

# La Fisica nello Spazio: Astroparticelle

Elisa Antolini

Università di Perugia & INAF

Dario Gasparrini

INFN sez. Perugia

ASI Science Data Center

# Fisica delle Astroparticelle

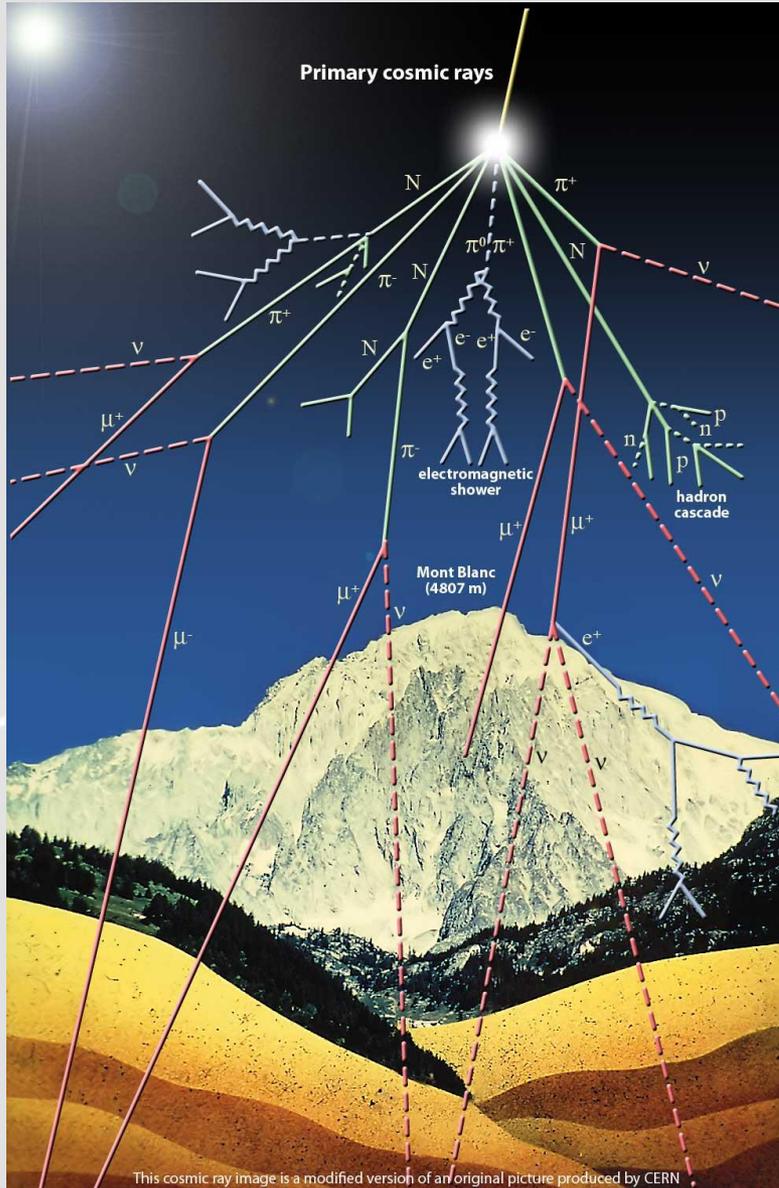
- Radiazione elettromagnetica ad alta energia
  - Raggi  $\gamma$ , Emissioni TeV
- Raggi cosmici (RC)
  - Protoni, Nuclei di He, Anti Protoni, Elettroni, Positroni
- Neutrini
- Onde gravitazionali

# 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  $\sim 1000$  MILIARDI di eV (TeV)
- Neutrino più energetico  $\sim 2$  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**

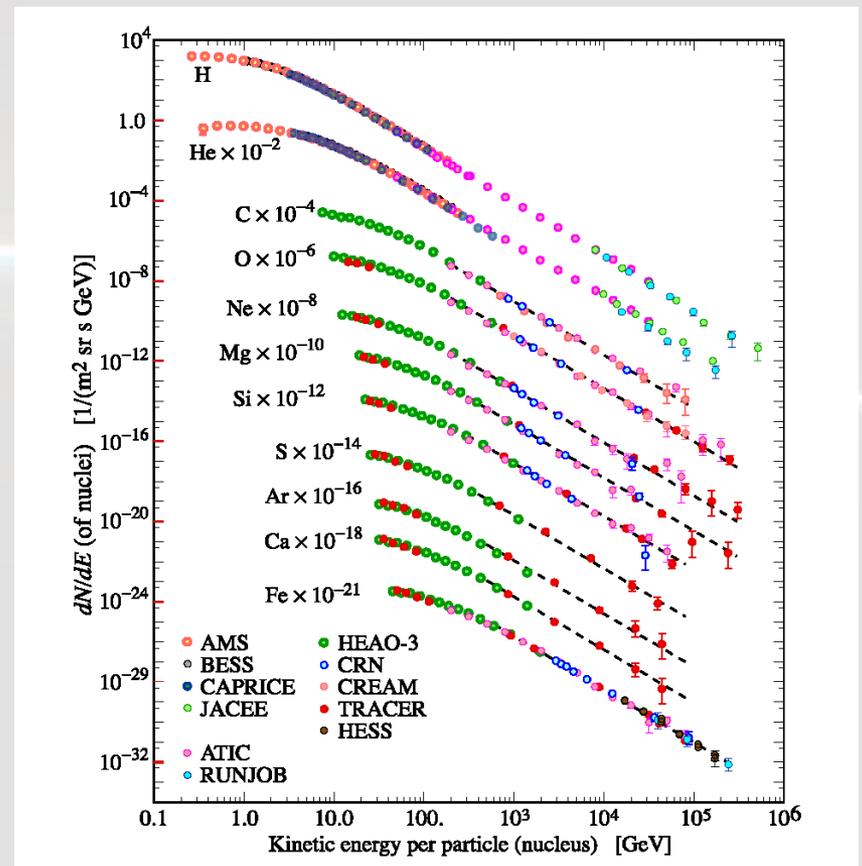
# Che cosa sono i Raggi Cosmici?



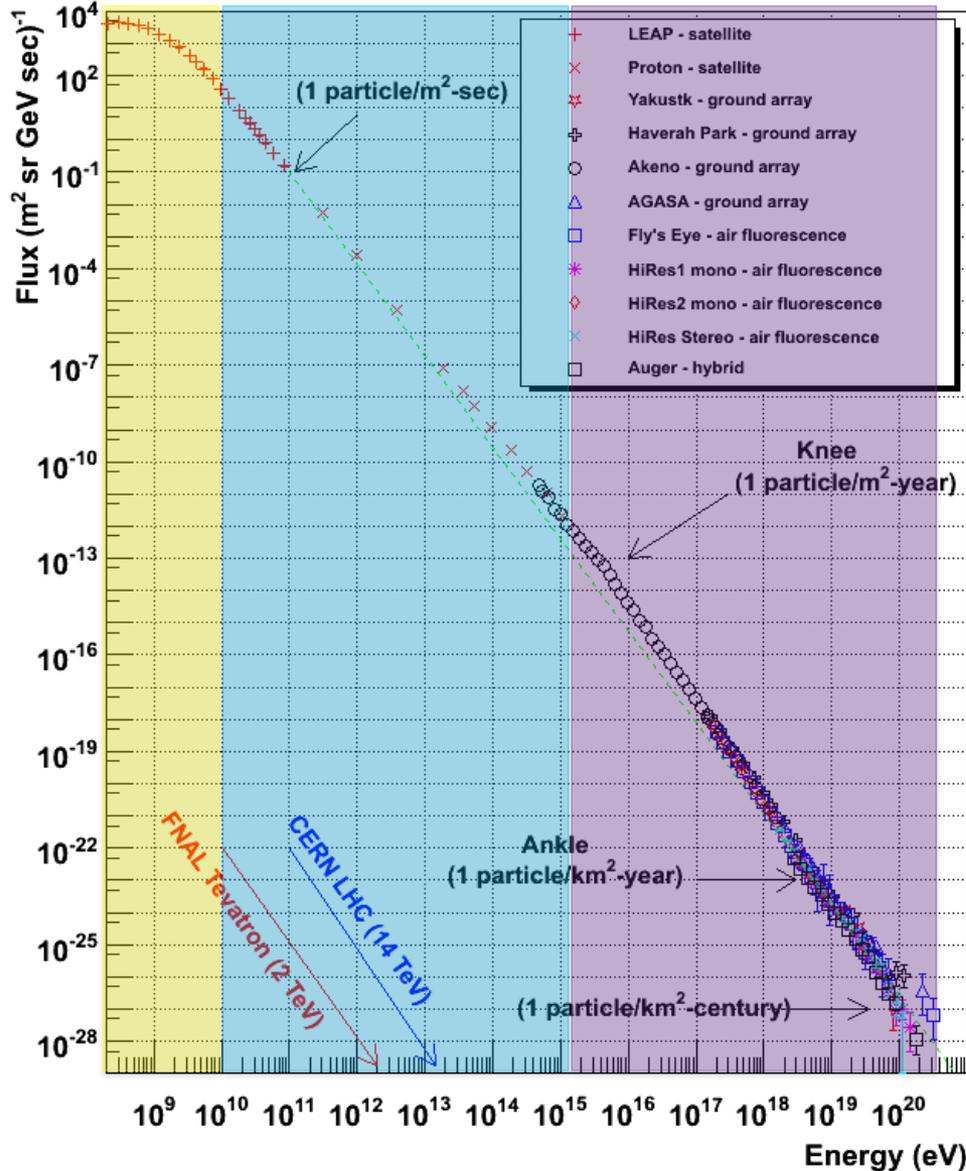
- I raggi cosmici sono un flusso di particelle cariche ad alta energia
- Origine:
  - Dal Sole
  - Dalla nostra galassia (Galattici)
  - Al di fuori della Via Lattea (Extragalattici)
- La Terra è bombardata costantemente da un flusso di particelle ( $E = \text{GeV}$ ,  $1/\text{s cm}^2$ )
- La maggior 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  $\text{cm}^2$  (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

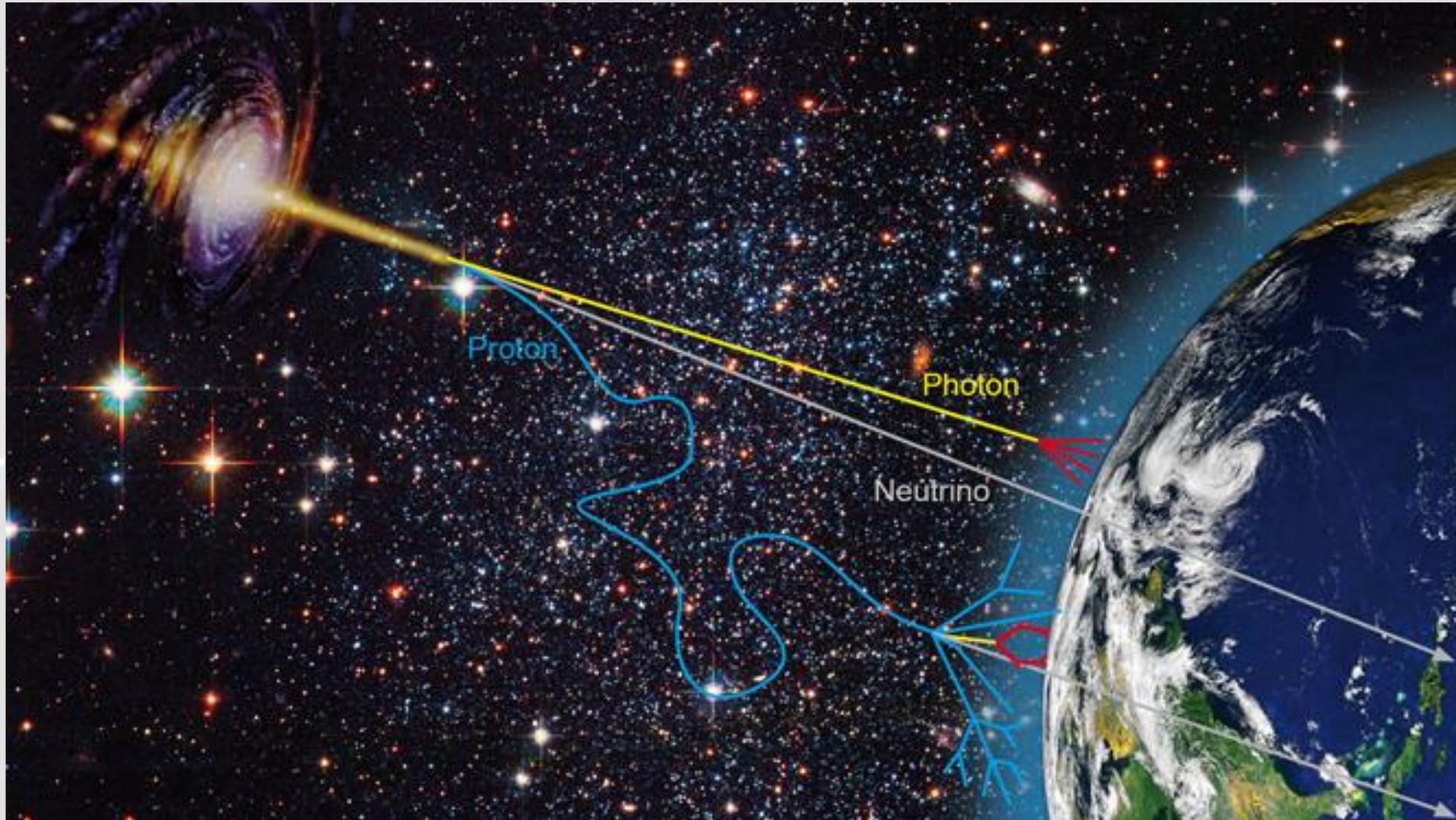
## Perché studiare i raggi cosmici primari?

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



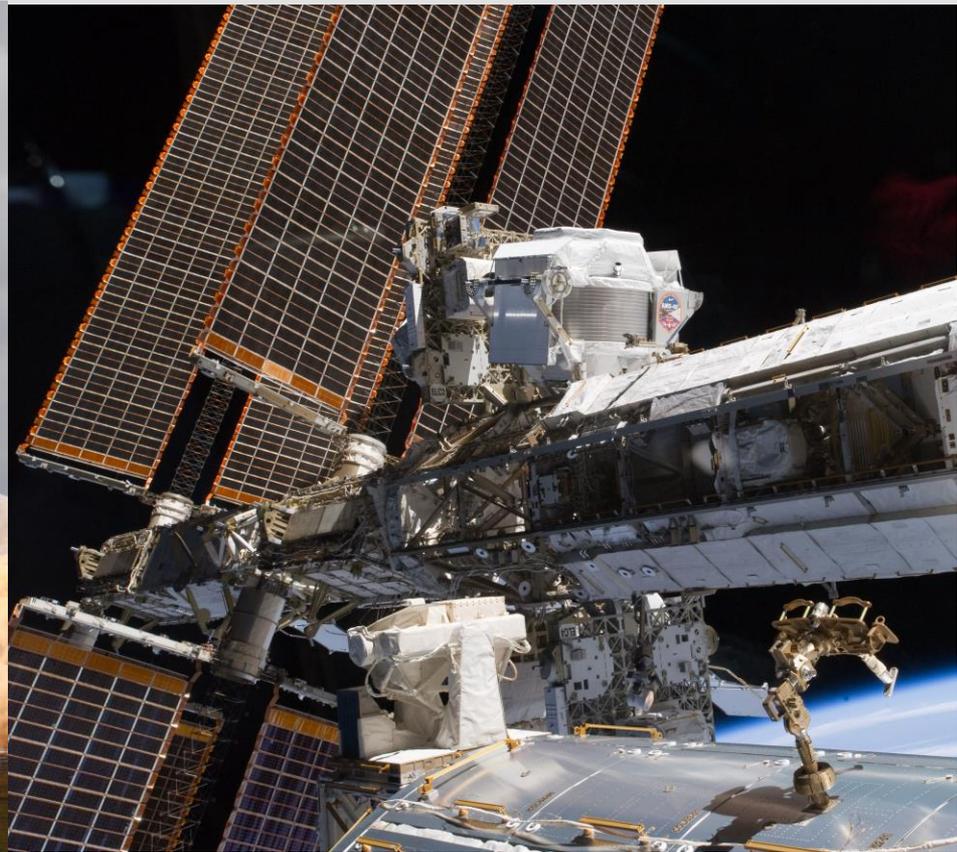
# Alpha Magnetic Spectrometer (AMS)



# AMS sull'International Space Station

Lancio: 16 Maggio 2011

Fine Setup: 19 Maggio 2011



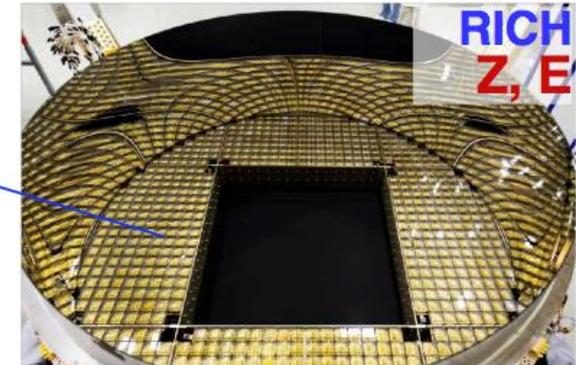
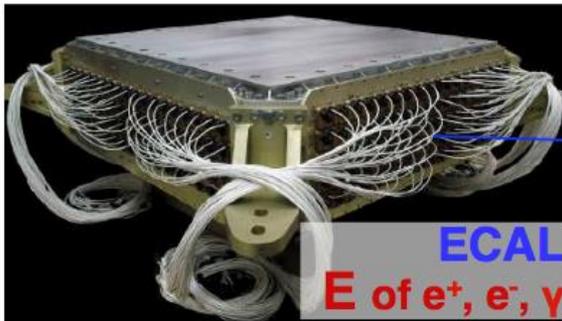
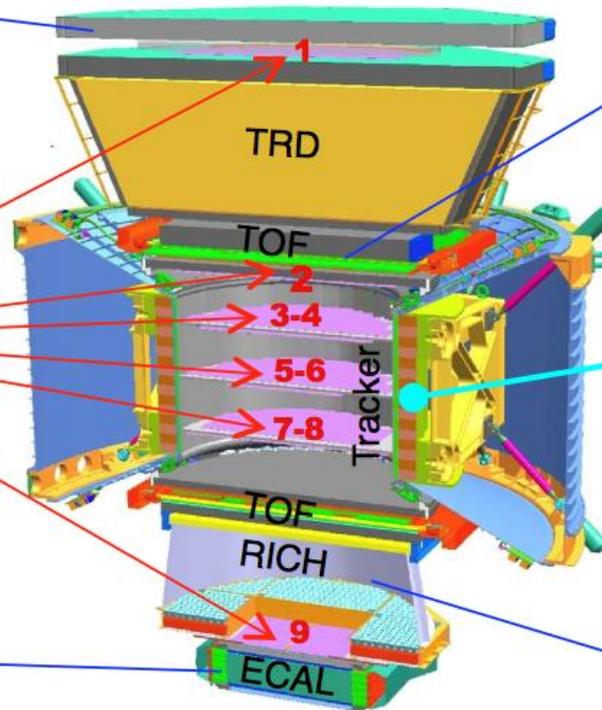
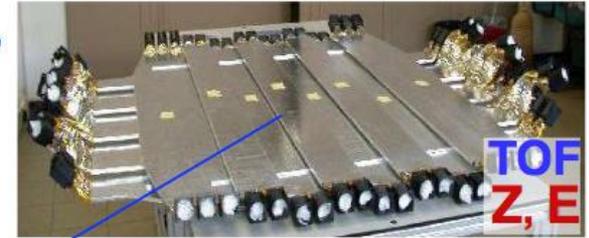
# Scopi di AMS-02

- 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



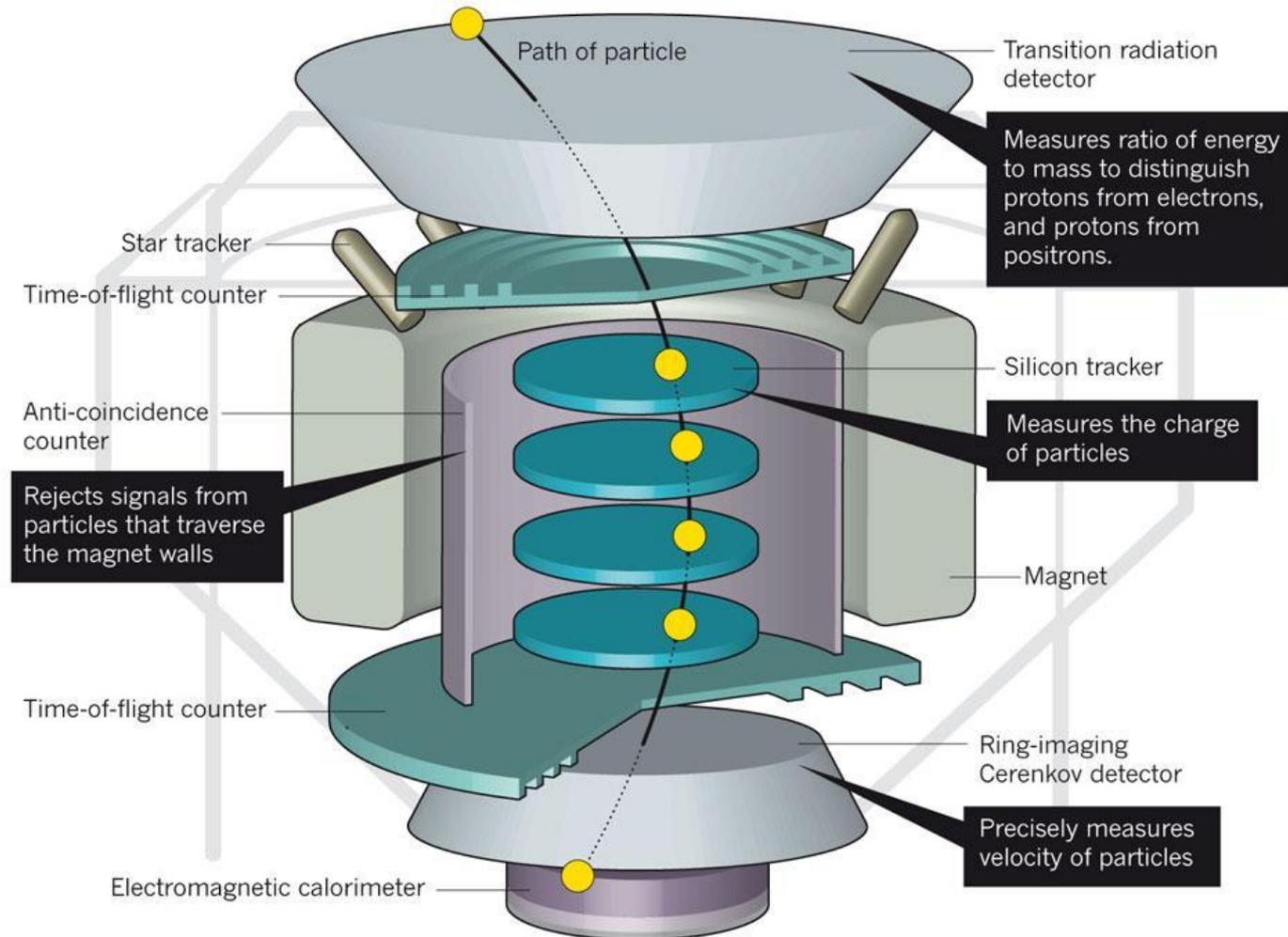
$Z$ ,  $P$  sono misurate indipendentemente da Tracker, RICH, TOF e ECAL



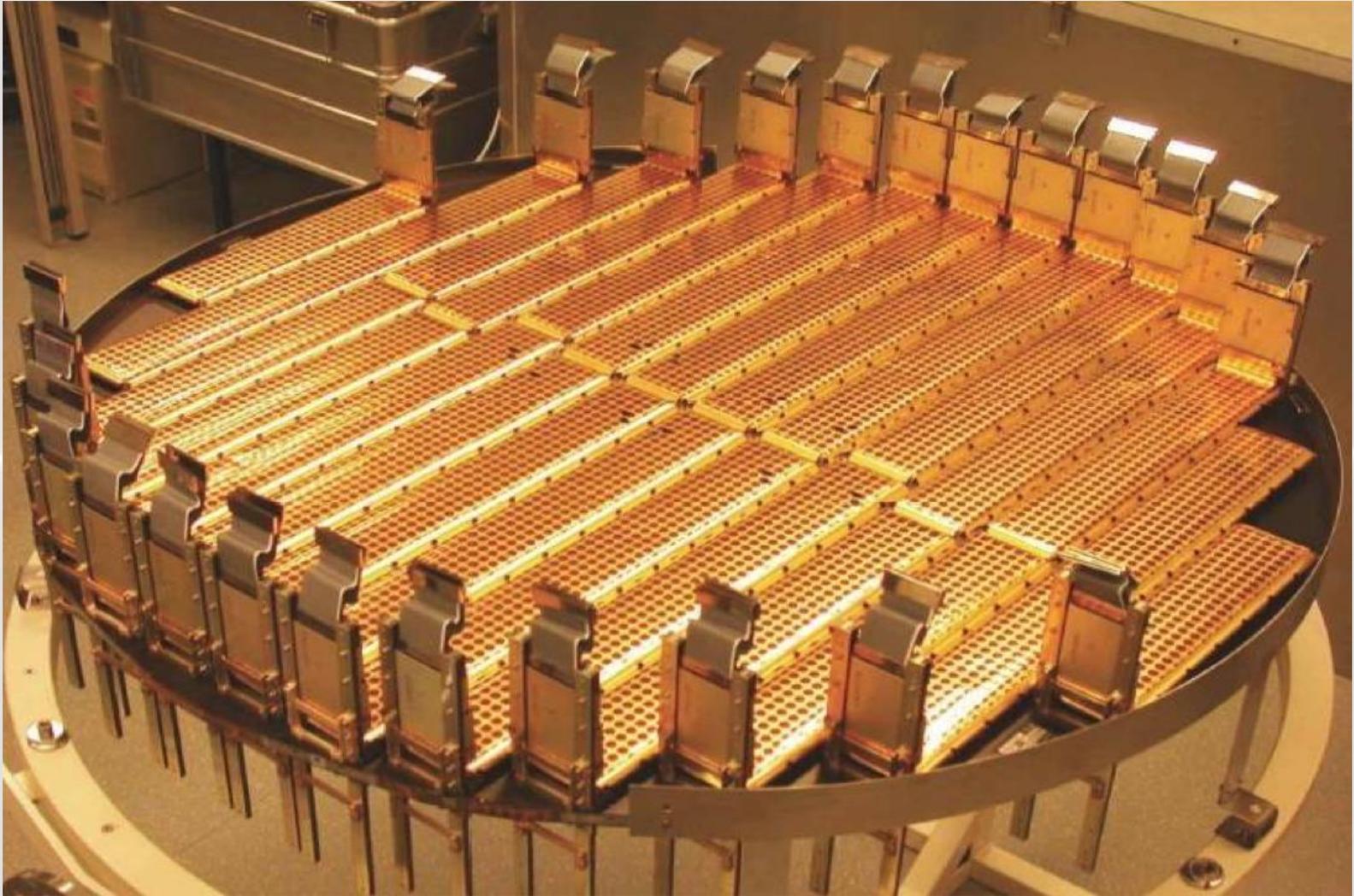
# Funzionamento di AMS

## 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



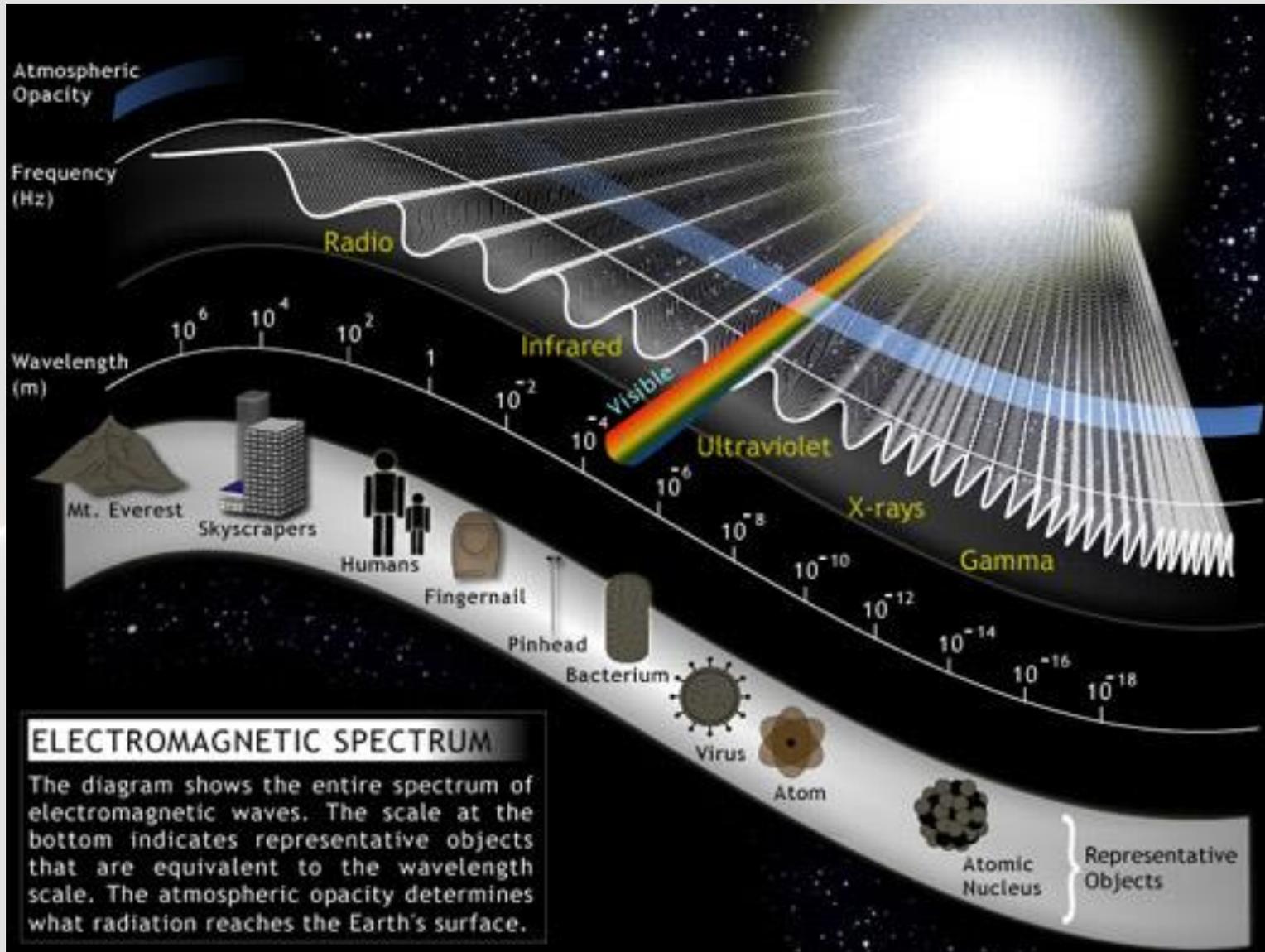
# Primi risultati AMS

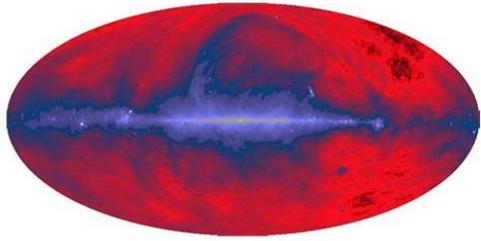
- Abbondanza anti-P ad alte energie
- Eccesso di positroni ad alte energie



- Nuovo Processo fisico??
- Materia Oscura ??

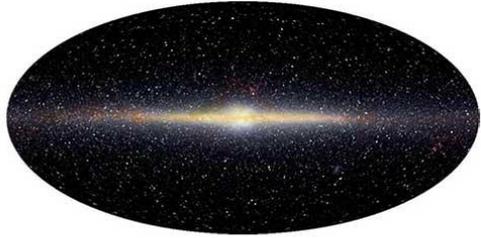
# Raggi gamma





radio

Emissione radio prodotta da elettroni in movimento in campi magnetici



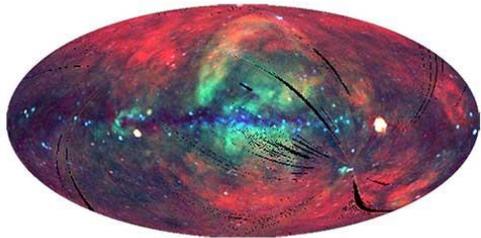
infrared

Radiazione Infrarossa da nuvole fredde di gas e polvere, Pianeti



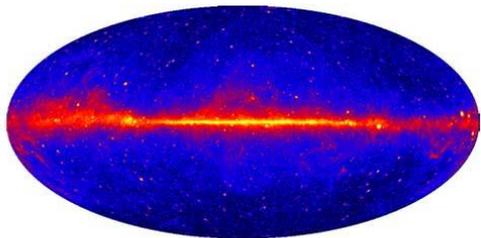
optical

Pianeti, Stelle, Satelliti



X-ray

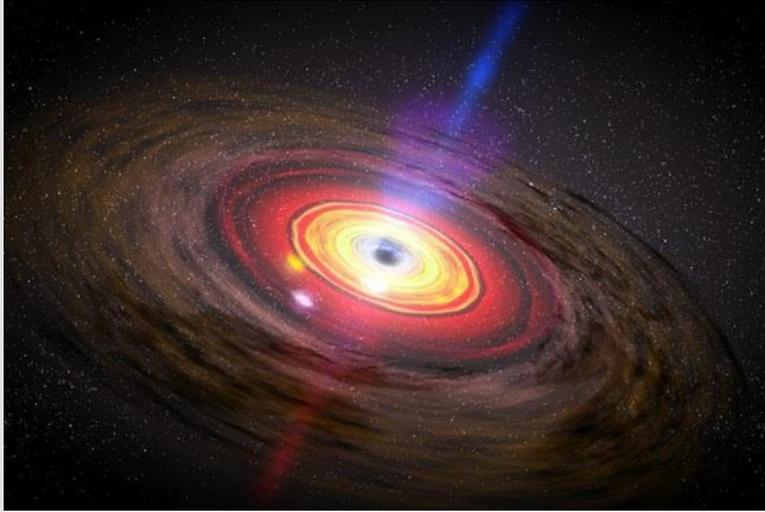
Supernova, Pulsar, accrescimento su buchi neri



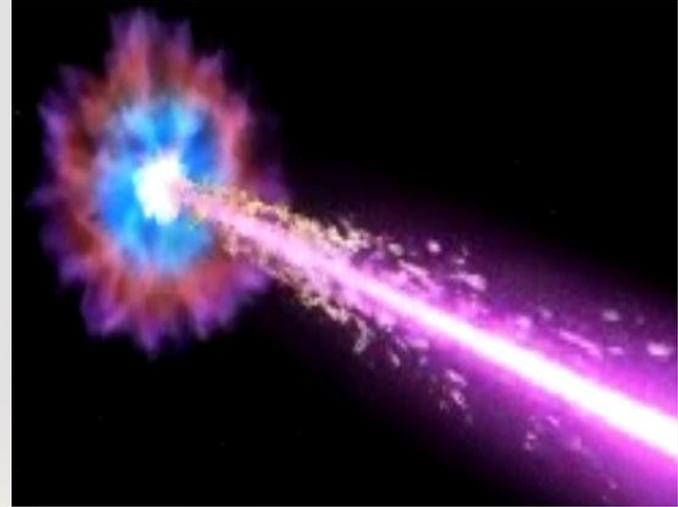
gamma-ray

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

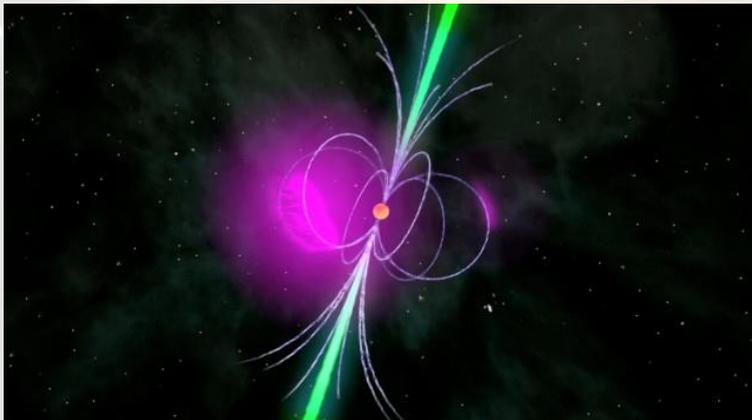
# Chi emette raggi gamma?



Nuclei Galattici Attivi (AGN)



Gamma Ray Burst (GRB)



Pulsar

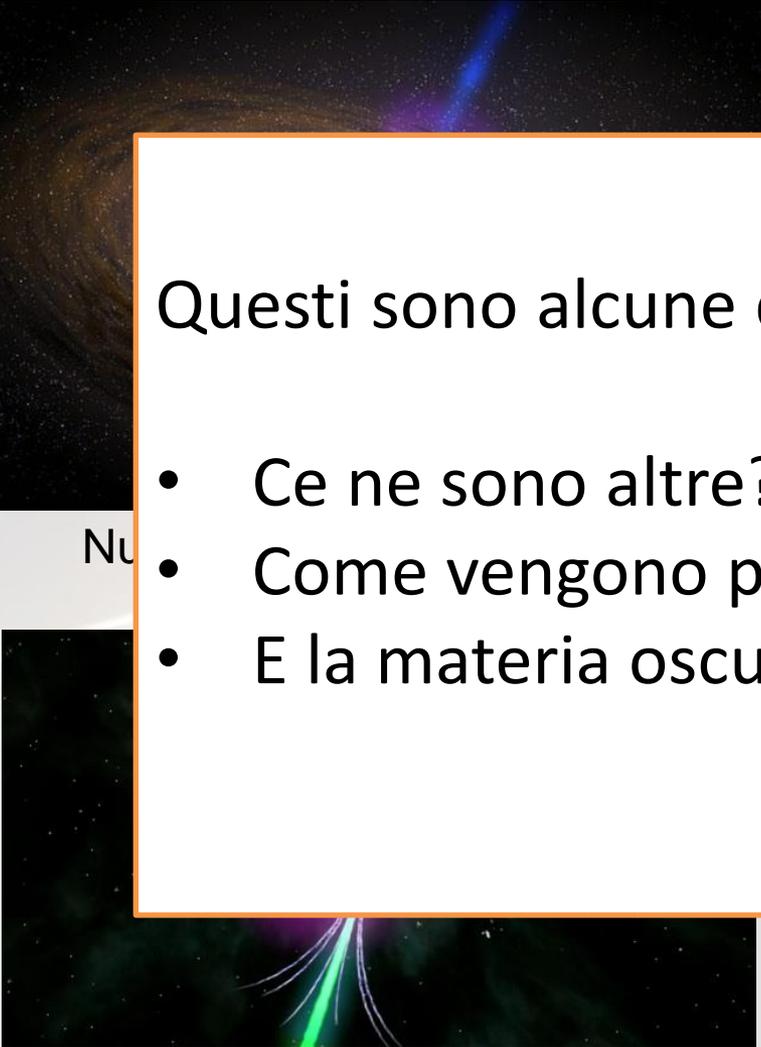


Resti di supernova

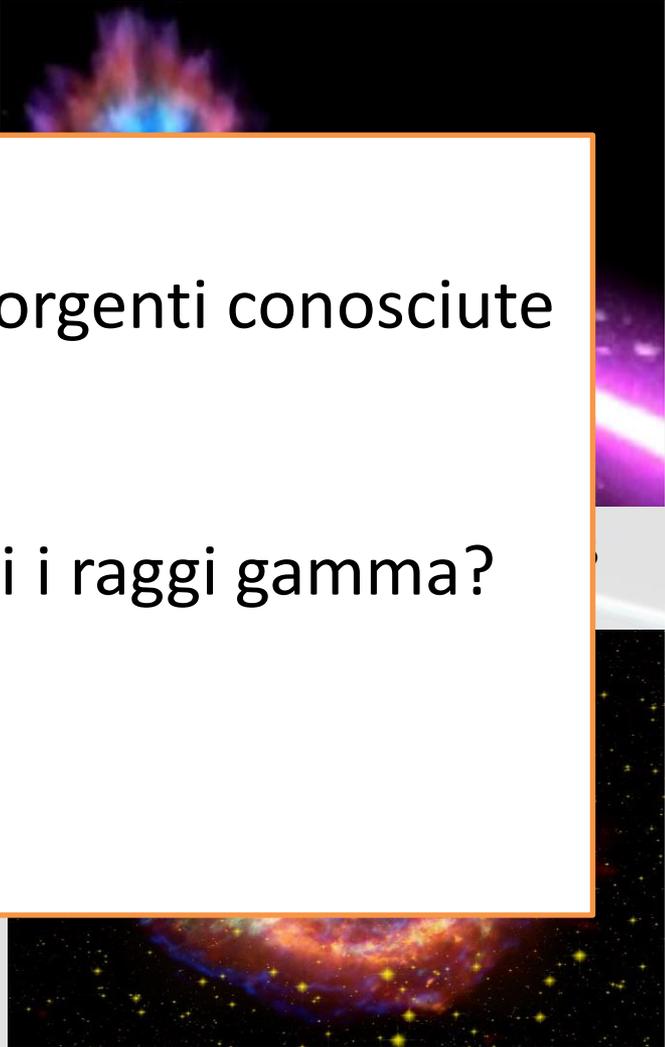
# Chi emette raggi gamma?

Questi sono alcune delle sorgenti conosciute

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

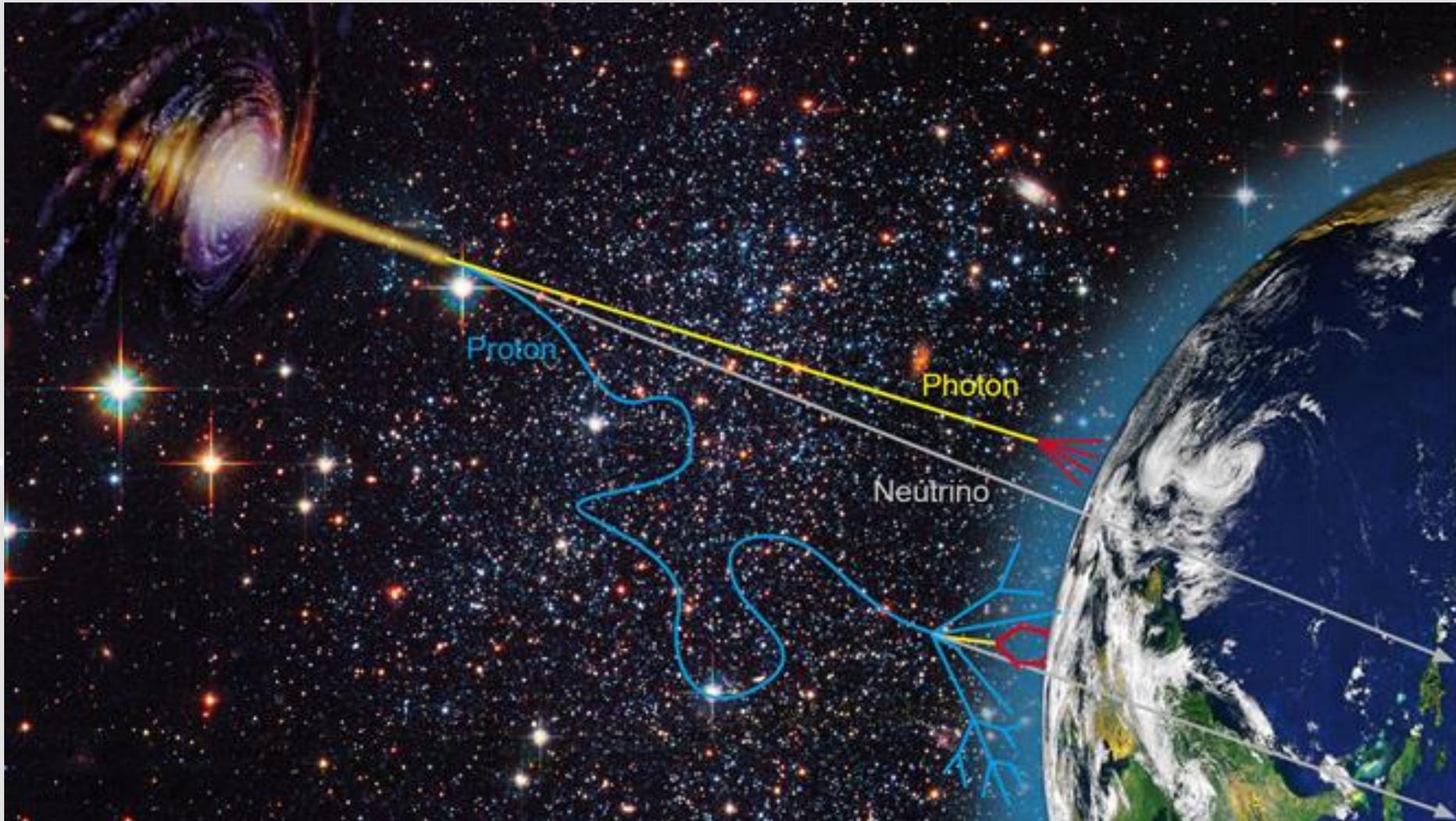
A pulsar emitting beams of light. The image shows a central point with several bright, multi-colored beams (green, blue, purple) radiating outwards against a dark background.

Pulsar

A supernova remnant. The image shows a colorful, expanding shell of gas and dust in shades of red, orange, and blue, set against a dark background with some distant stars.

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

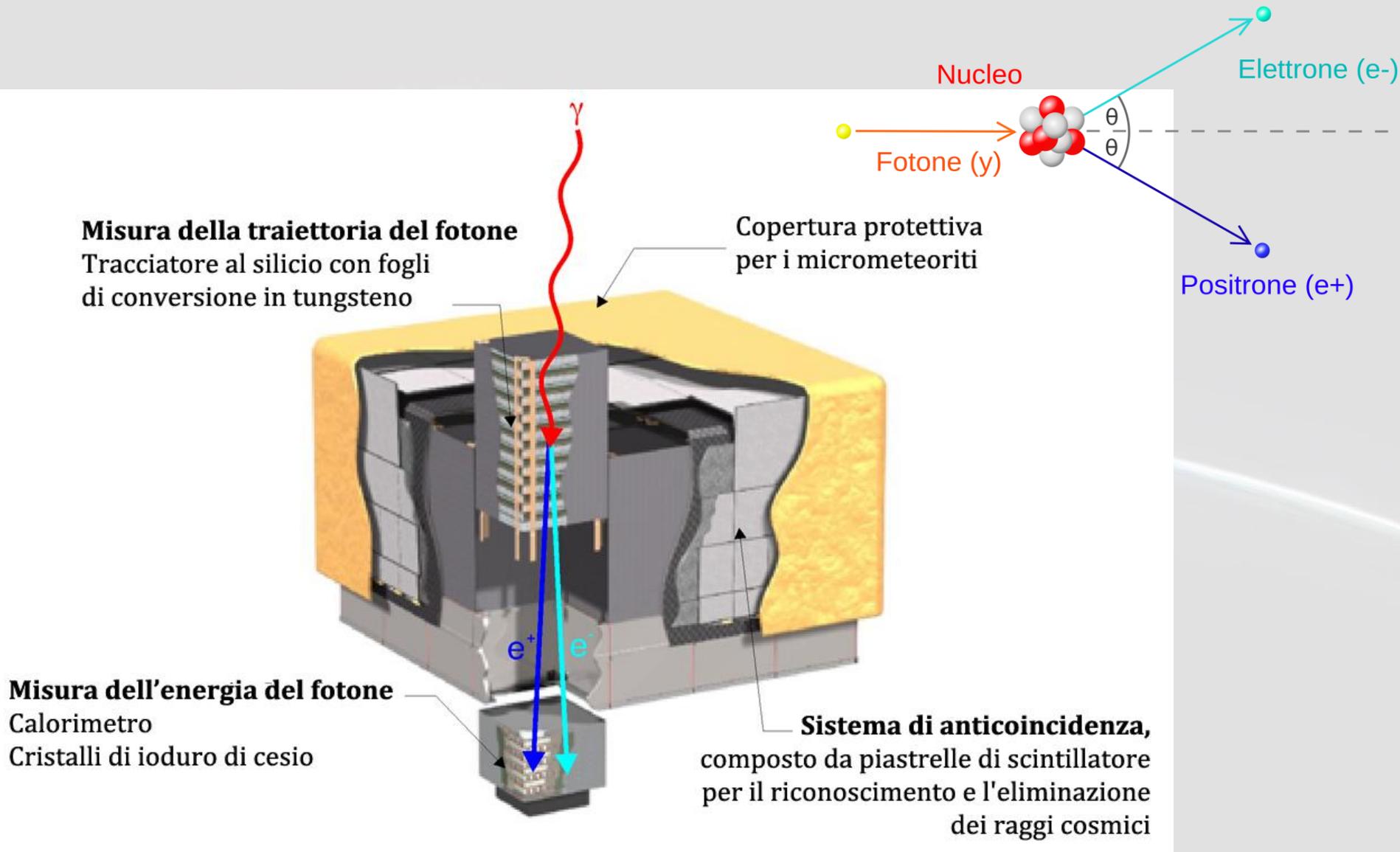
Large Area Telescope  
(30 MeV – 300 GeV)



Gamma ray Burst  
Monitor  
(150 keV – 30 MeV)

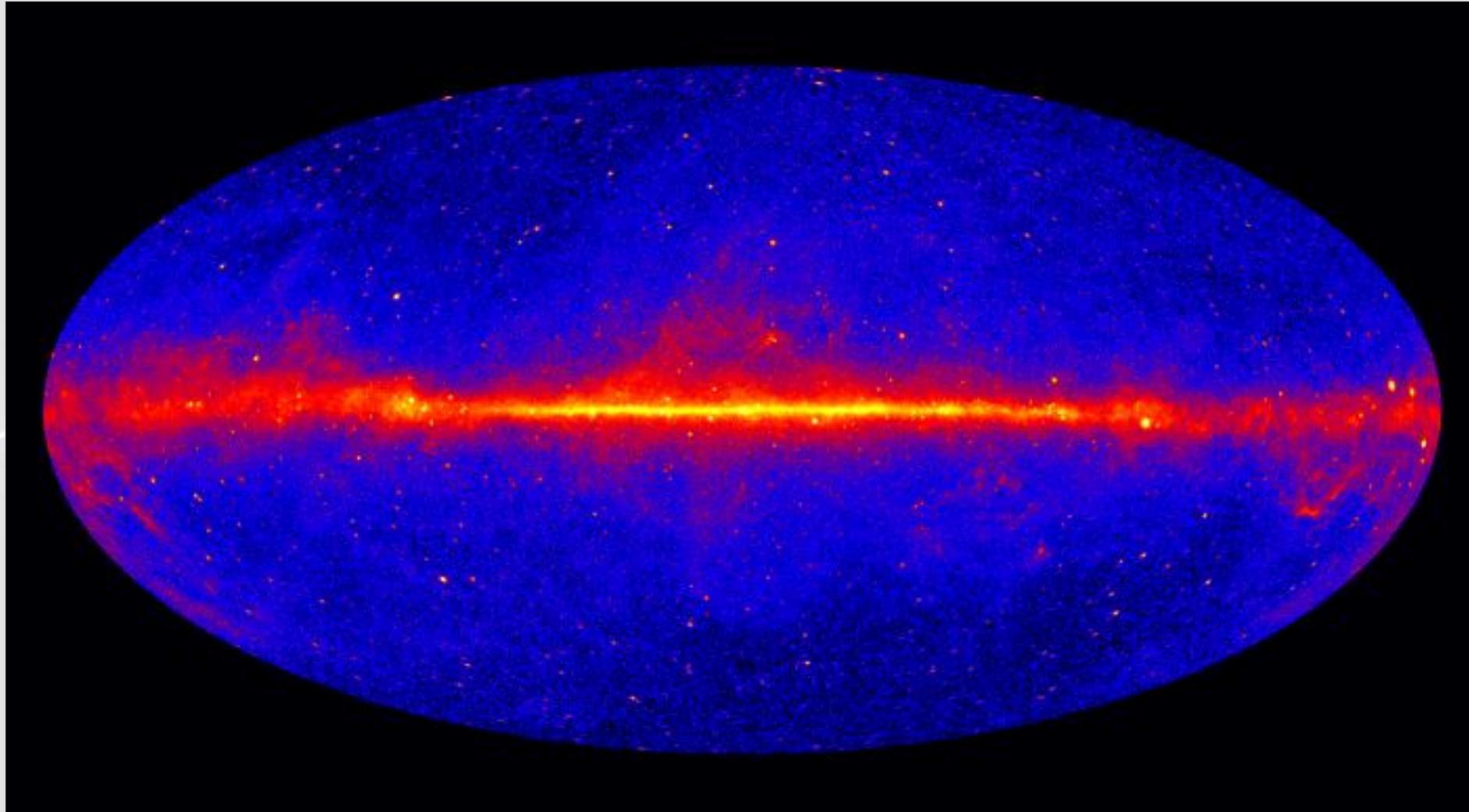


# Fermi-LAT come funziona



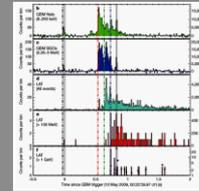
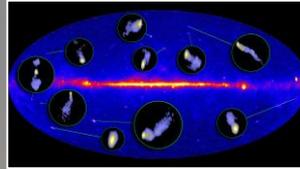
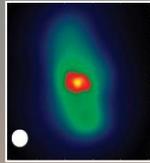
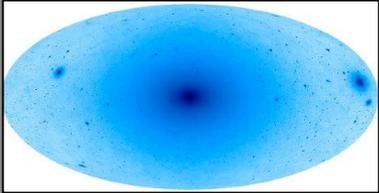
# 7 anni di Fermi

Migliaia di sorgenti: molte ancora sconosciute



# Fermi Highlights and Discoveries

Dark Matter searches

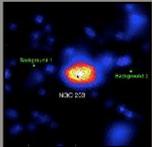


GRBs

Blazars

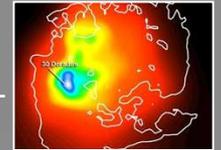
Radio Galaxies

Starburst Galaxies

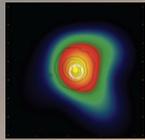


Extragalactic

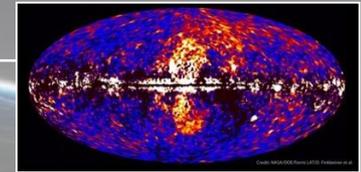
LMC & SMC



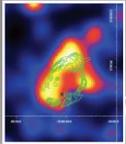
Globular Clusters



Fermi Bubbles



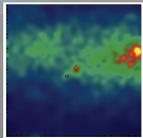
SNRs & PWN



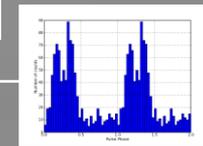
$\gamma$ -ray Binaries



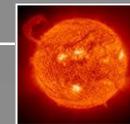
Novae



Pulsars: isolated, binaries, & MSPs



Sun: flares & CR interactions

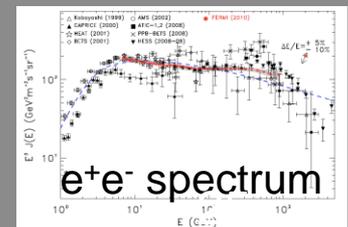


Terrestrial  $\gamma$ -ray Flashes



Unidentified Sources

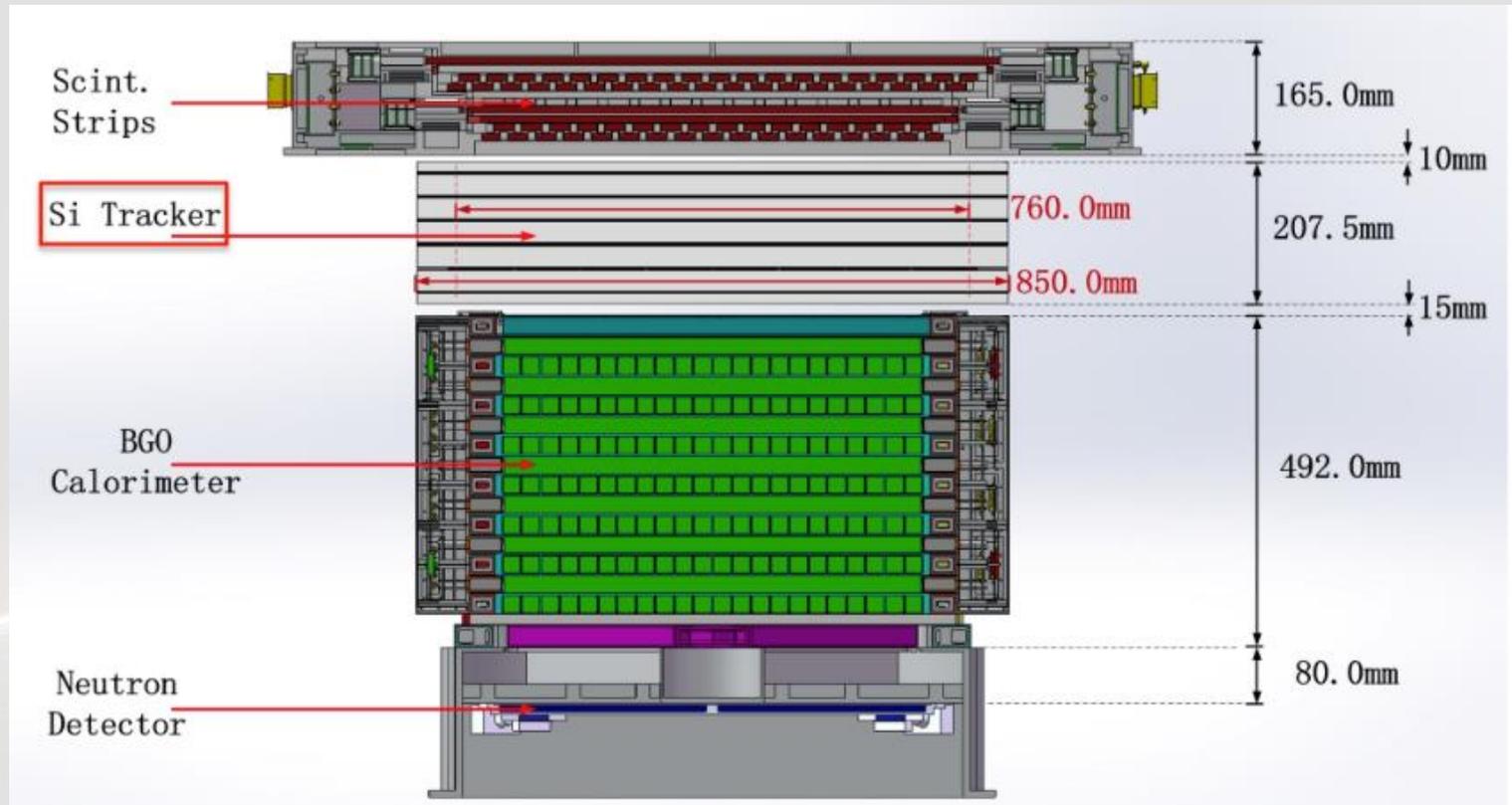
Galactic



# Obiettivi scientifici di DArk Matter Particle Explorer (DAMPE)

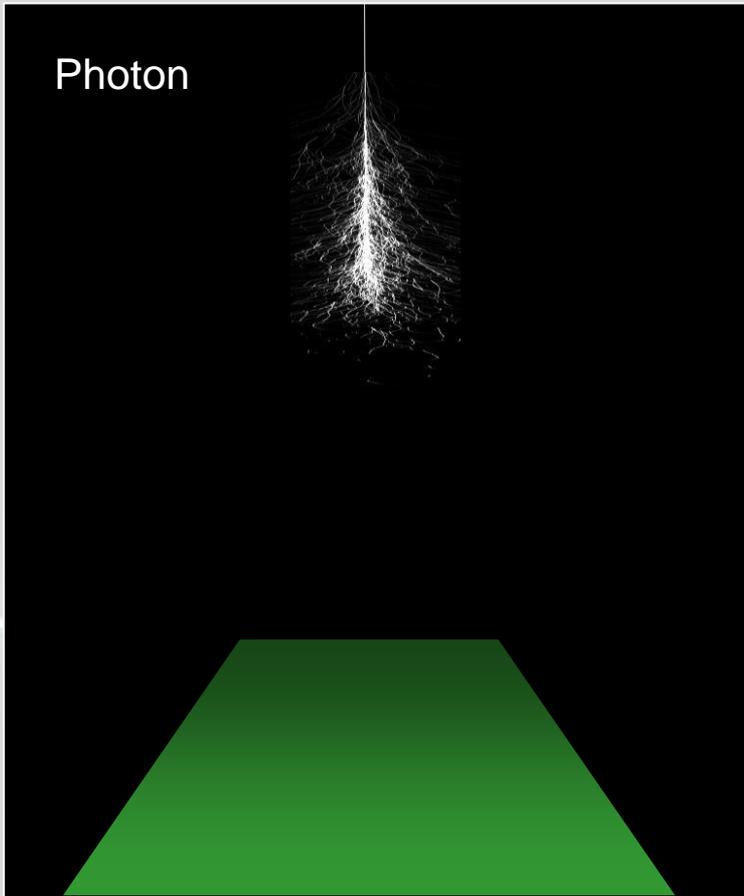
- Rivelazione di particelle di alta energia nello spazio
  - Ricerca indiretta di Materia Oscura
  - Misure ad alta risoluzione dell' energia di elettroni
  - Astronomia di fotoni di alta energia
- Successore naturale di Fermi/LAT e AMS
  - Estensione dell'intervallo di energia e migliore risoluzione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

# Lanciato il 17 Dicembre 2015

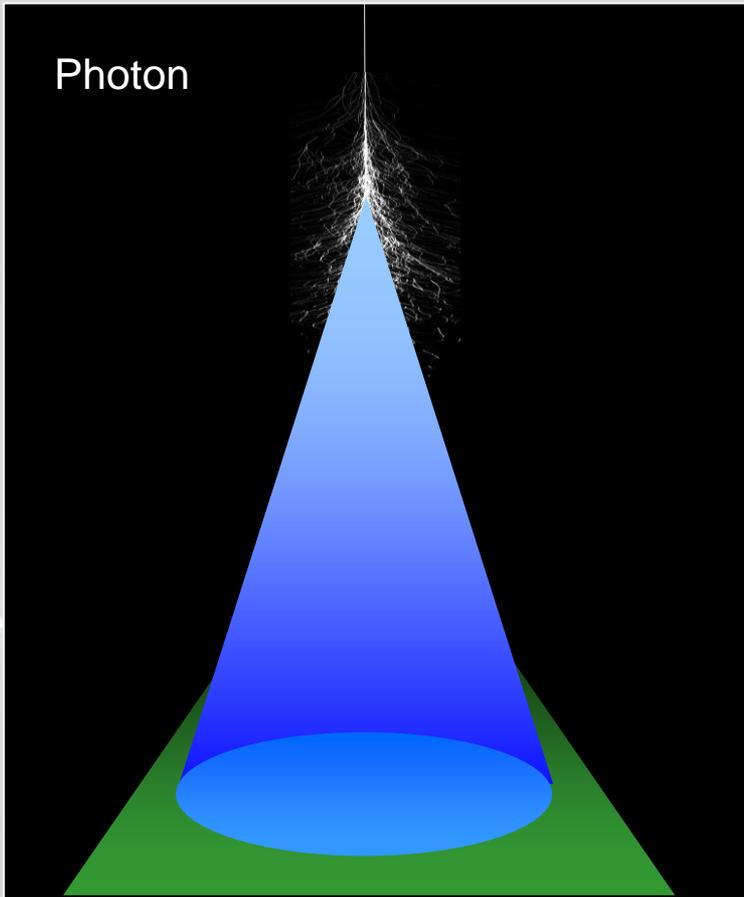


Combina un telescopio per I raggi gamma con una calorimetro più profondo osservando a più alte energie

# Imaging Atmospheric Cherenkov Technique



# Imaging Atmospheric Cherenkov Technique



# Imaging Atmospheric Cherenkov Technique

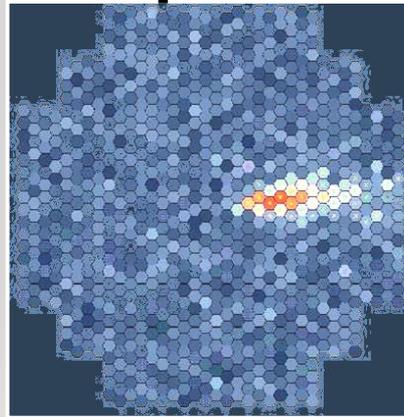
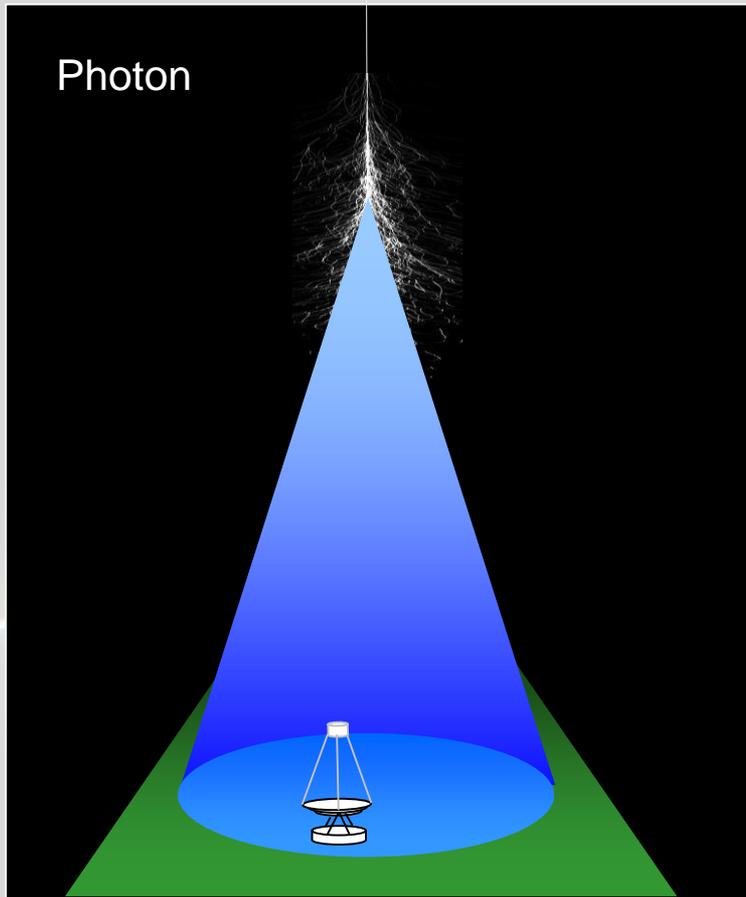
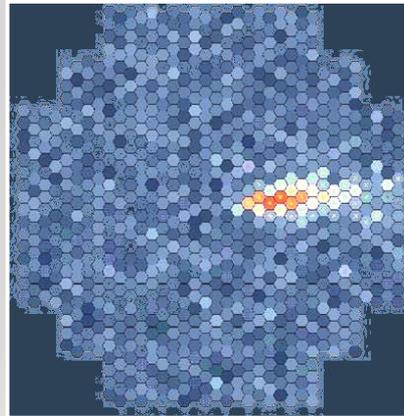
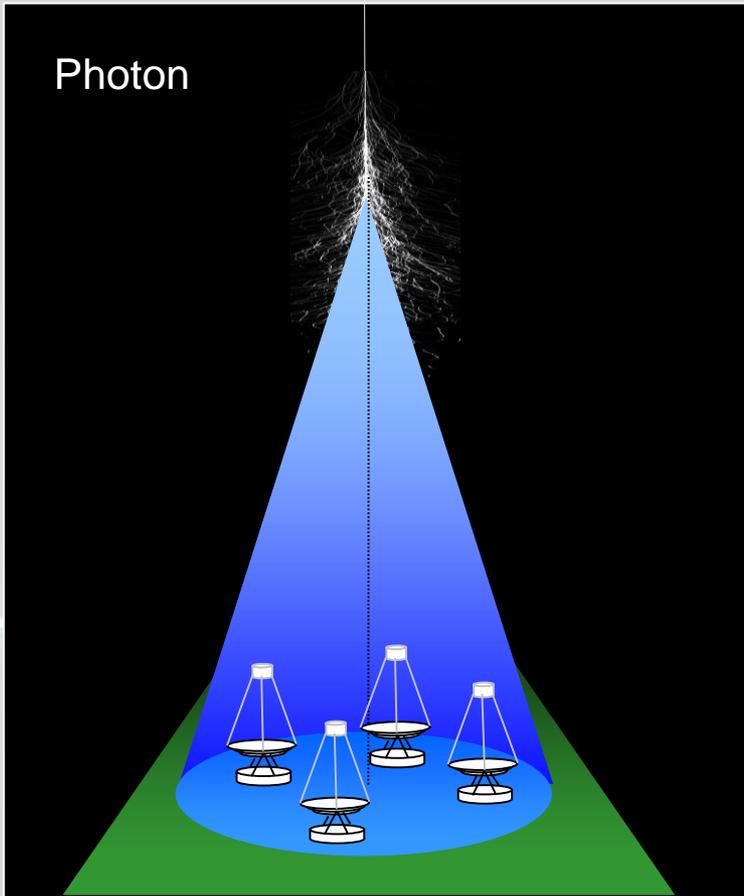


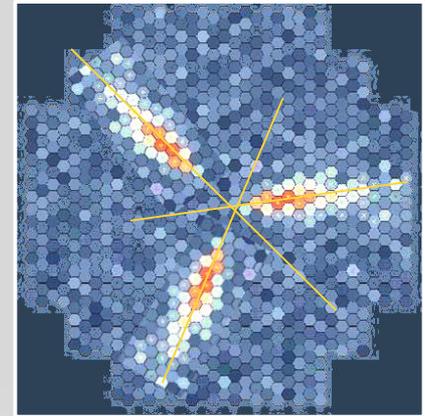
Image in the camera

- 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

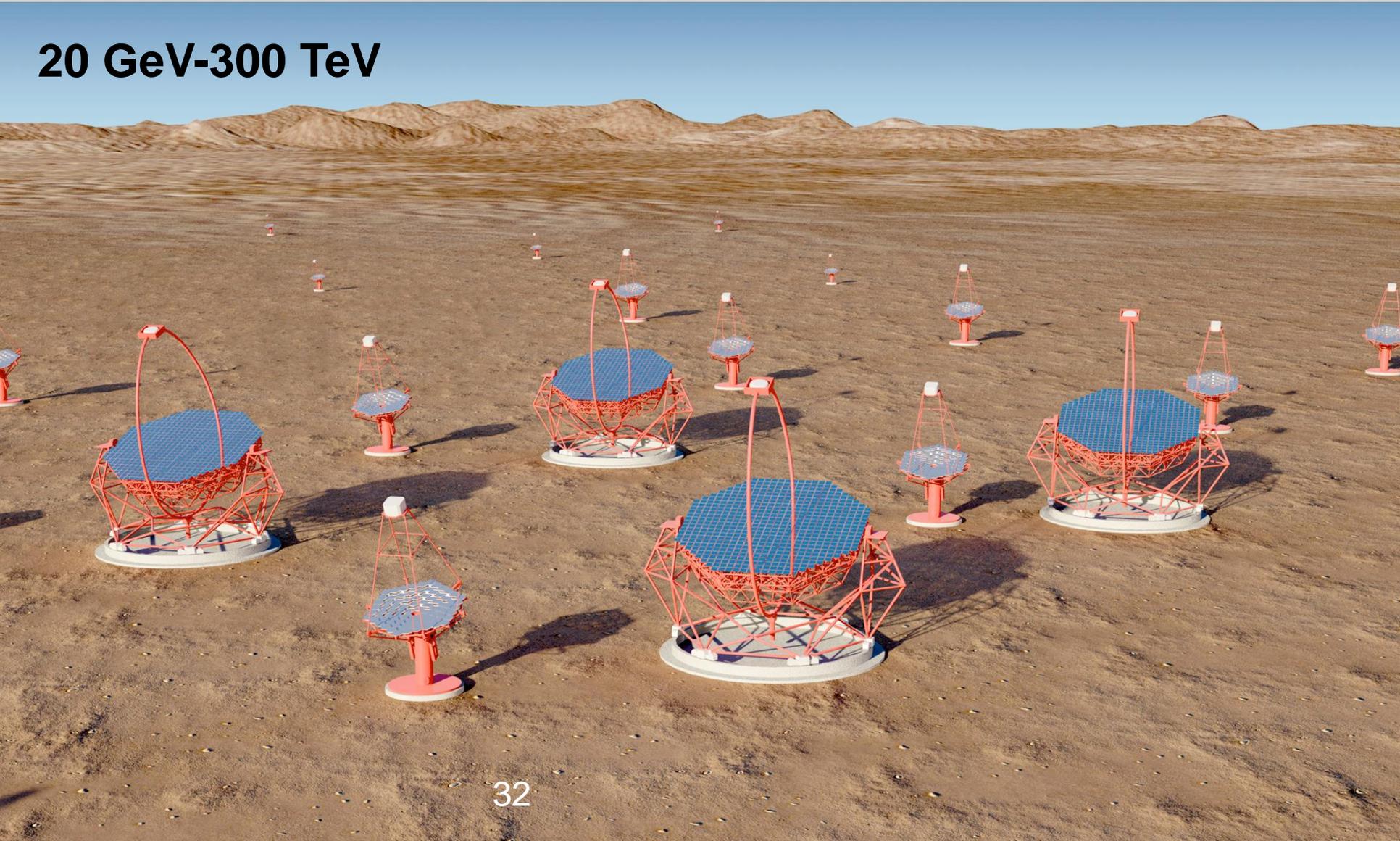
Intensity → Energy

Orientation → Direction

Shape → Primary Particle

# The future: The Cherenkov Telescope Array

20 GeV-300 TeV



**Grazie per l'attenzione**

