

**Riccardo Rando**

# Il Fermi Large Area Telescope

rivelatore per  
l'astrofisica gamma

- 
- **La scienza e le motivazioni**
  - **Il LAT, le scelte tecniche e la costruzione**
  - **Il funzionamento**
  - **La presa dati**
  - **L'analisi dei dati**

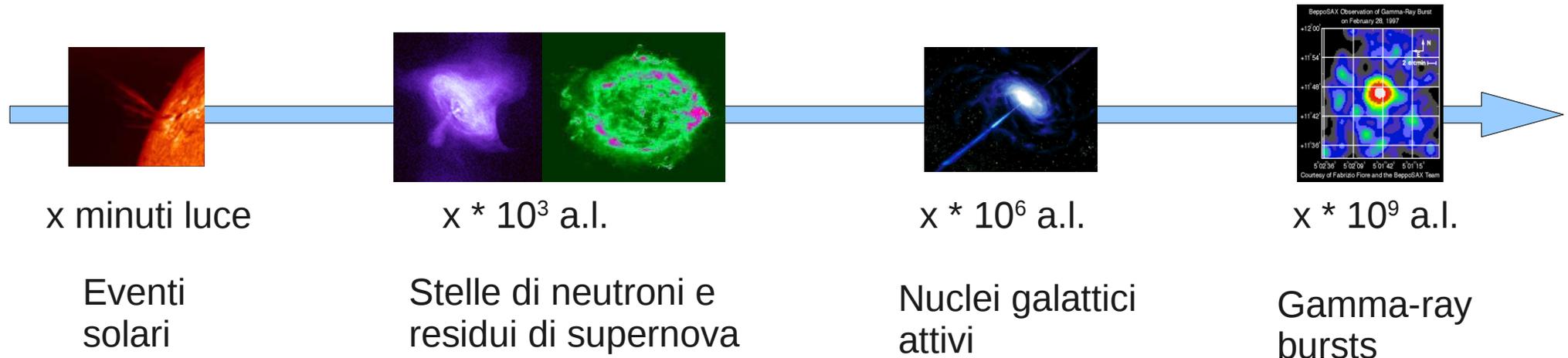
## Il caso scientifico

L'indagine scientifica del 20mo secolo ha portato ad una nuova visione del cosmo, caratterizzato da sorgenti di elevatissima potenza variabili su scale temporali brevissime (giorni, ore...)

Necessità di esplorare gli eventi più altamente energetici conosciuti in natura.

Si conosce tutta una serie di sorgenti, sia locali (da solari a galattiche) che remote (extragalattiche)

Distanze:

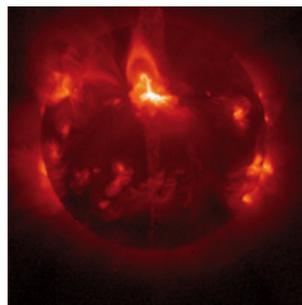


I raggi gamma, non risentendo del campo magnetico (ex: galattico) e non venendo riprocessati dal materiale intermedio ci portano informazioni dirette dei fenomeni fisici a distanze remote

## Obbiettivi

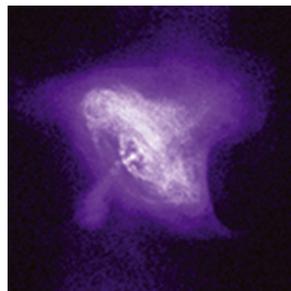
---

Fenomeni solari



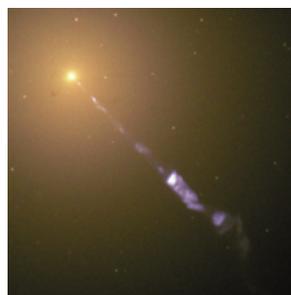
Esplosioni delle superficie solare producono raggi gamma e accelerano particelle verso la terra. Le perturbazioni magnetiche producono radiazione energetica.

Pulsar



Stelle di neutroni di raggio  $\sim 10$ km e massa  $\sim 1$  massa solare ruotano molte volte al secondo. I forti campi magnetici corotanti estraggono particelle cariche e producono radiazione.

AGN

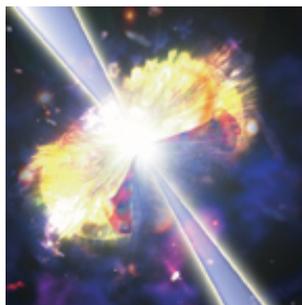


Si ritiene che in prossimità di buchi neri supermassivi al centro di galassie attive l'energia gravitazionale venga convertita in energia della radiazione tramite la formazione di getti di materia in moto relativistico verso di noi. A ciò si accompagna una intensa emissione gamma.

## Obbiettivi 2

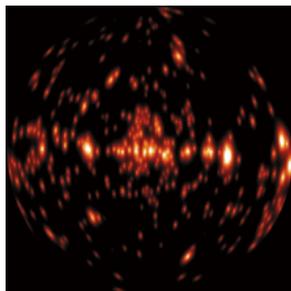
---

GRB



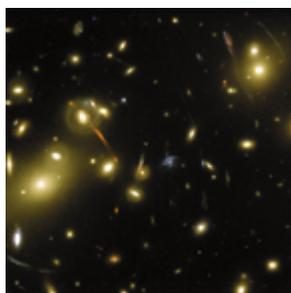
Tra i fenomeni più luminosi dell'universo, sono associati a fusioni tra stelle di neutroni e esplosioni di supernova di stelle massicce. Localizzati in galassie antichissime, sono eventi ad emissione fortemente collimata. Circa 1 al giorno.

Sorgenti sconosciute



Solo tra le 271 sorgenti gamma osservate dal predecessore EGRET, ben 172 sono non identificate. Oltre a sorgenti di classi già note, potrebbero esservi classi di emettitori gamma ancora sconosciute.

Cosmologia



Il 90% della materia che compone l'Universo è oscura, ovvero non emette a nessuna lunghezza d'onda. La teoria prevede che alcuni tra i più popolari candidati per i componenti della MO possano annichilare producendo fotoni gamma.

## Metodi di produzione

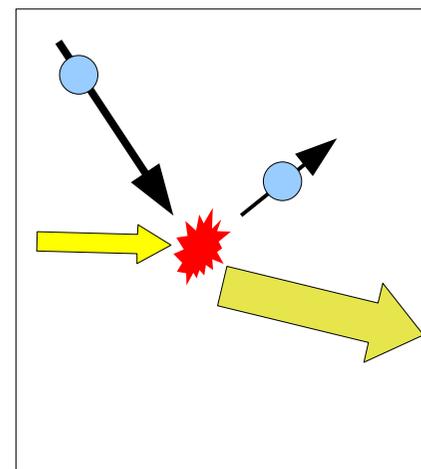
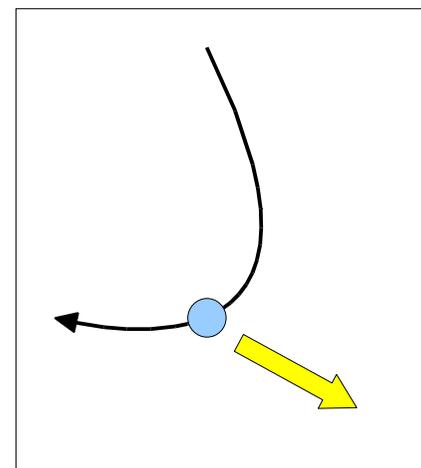
Un qualche motore centrale del fenomeno fisico mette a disposizione grandi quantità di energia (il *come* dipende dall'oggetto)  
Questa energia viene trasferita alla radiazione elettromagnetica essenzialmente tramite due processi ben noti

**Sincrotrone:** particelle cariche energetiche (elettroni) si muovono in una zona dove è presente un campo magnetico  
Le particelle curvano per effetto del campo e la loro accelerazione causa l'emissione di onde EM: produco fotoni

**Compton inverso:** particelle di elevata energia interagiscono con fotoni di bassa energia cedendo loro parte della propria: i fotoni vengono spinti fino ad energie elevatissime

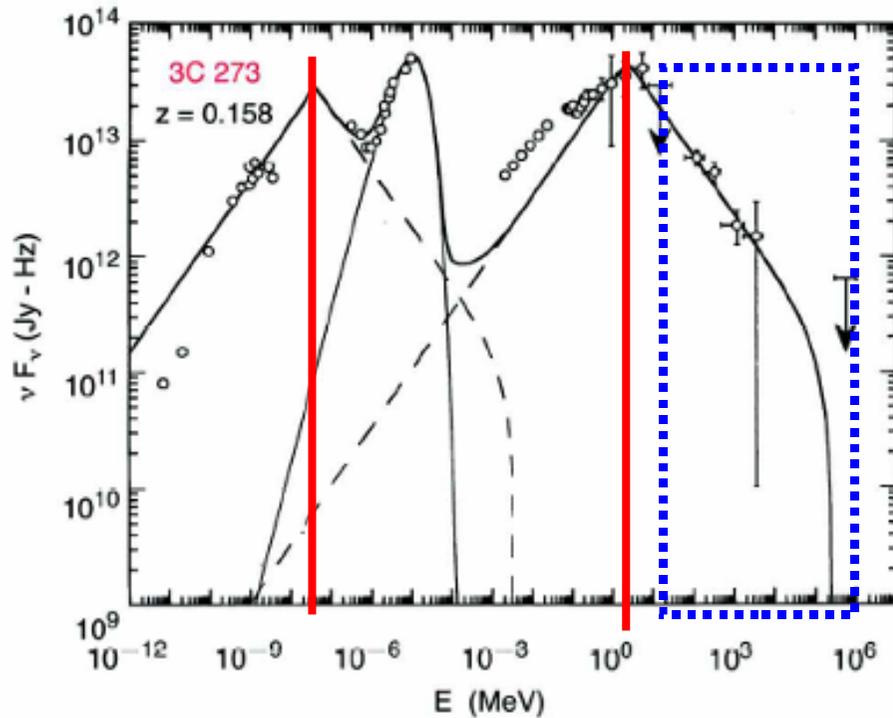
Altri meccanismi sono possibili:  
radiazione di curvatura  
cascate adroniche  
bremsstrahlung  
annichilazione DM

Combinando le osservazioni gamma (C.I.) con quelle a minore energia (SI) posso ricavare informazioni sulle popolazioni di particelle accelerate e sui campi magnetici



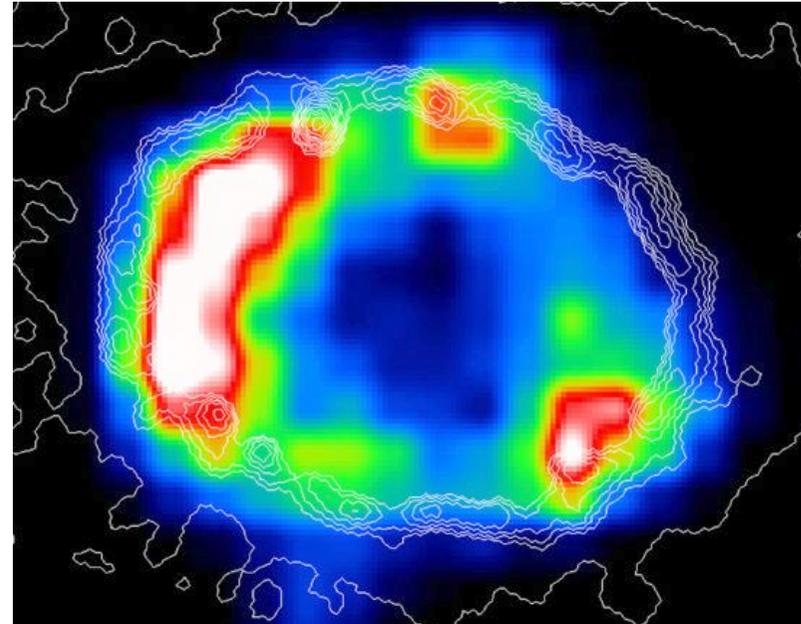
# Esempi

## Particelle accelerate negli AGN



$E_{\text{syn}} \sim 10^{-3} \text{ eV}$ ,  $E_{\text{IC}} \sim \text{MeV} \Rightarrow$   
elettroni:  $E_e \sim 5 \text{ GeV}$   
Fotoni fino a 10-100 GeV  $\rightarrow$  Elettroni  
accelerati fino a 10 TeV ( $B \sim 1 \text{ G}$ )

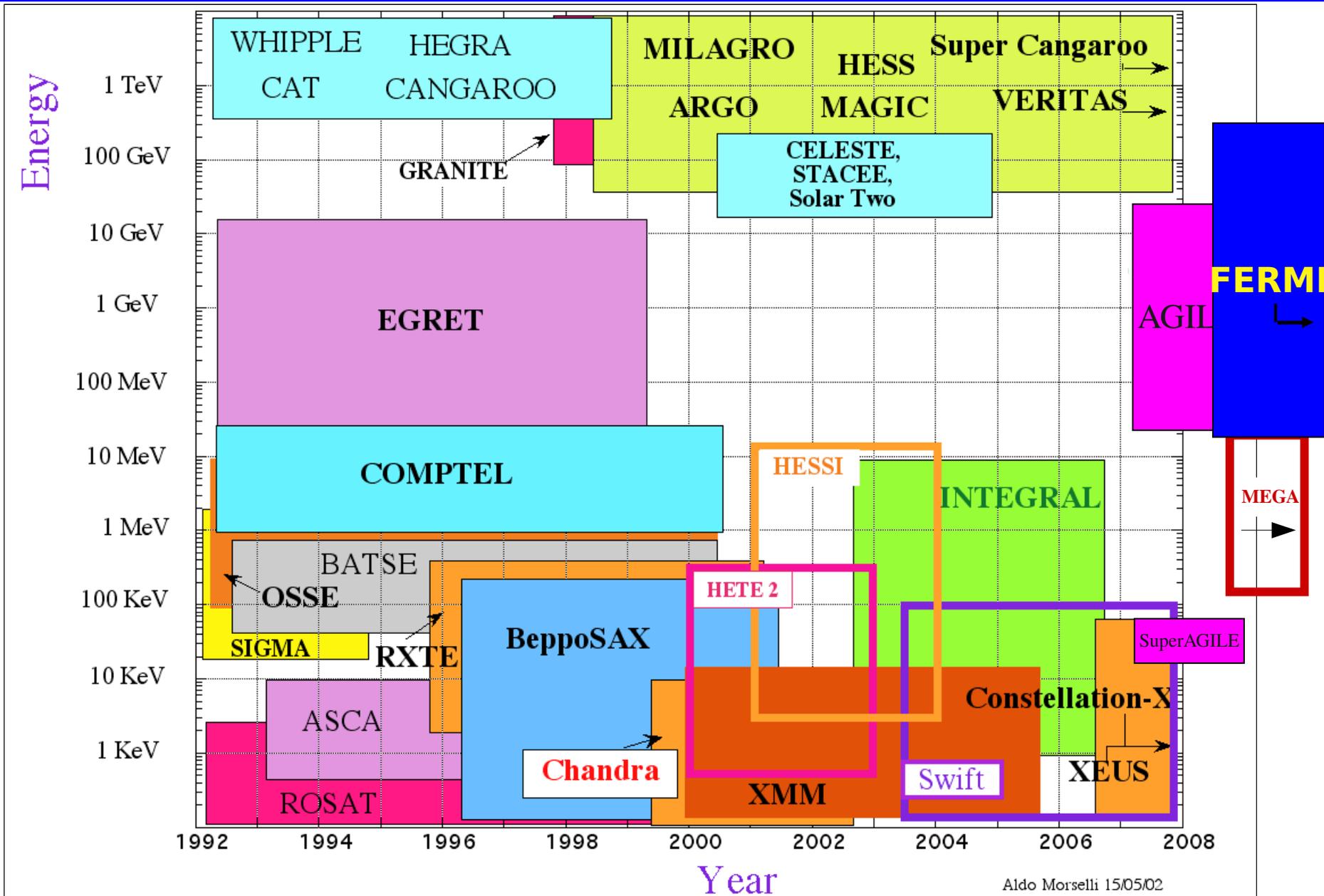
## Particelle accelerate nei SRN



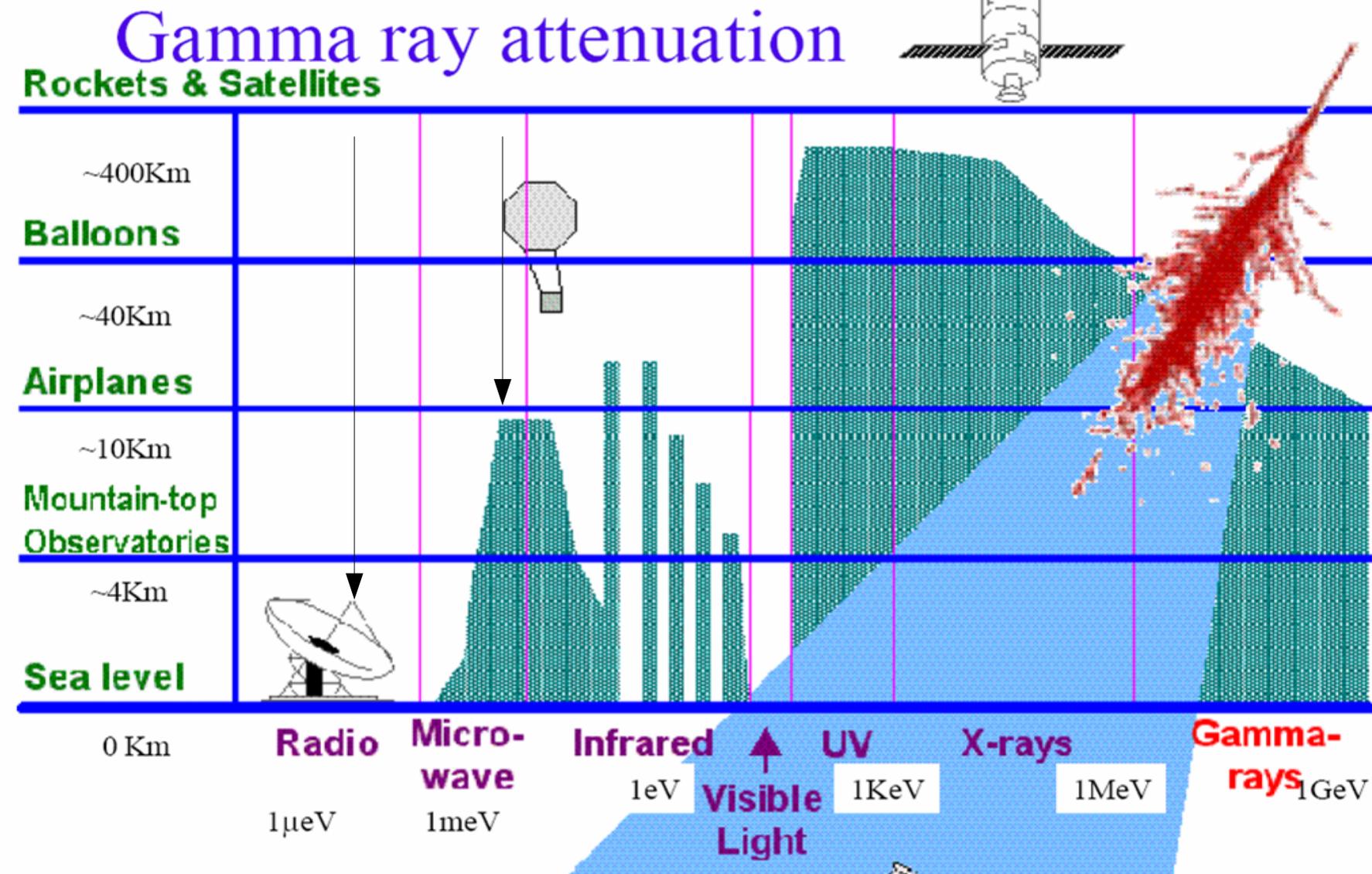
X-Ray Ring Around SN1987A

Emissione x: sincrotrone  
Osservazioni radio:  
misura del campo magnetico  
 $B: 0.001 - 0.01 \text{ G}$   
 $\Rightarrow$  Elettroni fino a 100 TeV !

# Altri esperimenti



# Astronomia gamma su satellite

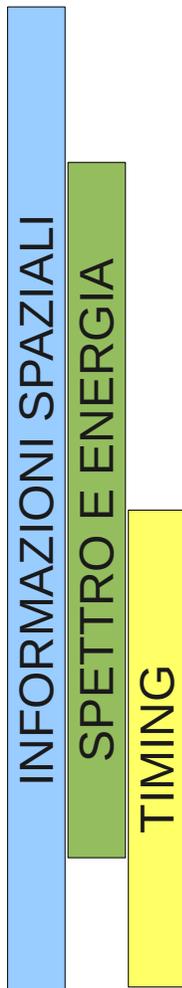


Aldo Morselli INFN, Sezione di Roma 2 & Università di Roma Tor Vergata

# Guida al design

## Fisica

- ◆ mappa del cielo gamma
- ◆ risolvere il fondo in sorgenti puntiformi
- ◆ studio delle sorgenti non identificate
  
- ◆ SNR e luoghi di accelerazione dei raggi cosmici
- ◆ ricerca di materia oscura
- ◆ fisica dei nuclei galattici attivi
  
- ◆ pulsar gamma
- ◆ transienti e flares
- ◆ gamma ray bursts
- ◆ campagne mw sulla variabilità



## Requisiti

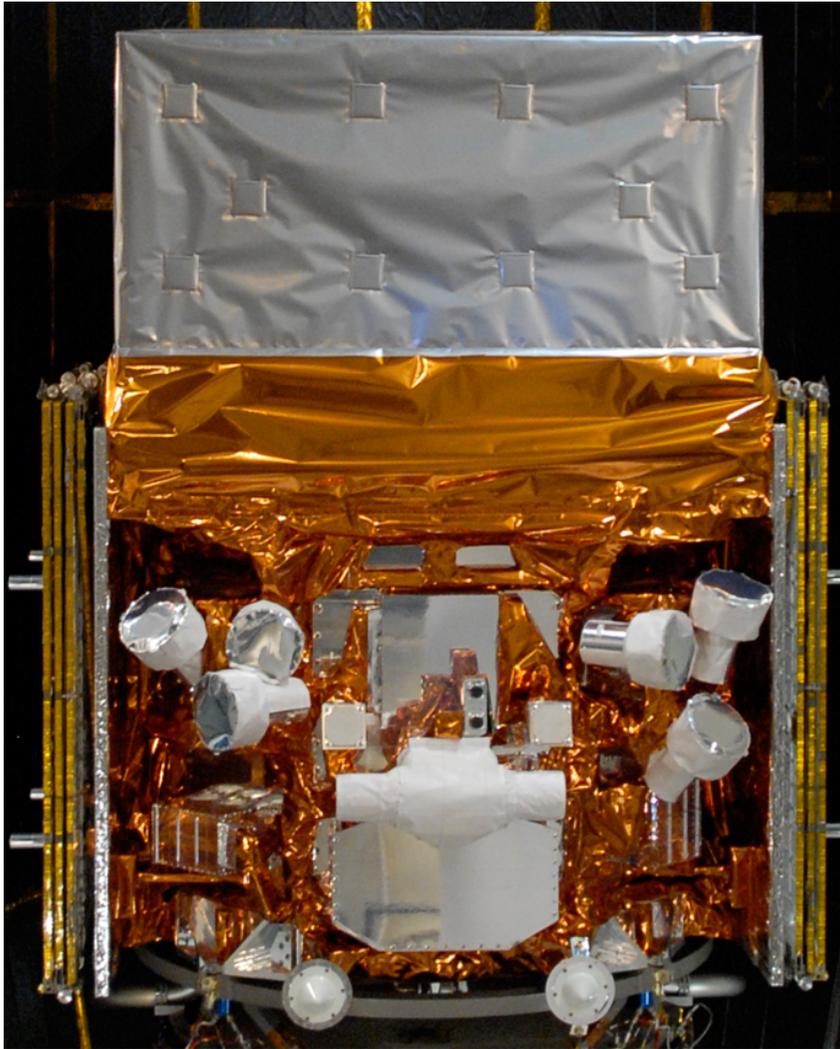
- ◆ efficienza
- ◆ accettazione
- ◆ risol. spaziale
- ◆ sensibilità
- ◆ precisione di puntamento
  
- ◆ risol. energetica
- ◆ lunghe osservazioni
  
- ◆ individuazioni veloci
- ◆ bassi tempi morti
- ◆ allerta rapidi

## Design e tecnologie

- ◆ profilo schiacciato
- ◆ ampia area
- ◆ tracciamento di precisione
- ◆ calorimetro *imaging*
- ◆ no TOF
- ◆ detector a stato solido
- ◆ no *consumables*
- ◆ no danno da radiazione

# Fermi

---



## **Large Area Telescope (LAT)**

Telescopio a conversione di coppia  
Tracciatore-convertitore + calorimetro  
Schermo anticoincidenza  
Regime energetico: 20 MeV – 300 GeV

## **Gamma-ray Burst Monitor (GBM)**

Insieme di 12 scintillatori, NaI+BGO  
Monitoraggio di tutto il cielo (non occultato dalla terra)  
Regime energetico: 10 keV – 25 MeV

# Large Area Telescope

**Tracciatore al silicio (TKR)**  
Misura la direzione del fotone



**Anticoincidenza Segmentata (ACD)**  
Rimuove il fondo di particelle cariche  
Riduce il self-veto alle alte energie



**HEP and astrophysics partnership**

USA: US Dept. Of Energy, SU-SLAC, NASA GSFC, NRL

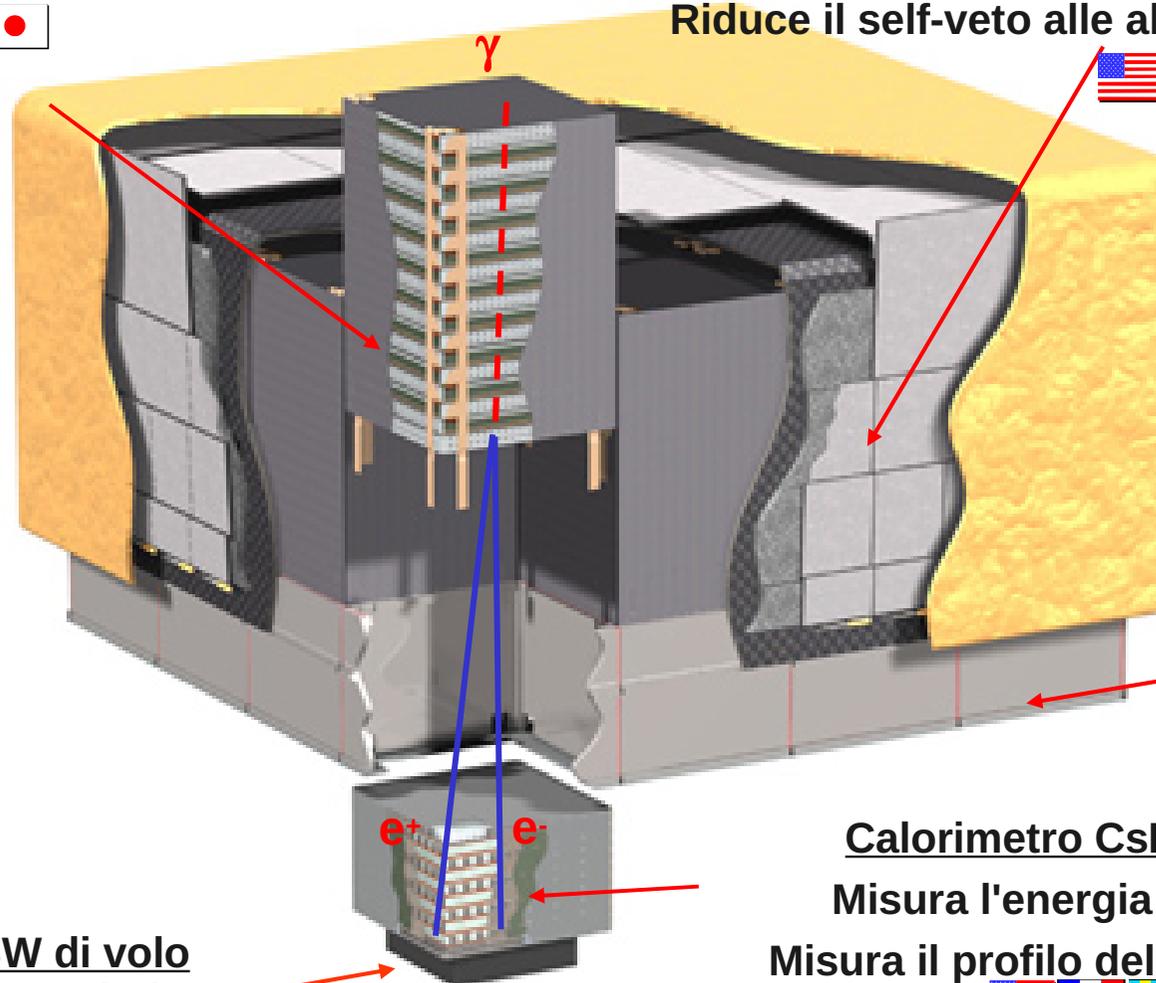
Italy: INFN, ASI, Inst. CR Res (IFC)

Japan: Univ. Tokyo, Univ. Hiroshima, Inst. Space Science, Inst. CR Res. (ICCR)

France: CEA, CNES, IN2P3

Sweden: Royal Inst. Tech., Univ. Stockolm

**LAT:**  
modulare, 4 x 4  
3000 kg, 650 W



**GRID**  
"Spina dorsale"



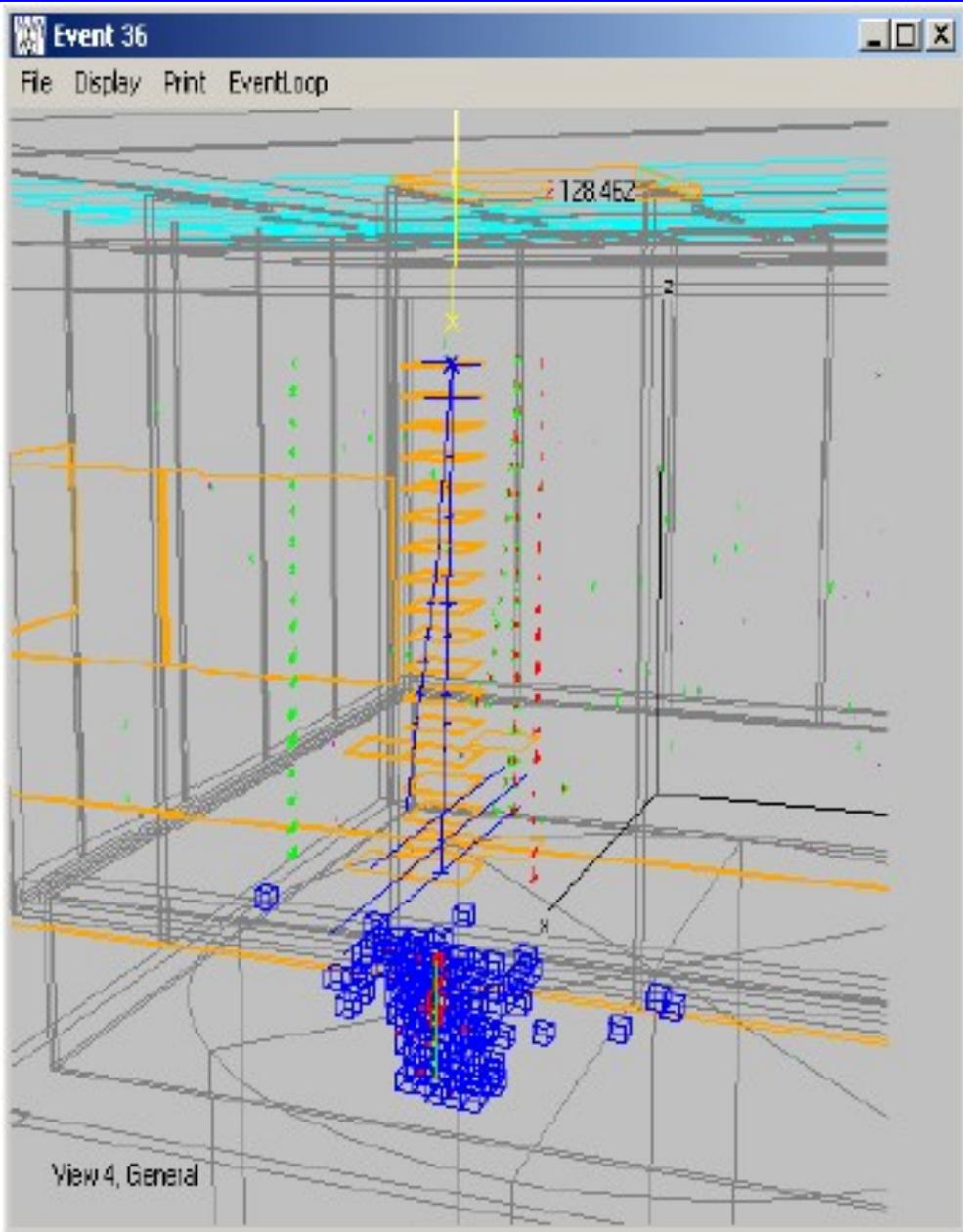
**Elettronica e SW di volo**  
**Sistema di presa dati**



**Calorimetro Csi (CAL)**  
Misura l'energia dell'evento  
Misura il profilo dello sciame EM



## Funzionamento (in breve)



Alle energie per cui siamo interessati i fotoni interagiscono per produzione di coppia

Un fotone di alta energia attraversa l'ACD senza interagire

Nel TKR-convertitore vi è molto materiale denso: il fotone ha un'elevata probabilità di convertire in una coppia

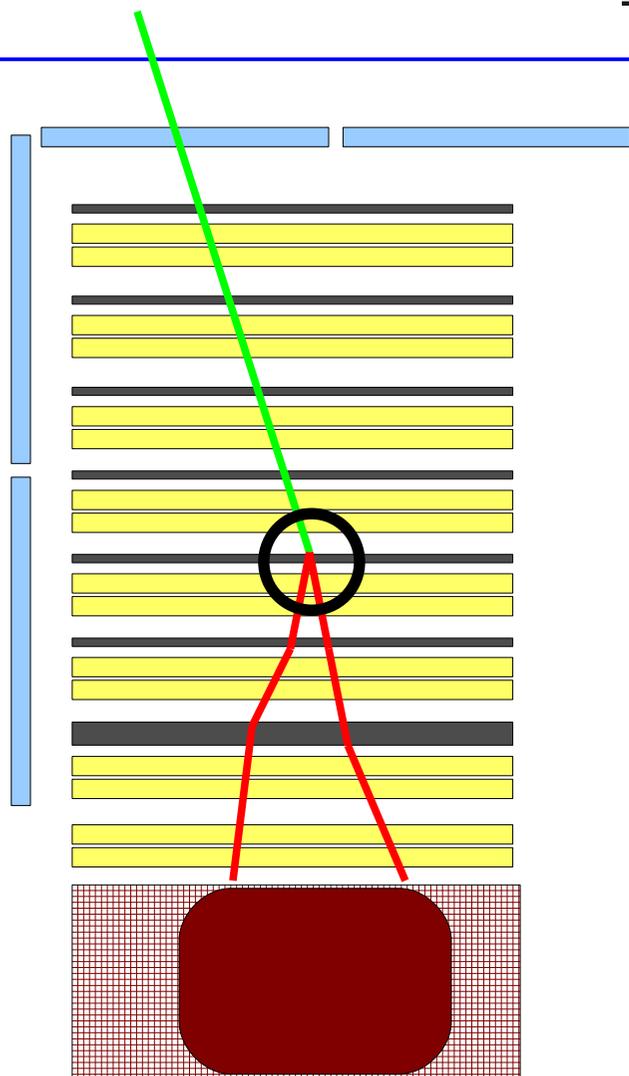
La coppia elettrone-positrone è tracciata mentre si sposta all'interno del TKR

Nel calorimetro le particelle energetiche danno origine ad uno sciame EM: è un meccanismo ben conosciuto, posso misurare l'energia dell'evento

Una particella carica accende una delle mattonelle dell'ACD in corrispondenza della traccia ricostruita.

Un secondario di bassa energia dal CAL accende le mattonelle in basso.

## Tecniche e problematiche



Sopra a  $\sim 10$  MeV i gamma danno solo produzione di coppia  
Mi serve del materiale "spesso" per causare la conversione  
Lo stesso materiale però mi rovina la traiettoria dei secondari

Se  $t$  è lo "spessore" del rivelatore (=il tracciatore)

L'efficienza  $A_{eff}$  è prop. a  $t$

L'errore sulla direzione (PSF) è

- a bassa  $E$ :  $PSF \sim \sqrt{t / E}$
- a alta  $E$ :  $PSF \sim \text{rms del detector}$

In realtà il grosso dell'errore è portato dalla prima misura, quindi in corrispondenza del primo piano  $xy$

Servono quindi:

- molti convertitori sottili
- detector a alta precisione

Il calorimetro è limitato in spessore: bisogna tener conto dell'energia che sfugge

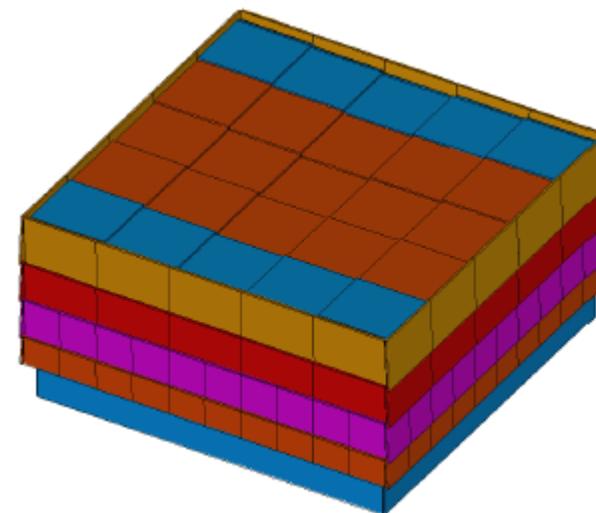
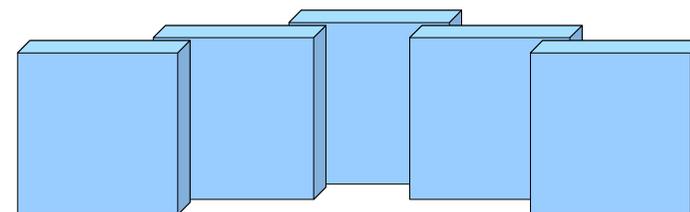
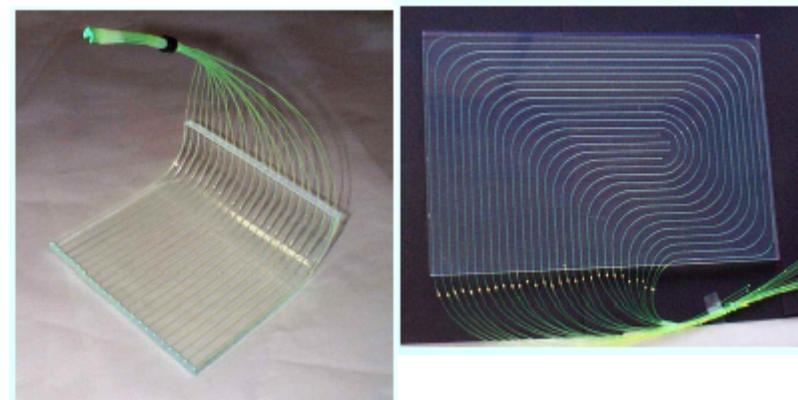
Idem per le fessure tra le torri e per i bordi laterali

# Anticoincidenza

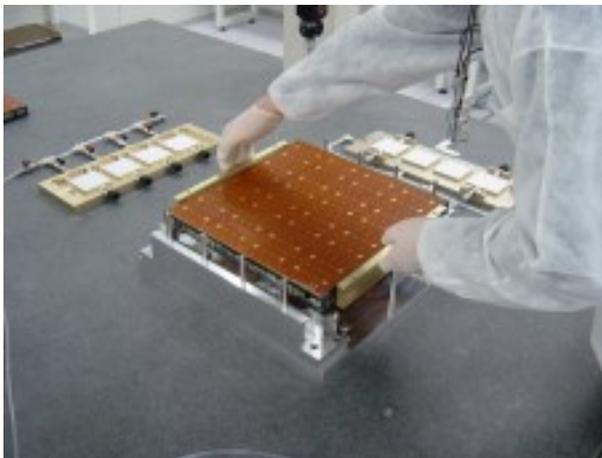
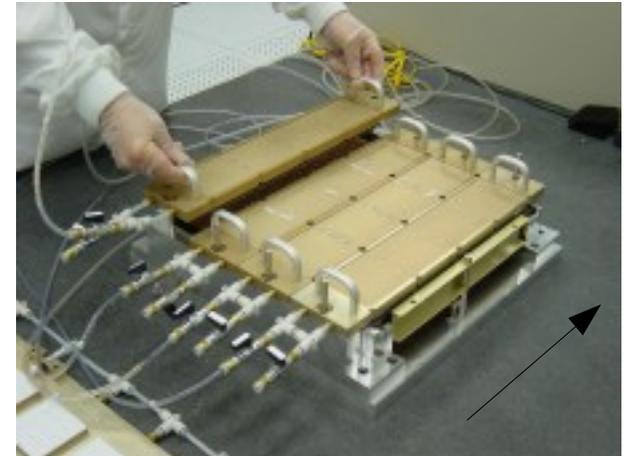
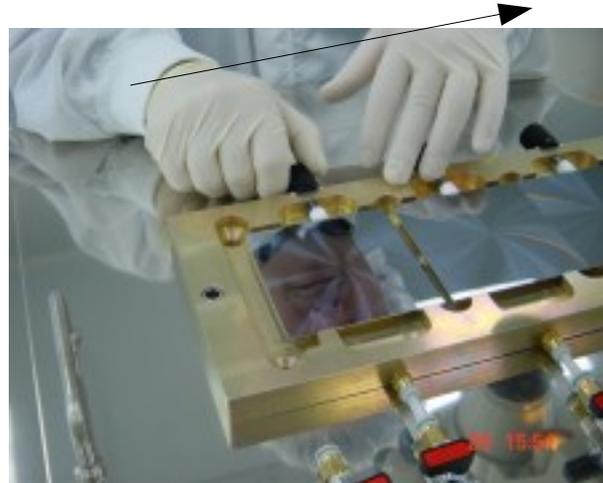
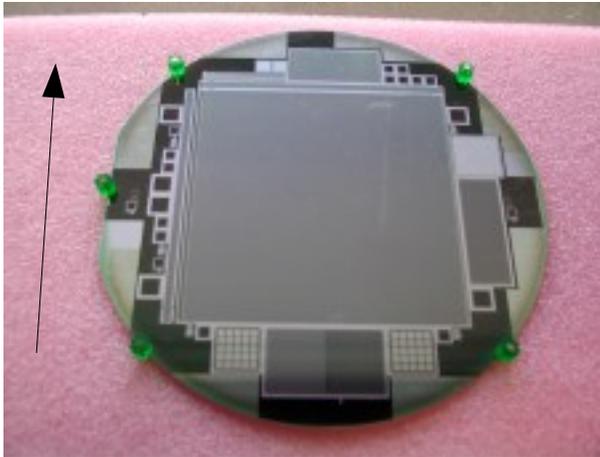
Lo scopo è garantire la reiezione delle particelle cariche  
Il requisito è una efficienza dello 0.9997 (media)  
Uno dei problemi + seri è la massa del calorimetro  
Massa + particelle incidenti = flusso di secondari  
Principalmente fotoni, 10-1000 keV (segnale di una MIP)

Scelta della tecnologia: scintillatore e fibre WLS  
2 fototubi PMT per ridondanza  
Uniformità meglio del 90% (>75% a 1-2 cm dai bordi)  
Le mattonelle sono sovrapposte in una direzione per massimizzare l'uniformità totale  
Nell'altra direzione le fenditure sono "tappate" con dei fasci di fibre scintillanti con efficienza >90%

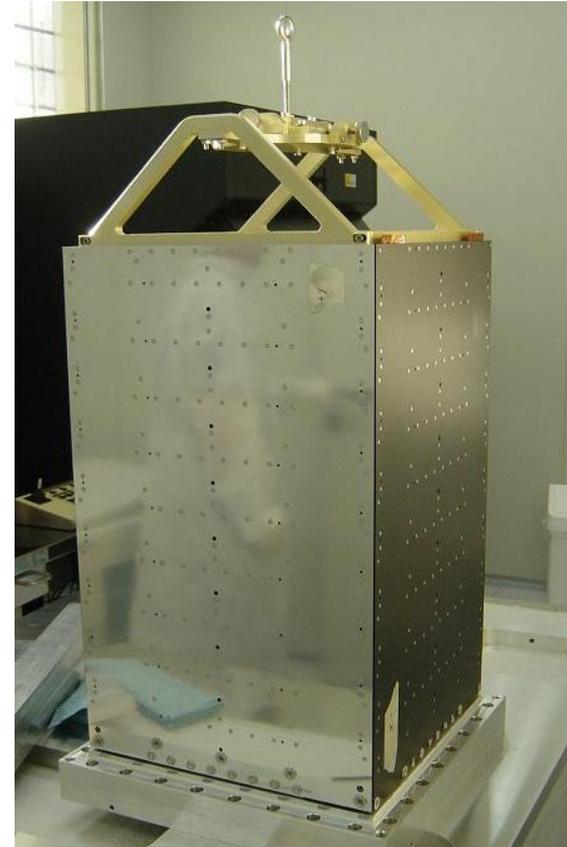
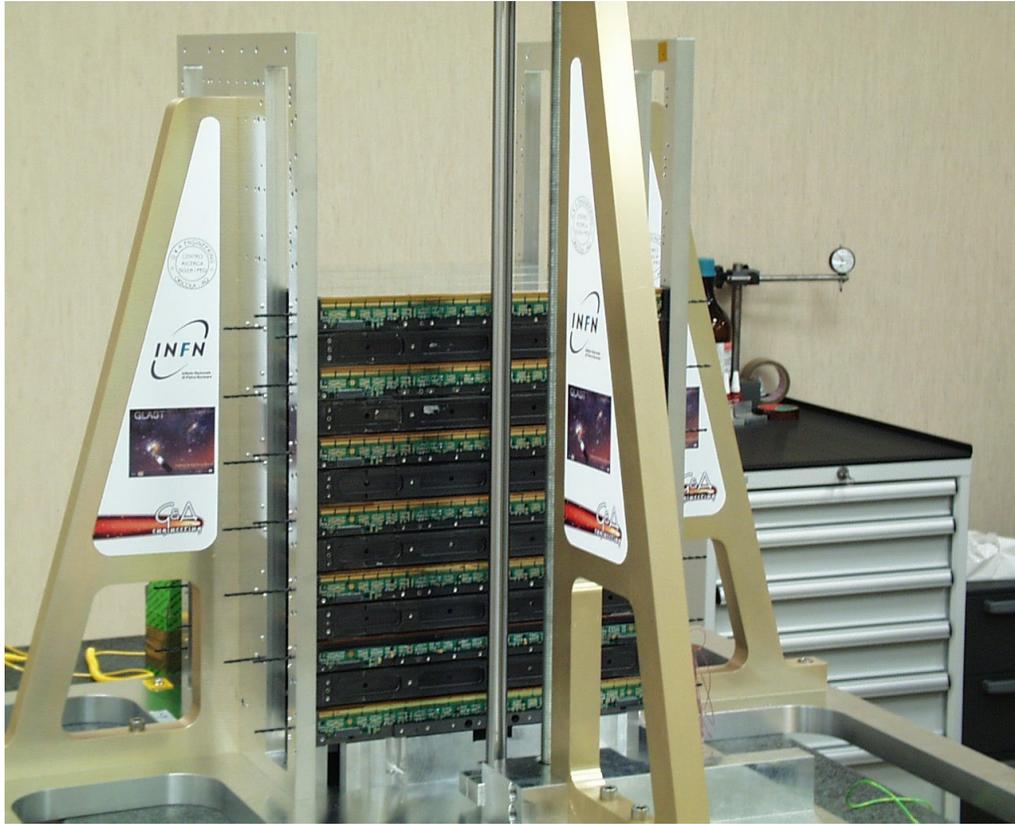
Ogni mattonella è rinchiusa in una busta ermetica (per la luce)  
All'esterno vi è un leggero scudo contro le mini-meteoriti  
L'alimentazione HV dei fototubi è regolata per essere abbassata durante il transito nelle zone ad alto flusso di carichi



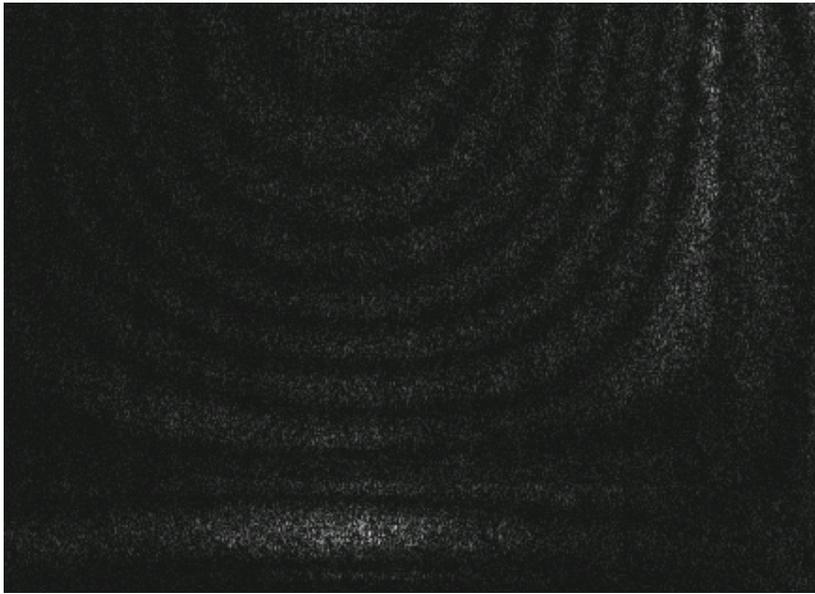
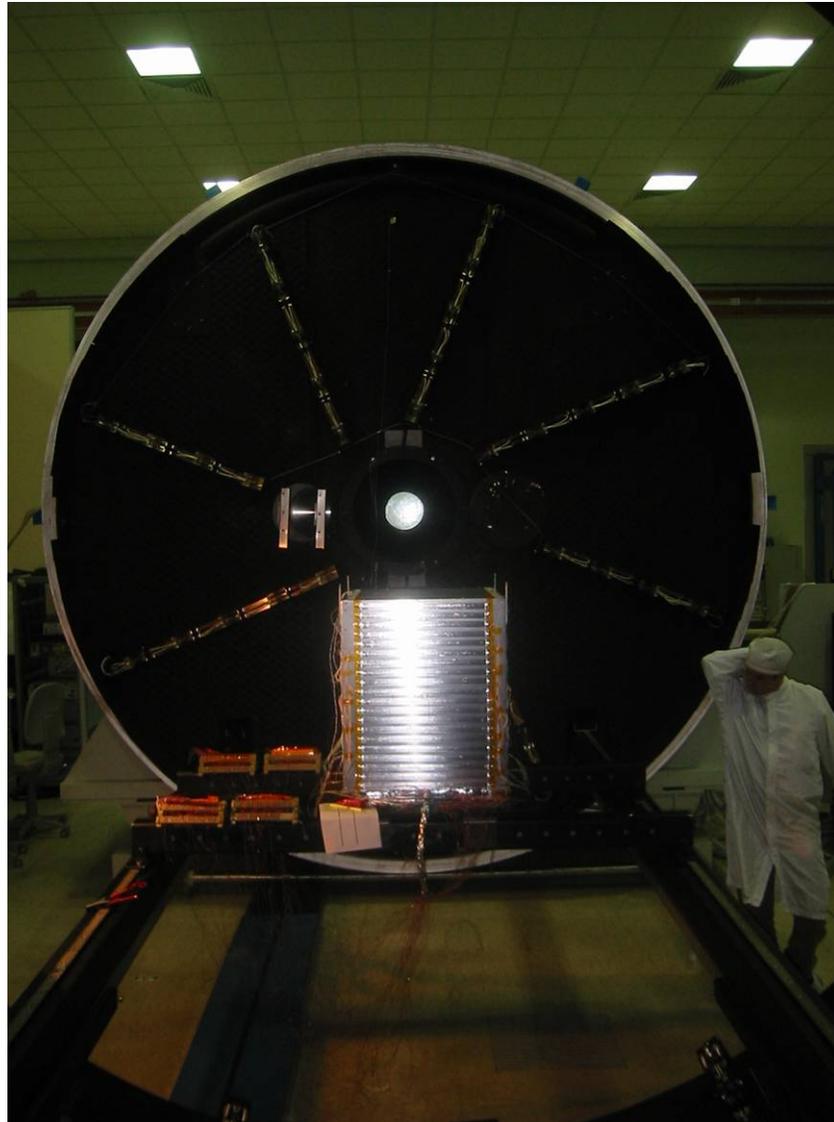
# Tracciatore



## Montaggio torre



## Test vari



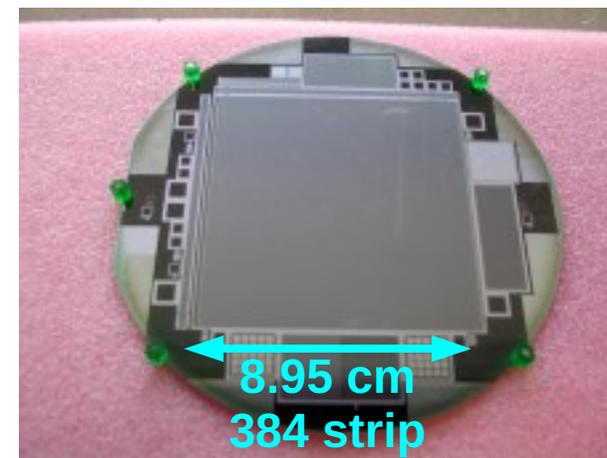
## Detector SSD & trays

Vista la presenza dei convertitori è inutile limitare la massa di silicio: piani xy con 2 SSD ortogonali  
Un passo tra le strip di 228  $\mu\text{m}$  è più che adeguato

Resistività per assicurare bassa VDEP  
Bassa corrente di perdita: power budget limitato

Materiale acquistato da HPK  
11,500 SSD (10,368 per l'assemblaggio, 83  $\text{m}^2$ )  
885,000 canali di acquisizione

Visto l'elevata qualità, inutile il test strip-per-strip  
Rate di reiezione all'INFN: <0.6%  
Dopo l'assemblaggio delle ladder: ~2%

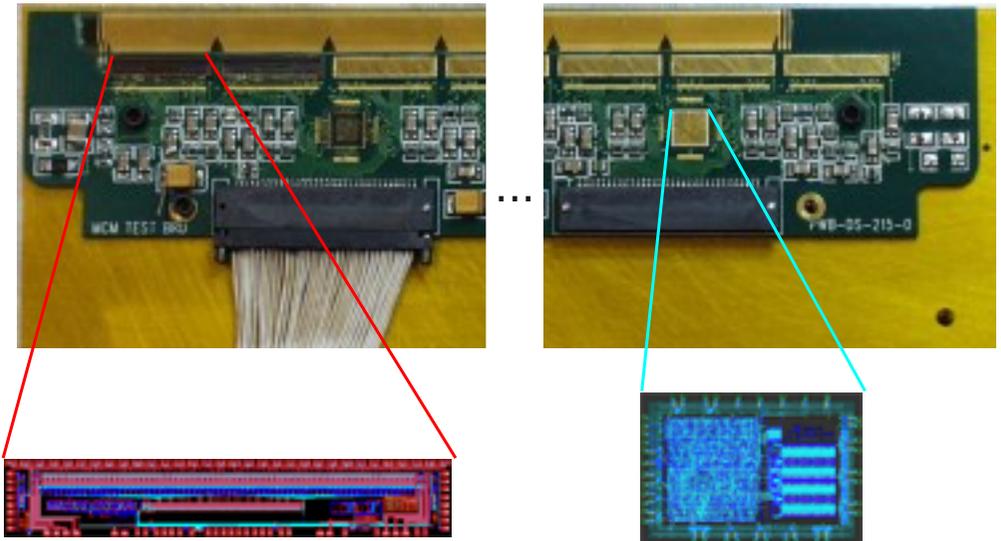
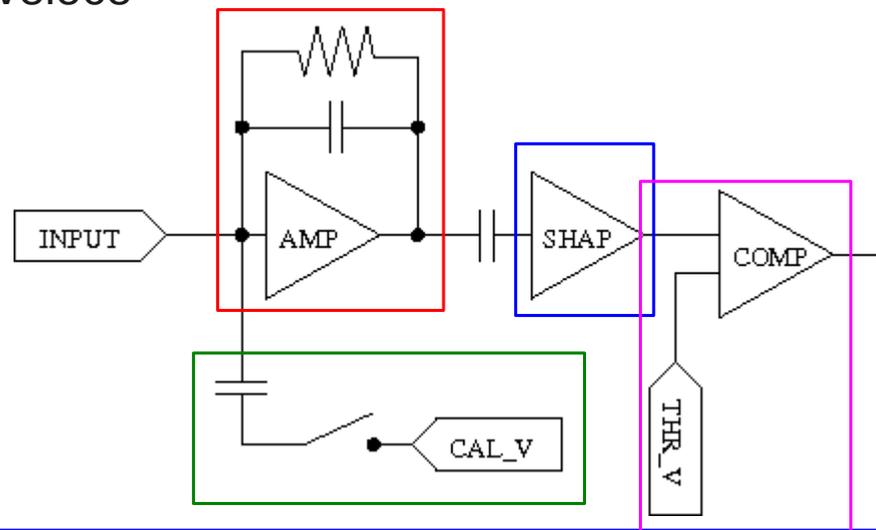


Parameter	Specification
Thickness	400 $\mu\text{m}$
Outer size	8.95 $\times$ 8.95 $\text{cm}^2$
Active area	8.76 $\times$ 8.76 $\text{cm}^2$
Strips per detector	384
Strip pitch	228 $\mu\text{m}$
$R_{\text{bias}}$	>20, <80 $\text{M}\Omega$
$C_{\text{interstrip}}$ at 150 V, 1 MHz	<1.5 pF/cm
$C_{\text{coupling}}$	> 500 pF
Depletion voltage	< 120 V
Breakdown voltage	> 175 V
$I_{\text{leak}}$ at 200 V	< 600 nA
Bad strips	<0.2%

# Elettroniche TKR

Ogni modulo: 1536 canali: 24 front-end  
2 back-end digitali per il controllo  
Ridondanza: i dati possono essere scaricati da destra o da sinistra: se un FE smette di funzionare può essere aggirato

ASIC: Agilent 0.5um CMOS  
Nel front-end: amplificatori a basso consumo, formatura 1.5 us  
Un semplice schema con comparatore a soglia : poco consumo, niente ADC  
L'output è in OR per tutto un piano: trigger veloce



GTFE

GTRC



# Elettroniche TKR: radiazione

L'ambiente spaziale presenta livelli di radiazione non trascurabili  
Necessario applicare delle tecniche di limitazione del danno  
Le dosi per l'orbita di Fermi non sono elevatissime,  $\sim 0.2$  krad/anno  
I flussi di particelle molto ionizzanti nemmeno  $< 0.1$  ione/cm<sup>2</sup>/anno

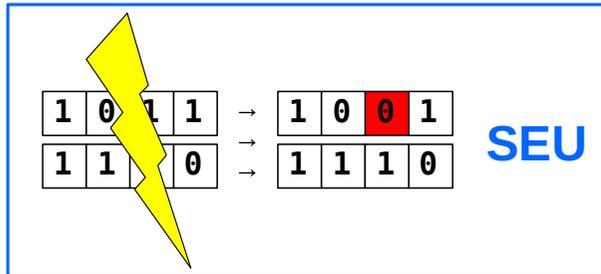
Ex: elettroniche del TKR

Progettate per limitare SEU/SEL

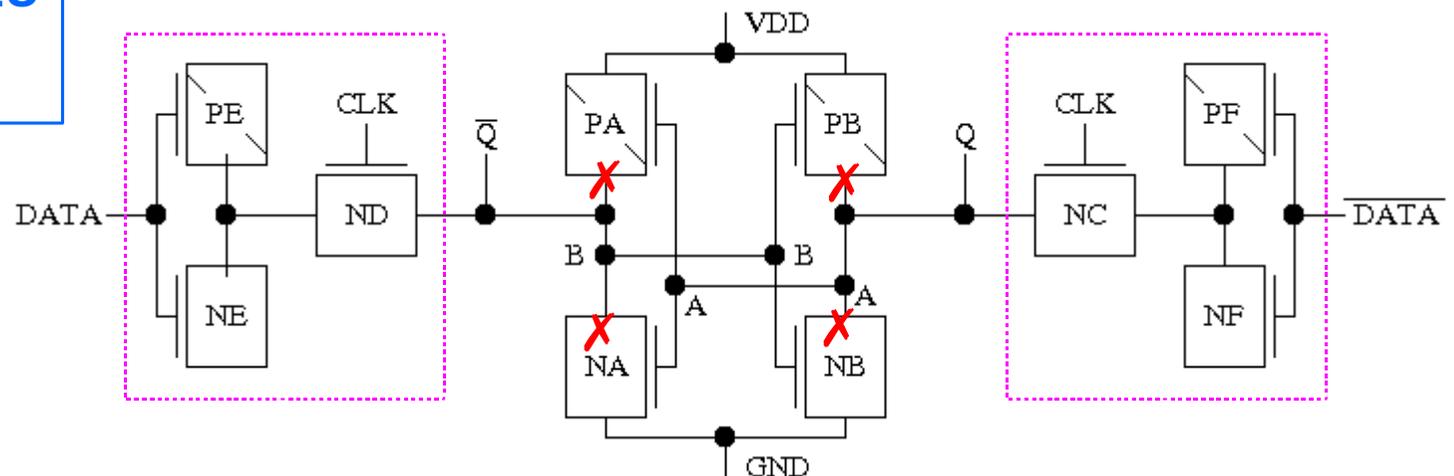
Testato in laboratorio per verificare le prestazioni e la resistenza alla radiazione

Verificato anche il comportamento delle parti analogiche (rumore, etc)

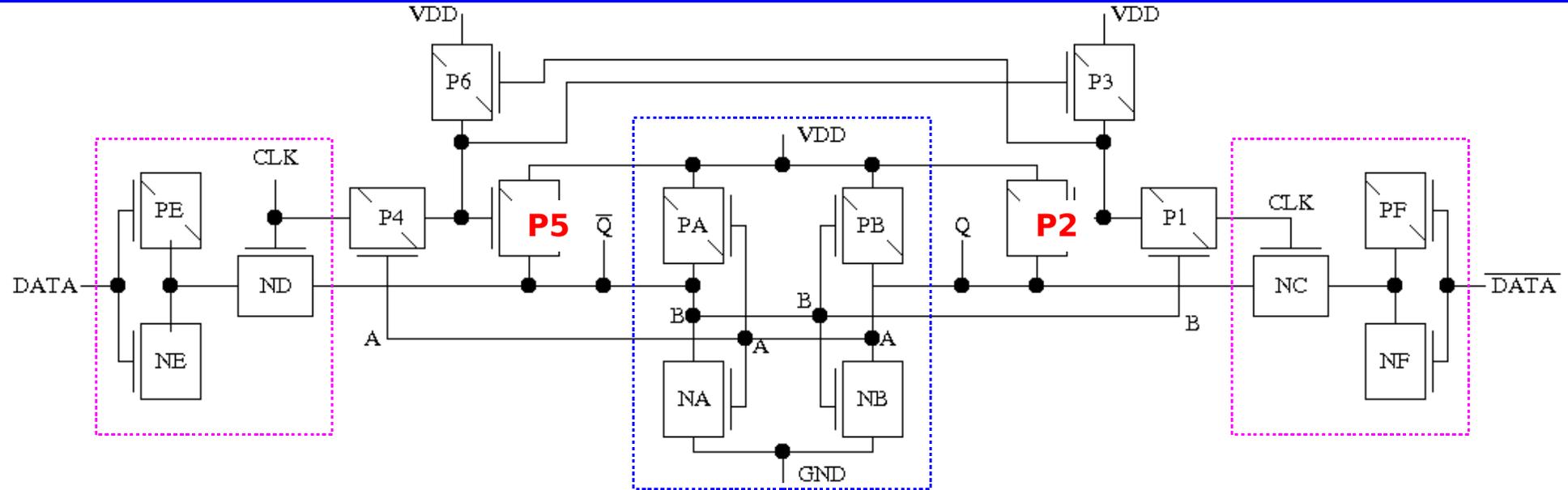
Monitorato il consumo di corrente (e.g. aumento di correnti sottosoglia)



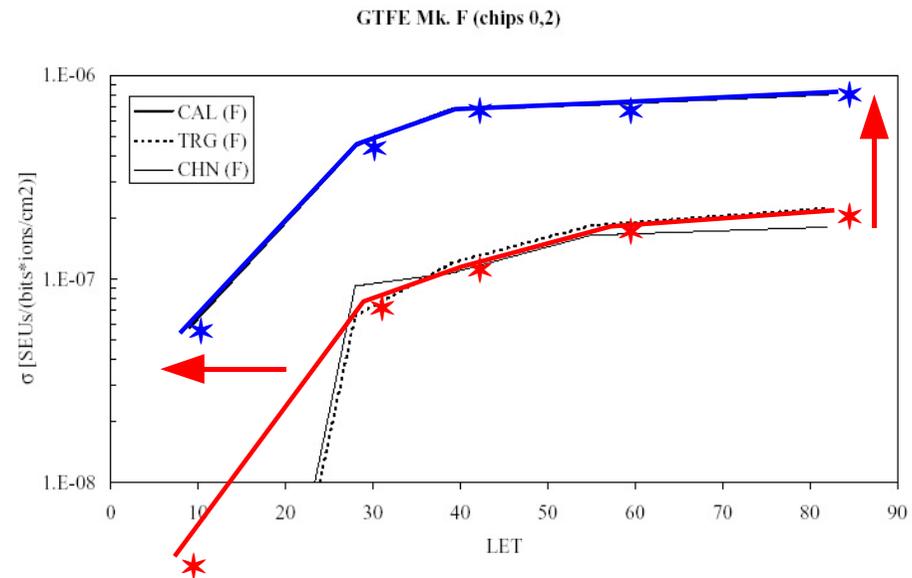
Ex: elemento di memoria latch CMOS



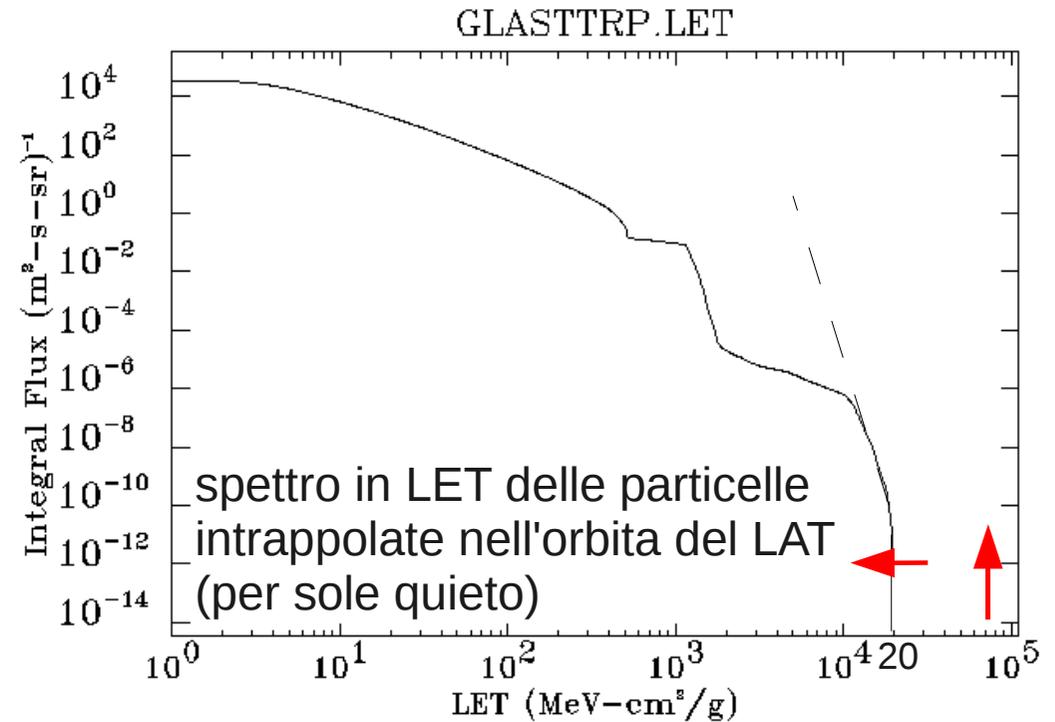
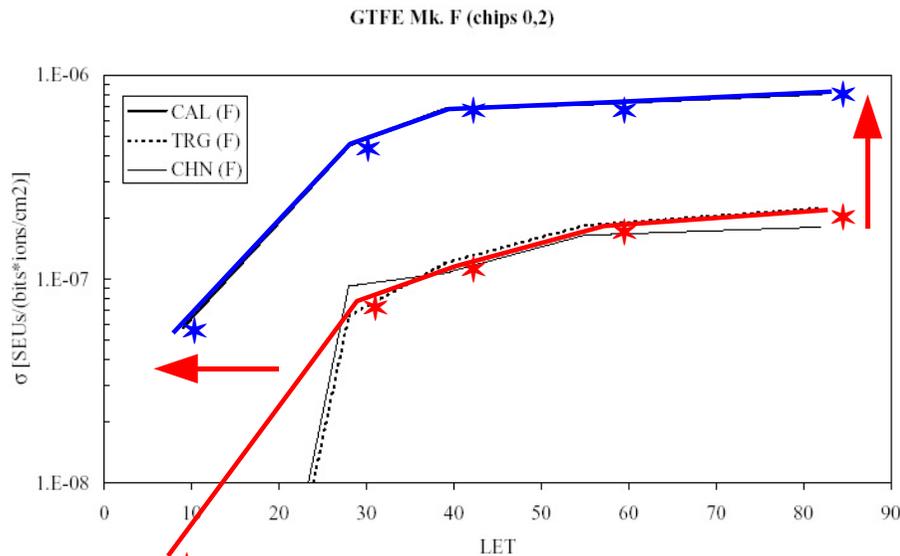
## SEU 2



Abbassata la sensibilità ai SEU solo tramite il disegno: poco costoso (solo il costo in area)  
 Dimostrato l'aumento in robustezza  
 Confronto tra registri hardened e standard  
 Stesso design di base, stesso chip



## SEU 3

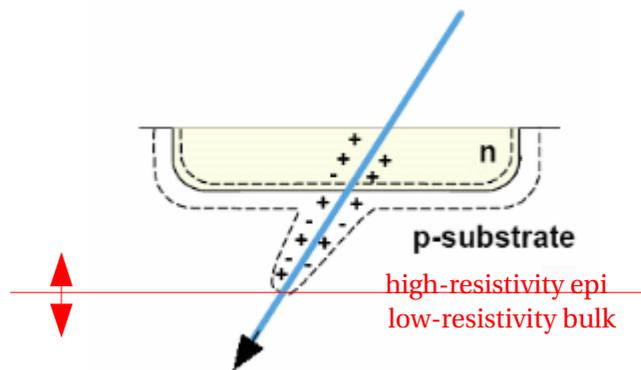
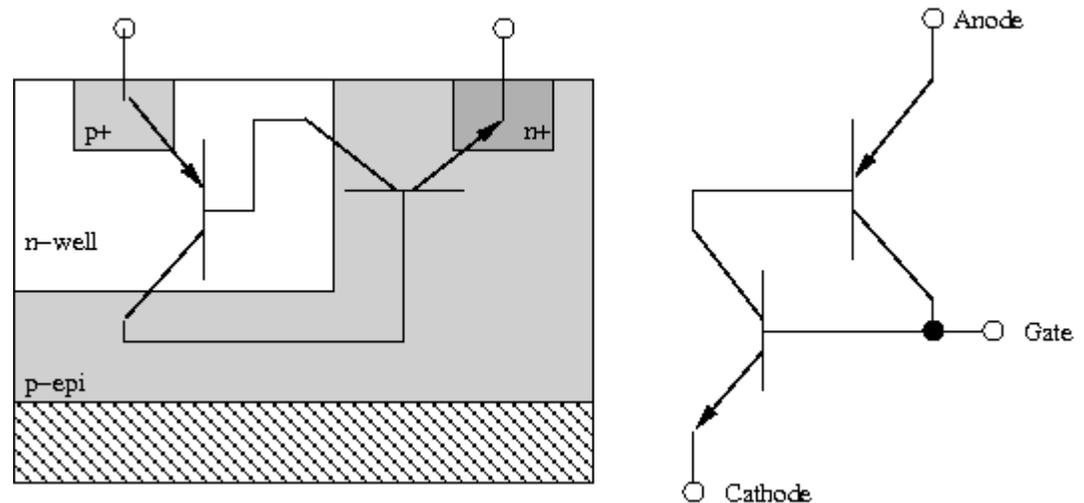


Thu Jun 01 04:55:41 2006

L'effetto va combinato con i flussi di particelle in grado di dare un SEU  
A destra, simulazione CREME dei flussi di particelle in condizioni "tranquille"  
L'abbassamento della soglia è l'effetto dominante: si allarga l'accettanza in un regime dove i flussi di particelle crescono come una legge di potenza

# SEL

Ben noto problema della tecnologia CMOS  
Strutture parassite vengono attivate dal  
passaggio di radiazione ionizzante  
Percorsi conduttivi tra alimentazione e  
massa  
Processo a feedback positivo, distruttivo



Dalla letteratura (NB: non la stessa tecnologia)

- 7 um epi: no SEL fino a  $LET=168 \text{ MeV cm}^2 / \text{mg}$
- 9 um epi: soglia SEL a  $100 \text{ MeV cm}^2 / \text{mg}$
- 12 um epi: soglia SEL a  $50 \text{ MeV cm}^2 / \text{mg}$

Per le elettroniche del tracciatore: 13um di epitassiale  
Mai osservato un SEL in tutti i test effettuati

# Calorimetro

Lo scopo è duplice:

- ricostruire l'energia dell'evento
- dall'immagine dello sciame ricostruire la direzione

8 piani di 12 cristalli di CsI(Tl)

Ogni modulo (torre) ha 96 cristalli,  $2.7 \times 2.0 \times 32.6 \text{ cm}^3$

La dimensione è un compromesso tra

- segmentazione desiderata
- segnale raccolto / rumore

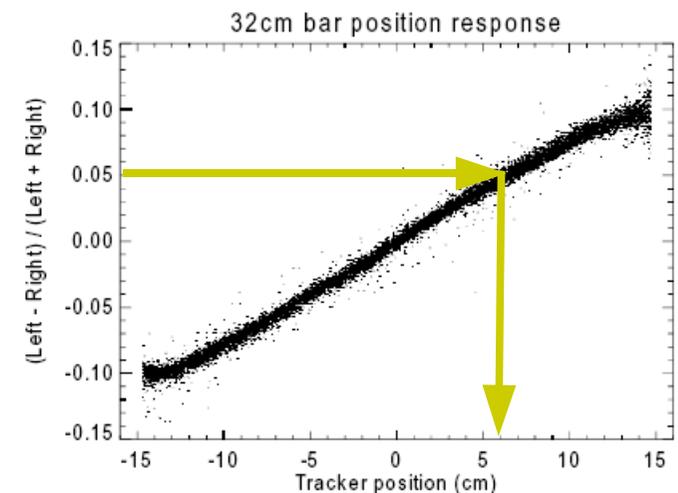
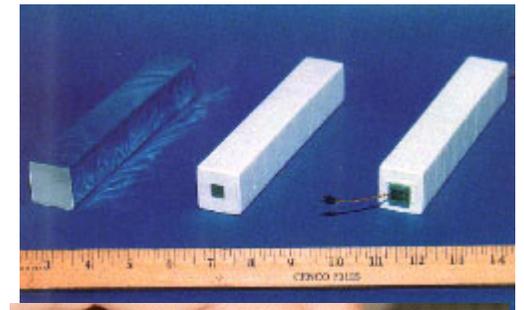
Ogni cristallo è in grado di fornire 3 coordinate per il deposito di energia al suo interno

Prima della sigillatura nell'involucro riflettente un lato è rovinato per causare un minimo di dispersione di luce

Il segnale che arriva ad un estremo è inversamente proporzionale alla distanza percorsa

Dall'asimmetria tra i due estremi si ha la posizione trasversale, con una precisione maggiore della granularità laterale

Da pochi mm ( $\sim 10 \text{ MeV}$ ) a frazioni di un mm ( $> 1 \text{ GeV}$ )



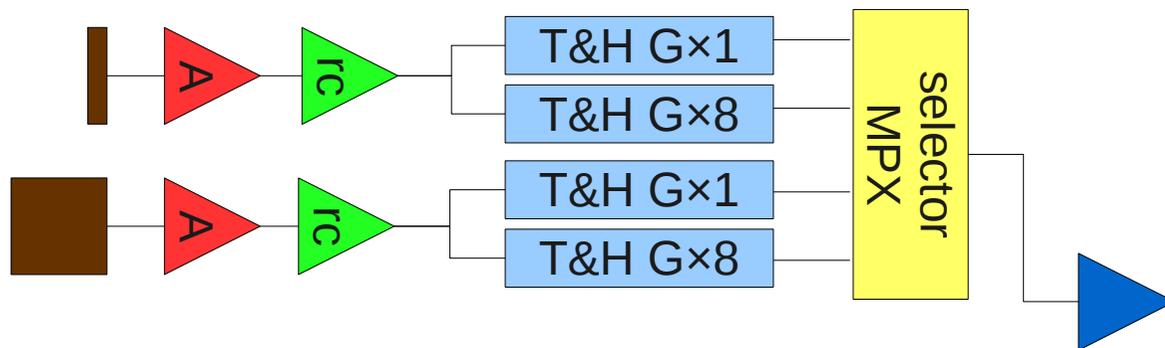
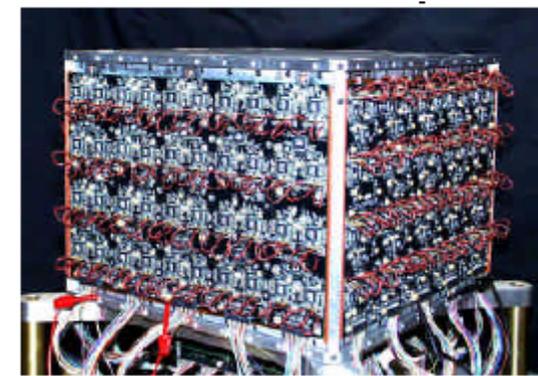
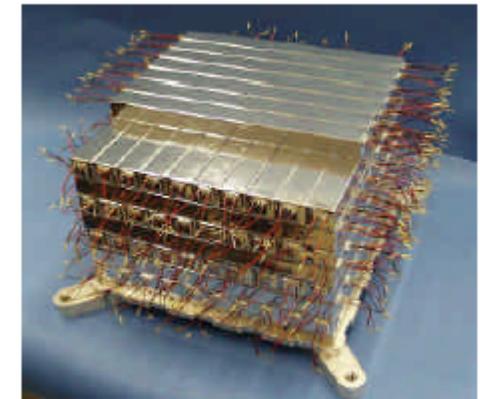
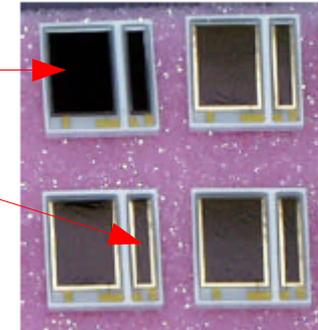
## Calorimetro 2

Per ogni lato del cristallo avviene la stessa cosa:  
I due fotodiodi sono amplificati e formati  
Ciascun segnale viene immesso in 2 track-and-hold  
con guadagni differenti  
Per ogni lato ho quindi 4 stime dell'energia  
Un multiplexer analogico seleziona il segnale  
"migliore" (il + alto non saturato) e lo invia all'ADC

Nonostante lo spessore limitato, la segmentazione  
permette stime dell'energia dello sciame fino al TeV  
Eccetto alle bassissime energie il fattore limitante per  
la stima delle energie è dato dalle fluttuazioni nella  
parte di energia che "sfugge" all'esterno

Low energy range:  
2 ÷ 1600 MeV

High energy range:  
100 MeV ÷ 60 GeV



# Integrazione

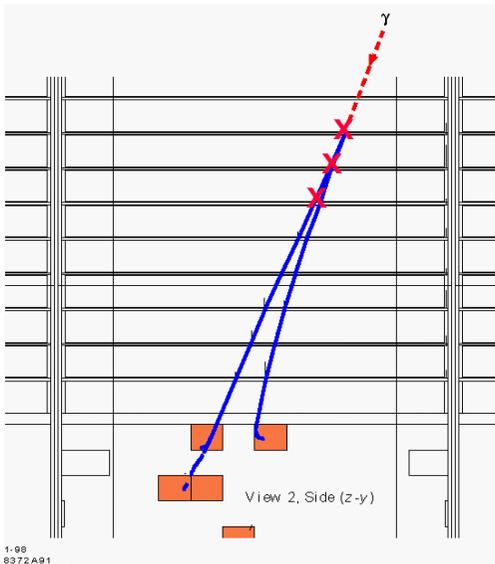
---



# Trigger e analisi

## Trigger di livello 1:

- ✓ a livello hardware, per ogni singola torre
- ✓ **Three\_in\_a\_row**: accesi tre piani xy consecutivi. E' il trigger di riferimento per i gamma
- ✓ **CAL\_LO**: in solo cristallo nel CAL con  $E > 100$  MeV (regolabile). Per confronto col TKR
- ✓ **CAL\_HI**: in un solo cristallo  $E > 1$  GeV (regolabile). Serve per mitigare l' ACD.
- ✓ **ROI**: l'ACD è accesa in corrisp. della traccia
- ✓ Raggi cosmici nel **L1T!** 13 kHz peak rate.
- ✓ In corrispondenza di un L1T il LAT è letto in un minimo di 26  $\mu$ s.



## Processing a bordo

- ✓ Identifica i candidati  $\gamma$  e riduce il volume di dati
- ✓ Tutte le info dello strumento sono a disposizione dell'elaboratore a bordo
- ✓ Usa quantità semplici e "robuste"
- ✓ Processo a scalare (prima le decisioni semplici e veloci, che richiedono poca CPU).
- ✓ Scalato per portare da 2-4 KHz a  $\sim 400$  Hz

## Analisi a terra

- ✓ E' possibile un'analisi ad alto costo di CPU
- ✓ Negli eventi scaricati i  $\gamma$  sono ancora dell'ordine di 1:10
- ✓ complessa e potente

# Fermi LAT

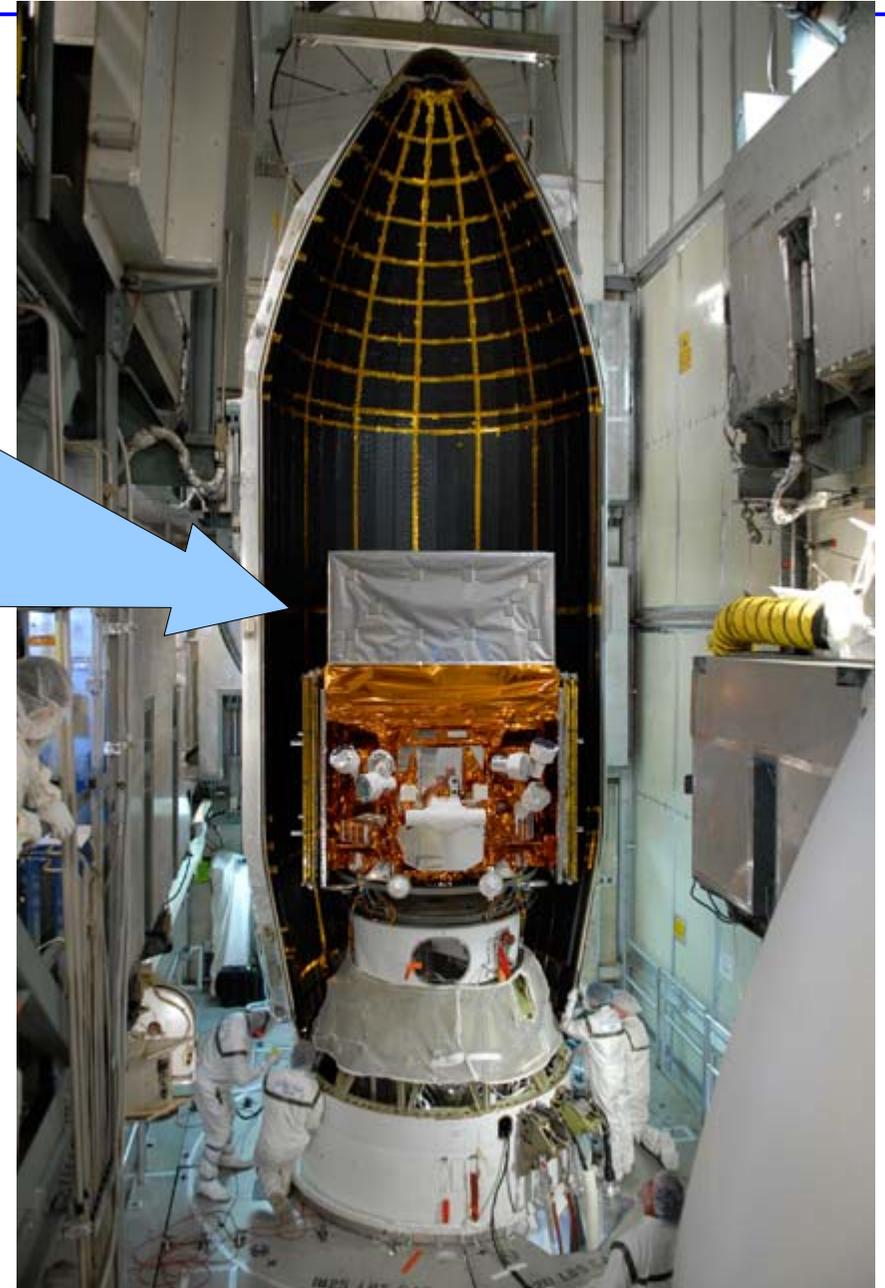
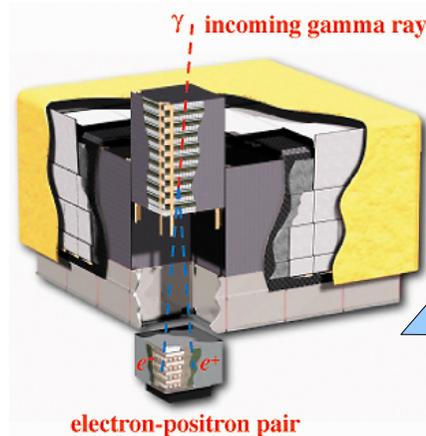
## HEP and astrophysics partnership

USA: US Dept. Of Energy, SLAC, NASA GSFC, NRL  
Italy: INFN, ASI, Inst. CR Res (IFC)

Japan: Univ. Tokyo, Univ. Hiroshima, Inst. Space Science, Inst. CR Res. (ICCR)

France: CEA, CNES, IN2P3

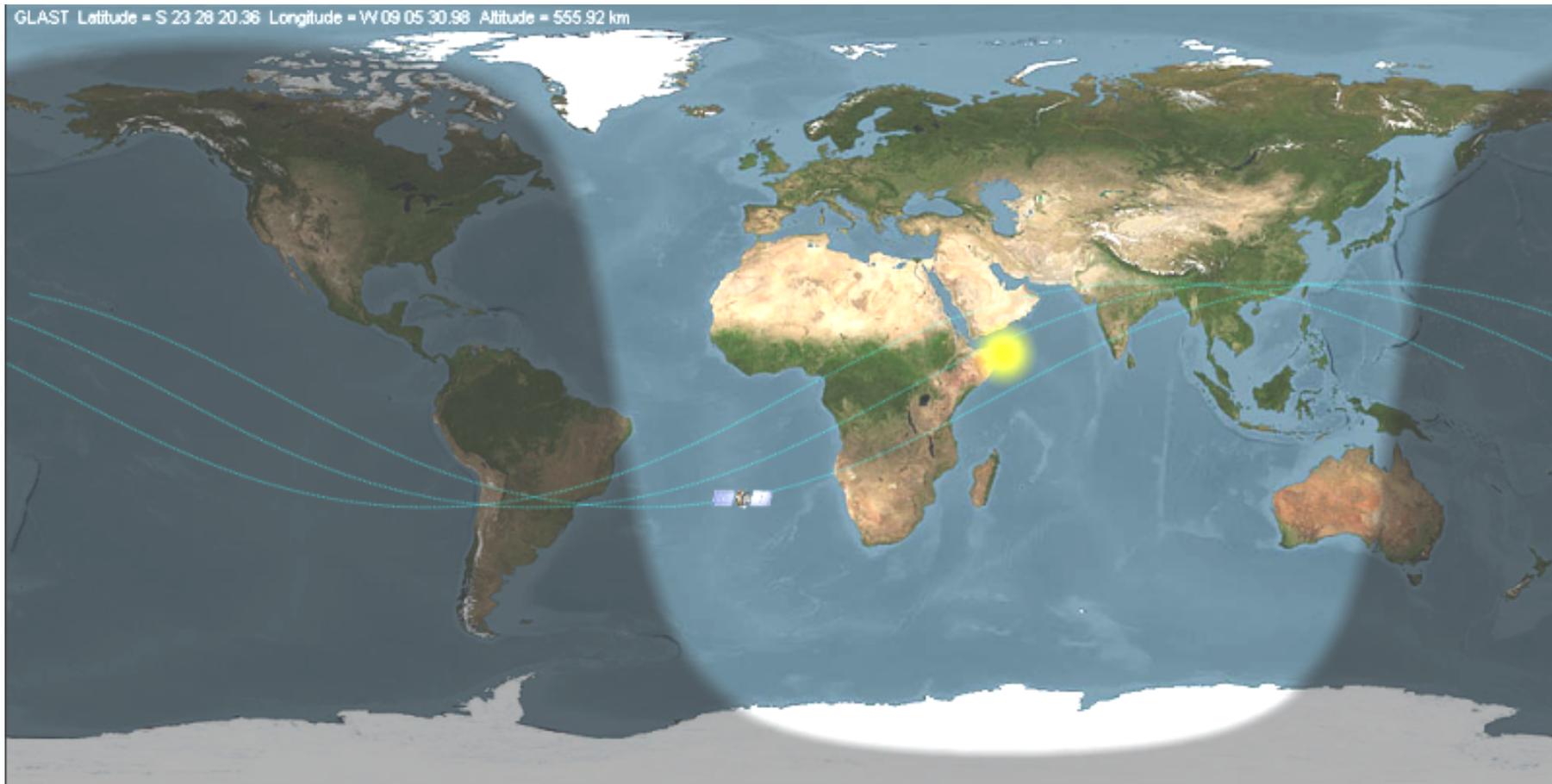
Sweden: Royal Inst. Tech., Univ. Stockholm



<b>Vettore</b>	<b>Delta II - 7920-H</b>
<b>Sito di lancio</b>	<b>Cape Canaveral</b>
<b>Altitudine</b>	<b>565 Km</b>
<b>Inclinazione</b>	<b>25.6 gradi</b>
<b>Periodo</b>	<b>95 minuti</b>
<b>Orientazione</b>	<b>+X verso il Sole</b>
<b>Data di lancio</b>	<b>11 Giugno 2008</b>
<b>LAT: massa</b>	<b>3000Kg</b>
<b>LAT: potenza</b>	<b>650W</b>



# Orbita

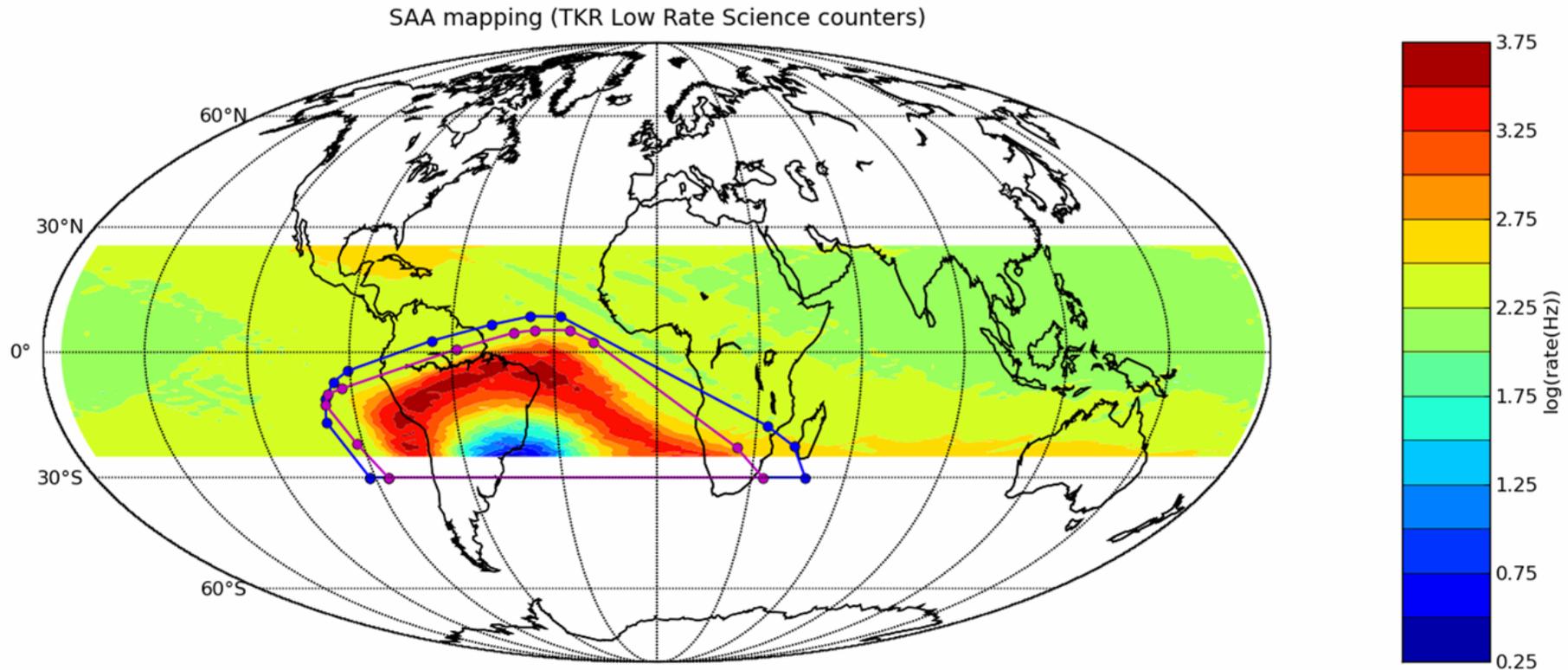


Circular orbit, 565 km altitude (96 min period), 25.6 degrees inclination

<http://observatory.tamu.edu:8080/Trakker> (track the satellite)

[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/GLAST/news/glast\\_online.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/GLAST/news/glast_online.html) (look at Fermi in the sky from your place)

# Adattarsi ai flussi di carichi

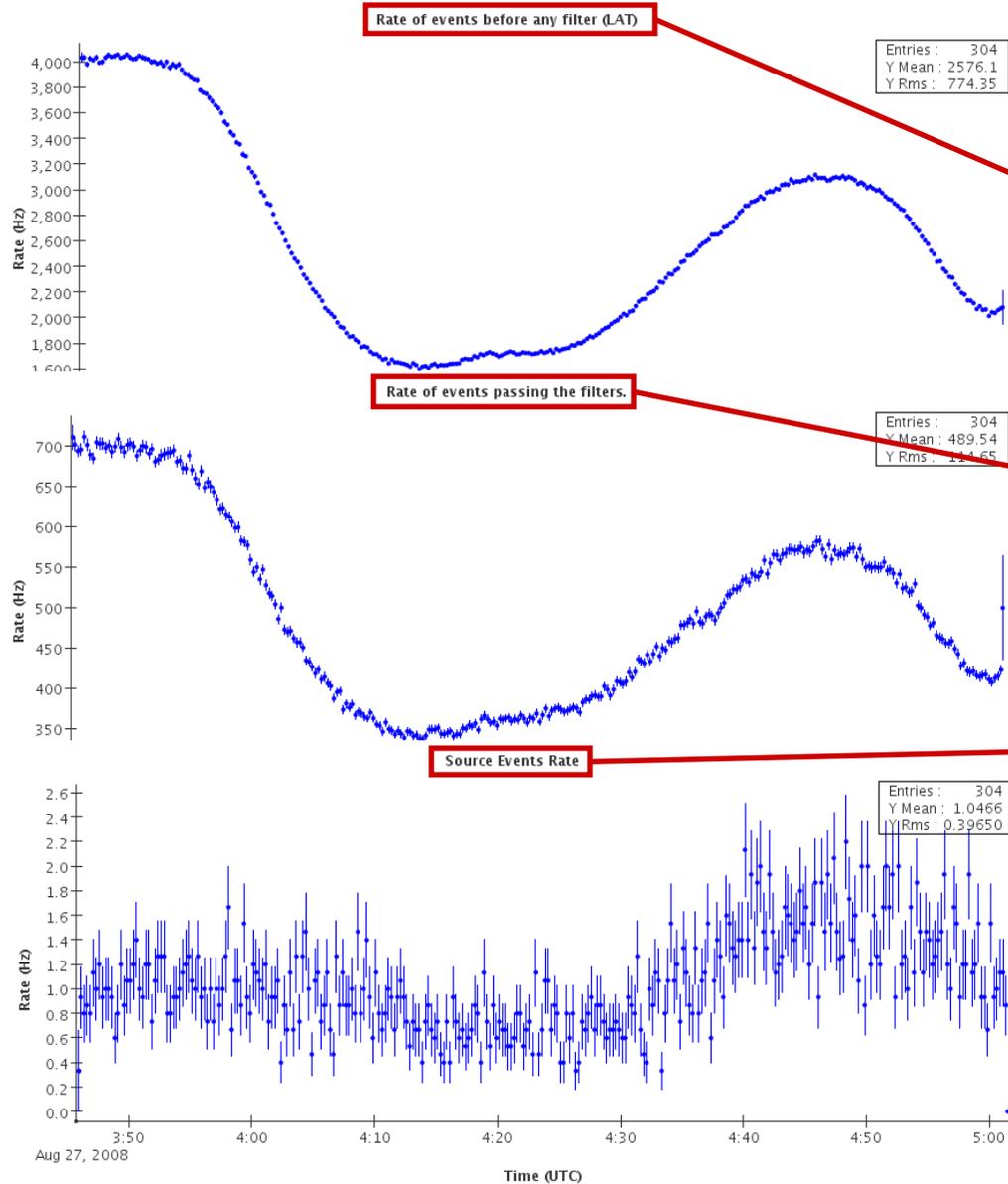


L'anomalia sud-atlantica (SAA) è una regione dell'orbita con una alta densità di particelle intrappolate (soprattutto protoni di bassa energia)

Il LAT non acquisisce dati nella SAA (e.g. la tensione dei fototubi del ACD è ridotta) ma si contano i ratei dei trigger di TKR e CAL per mappare la densità di radiazione

Inizialmente si è usato un perimetro più conservativo, il poligono è stato aggiornato riducendo il tempo nella SAA dal 18% al 15%

# Rate in orbita



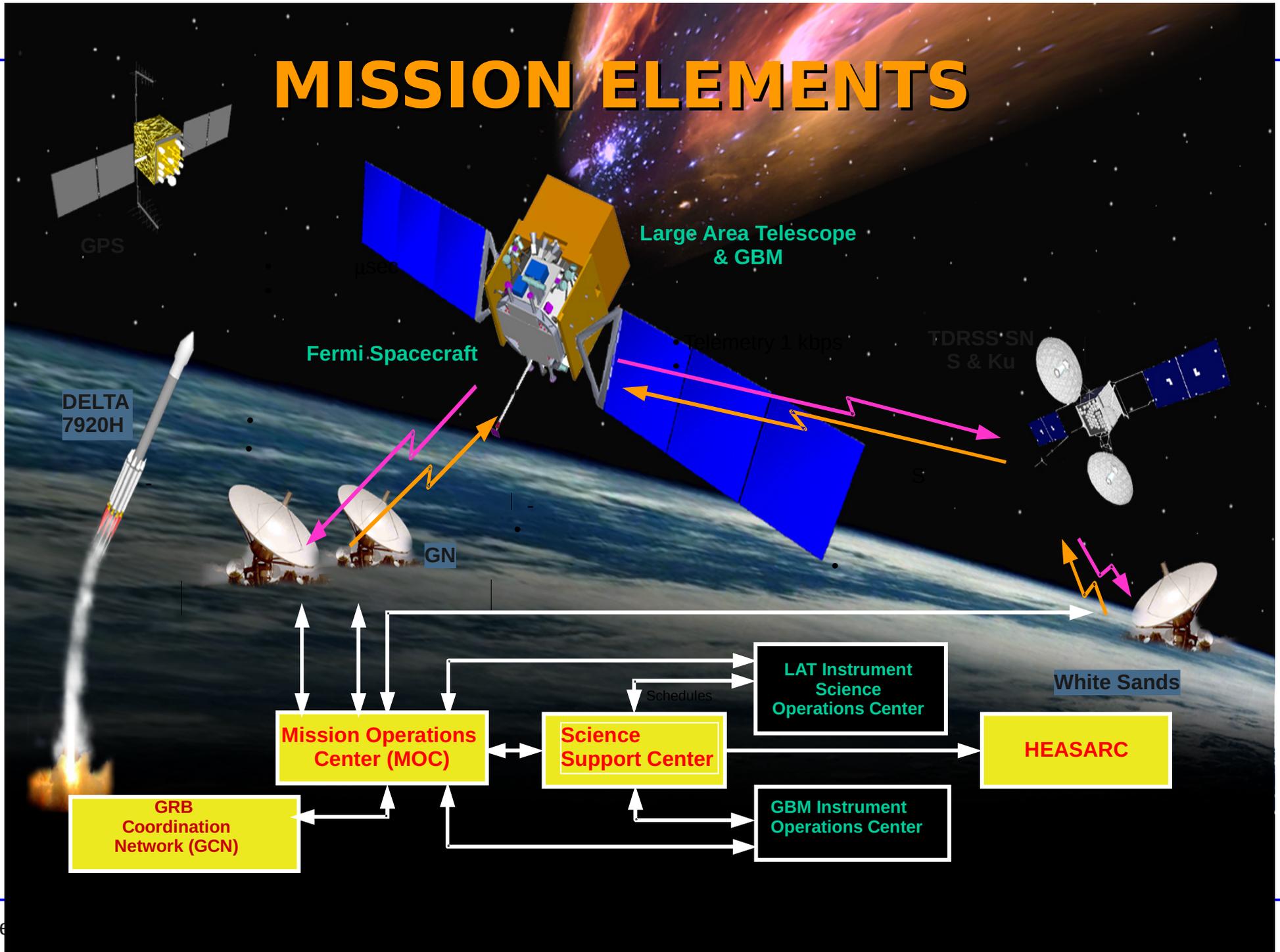
✓ Trigger totale: **~pochi KHz**  
✓ Variazioni considerevoli per effetto orbitali

✓ Rate di trasmissione a terra: **~400—500 Hz**  
✓ ~90% dal filtro GAMMA  
✓ ~20—30 Hz diagnostica  
✓ ~5 Hz ioni per calibrazione

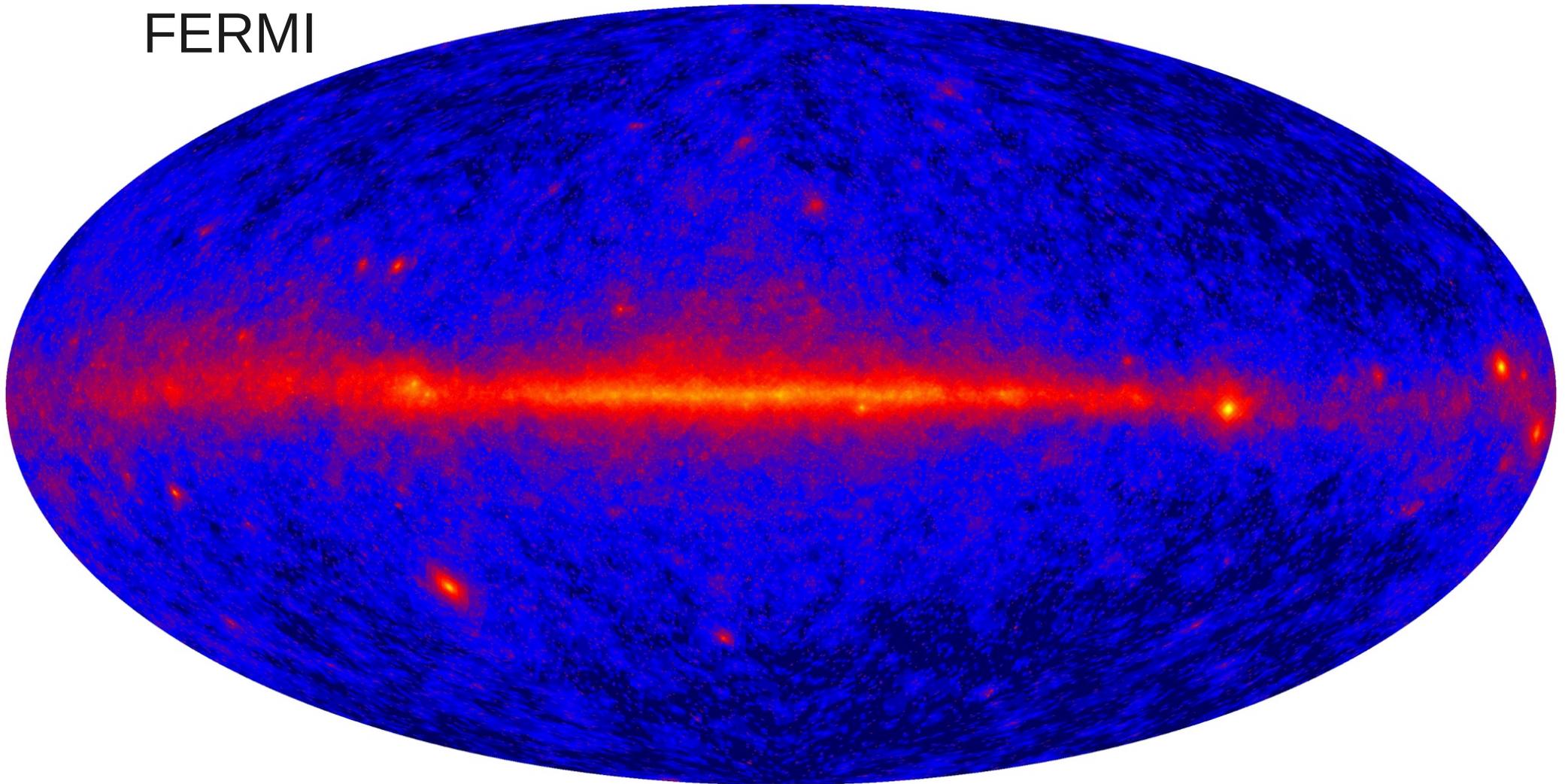
✓ Rate dei fotoni dopo i tagli standard per la reiezione dei fondi: **~1 Hz**

✓ Molti degli eventi scaricati sono in effetti fondo... la reiezione 1000:1 è fatta nel processing a terra

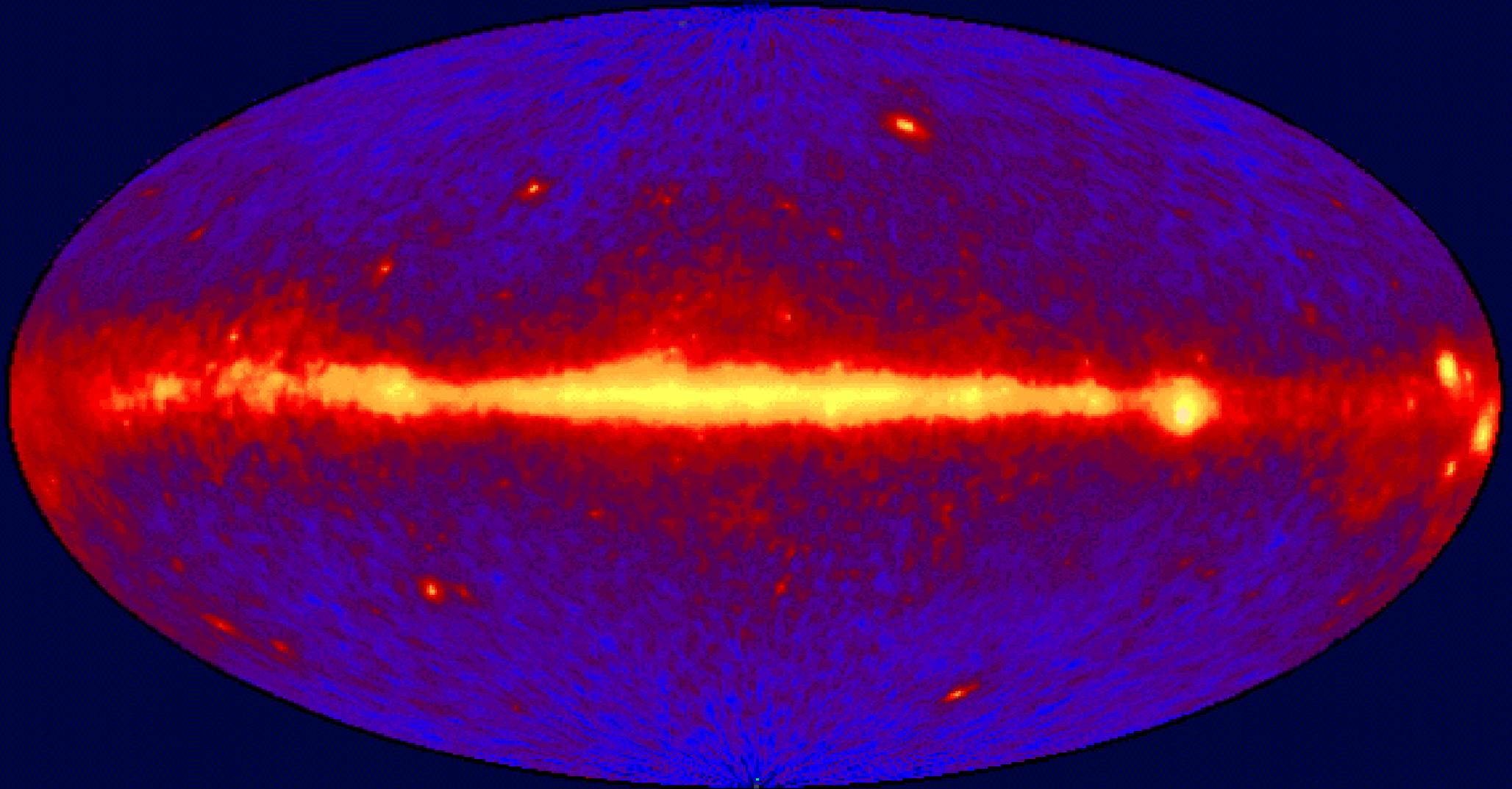
# MISSION ELEMENTS



FERMI



Il cielo gamma – 4 anni  
EGRET All-Sky Map Above 100 MeV



## A terra?

Dati veri o *simulazione*:

I flussi di fotoni sono calcolati da un modello delle sorgenti

Descrizione dettagliata del rivelatore: >40,000 volumi elementari

Descrizione dell'orbita, del puntamento etc.

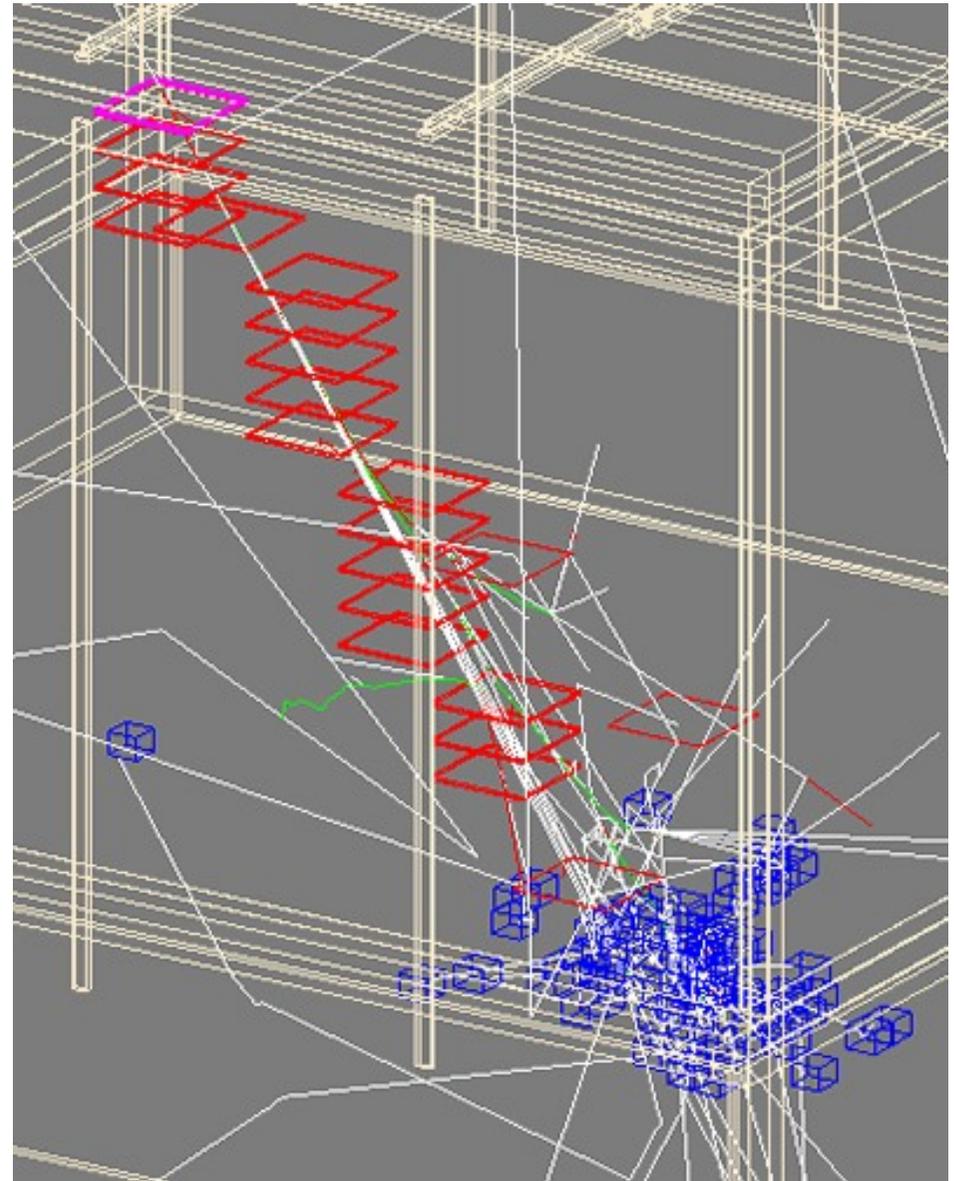
Simulazione delle interazioni: GEANT4

L'energia depositata nei volumi sensibili è trasformata in carica all'ingresso dei canali di elettronica

Descrizione parametrica delle elettroniche  
Segnale, rumore

Simulazione dei motori di trigger e dei filtri a bordo

Il dato grezzo è pronto: simile al dato trasmesso a terra



# Ricostruzione degli eventi

Da qui in poi la trattazione è identica per dati veri o simulati

Gli eventi che passano i filtri a bordo arrivano alla catena di analisi principale

Si parte dalla ricostruzione dell'evento

Nel tracciatore:

- filtro Kalman (che usa G4) per le tracce
- formazione dei vertici

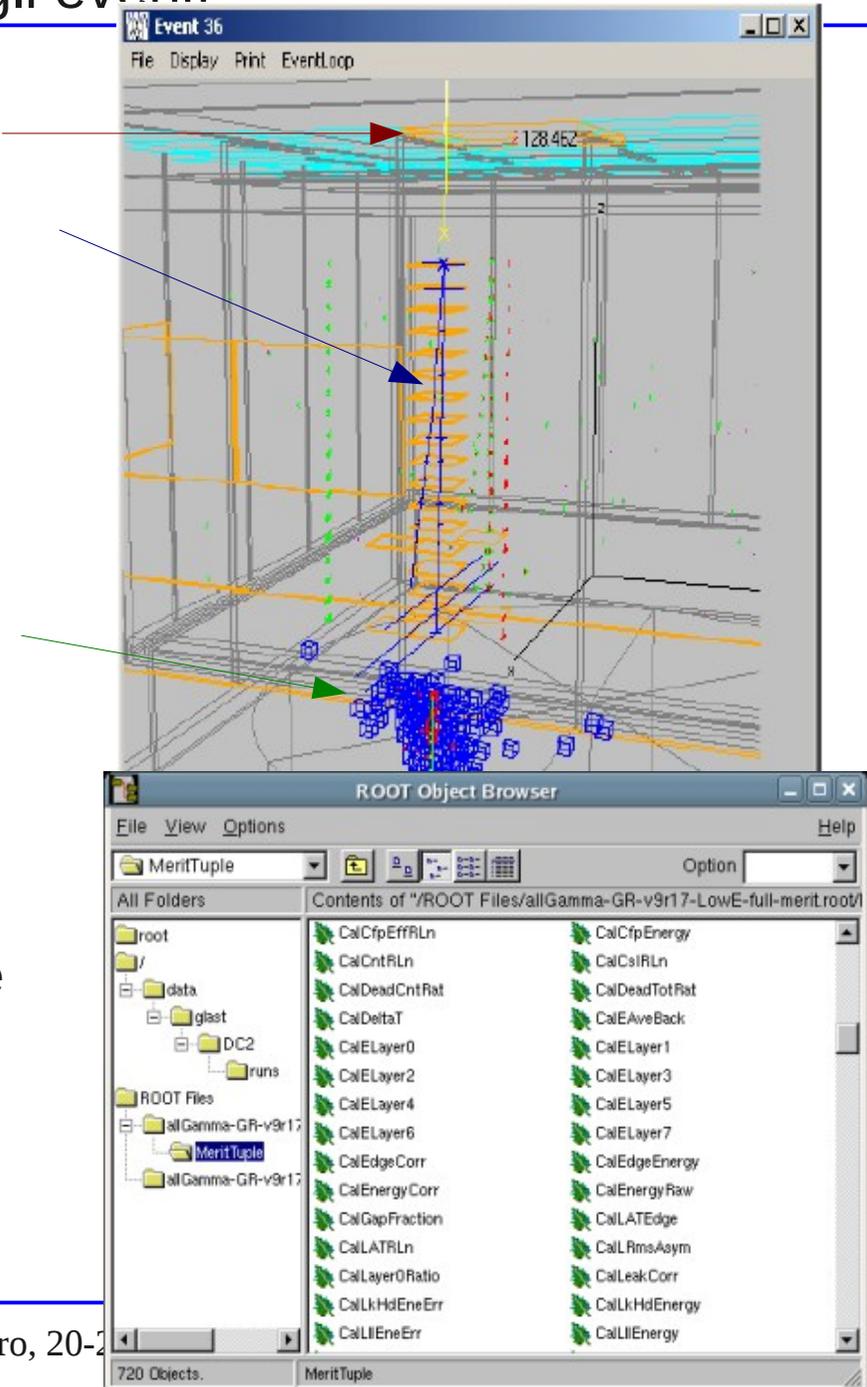
Nel calorimetro:

- centroide e asse dello sciame
- correzione per l'energia persa (da fondo, lati, ...)
- diversi modi per calcolare l'energia
- proporzionale, likelihood, fit del profilo

Nell'anticoincidenza:

- deposizione nelle mattonelle, nei ribbon
- le tracce ricostruite sono proiettate e confrontate col segnale osservato
- gestione del self-veto

Tutto finisce in dettagliati file ROOT



## ... fino al dato pronto per l'analisi

Le informazioni nei ROOT sono troppe e complesse  
Per l'analisi degli eventi astrofisici lo standard è il file FITS: una tabella di “fotoni” ciascuno con pochi parametri fondamentali: direzione, energia, tempo...

Resta da fare un bel po' di lavoro:

- applicare la reiezione dei fondi
- selezionare 1 metodo per misurare la direzione
- selezionare 1 metodo per misurare l'energia

Fatto questo la lista di “fotoni” è pronta

Servono dei tools scientifici per analizzare questi dati  
La risposta del rivelatore deve essere descritta in un modo facilmente accessibile

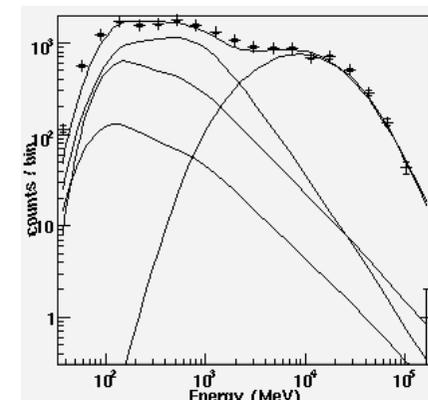
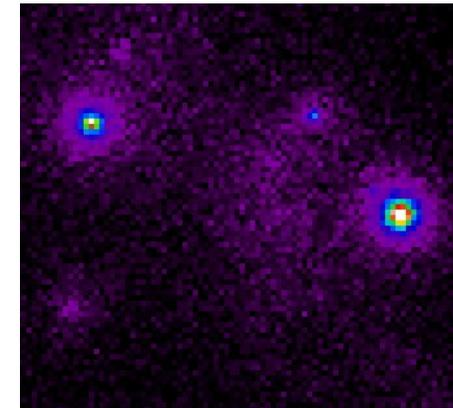
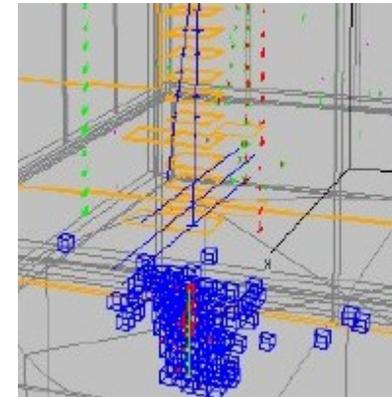
NB: dipende dalle selezioni descritte sopra: per ogni selezione si identifica una *classe di eventi* a cui sono associate delle *funzioni di risposta*

Va definita una classi (i.e. dei tagli)

Va computata la corrispondente risposta

Si produce il corrispondente set di dati

Si analizza il dato e si ottengono le grandezze scientifiche (posizione, flusso, spettro...)



# “Potare” gli eventi



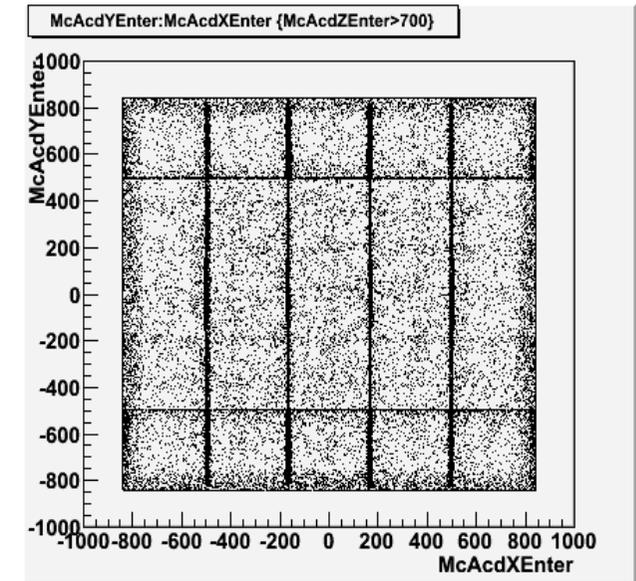
Bisogna decidere se un evento va tenuto o se va rigettato

**Reiezione dei fondi** sui file ROOT

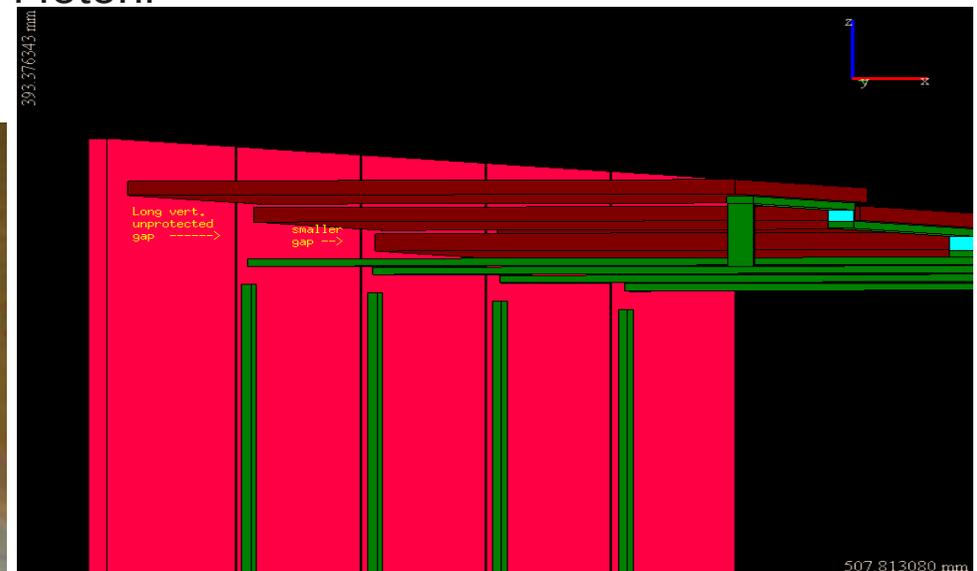
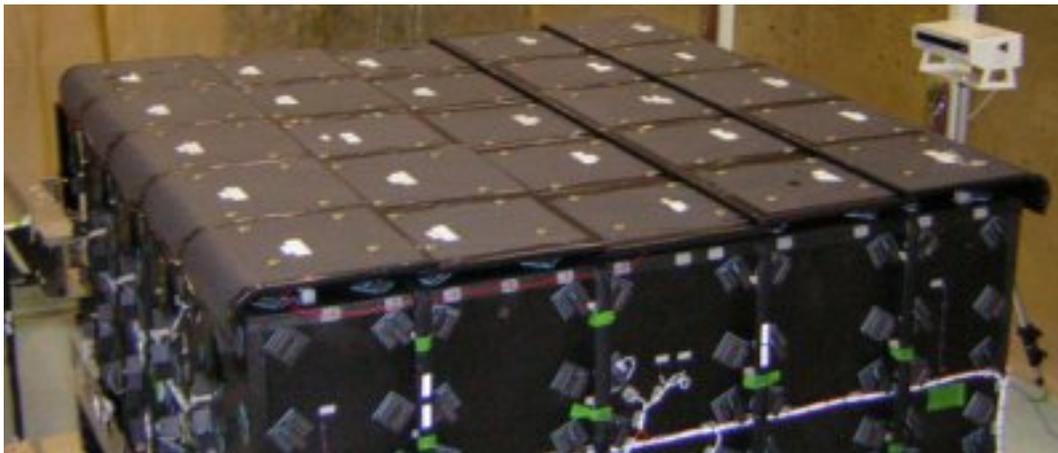
NB: al momento dell'arrivo a terra ancora  $S/N \sim 0.1$

Primo passo: si “potano” gli eventi

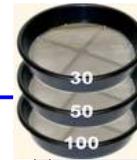
Si identificano classi di eventi ad alta presenza di fondi e si eliminano limitando lo spazio delle fasi con dei tagli ad hoc e.g. ci sono delle parti dell'anticoincidenza con una minore efficienza: possiamo selezionare questi eventi e applicare dei requisiti più stringenti



Si deve influire il meno possibile sull'efficienza per i fotoni



# Eventi al setaccio



Ben presto dei semplici tagli non sono più in grado di raffinare ulteriormente la classificazione senza impattare troppo sull'efficienza dei gamma

Vengono utilizzati dei tagli molto complessi, costruiti automaticamente partendo dalle simulazioni Montecarlo

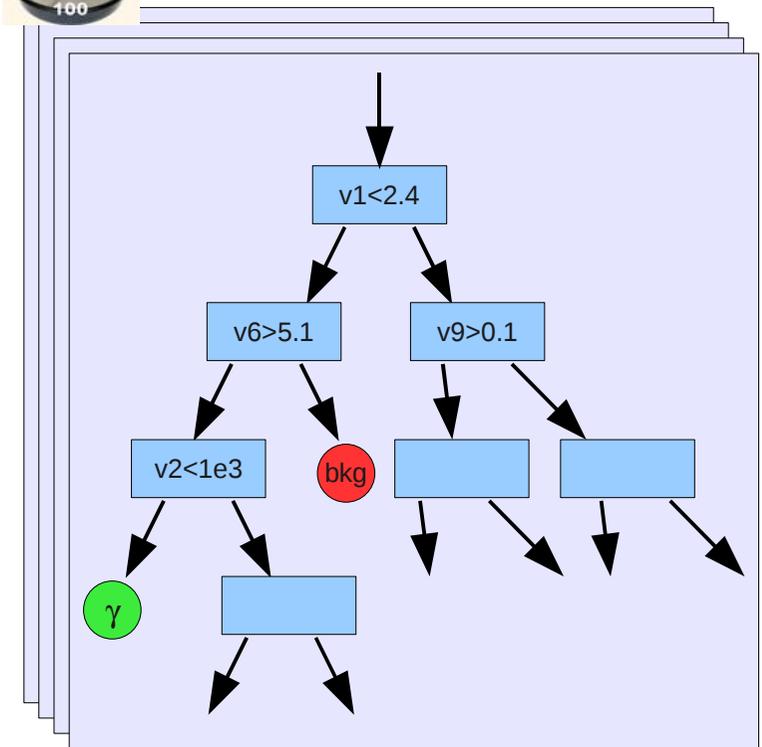
Si prepara un insieme di fotoni e uno di fondi, partendo dal modello del fondo nell'orbita del LAT

Tecniche di *machine learning*: vengono creati degli alberi di classificazione con degli algoritmi appositi, per partizionare lo spazio delle fasi ricercando le zone con alta contaminazione e eliminandole

Utilizzando diversi alberi indipendenti cresciuti allo stesso modo è possibile arrivare ad una stima della “probabilità” che un evento sia un gamma, in base ai “voti” ricevuti

La stessa tecnica viene usata per selezionare la migliore stima della direzione e la migliore stima dell'energia tra quelle disponibili, e stimare quanto è “buona” la stima scelta

Tagli su queste probabilità permettono di definire la “classe degli eventi”: ex: “transienti”, “catalogo”, “sorgenti estese”...



# Stimare le performance

Fissata una classe di eventi è necessario valutare le corrispondenti performance dello strumento

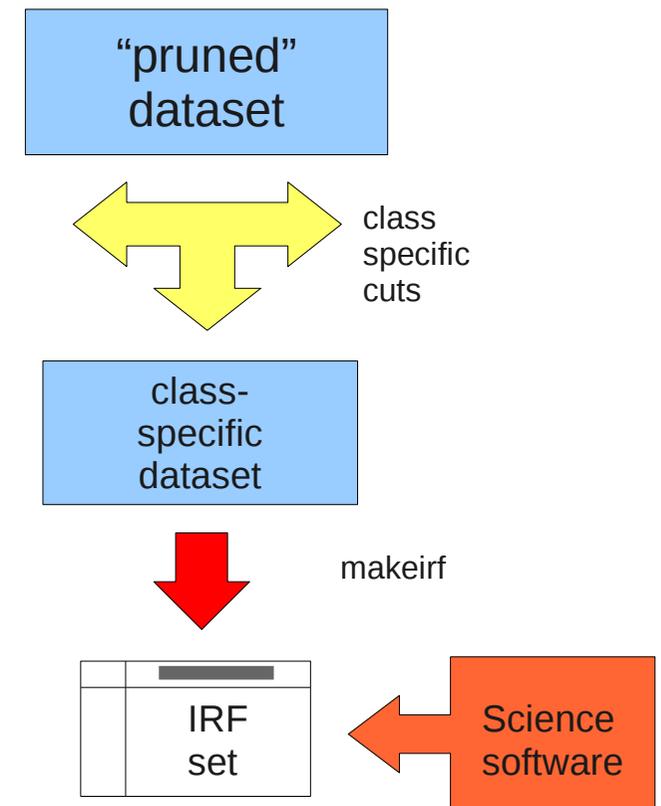
Per far ciò si utilizza una simulazione MC dedicata, ad altissima statistica

Per ogni definizione di classe si "riduce" in corrispondenza il set di dati

Su questi eventi si valutano

- l'efficienza
- la risoluzione angolare
- la risoluzione energetica

E' generalmente disponibile anche una simulazione del background, alla quale possono essere applicati gli stessi tagli dei gamma, per valutare la composizione residua  
Basata sul modello dei flussi in orbita, con feedback dallo strumento stesso



# Analisi scientifica

I parametri valutati in precedenza sono tabulati in modo convenzionale in un pacchetto di *funzioni di risposta*

E' possibile simulare in modo rapido le osservazioni dello strumento partendo da un modello delle sorgenti  
Non è possibile invertire analiticamente il processo per ricavare il flusso vero di una sorgente

Metodi di massima verosimiglianza

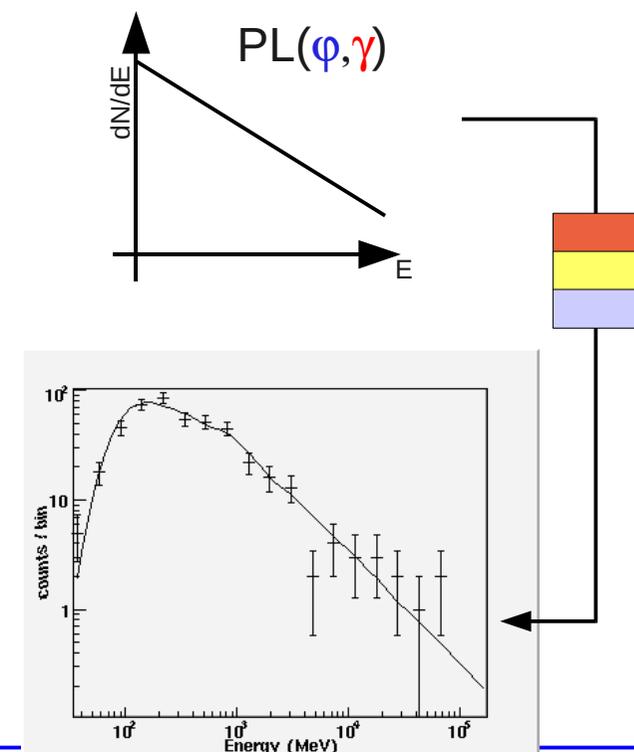
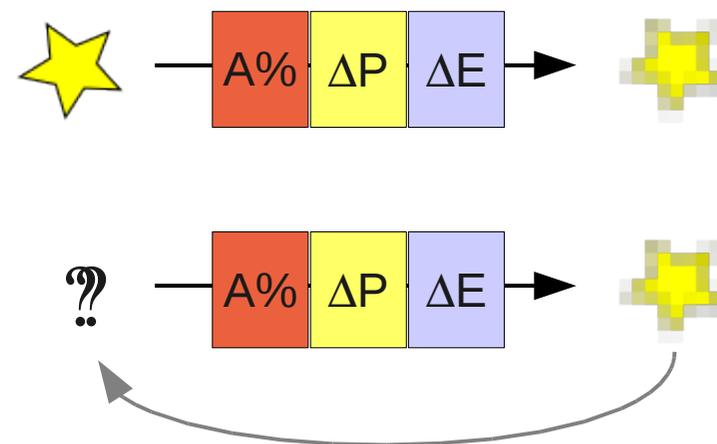
Un modello  $M$  dipendente da parametri è convoluto con la risposta e confrontato con i dati osservati

Definendo una funzione di verosimiglianza è possibile massimizzarla in funzione dei parametri di  $M$

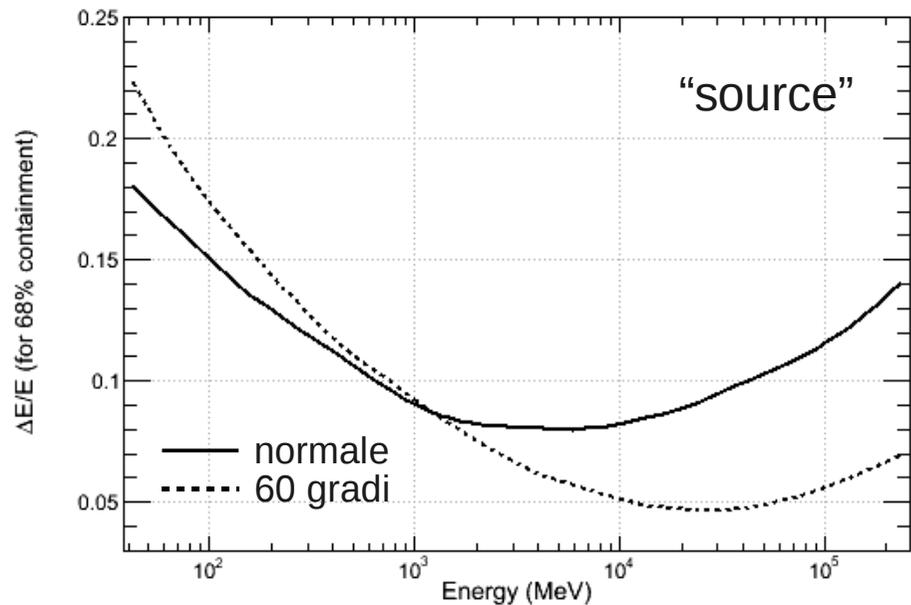
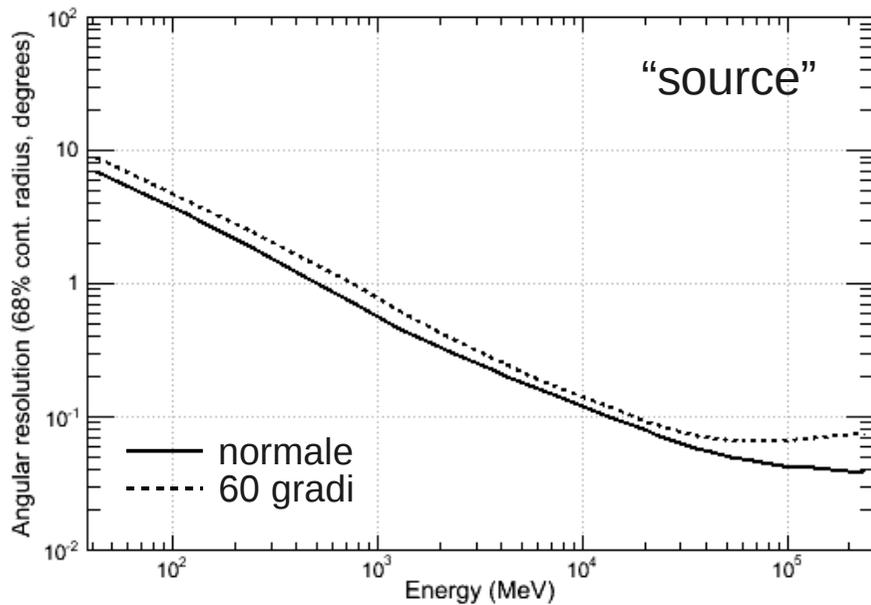
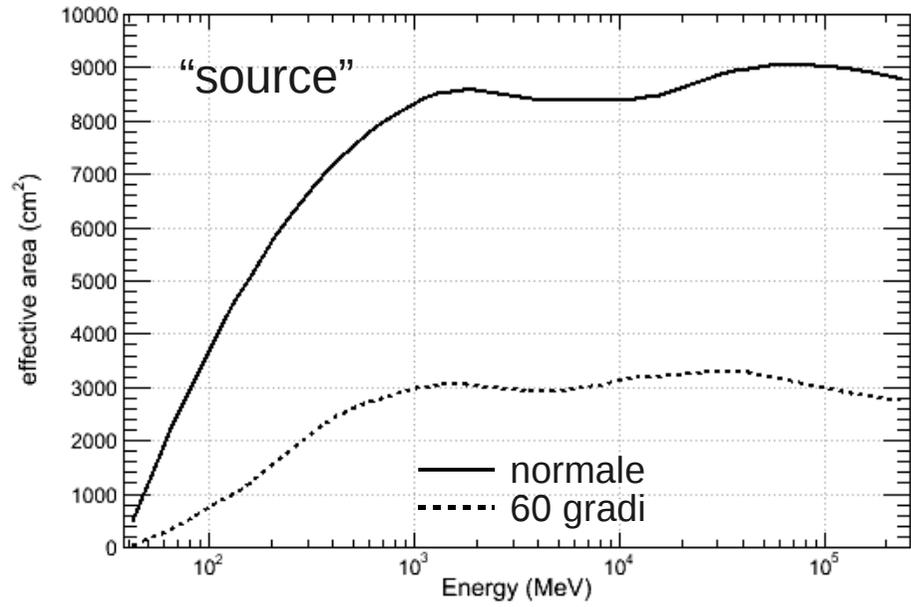
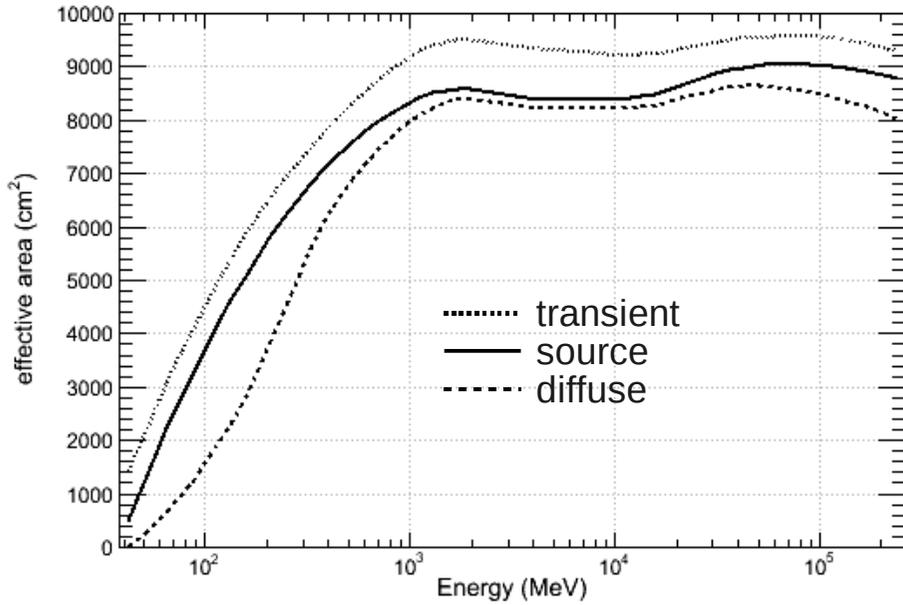
Si trova l'insieme dei parametri che meglio descrivono l'osservazione *dato il modello  $M$*

La conoscenza della risposta condiziona fortemente la qualità del dato scientifico

Con sorgenti standard, simulate MC e analizzate col formalismo qui descritto, vengono valutata la componente di sistematiche intrinseche in questo approccio



# Performance



## Per concludere: papers etc

---

Fermi Observations of High-Energy Gamma-Ray Emission from GRB 080916C  
2009Science...323.1688A

The Fermi Gamma-Ray Space Telescope Discovers the Pulsar in the  
Young Galactic Supernova Remnant CTA 1  
2008Science...322.1218A

The Large Area Telescope on the Fermi Gamma-ray Space Telescope  
Mission  
2009arXiv0902.1089F, ApJ697, in press

Fermi Large Area Telescope Bright Gamma-ray Source List  
2009arXiv0902.1340A

Discovery of Pulsed  $\gamma$ -Rays from the Young Radio Pulsar PSR J1028–5819  
with the Fermi Large Area Telescope  
2009ApJ...695L..72A