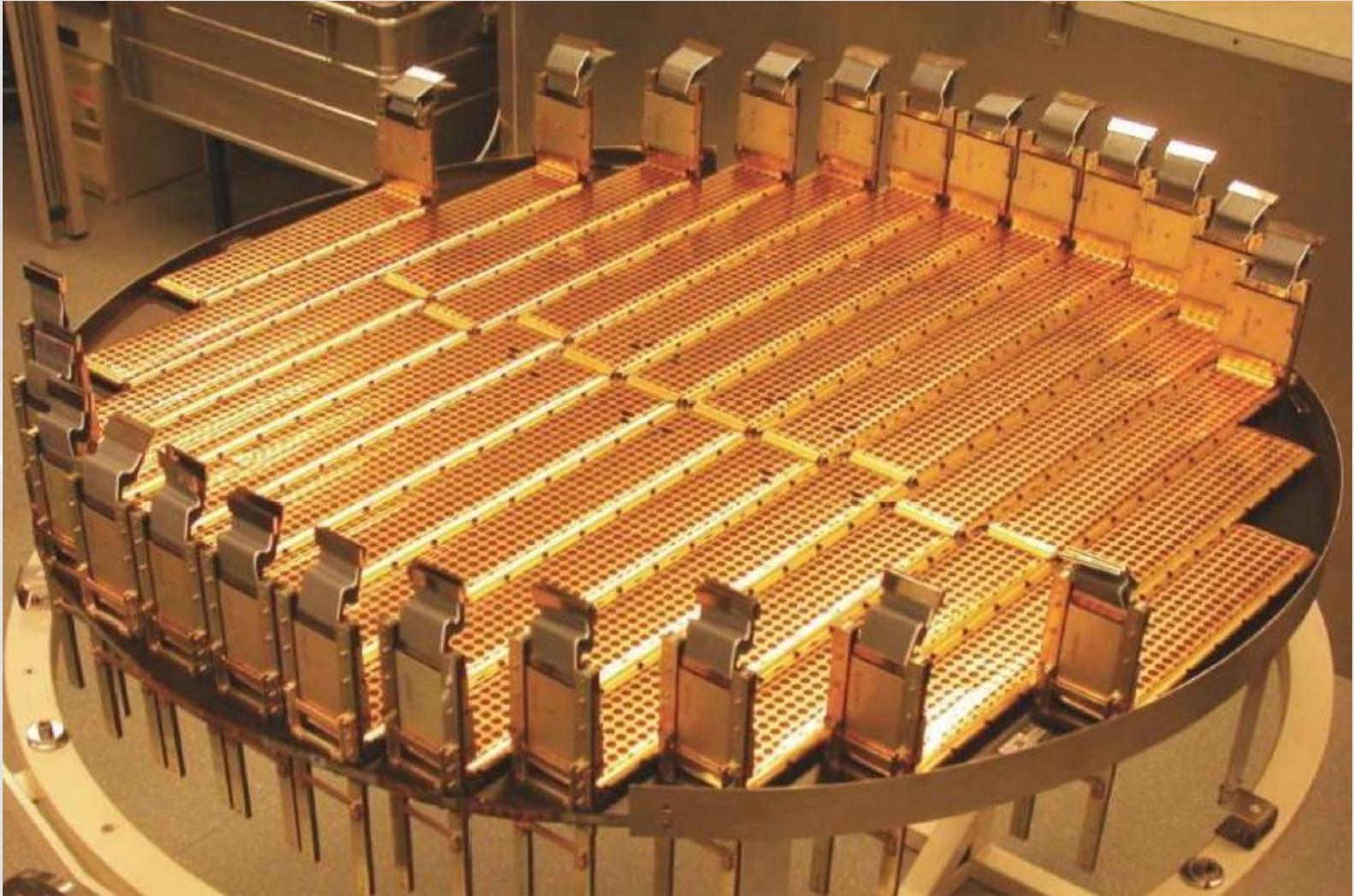
Funzionamento di AMS

LOOKING FOR COSMIC CURVEBALLS

The toroidal magnet at the heart of the Alpha Magnetic Spectrometer bends the path of charged, high-speed particles, helping researchers to identify them.



INFN Perugia è responsabile del tracciatore al silicio



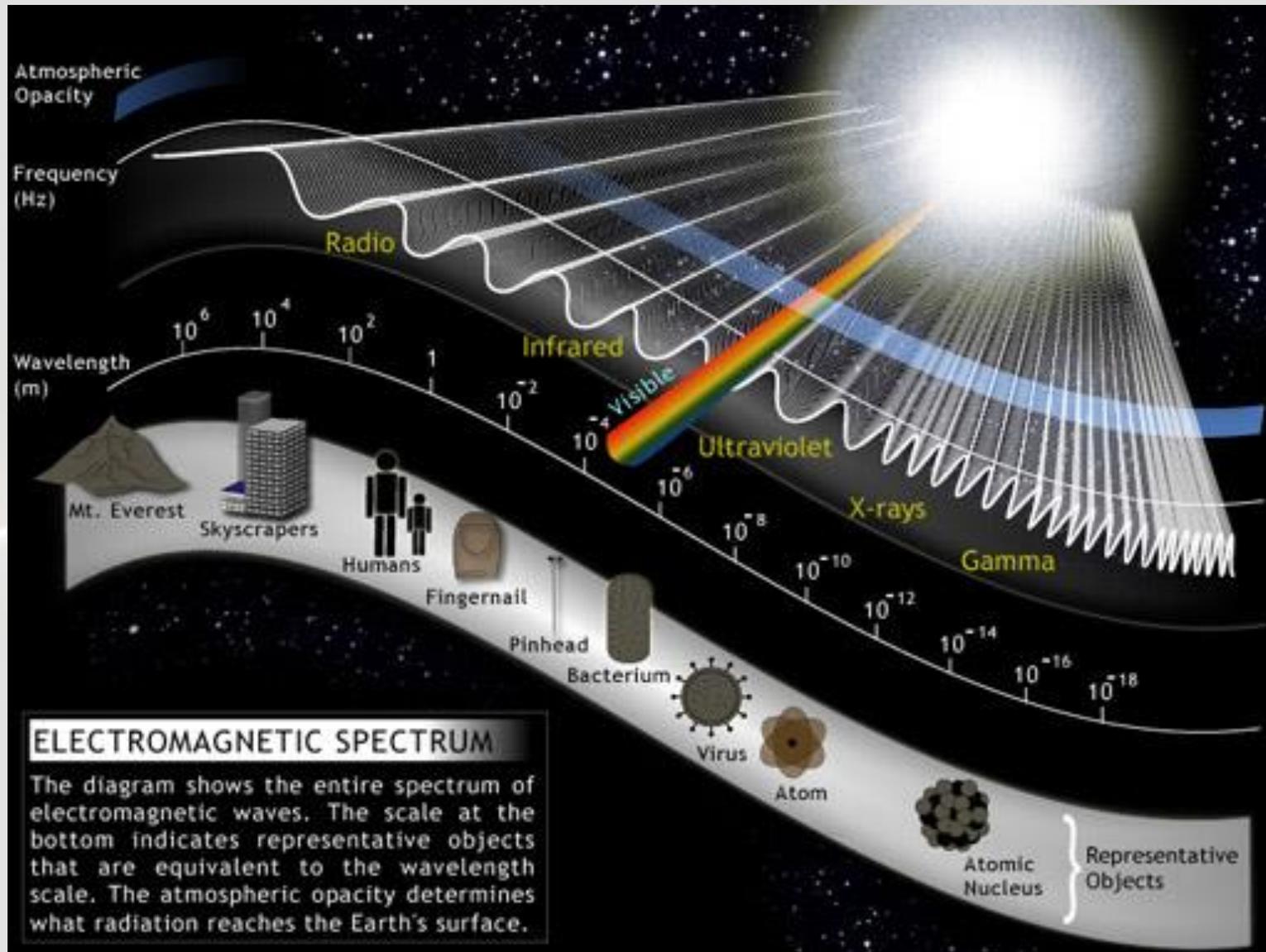
Primi risultati AMS

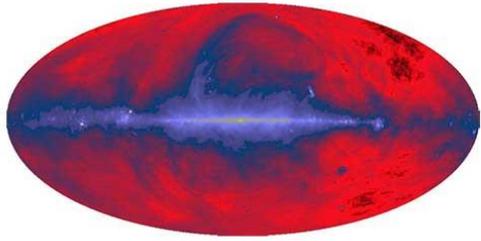
- Abbondanza anti-P ad alte energie
- Eccesso di positroni ad alte energie



- Nuovo Processo fisico??
- Materia Oscura ??

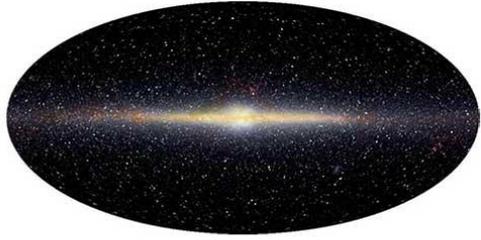
Raggi gamma





radio

Emissione radio prodotta da elettroni in movimento in campi magnetici



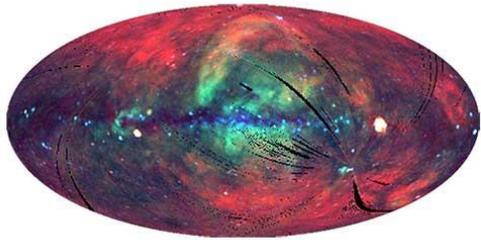
infrared

Radiazione Infrarossa da nuvole fredde di gas e polvere, Pianeti



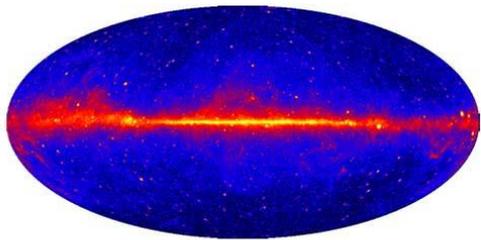
optical

Pianeti, Stelle, Satelliti



X-ray

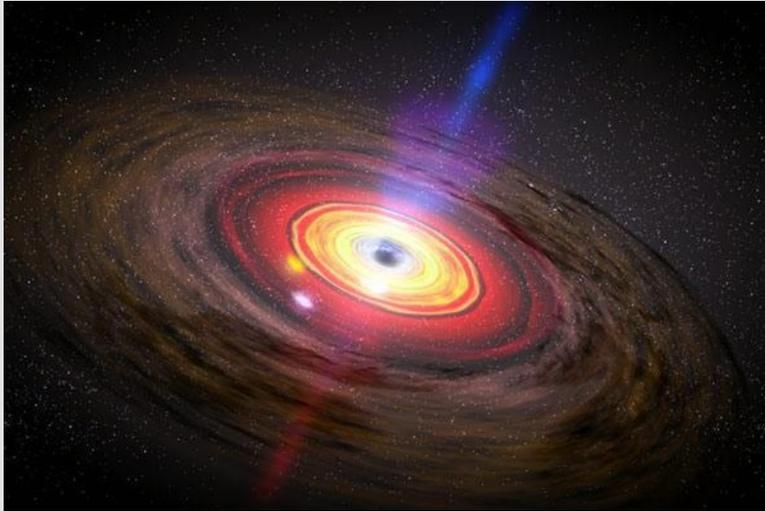
Supernova, Pulsar, accrescimento su buchi neri



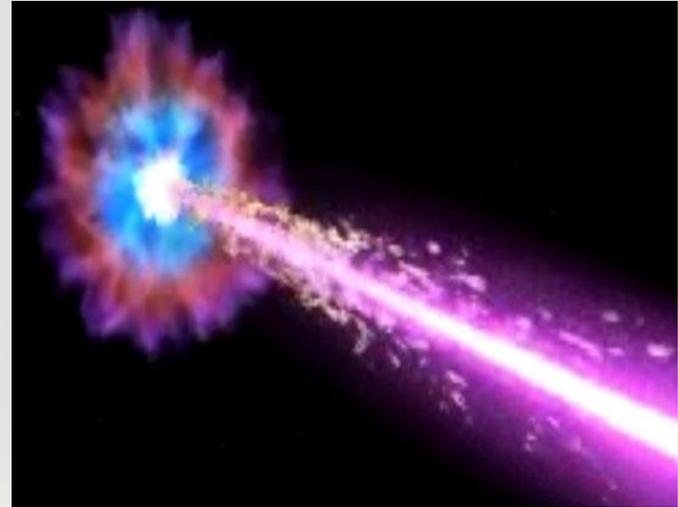
gamma-ray

Fenomeni estremi: Gamma ray burst, Blazar, Supernova, Pulsar

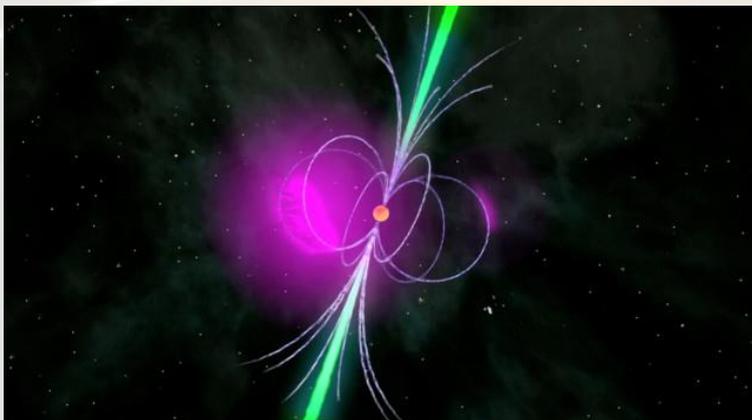
Chi emette raggi gamma?



Nuclei Galattici Attivi (AGN)



Gamma Ray Burst (GRB)



Pulsar

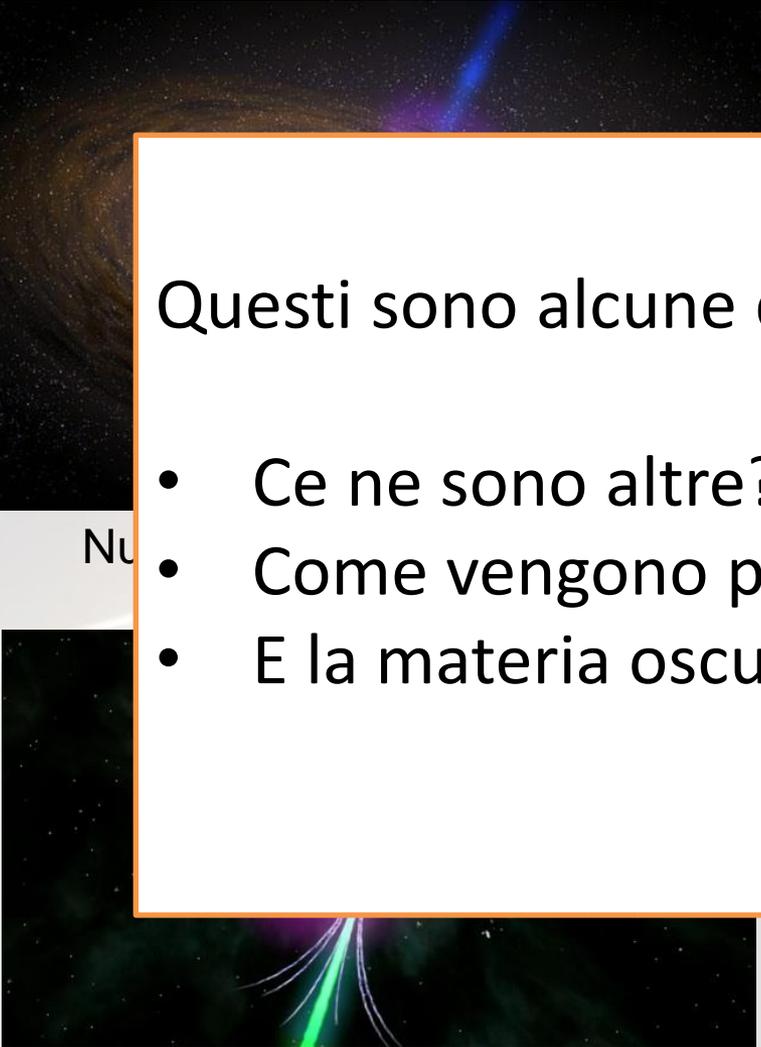


Resti di supernova

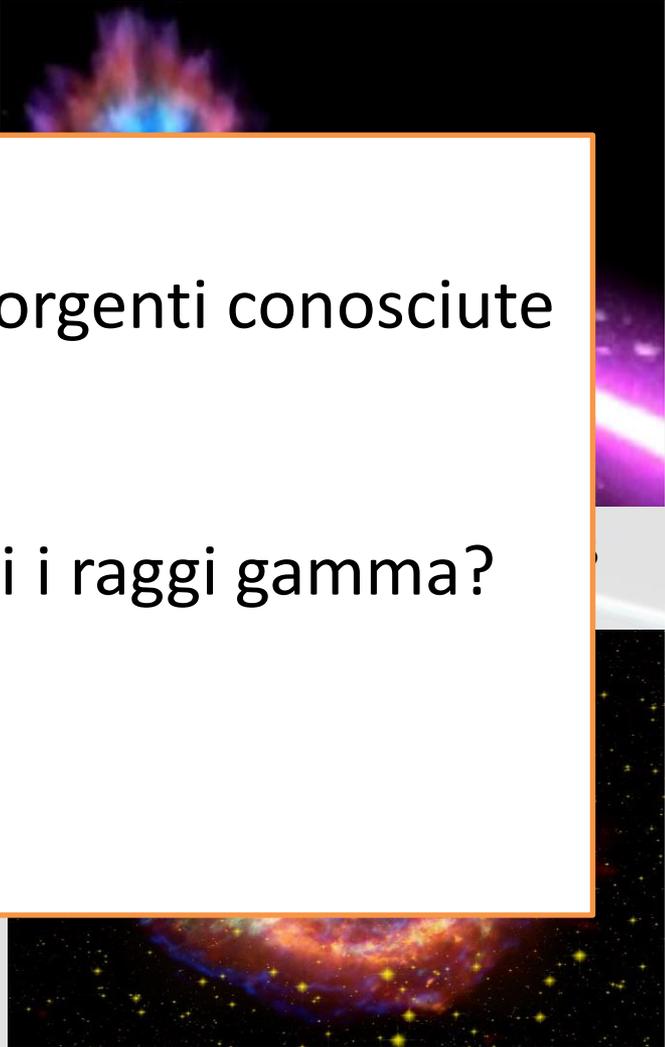
Chi emette raggi gamma?

Questi sono alcune delle sorgenti conosciute

- Ce ne sono altre?
- Come vengono prodotti i raggi gamma?
- E la materia oscura?

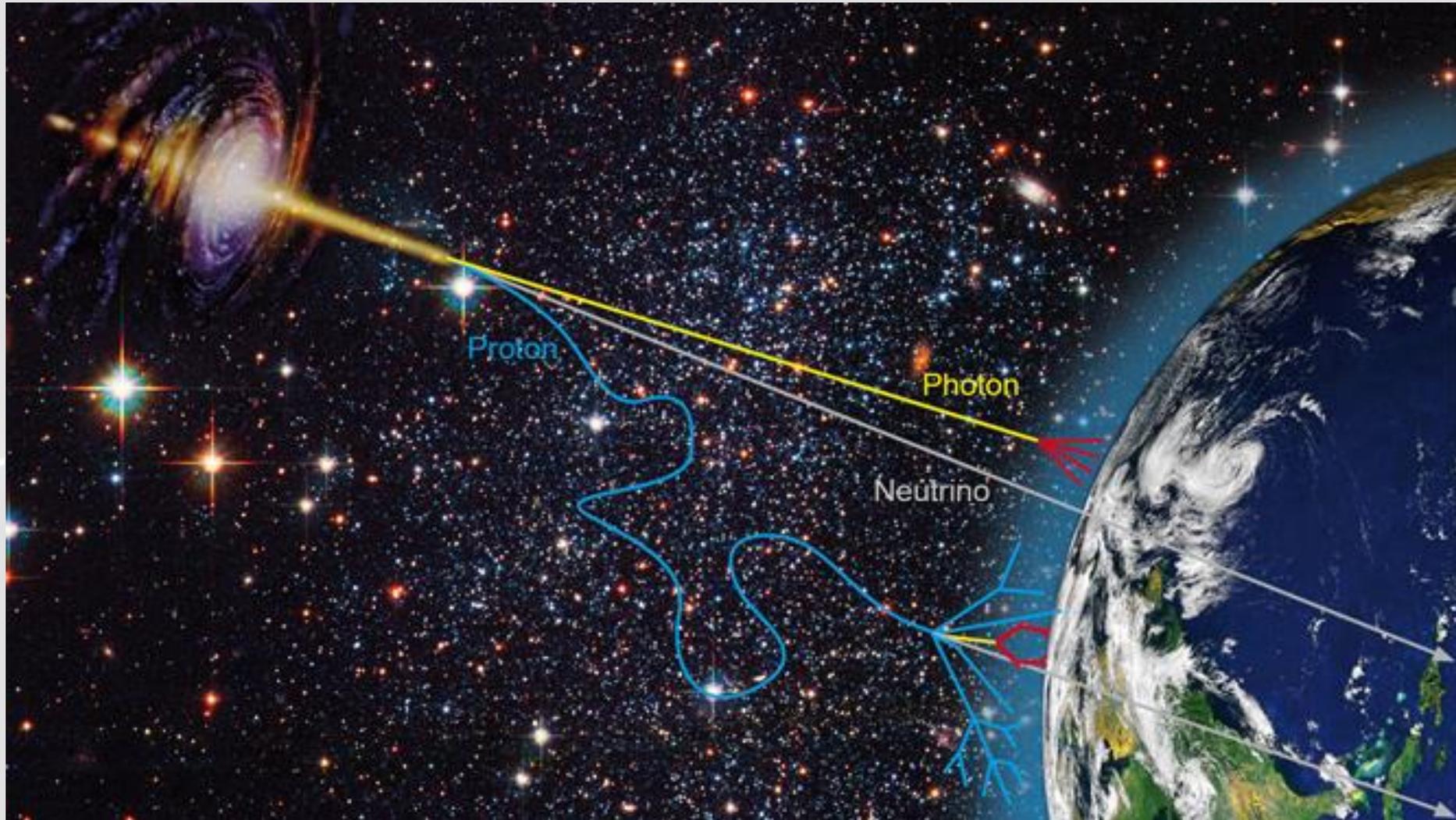
A composite image showing a pulsar. The top part shows a spiral galaxy with a blue beam of light. The bottom part shows a pulsar with green and blue beams of light.

Pulsar

A composite image showing supernova remnants. The top part shows a colorful, multi-colored nebula. The bottom part shows a supernova remnant with a bright, glowing core and surrounding gas clouds.

Resti di supernova

I CR sono deviati dai campi magnetici mentre i raggi gamma arrivano direttamente dalla sorgente



Lancio di Fermi: 18 giugno 2008



Gli strumenti di Fermi

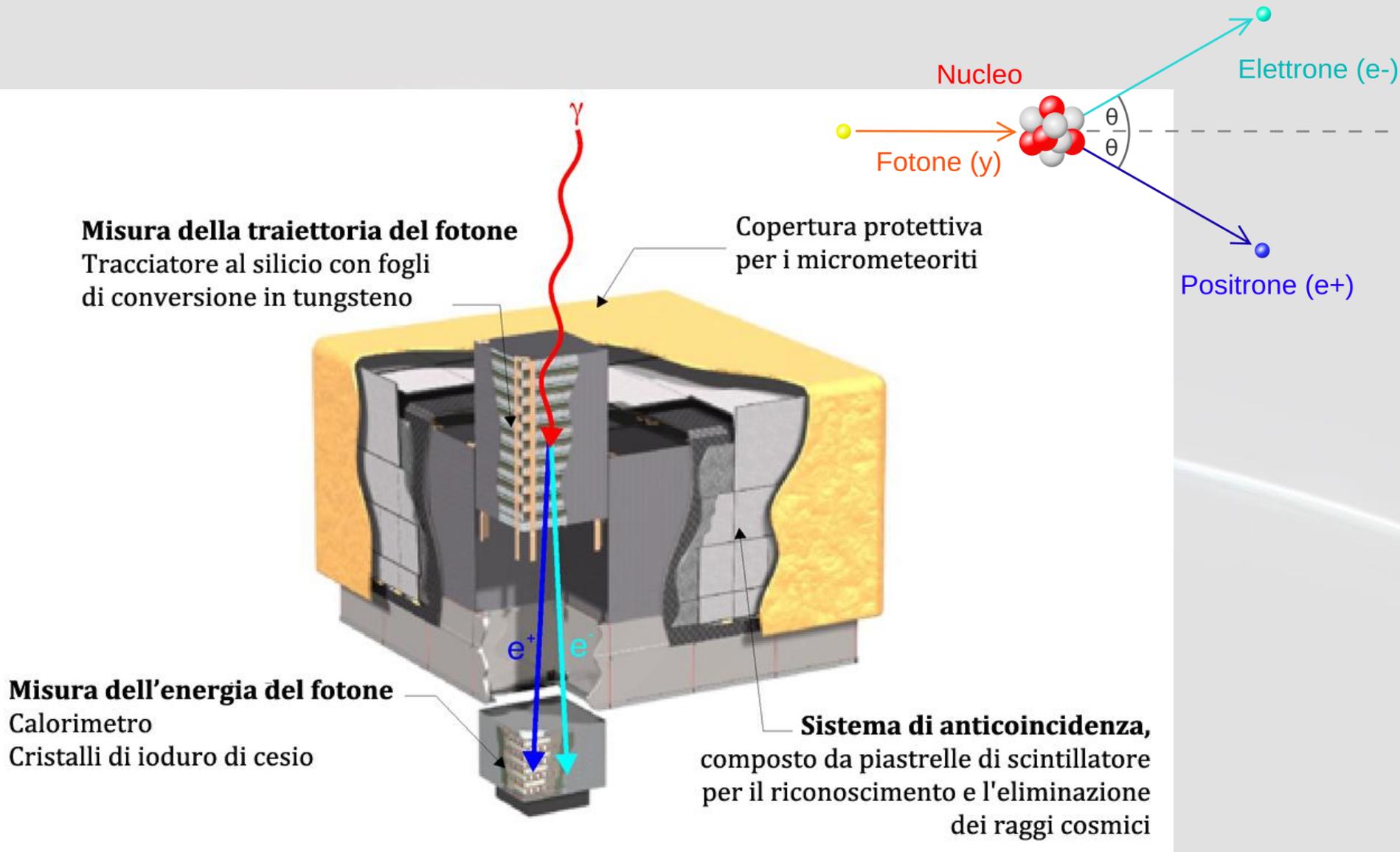
Large Area Telescope
(30 MeV – 300 GeV)



Gamma ray Burst
Monitor
(150 keV – 30 MeV)

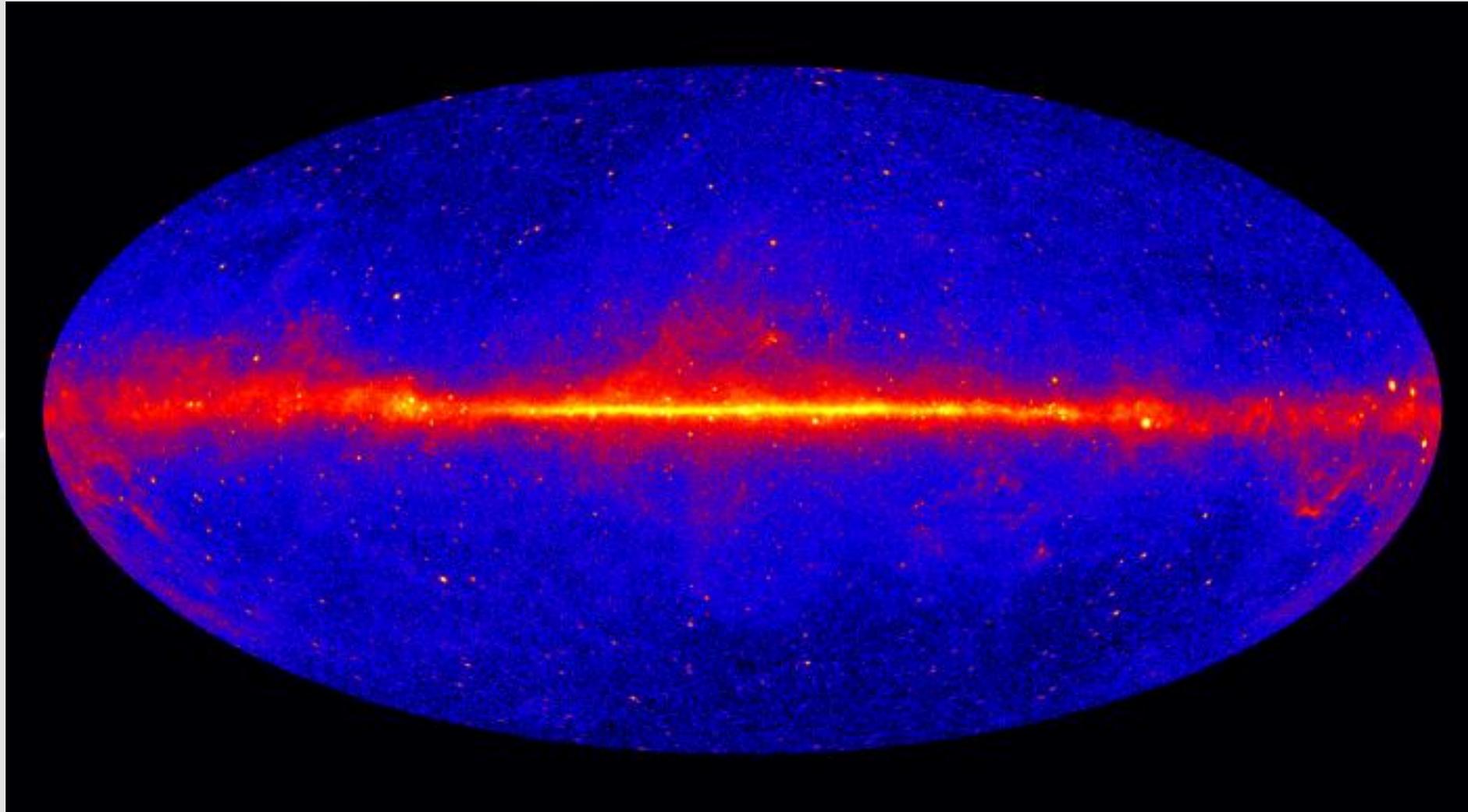


Fermi-LAT come funziona



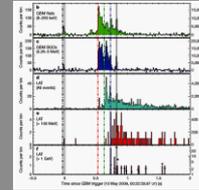
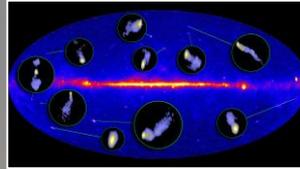
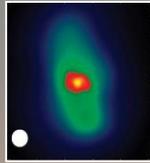
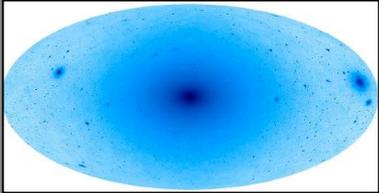
7 anni di Fermi

Migliaia di sorgenti: molte ancora sconosciute



Fermi Highlights and Discoveries

Dark Matter searches

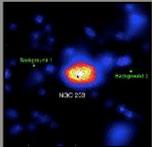


GRBs

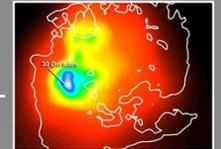
Blazars

Radio Galaxies

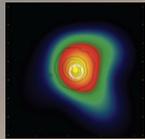
Starburst Galaxies



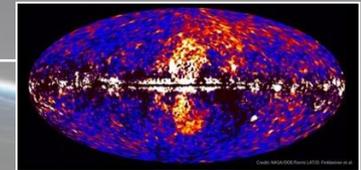
LMC & SMC



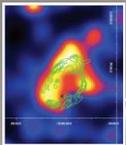
Globular Clusters



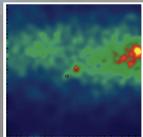
Fermi Bubbles



SNRs & PWN



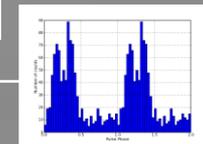
Novae



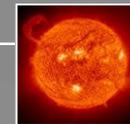
γ -ray Binaries



Pulsars: isolated, binaries, & MSPs



Sun: flares & CR interactions



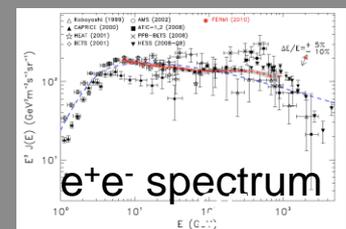
Terrestrial γ -ray Flashes



Unidentified Sources

Galactic

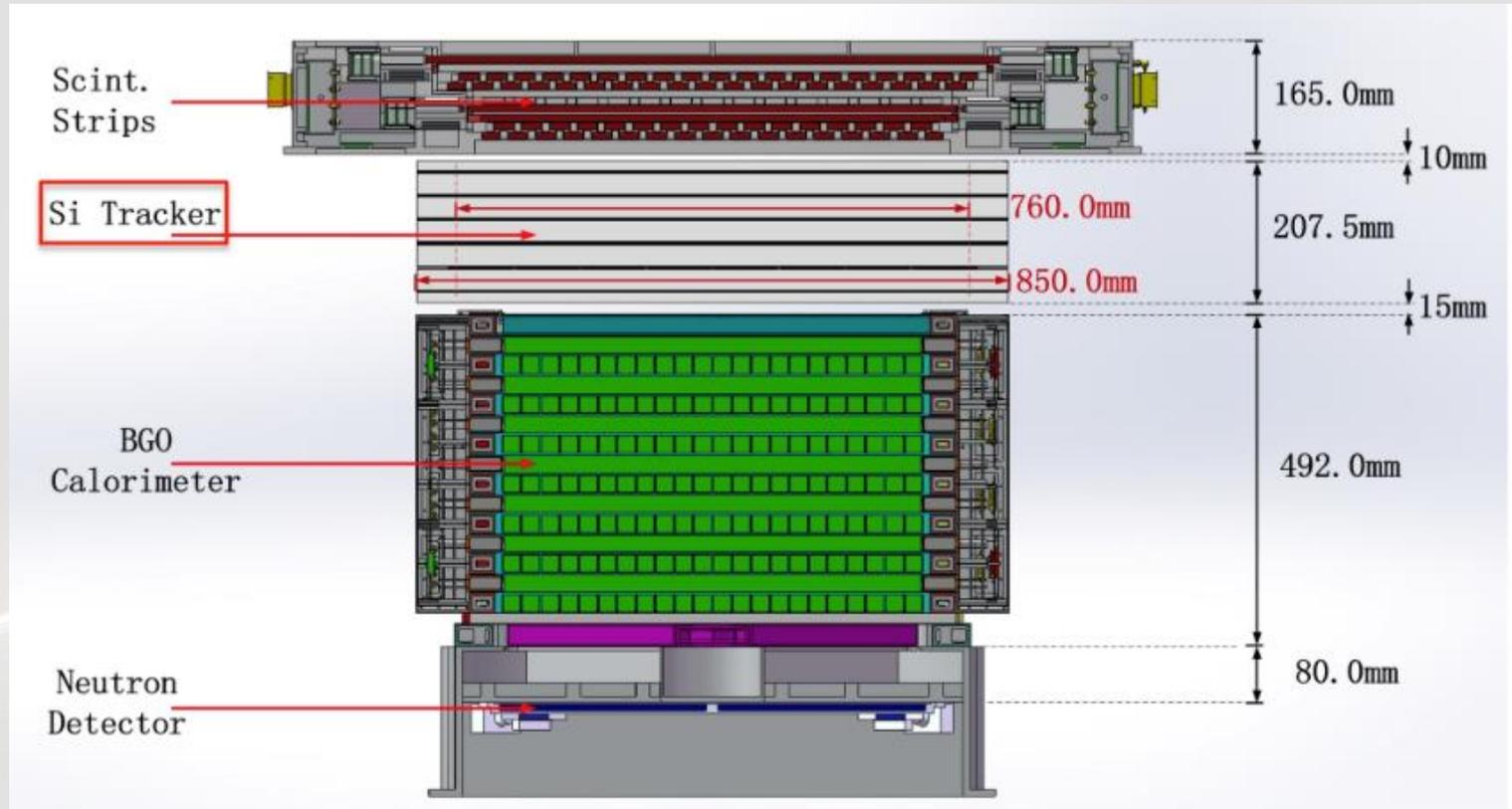
Extragalactic



Obiettivi scientifici di DArk Matter Particle Explorer (DAMPE)

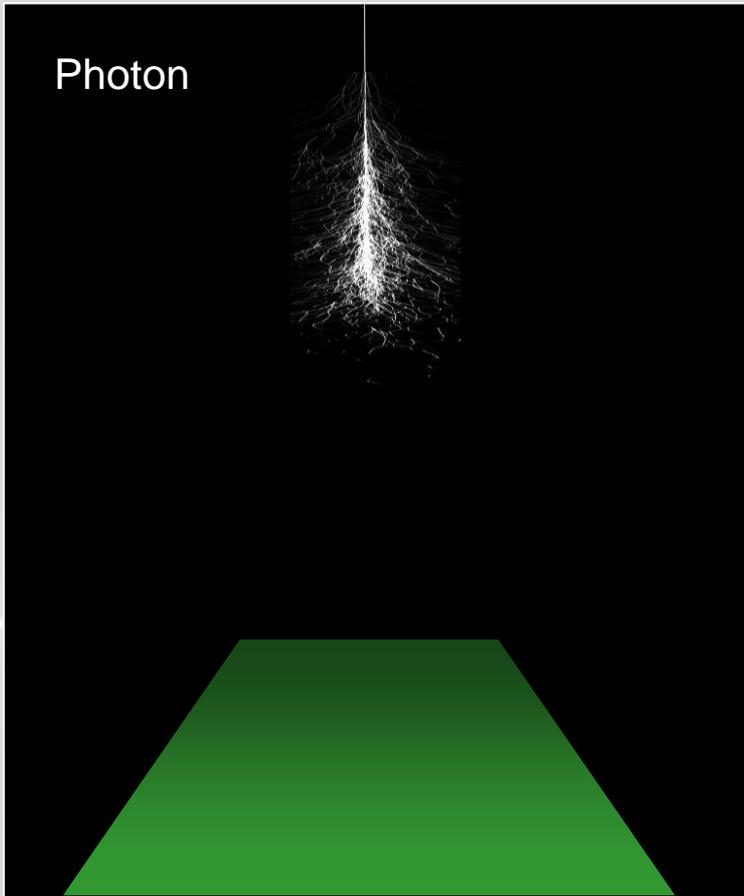
- Rivelazione di particelle di alta energia nello spazio
 - Ricerca indiretta di Materia Oscura
 - Misure ad alta risoluzione dell' energia di elettroni
 - Astronomia di fotoni di alta energia
- Successore naturale di Fermi/LAT e AMS
 - Estensione dell'intervallo di energia e migliore risoluzione energetica
 - 5 GeV-10 TeV (e-, γ)
 - 100 GeV – 100 TeV (RC)

Lanciato il 17 Dicembre 2015

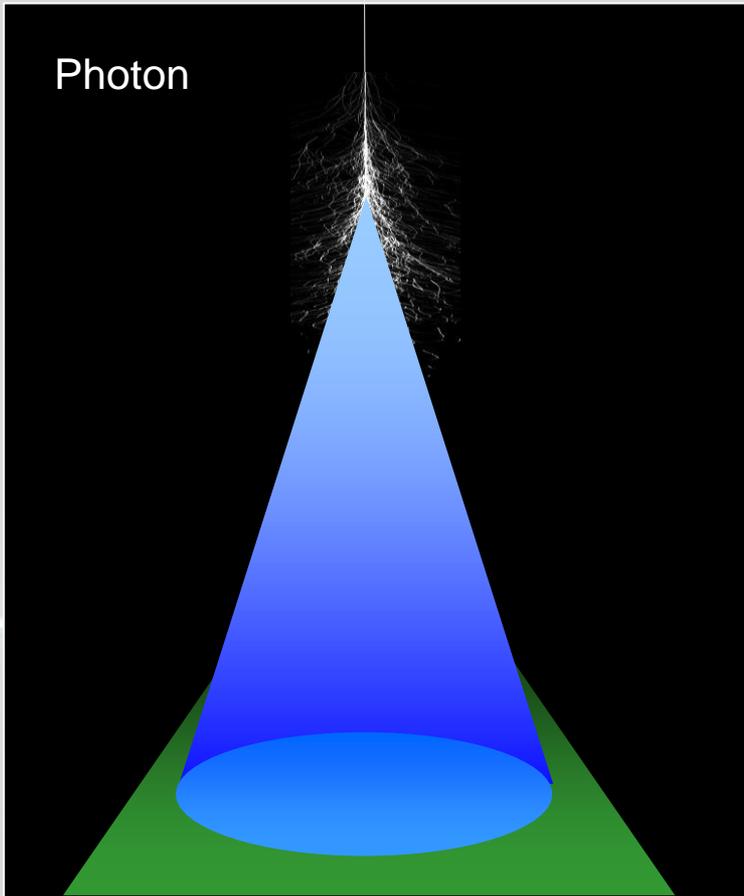


Combina un telescopio per I raggi gamma con una calorimetro più profondo osservando a più alte energie

Imaging Atmospheric Cherenkov Technique



Imaging Atmospheric Cherenkov Technique



Imaging Atmospheric Cherenkov Technique

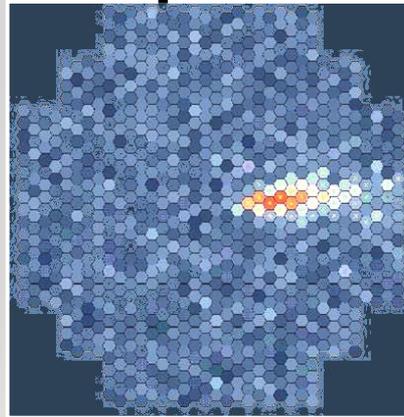
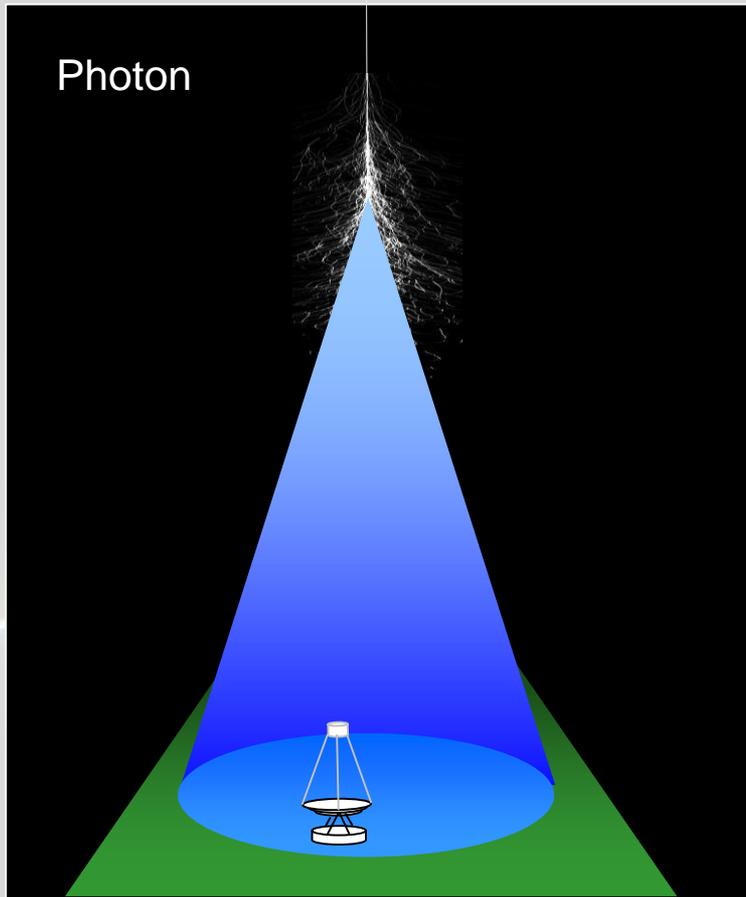
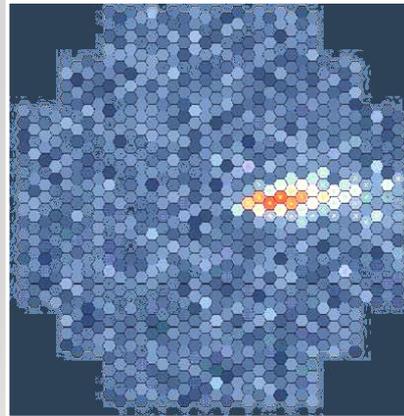
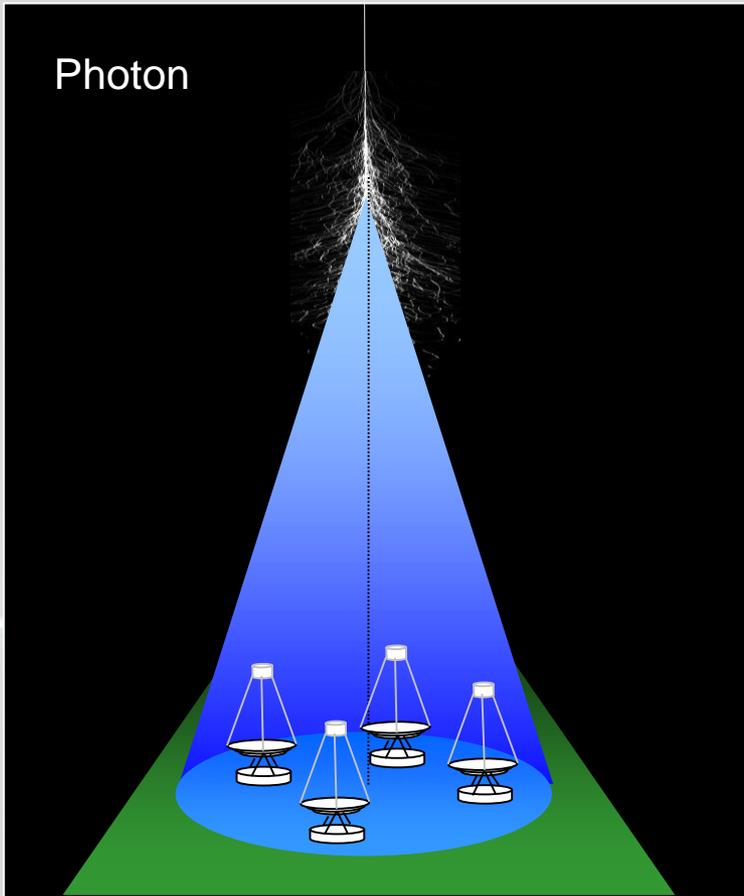


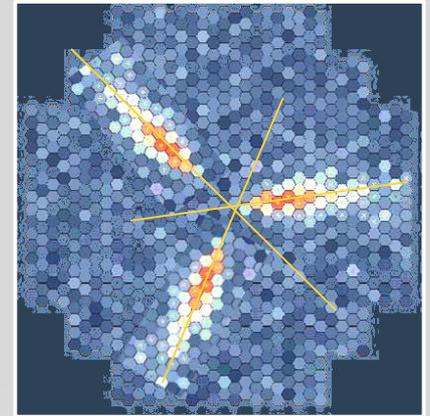
Image in the camera

- Intensity → Energy
- Orientation → Direction
- Shape → Primary Particle

Imaging Atmospheric Cherenkov Technique



Event in a single telescope



Images from 3 telescopes in the common camera plane

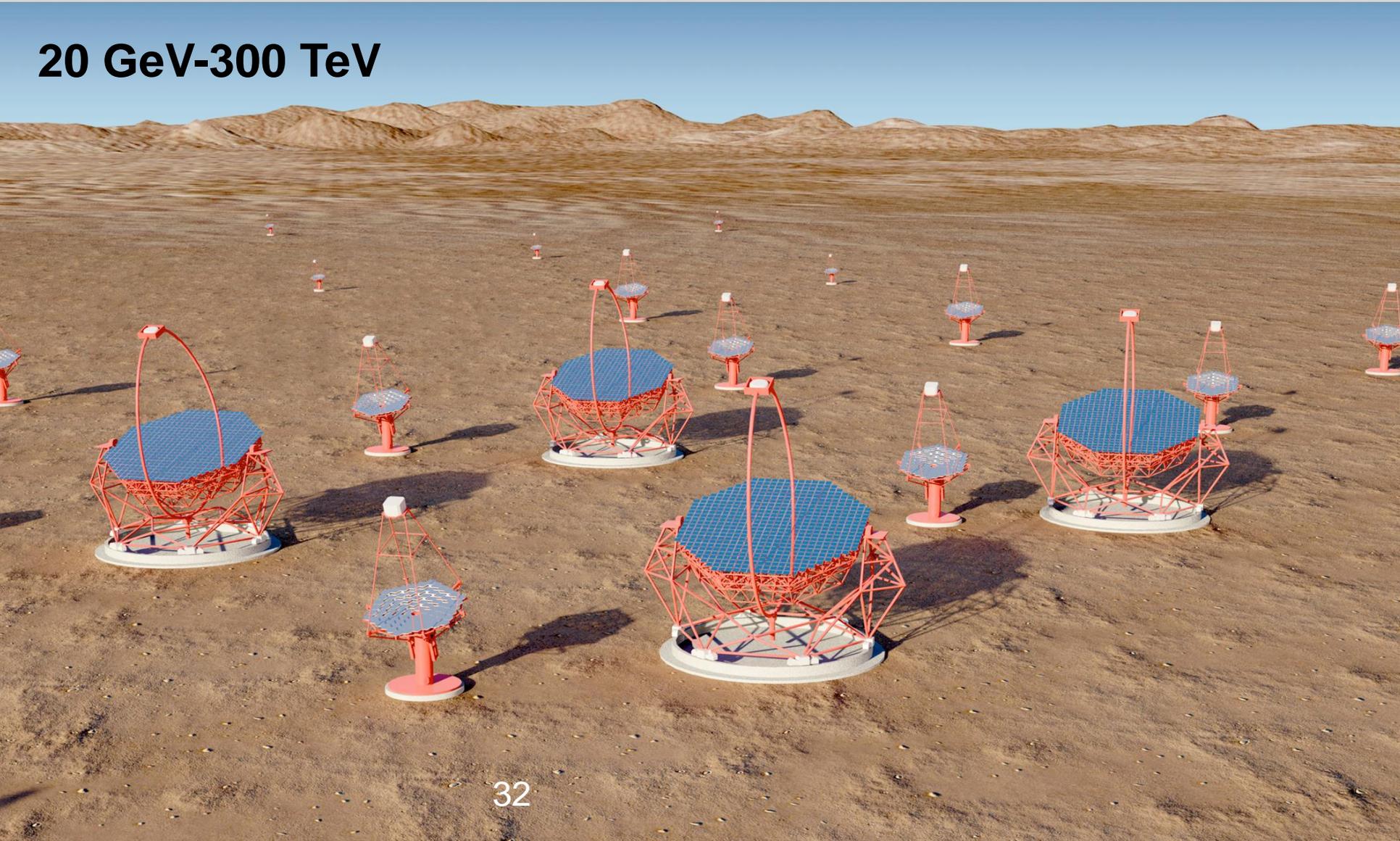
Intensity → Energy

Orientation → Direction

Shape → Primary Particle

The future: The Cherenkov Telescope Array

20 GeV-300 TeV



Grazie per l'attenzione

