

Fermi
Gamma-ray Space Telescope

Il Large Area Telescope (LAT) a bordo della missione Fermi

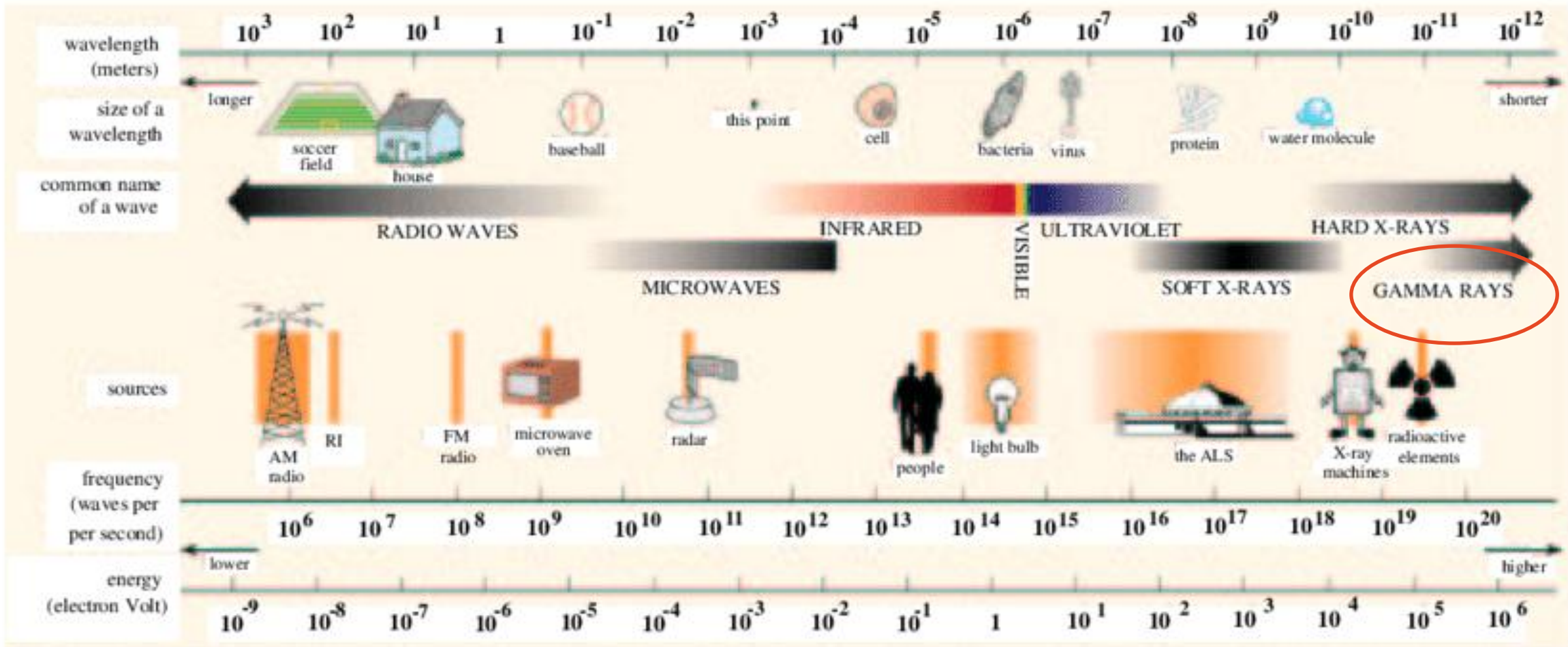
Pietro Monti-Guarnieri

18 Marzo 2025

Università di Trieste & INFN Trieste

Fermi Masterclass 2026

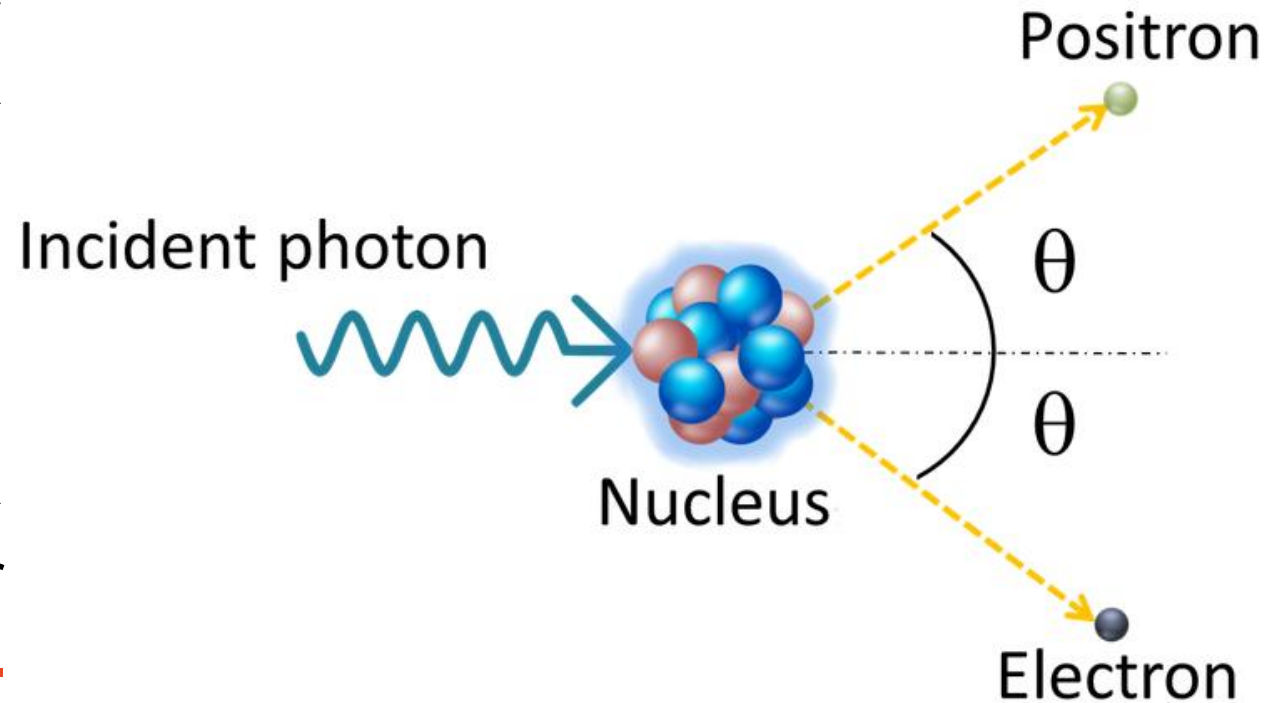
I raggi gamma



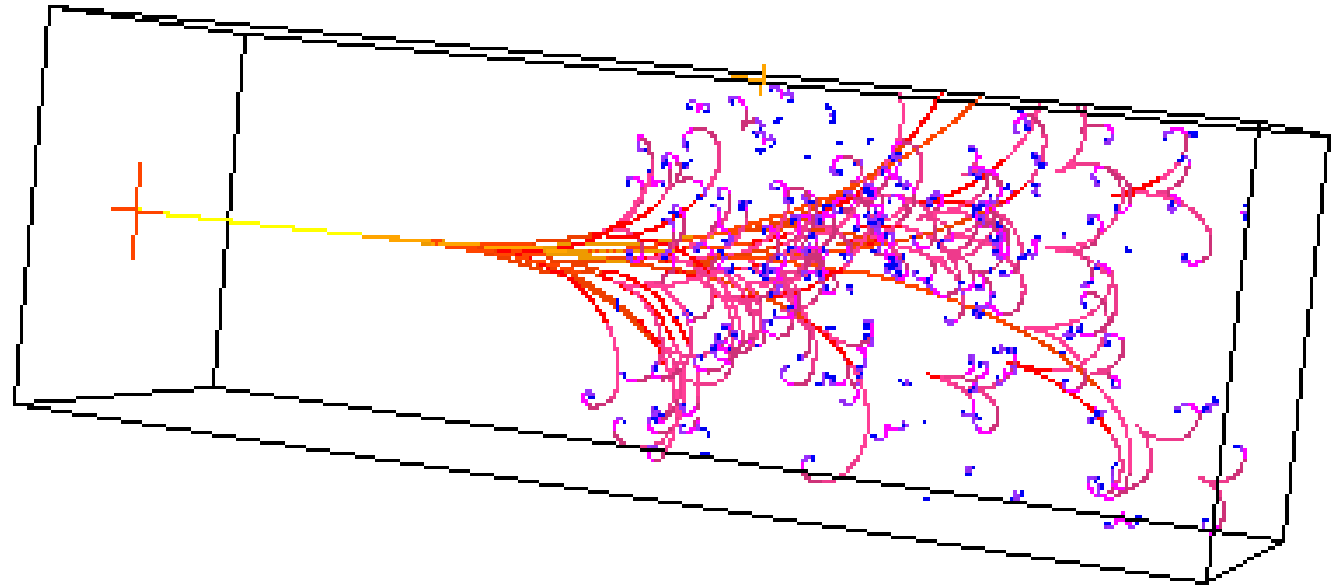
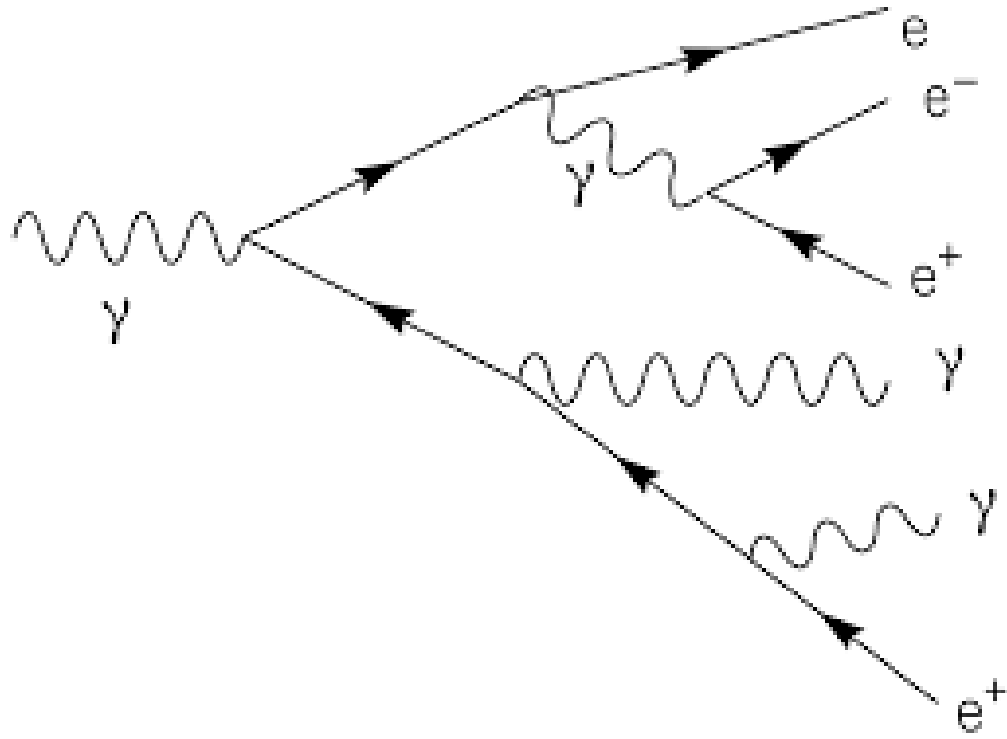
Come vediamo i raggi gamma?



- ❖ Per studiare una particella è necessario sapere come essa **interagisce con la materia**
- ❖ Esempio: la luce visibile si riflette, rifrange, diffonde...
- ❖ I raggi gamma con un'energia alla scala del GeV interagiscono per **produzione di coppia elettrone-positrone ($e^+ - e^-$)**

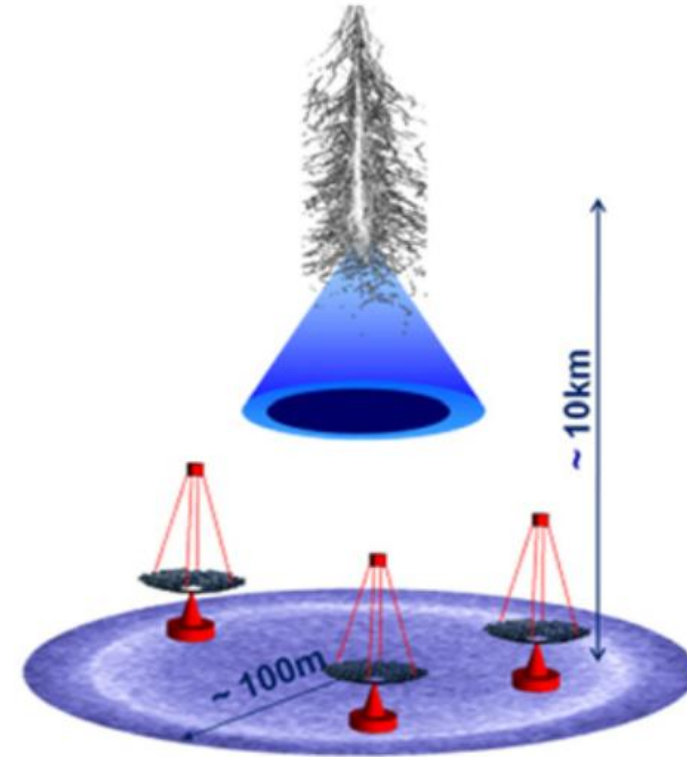
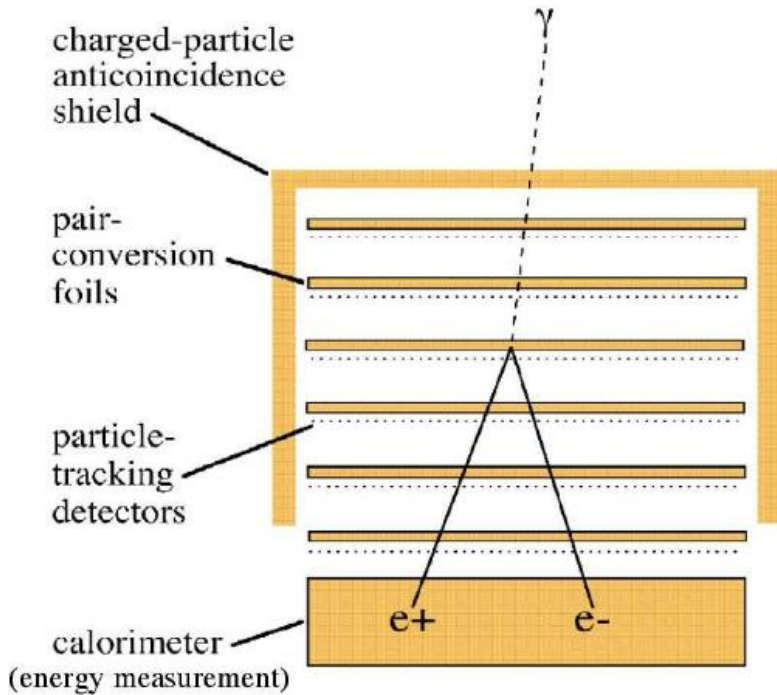


Come vediamo i raggi gamma?



- ❖ Elettroni e positroni interagiscono con la materia **emettendo** raggi gamma a loro volta (che produrranno coppie e^\pm ...)
- ❖ Si forma quindi una catena di processi detta **sciame elettromagnetico!**

Come vediamo i raggi gamma?

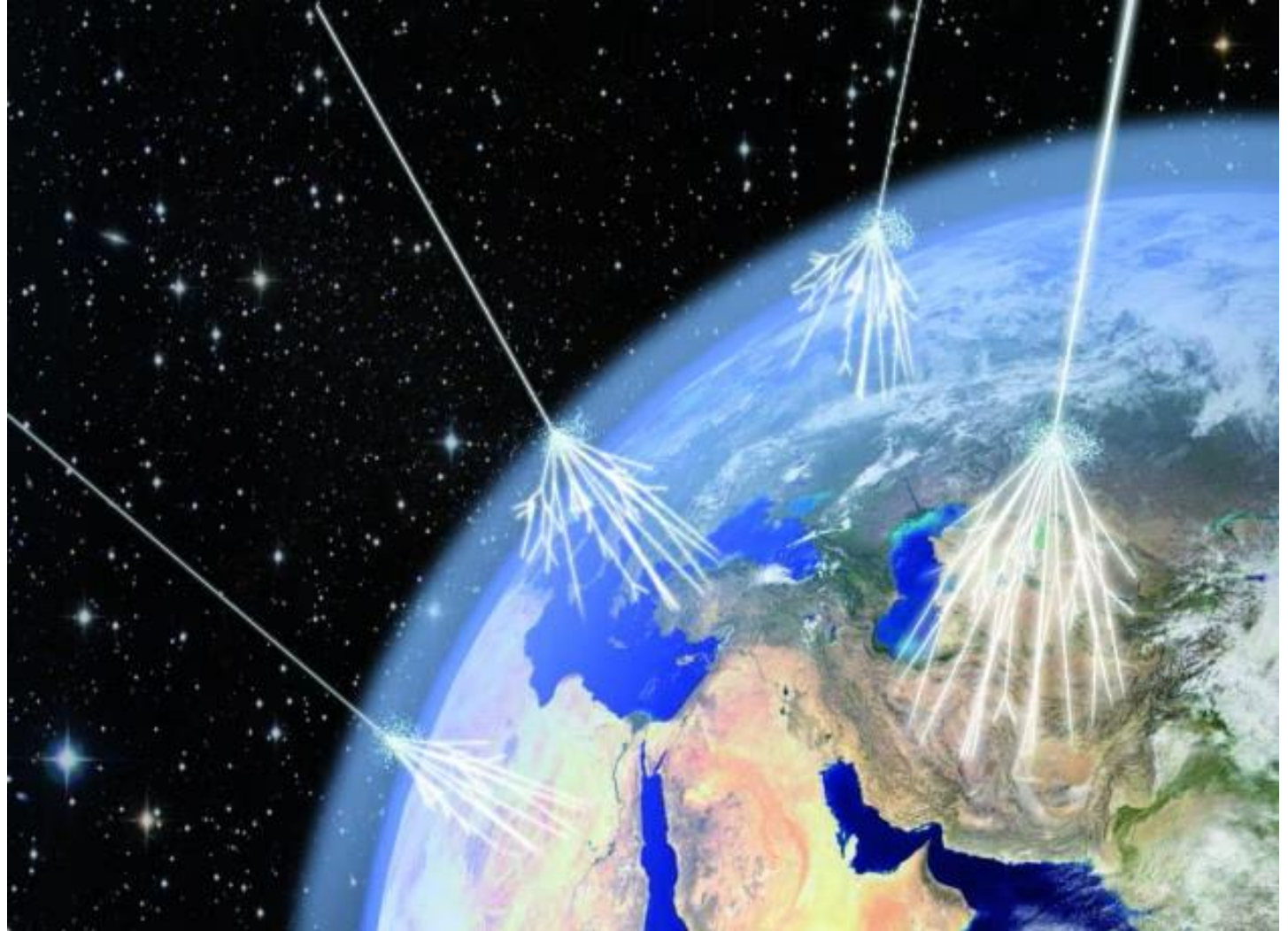


- ❖ Energia più alta \rightarrow più interazioni \rightarrow più particelle prodotte \rightarrow **maggior estensione longitudinale e trasversale**
- ❖ Se lo sciame può essere contenuto in $\sim 1\text{ m}^3$ il rivelatore può stare in un **satellite**, **altrimenti a terra...**

Cosa non vogliamo vedere



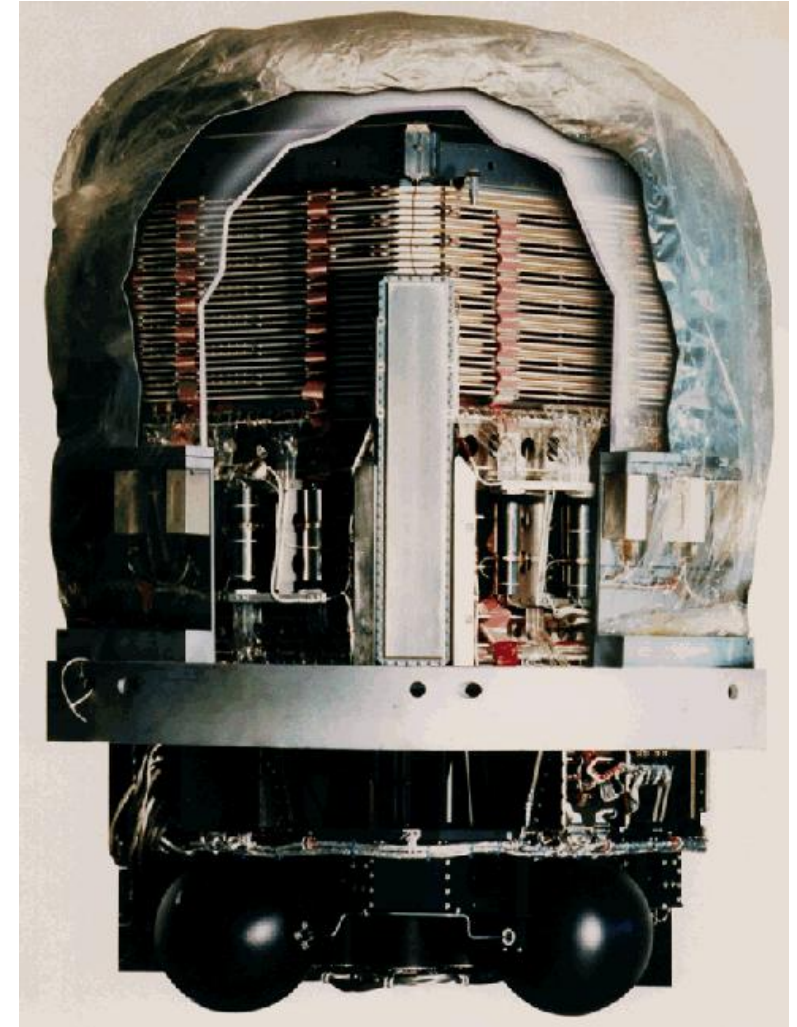
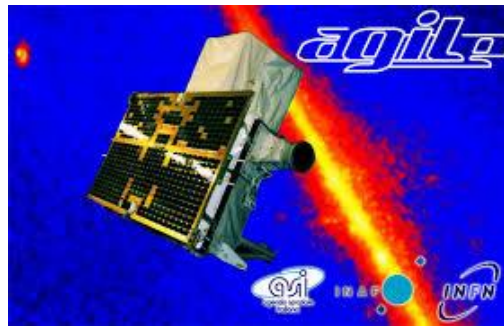
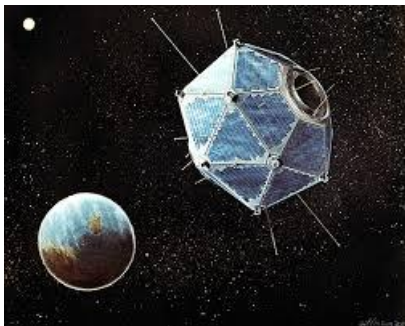
- ❖ I **raggi cosmici** sono particelle cariche (perlopiù protoni e nuclei di elio)
- ❖ Sono **emessi dal Sole** e da altri corpi celesti, anche esterni alla Via Lattea
- ❖ In alta atmosfera il loro flusso è $\sim 10^3 / sr m^2 s$
- ❖ Per noi sono un **background irriducibile**





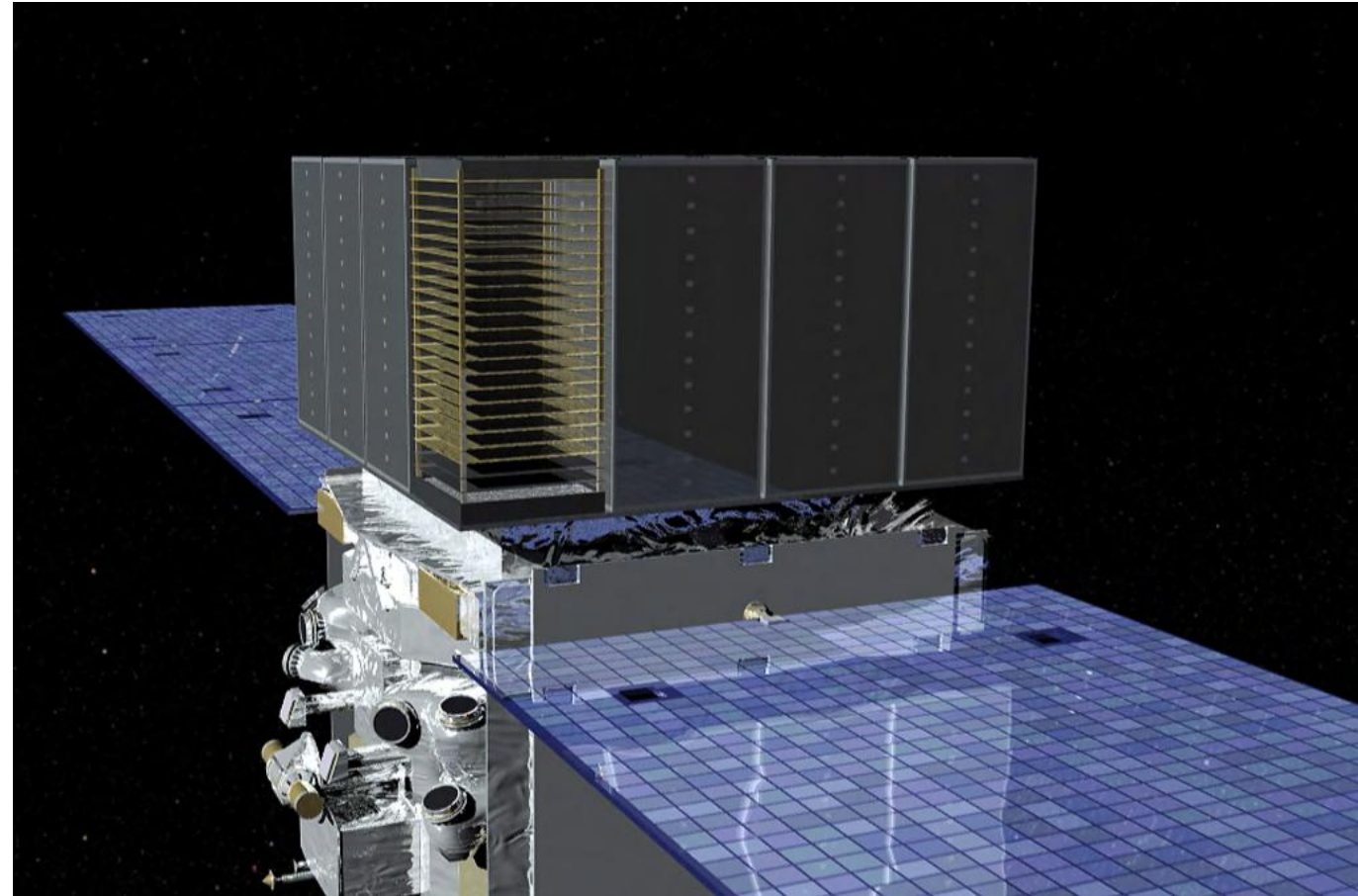
Precursori di Fermi / **GLAST**:

- ❖ Anni 1960: satelliti Vela → scoprono i Gamma-Ray Burst
- ❖ 1967-1982: OSO-3 → emissione gamma dalla Via Lattea
- ❖ 1975-1982: Cos-B → prima mappa galattica (24 sorgenti)
- ❖ 1991-2000: **EGRET** → primo “all-sky surveyer”
- ❖ 2007-2024: **AGILE** → variabilità della Nebulosa del Granchio, flash di raggi gamma dall’atmosfera...





- ❖ Missione in orbita dal 2008 a ~ 565 km di altitudine
- ❖ Collaborazione di Stati Uniti (NASA & DOE) e istituzioni da Francia, **Italia**, Giappone e Svezia
- ❖ Due strumenti principali:
 - ❖ **Large Area Telescope (LAT):**
vede raggi gamma da 30 MeV a 2 TeV
 - ❖ **Gamma-ray Burst Monitor (GBM):**
vede da 10 keV a 25 MeV
- ❖ Ancora in orbita senza quasi nessun problema! (o quasi...)





Dati aggiornati al 06/02/2026:

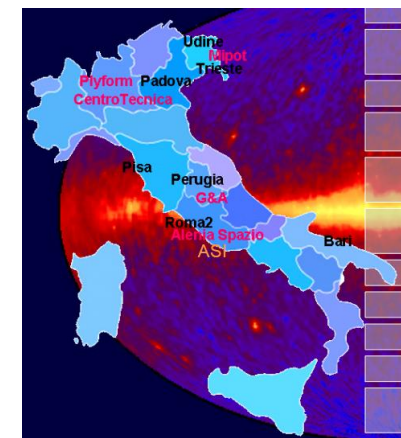
- ❖ 97,000+ orbite dal lancio (1 orbita / ~ 96 minuti)
- ❖ 6,419 giornate di presa dati (dal 04/08/2008)
- ❖ **Duty cycle: 98.8%** del tempo speso in acquisizione dati (nota: il 13.8% del **tempo orbitale** è perso a causa dell'Anomalia Sud-Atlantica)
- ❖ **Campo di vista:** 20% del cielo ad ogni istante
- ❖ **1050 miliardi di eventi acquisiti** (di cui 210.9 miliardi scaricati a terra) e 5.06 miliardi resi pubblici online



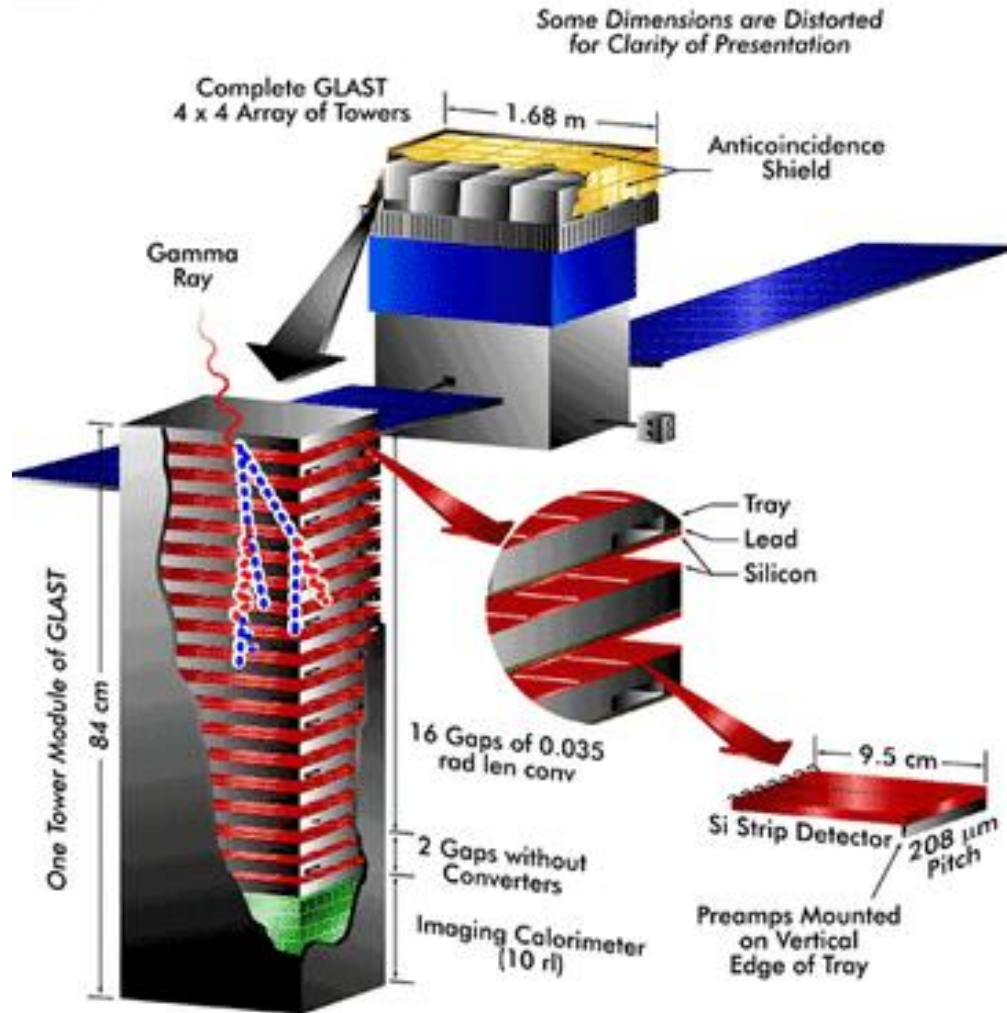
Una sfida tecnologica...



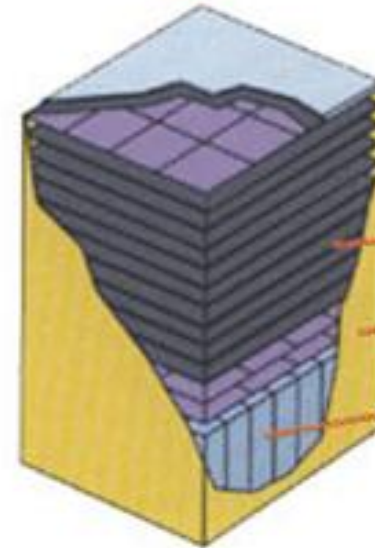
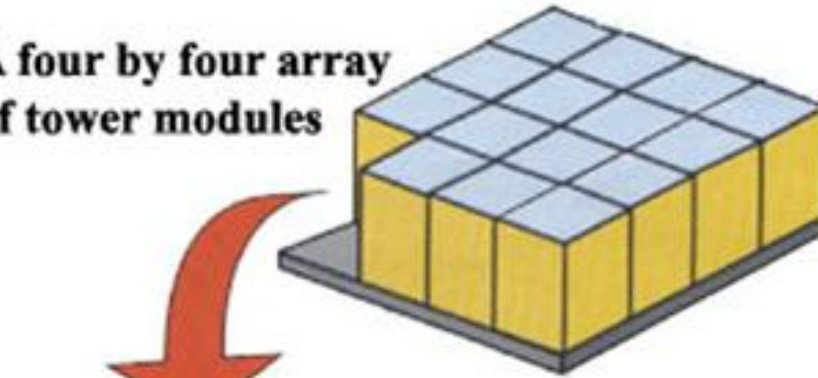
- ❖ Costo totale: > 700 milioni di \$ (perlopiù USA)
- ❖ Peso: ~ 3000 kg
- ❖ **Area efficace**: ~ $1 m^2$ ($\rightarrow 80 m^2$ di silicio!)
- ❖ **Potenza consumata**: ~ 650 W (meno della metà di un asciugacapelli standard!)
- ❖ **Nessun consumabile** a bordo: si stima possa rimanere in orbita ancora 15 anni!
- ❖ **Grosso contributo italiano** nella costruzione del tracciatore, nelle simulazioni e nell'analisi



Il design di Fermi-LAT



A four by four array of tower modules



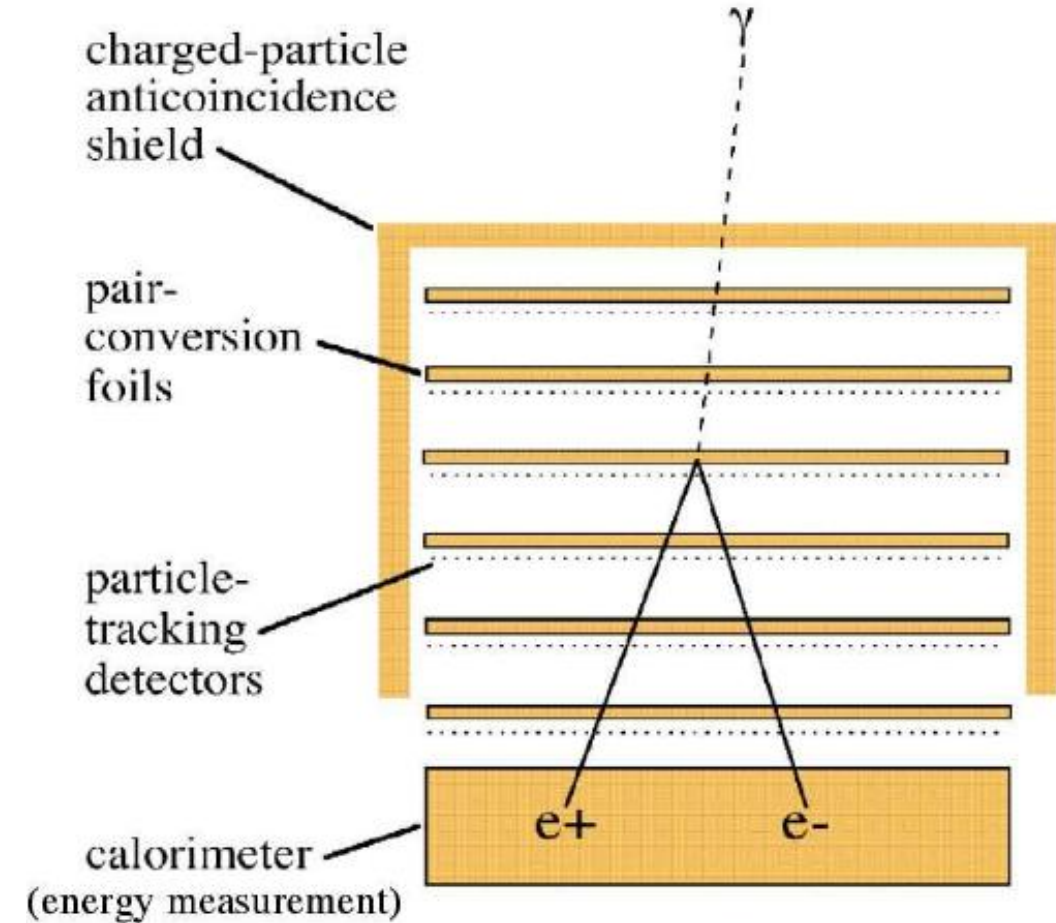
A GLAST tower module:

- converter/tracker layers (SSD)
- anticoincidence shield
- cesium-iodide calorimeter

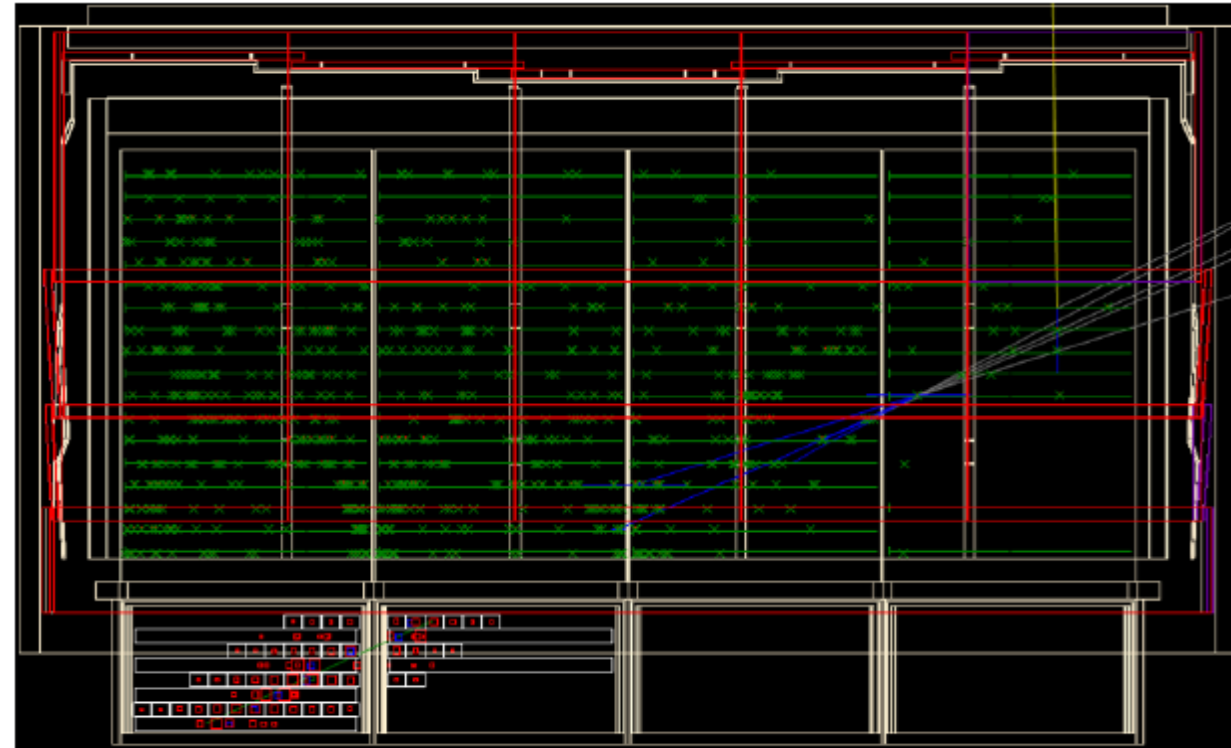
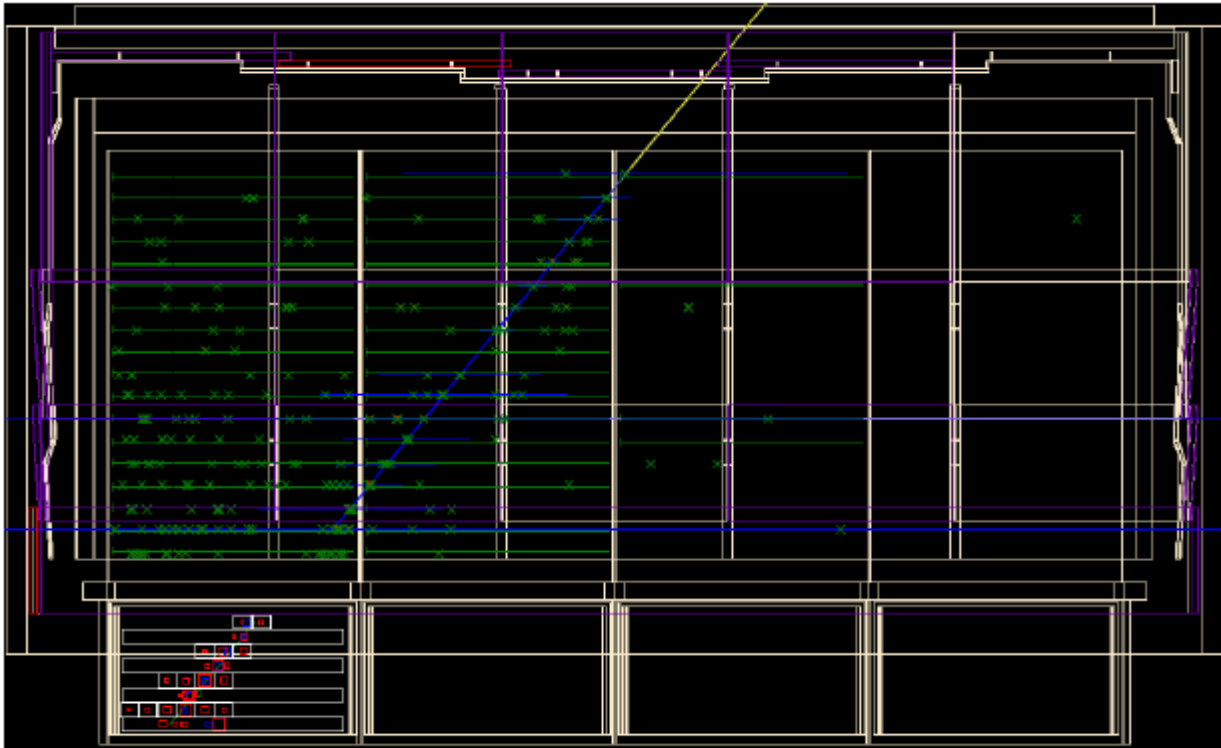


❖ Ogni torre ha tre componenti essenziali:

- ❖ **Anti-coincidenza** (ACD): scintillatore plastico, rigetta i segnali prodotti dai raggi cosmici (10^6 / fotone!)
- ❖ **Tracciatore** (TKR) a microstrip di silicio: ricostruisce la direzione di incidenza dei fotoni
- ❖ **Calorimetro** (CAL) a ioduro di cesio: misura l'energia dei fotoni



Quali eventi sono *interessanti*?



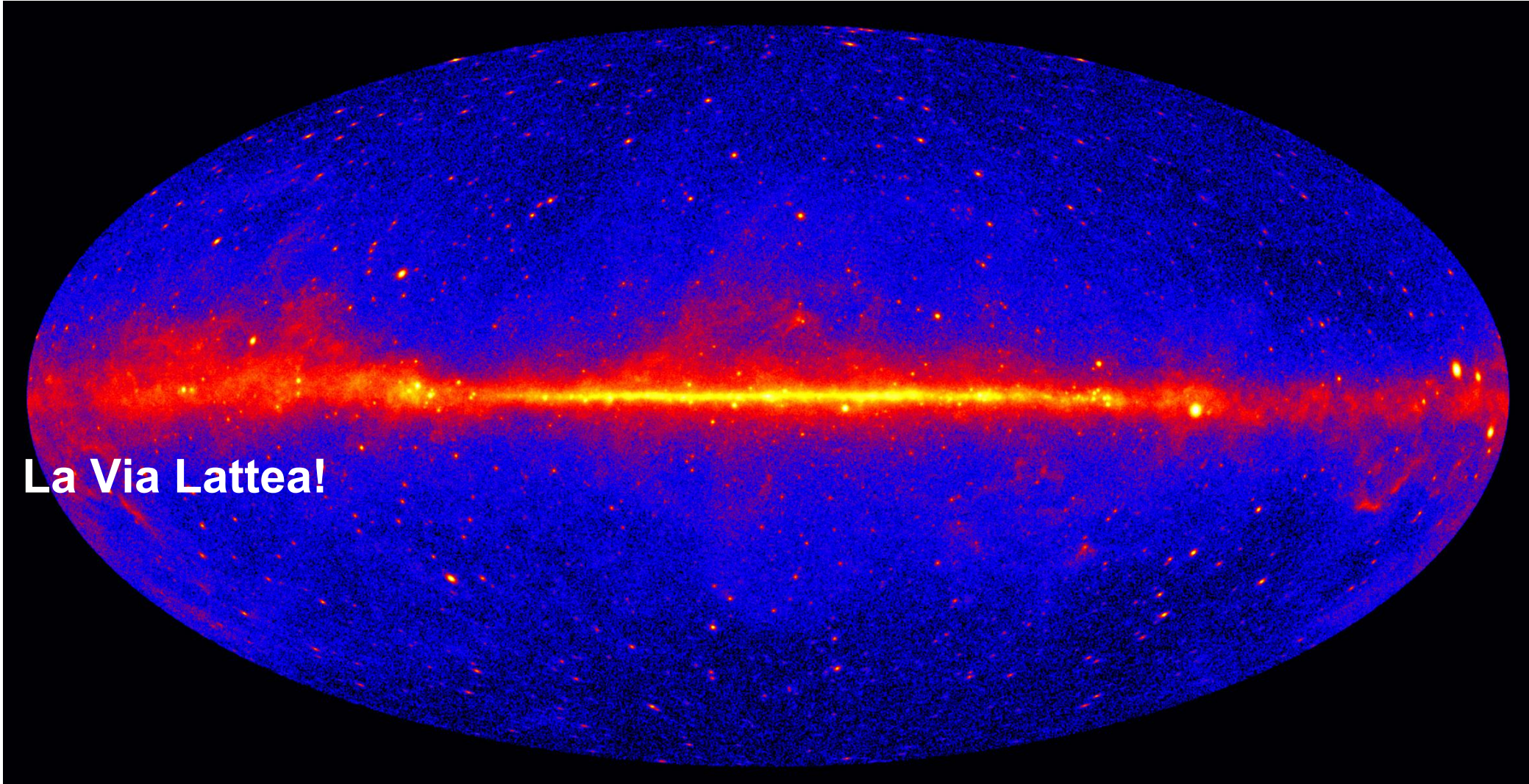
- ❖ Distinguere i fotoni (sinistra) dai raggi cosmici (destra) è **complesso**: serve combinare **informazioni da tutti i rivelatori** (ACD, TKR, CAL) per farlo!
- ❖ Fotoni: no segnale in ACD + due tracce pulite in TKR + sciame compatto in CAL



- ❖ I dati di Fermi sono resi **pubblici** poche ore dopo la loro acquisizione: **chiunque può guardarli**, da altre collaborazioni scientifiche... a voi!
- ❖ Due tipi di file dati: **Photons & Spacecraft**
- ❖ La NASA e la collaborazione Fermi distribuiscono un **software open-source** per analizzare i dati del LAT: i **fermitools**

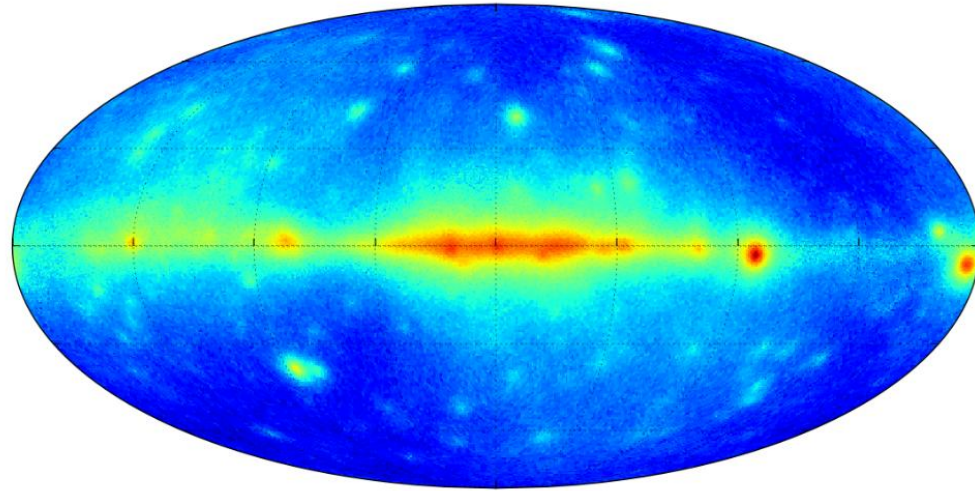


Da un singolo fotone al cielo...

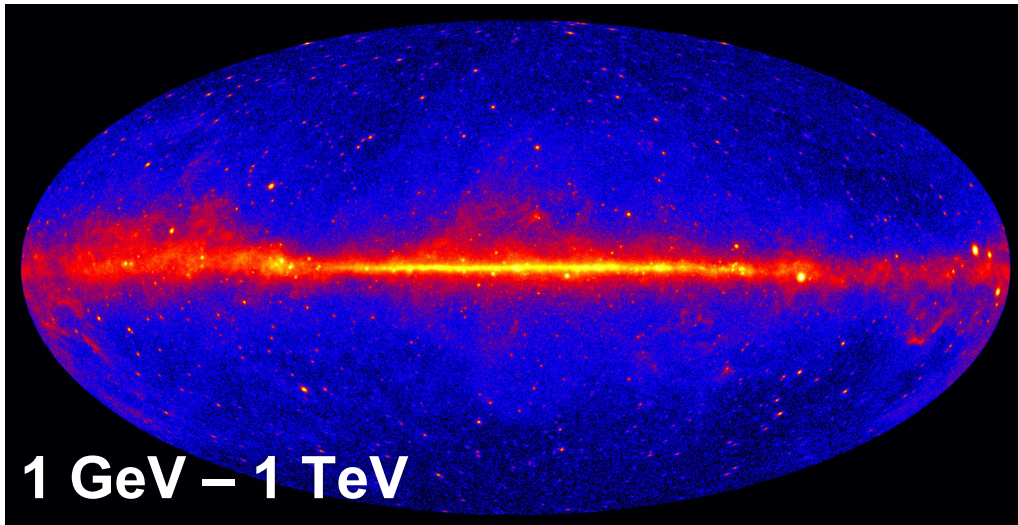


La Via Lattea!

Diversi modi per vedere lo stesso cielo...

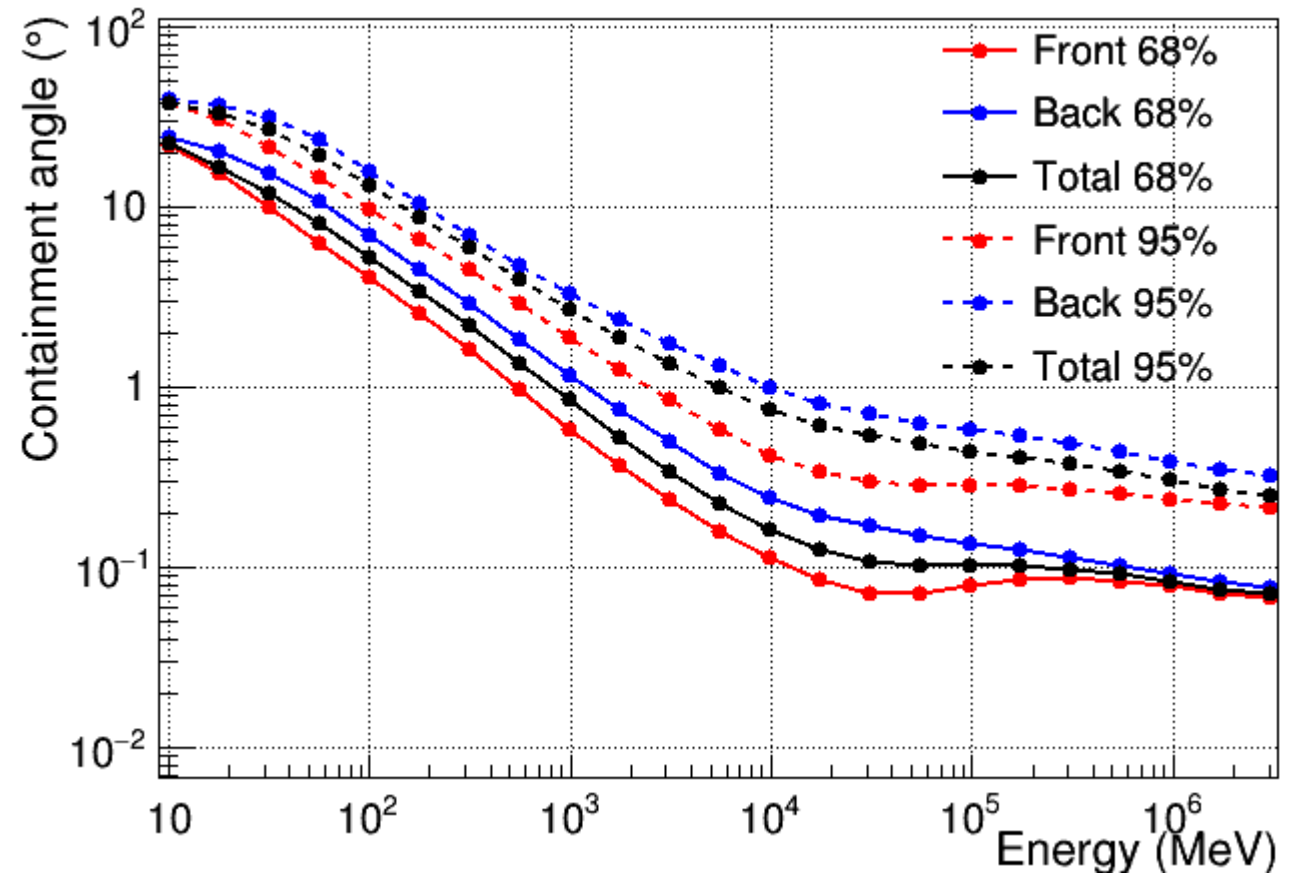


30 – 100 MeV

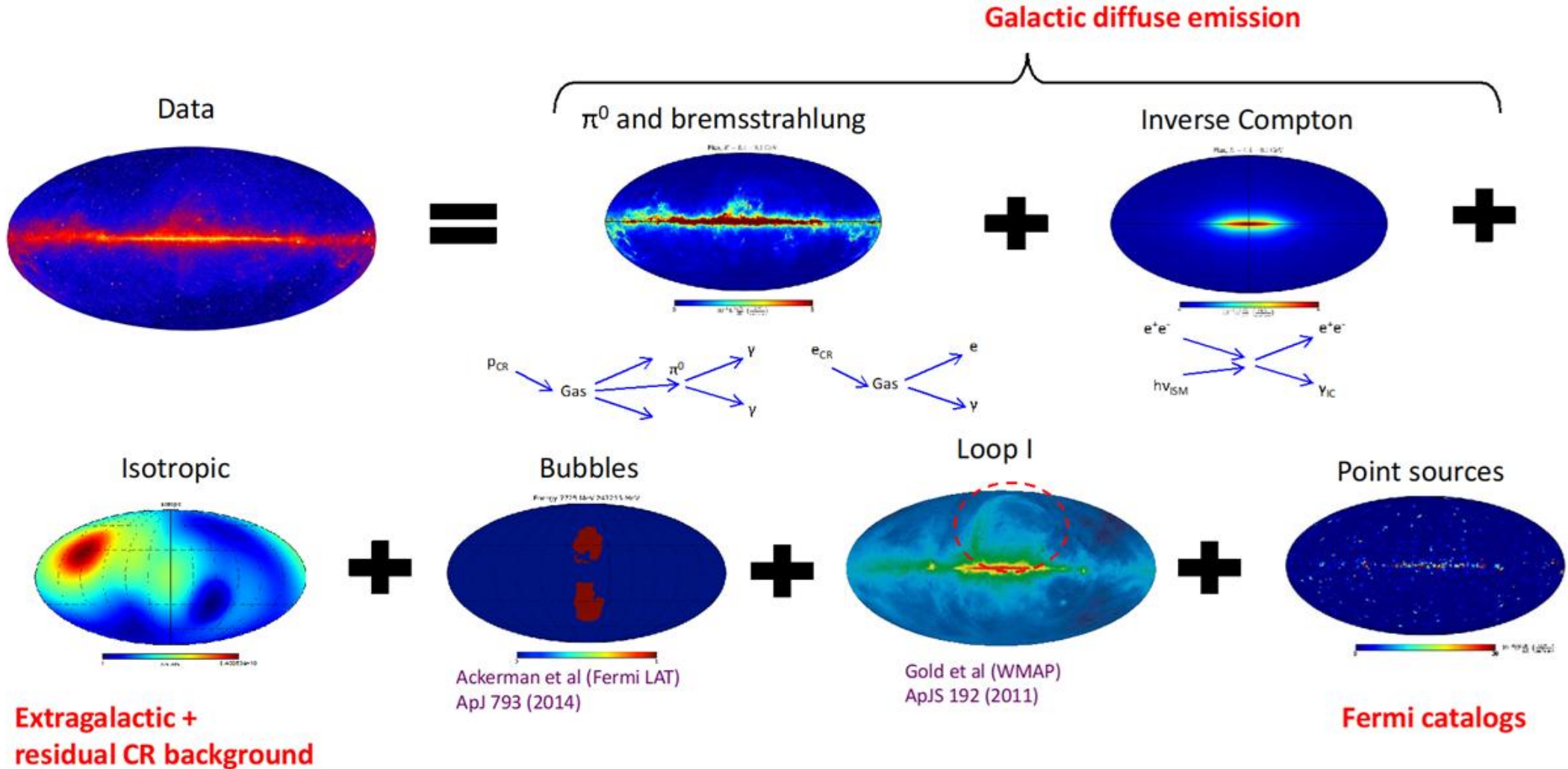


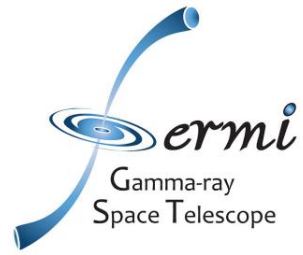
1 GeV – 1 TeV

P8R3_SOURCE_V2 acc. weighted PSF



Dal cielo ai singoli corpi celesti





Fermi
Gamma-ray Space Telescope

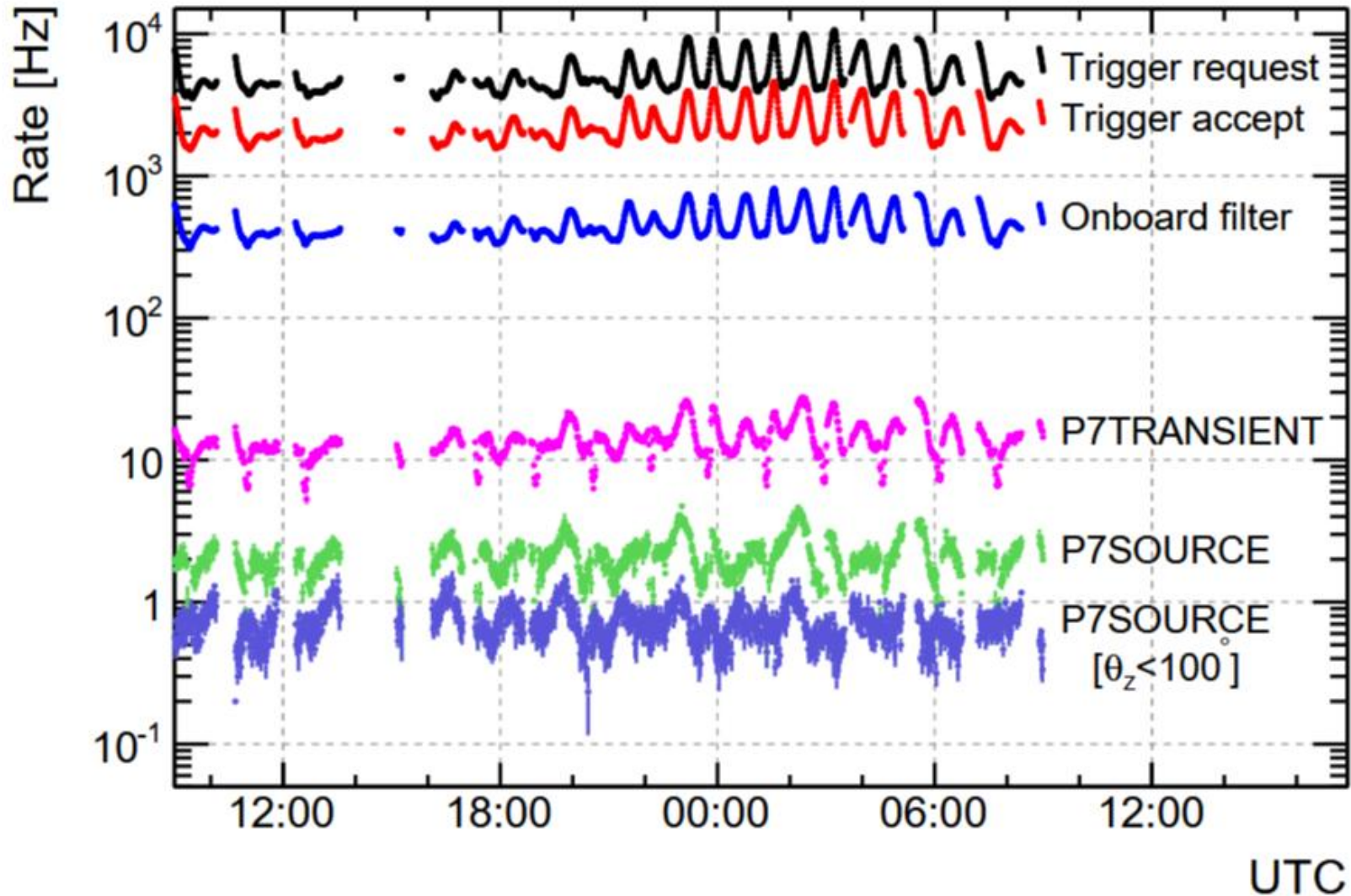
Ora vediamo... la scienza di Fermi!

Grazie dell'attenzione!

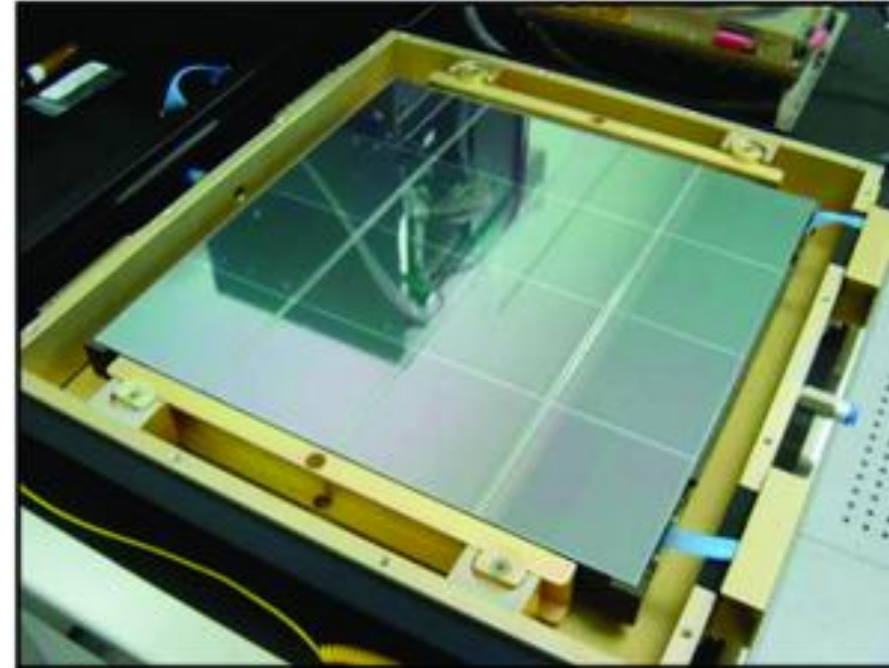
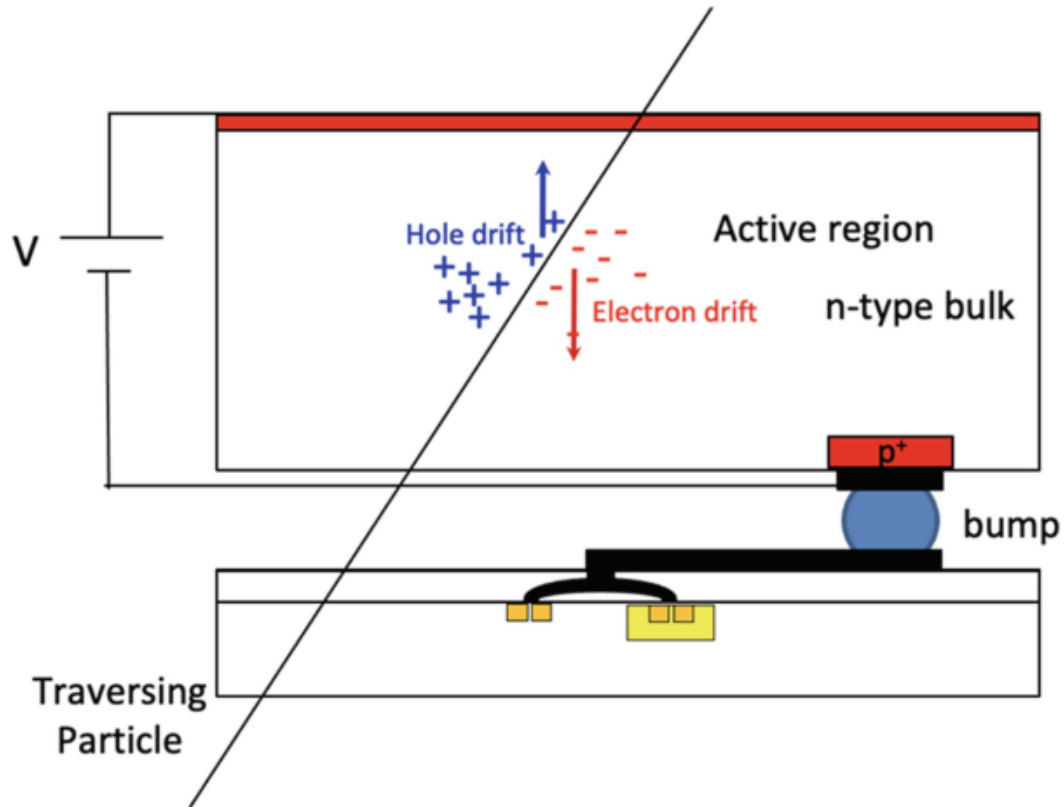
Per qualsiasi curiosità potete scrivermi a:

pietro.monti-guarnieri@phd.units.it

La riduzione del background

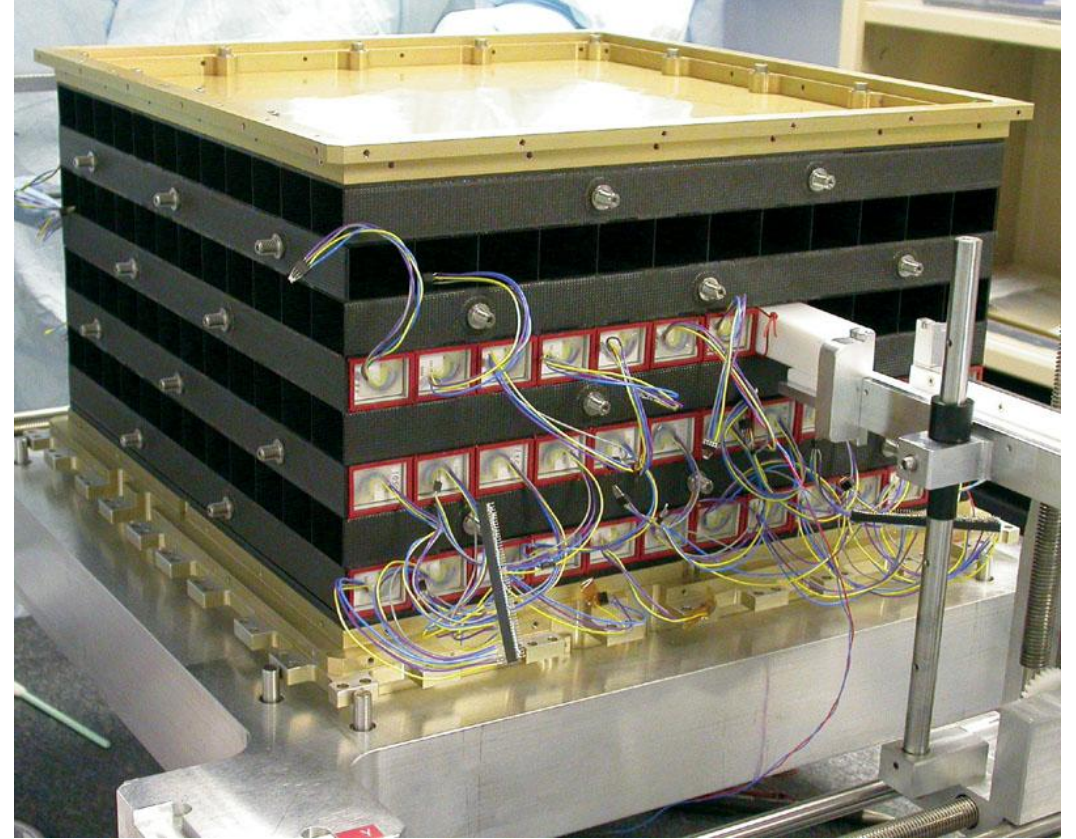
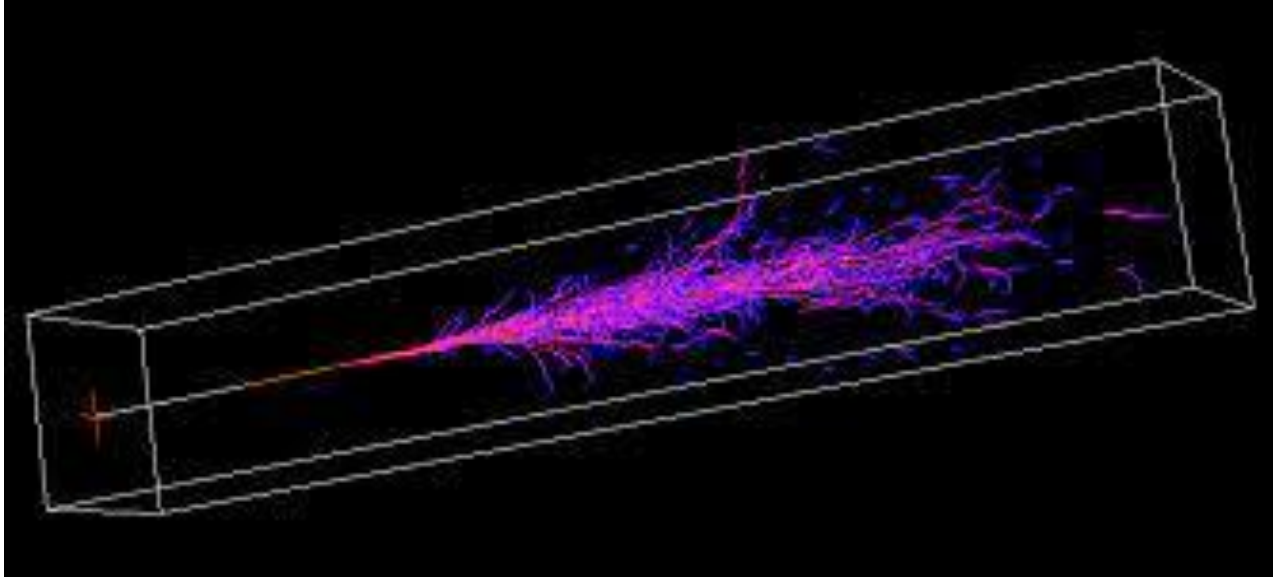


Il tracciatore di Fermi-LAT



- ❖ Tracciatore: alternanza di 16 piani di tungsteno (conversione dei fotoni) e 18 rivelatori a microstrip di silicio in configurazione x-y (tracciamento di e^{\pm})

Il calorimetro di Fermi-LAT



- ❖ Calorimetro: 8 strati di 12 barre di CsI (configurazione x-y), di spessore tale da assorbire (quasi) completamente l'energia dei fotoni incidenti