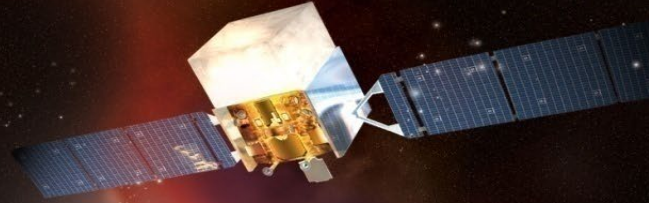




Fermi
Gamma-ray Space Telescope



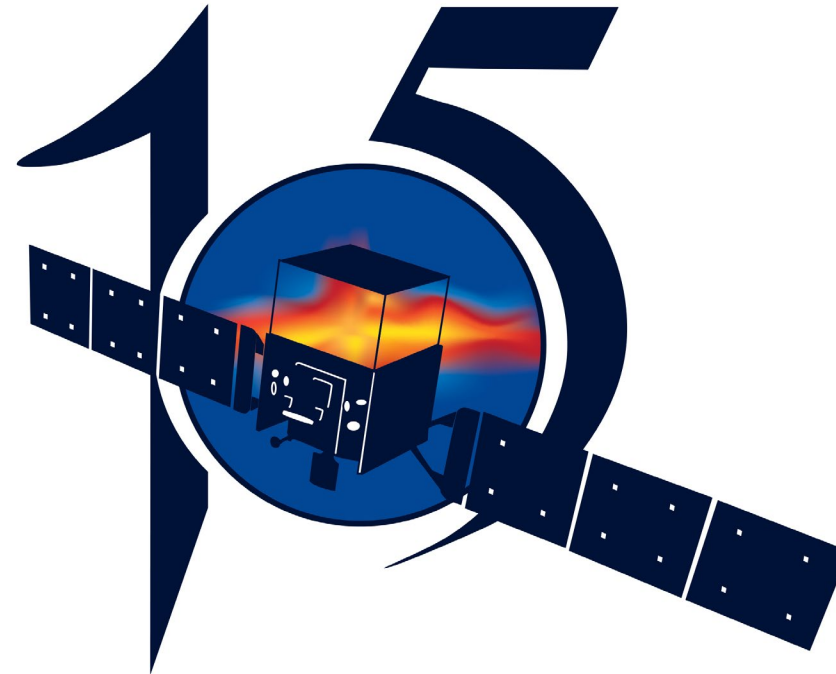
La scienza di Fermi-LAT

IFAE 2023 – Incontri di Fisica delle Alte Energie

Catania, 12-14 Aprile 2023

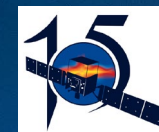
Roberta Pillera

per la Collaborazione Fermi-LAT



Panoramica

- La Missione Fermi
- Il Large Area Telescope (LAT)
- I cataloghi di sorgenti
- Le pulsar
- Flare da magnetar
- Gamma-Ray Bursts
 - il BOAT (Brightest Of All Times)



Roberta Pillera
IFAE 2023



La missione Fermi

- Il «Fermi Gamma-Ray Space Telescope» (FGST) è una missione spaziale internazionale per lo studio della radiazione gamma di origine astrofisica
- Il satellite è composto da due strumenti:
 - **Large Area Telescope (LAT)**
 - Effettua misure su raggi gamma di energie tra 20MeV fino a oltre 300GeV
 - **Gamma-Ray Burst Monitor (GBM)**
 - Effettua misure su raggi gamma di energie tra 8keV e 30MeV
- Tutti i dati relativi ai γ sono pubblicati entro 24 ore:
 - <https://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc>
 - Sono rilasciati al pubblico anche i tool di analisi (**fermitools**)



Fermi-LAT Collaboration:

~400 Scientific Members,

NASA / DOE & ~400 Scientific Members

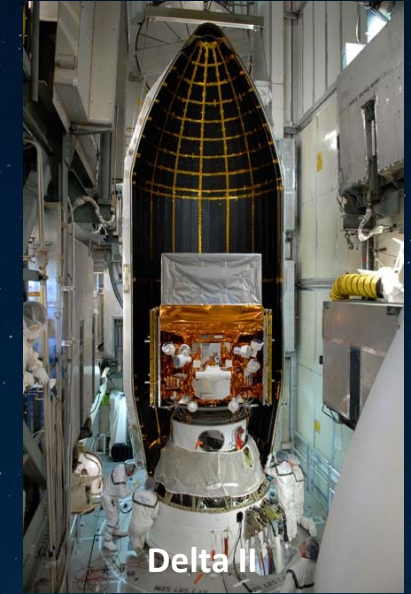
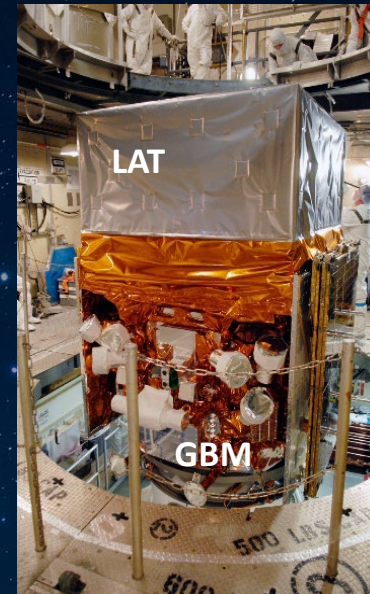


Roberta Pillera
IFAE 2023



Il lancio di Fermi

- Lanciato l'11 giugno 2008 dal Cape Canaveral Kennedy Space Center – NASA con il razzo Delta II
 - Orbita circolare, altitudine media 565km, inclinazione 25.6°
 - Presa dati di scienza iniziata in agosto 2008
- Modi di operazione
 - Modalità principale: «sky survey»
 - Copre tutto il cielo ogni 3 ore (2 orbite)
 - Richiesta di ripuntamento autonoma
 - A seguito di un «alert» di un GRB
 - Target of Opportunity «ToO»
 - Durata da 1 giorno a qualche settimana
 - Flare da AGN, Novae, Sole, etc.



June 11th, 2008 Cape Canaveral (Florida)



Roberta Pillera
IFAE 2023



Il Large Area Telescope (LAT)

Tracciatore a strip in silicio (TKR)

Misura le direzioni dei γ incidenti

- Conversione di coppie $\gamma \rightarrow e^+e^-$
- 18 piani di tracciamento XY: passo $228 \mu m$
- Alta efficienza. Ottima risoluzione.

FoV $2.4sr$ ($\sim 20\%$ del cielo)
Copre tutto il cielo in ~ 3 ore

Calorimetro (CAL)

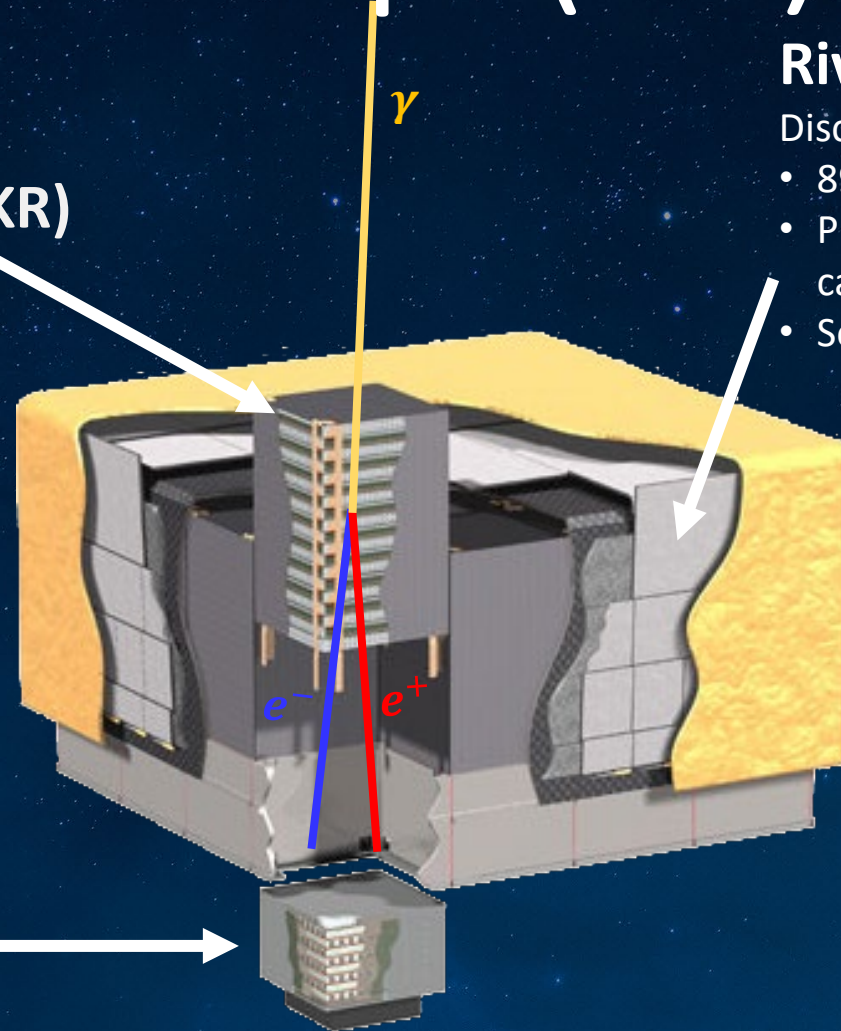
Misura l'energia dei γ incidenti

- Calorimetro segmentato con 1536 cristalli di CsI(Tl)
- Spessore «on-axis»: $8.6 X_0$

Rivelatore di anticoincidenza (ACD)

Discriminazione dei raggi cosmici carichi

- 89 tiles di scintillatore plastico
- Primo step per rigettare il fondo di raggi cosmici carichi
- Segmentazione riduce il self-veto ad alte energie



Più dettagli in:

“Fermi Large Area Telescope Performance after 10 Years of Operation”, The Astrophysical Journal Supplement Series 256 (2021), 1-12.

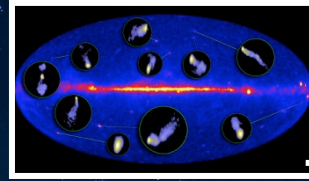
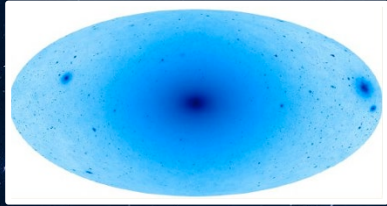


Roberta Pillera
IFAE 2023

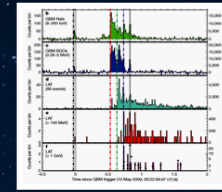


Scienza con il Fermi LAT

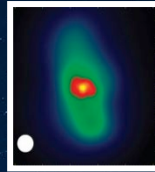
Ricerca di materia oscura



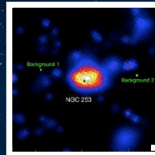
Blazar



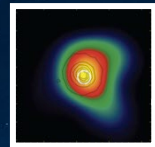
GRB



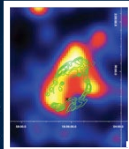
Radiogalassie



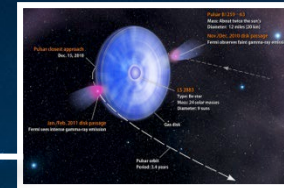
Galassie Starburst



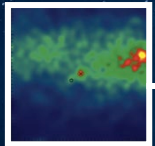
Cluster globulari



SNRs & PWN

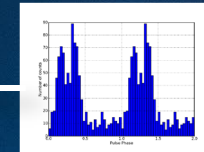


Sistemi binari γ



Novae

Pulsar: isolate, binarie, & MSPs



Luna

Terra

Limbo

Asteroidi

Sole: flare & interazioni con i CR



Locale

Flash di raggi- γ terrestri
Sorgenti non identificate



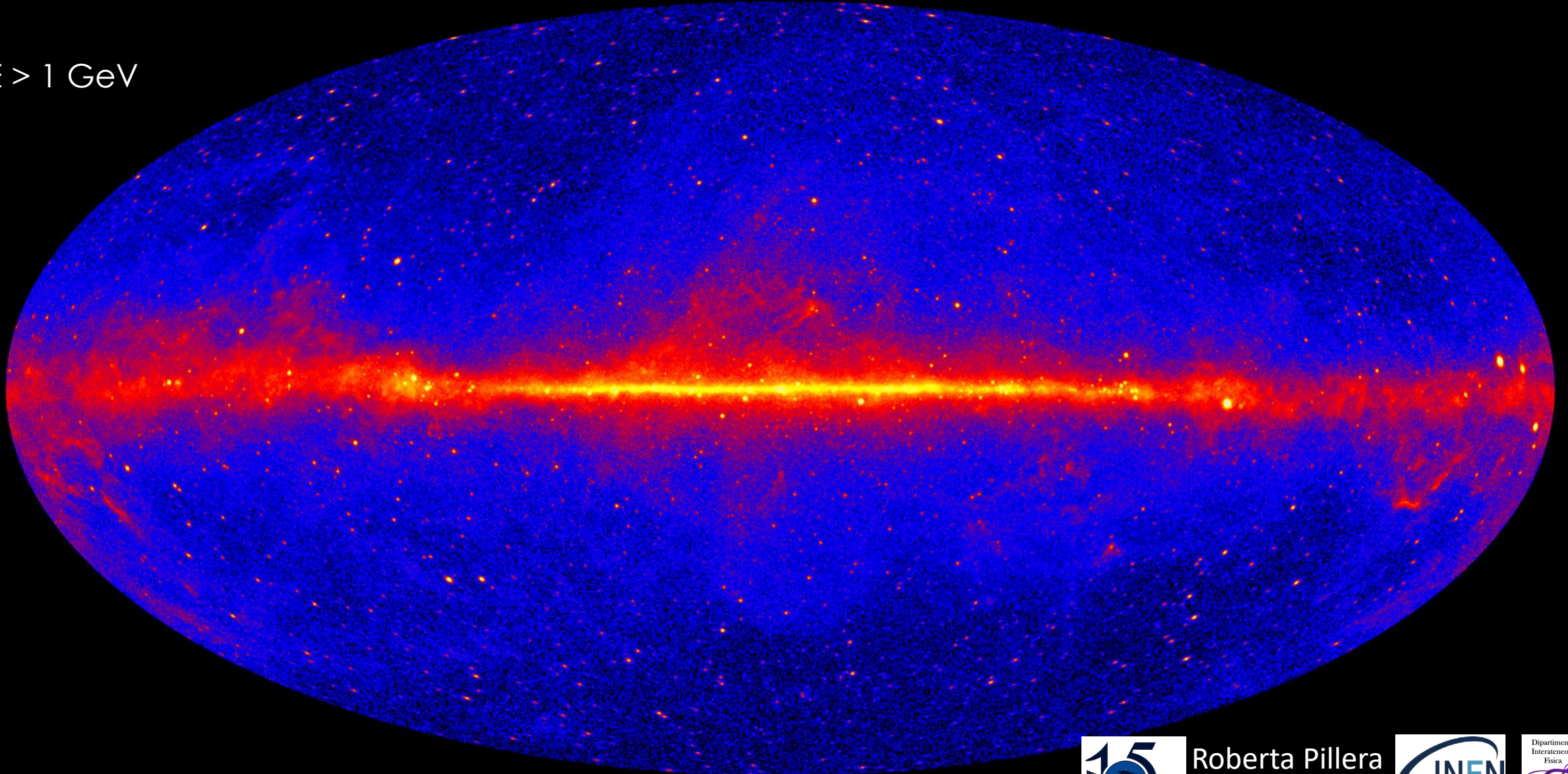
Roberta Pillera
IFAE 2023



Michangelo Merlin

Il cielo gamma visto dal LAT

$E > 1 \text{ GeV}$



I cataloghi

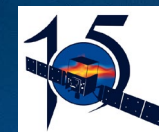
- I cataloghi sono uno dei prodotti principali del LAT
 - Classificazione delle sorgenti
 - Studi di popolazione
 - Possibilità di identificare nuove classi di sorgenti
- Vengono rilasciati cataloghi sia generali che relativi a specifiche classi di sorgenti
 - AGN, Pulsar, GRB, SNR, flare solari, etc...
- I cataloghi sono spesso lo strumento di base per molte analisi
 - Sono il punto di partenza di studi più approfonditi di specifiche sorgenti
 - Possono essere il punto di partenza per osservazioni multi-wavelength
 - Sono utilizzati per modellizzare qualsiasi regione di interesse nel cielo

Acronym	IRFs/Diffuse Model	Energy Range/Duration	Sources
1FGL	P6_V3_DIFFUSE gll_iem_v02	0.1–100 GeV 11 months	1451 (P)
2FGL	P7SOURCE_V6 gal_2yearp7v6_v0	0.1–100 GeV 2 yr	1873 (P)
3FGL	P7REP_SOURCE_V15 gll_iem_v06	0.1–300 GeV 4 yr	3033 (P)
FGES	P8R2_SOURCE_V6 gll_iem_v06	10 GeV–2 TeV 6 yr	46 (E)
3FHL	P8R2_SOURCE_V6 gll_iem_v06	10 GeV–2 TeV 7 yr	1556 (P)
FHES	P8R2_SOURCE_V6 gll_iem_v06	1 GeV–1 TeV 7.5 yr	24 (E)
4FGL	P8R3_SOURCE_V2 gll_iem_v07 (Section 2.4.1)	0.05 GeV–1 TeV 8 yr	5064 (P)

Più dettagli in:

- “Fermi Large Area Telescope Fourth Source Catalog”, *Astrophys. J. Suppl.* 247 (2020), 33.
- “Incremental Fermi Large Area Telescope Fourth Source Catalog”, arXiv:2201.11184 (2022).

Attualmente 4FGL_DR3
con 12 anni di dati

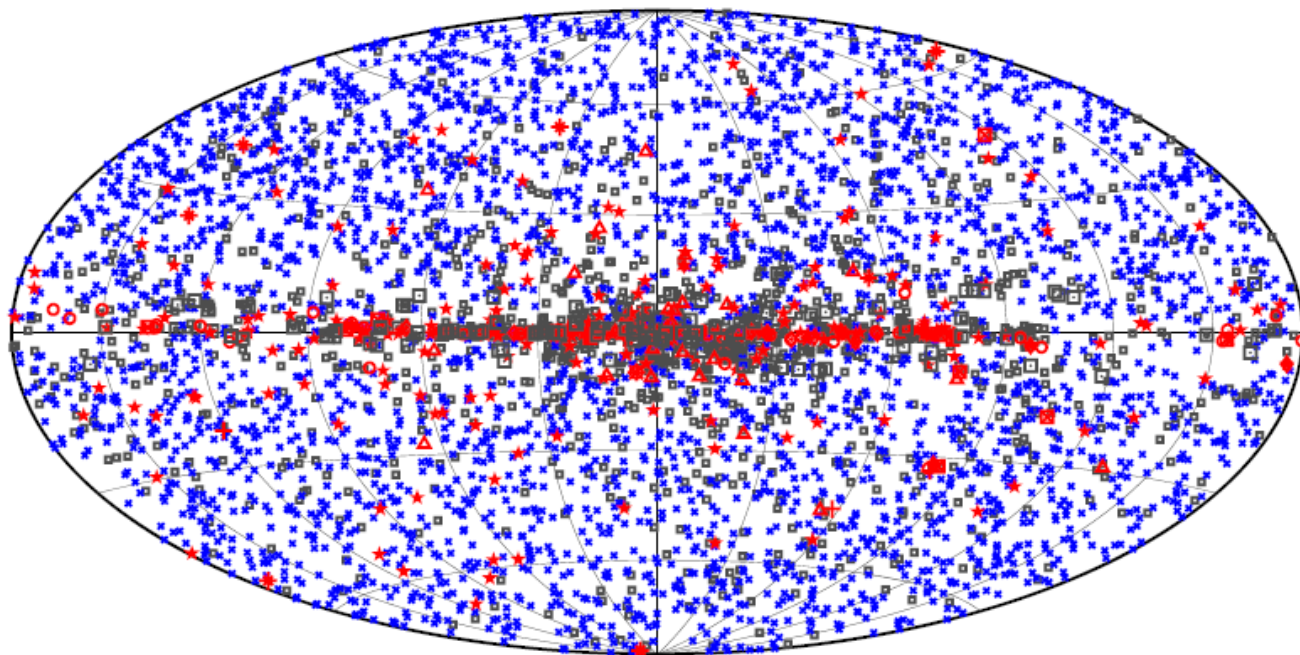
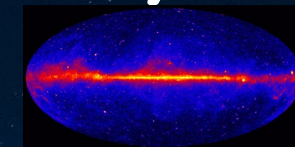


Roberta Pillera
IFAE 2023



Il quarto catalogo generale del LAT (4FGL)

- Oltre 6000 sorgenti rivelate con significatività oltre 4σ :
- In maggioranza blazar e pulsar
 - Più di 3000 delle sorgenti identificate o associate sono galassie attive appartenenti alle classi dei blazar
 - 276 pulsar, localizzate prevalentemente nella Via Lattea

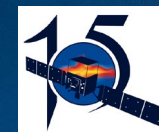


□ No association	□ Possible association with SNR or PWN	• AGN
★ Pulsar	▲ Globular cluster	◆ PWN
■ Binary	+ Galaxy	● Nova
★ Star-forming region	□ Unclassified source	
	◆ Starburst Galaxy	○ SNR

- 75 sorgenti estese
- Circa 1/3 delle sorgenti sono non associate a controparti in altre frequenze

Più dettagli in:

"Fermi Large Area Telescope Fourth Source Catalog", Astrophys. J. Suppl. 247 (2020), 33.

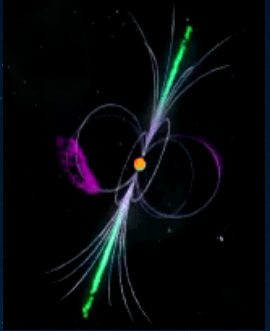


Roberta Pillera
IFAE 2023



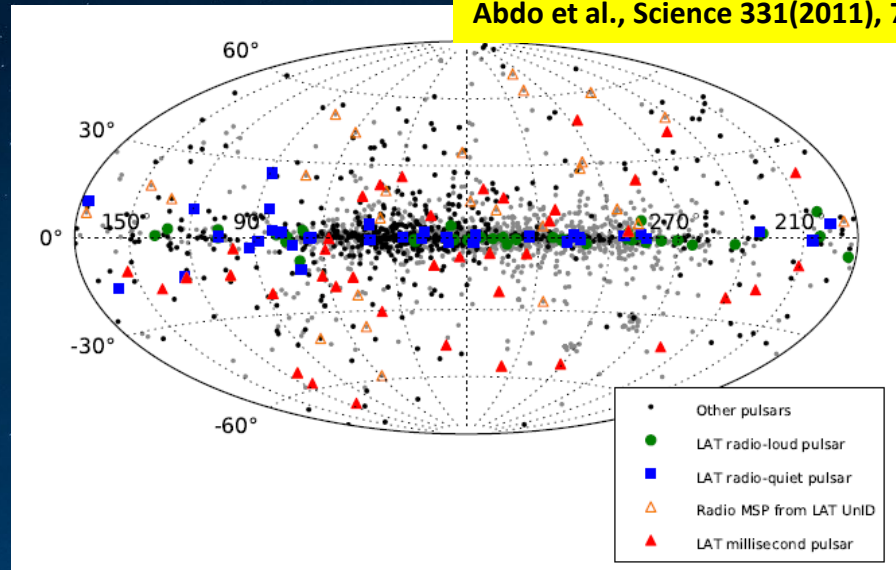
Le pulsar osservate dal LAT

- Attualmente Fermi ha rivelato 276 gamma-ray pulsar
 - Osservazioni riassunte nel secondo catalogo delle pulsar di Fermi LAT, 2PC
 - 3PC in fase di pubblicazione
 - Circa la metà delle pulsar osservate dal LAT non erano conosciute prima di Fermi
 - ❖ Un “Pulsar Search Consortium” (PSC) ha portato avanti ricerche nella banda radio e X alle posizioni delle sorgenti gamma non identificate del LAT



Più dettagli in:
Abdo et al 2013 ApJS 208 17
Allafort et al., ApJ Letters 777 (2013), L2
Abdo et al., Science 331(2011), 739

- Solo 7 pulsar gamma erano state osservate prima di Fermi
- Osservata la prima pulsar al di fuori della Via Lattea nella Grande Nube di Magellano
- Osservata la variabilità nell'emissione gamma delle pulsar
 - Flare della Crab osservati nel 2009 e 2010
- Scoperta delle «millisecond pulsar»
- Per una lista completa delle pulsar LAT:



○ <https://confluence.slac.stanford.edu/display/GLAMCOG/Public+List+of+LAT-Detected+Gamma-Ray+Pulsars>

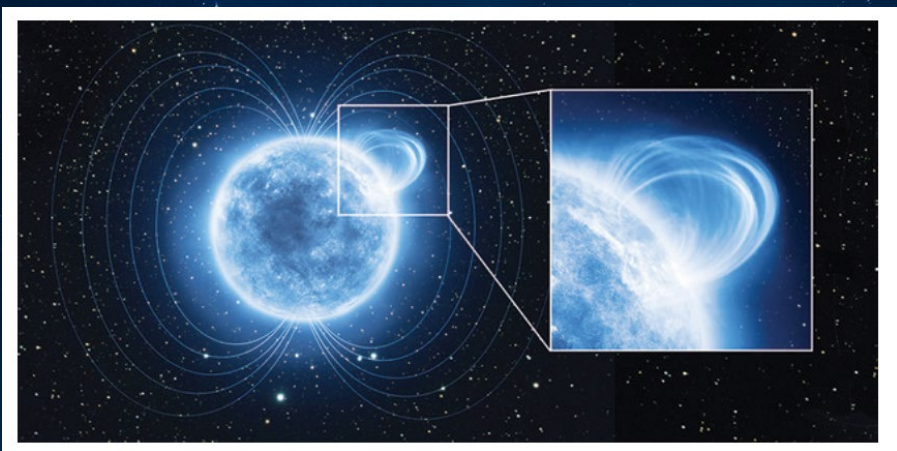


Roberta Pillera
IFAE 2023



Emissione alle alte energie da un flare gigante di una magnetar nella galassia dello Scultore

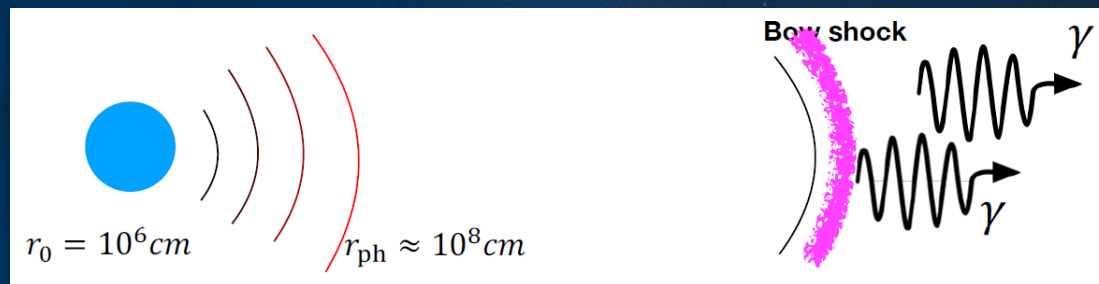
- Le magnetar sono stelle di neutroni altamente magnetizzate ($B = 10^{13} - 10^{15}$ G).
 - Flare giganti da magnetar (Magnetar Giant Flares, MGF) sono rari, brevi emissioni di raggi X duri e raggi γ molli
 - Origine dei MGF: Rilascio di energia da fratture nella crosta indotte dai forti campi magnetici
 - Viene espulso plasma caldo nella magnetosfera interna
- Prima osservazione di emissione al GeV da un MGF associato ad una magnetar in NGC 253 (Galassia dello Scultore DL ≈ 3.5 Mpc) il 15 aprile 2020 da Fermi LAT



L'emissione alle alte energie osservata da LAT è causata dall'emissione di sincrotrone delle particelle accelerate nello shock che si propaga nel mezzo interstellare (ISM)

Più dettagli in:

"High-energy emission from a magnetar giant flare in the Sculptor galaxy", Nature Astronomy, 2021, 5.4, 385-391.

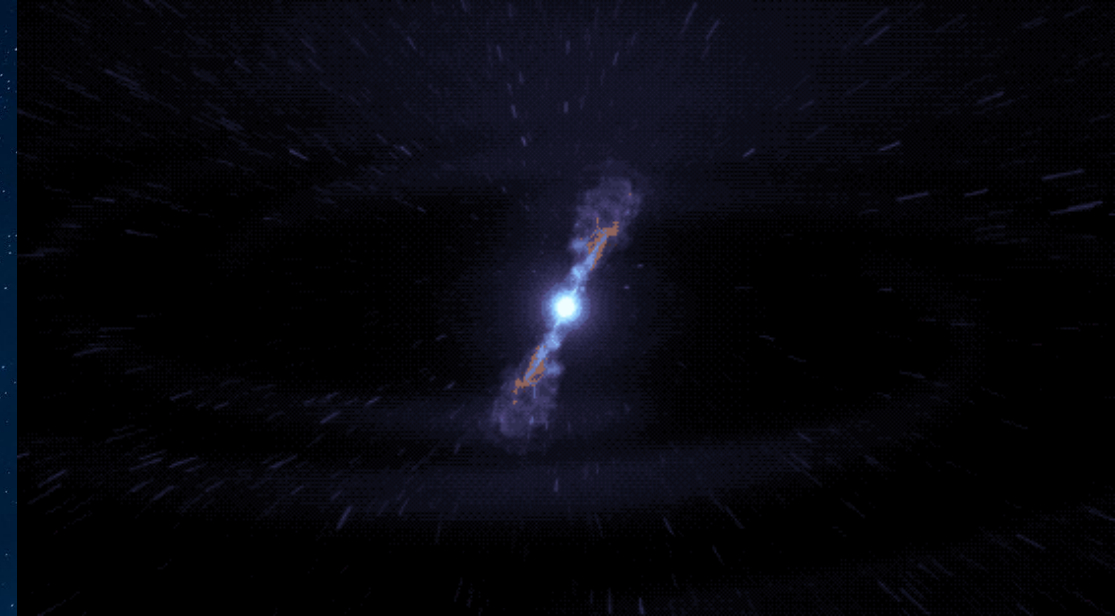


Roberta Pillera
IFAE 2023



I gamma-ray burst (GRB)

- Sono emissioni di raggi gamma che possono durare da frazioni di secondo a diversi minuti
- Provengono da eventi catastrofici che danno luogo alla formazione di un oggetto compatto:
 - esplosione di supernove
 - coalescenze di stelle di neutroni
- Sono gli eventi più luminosi e energetici dell'universo conosciuto
- Catalogo 10 anni di GRB di Fermi LAT:
<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/W3Browse/fermi/fermilgrb.html>



Più dettagli in:

“A Decade of Gamma-Ray Bursts Observed by *Fermi*-LAT: The Second GRB Catalog” Ajello et al. 2019 *ApJ* 878 52

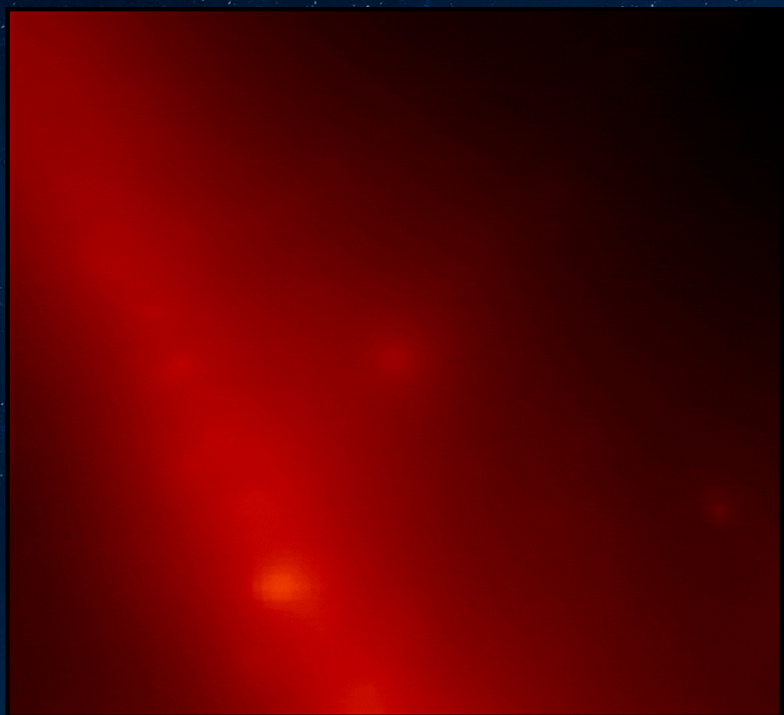


Roberta Pillera
IFAE 2023

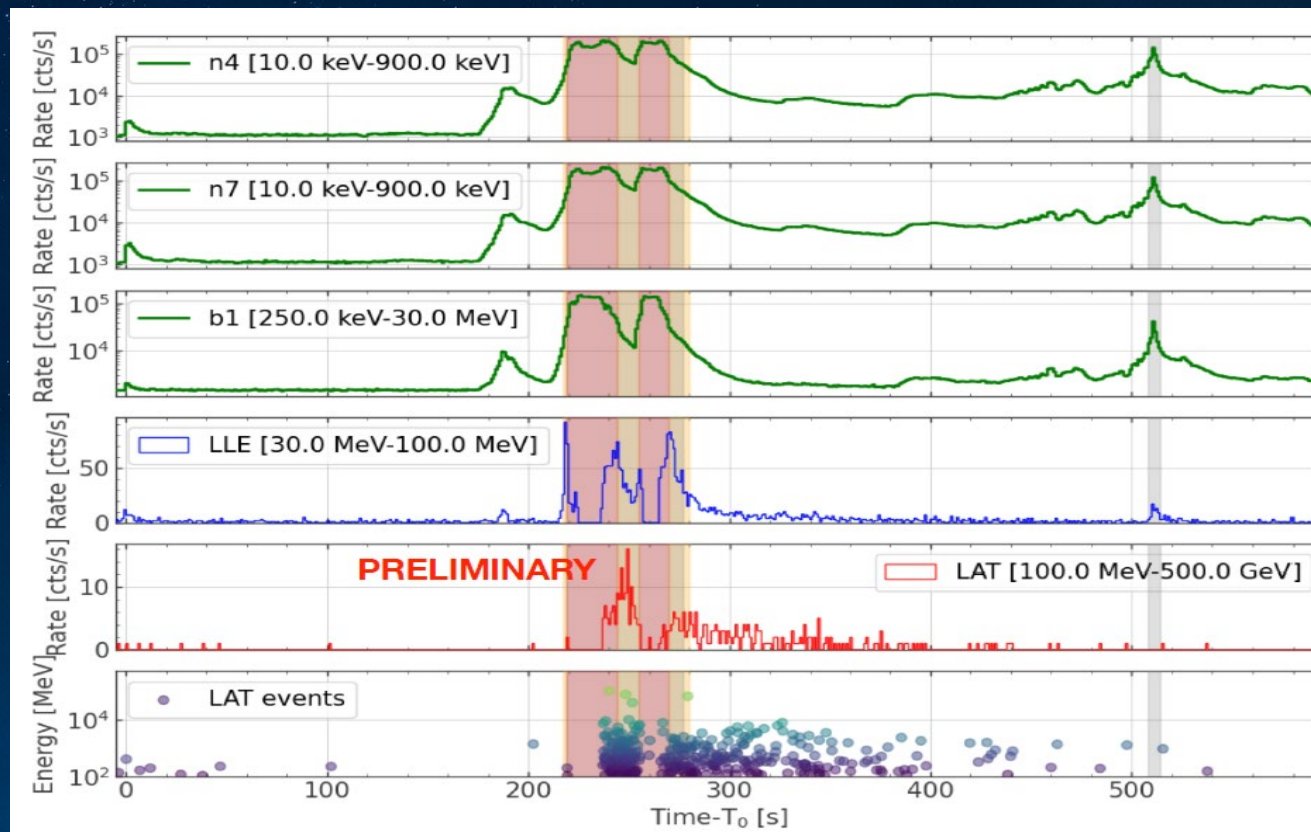


GRB221009A: il BOAT visto da LAT

- Il 9 ottobre 2022 è stato osservato da Fermi LAT il più luminoso GRB mai registrato (il “Brightest Of All Times”)
 - Emissione alle alte energie (fino a 100 MeV) del primo impulso al trigger di GBM
 - Diversi fotoni di energia >1 GeV, incluso un fotone di ~ 100 GeV, osservati nell’emissione principale
 - Emissione estesa (afterglow) di oltre 2 giorni
- L’elevato flusso di raggi X nella parte più brillante dell’evento ha causato effetti di pile-up nel LAT

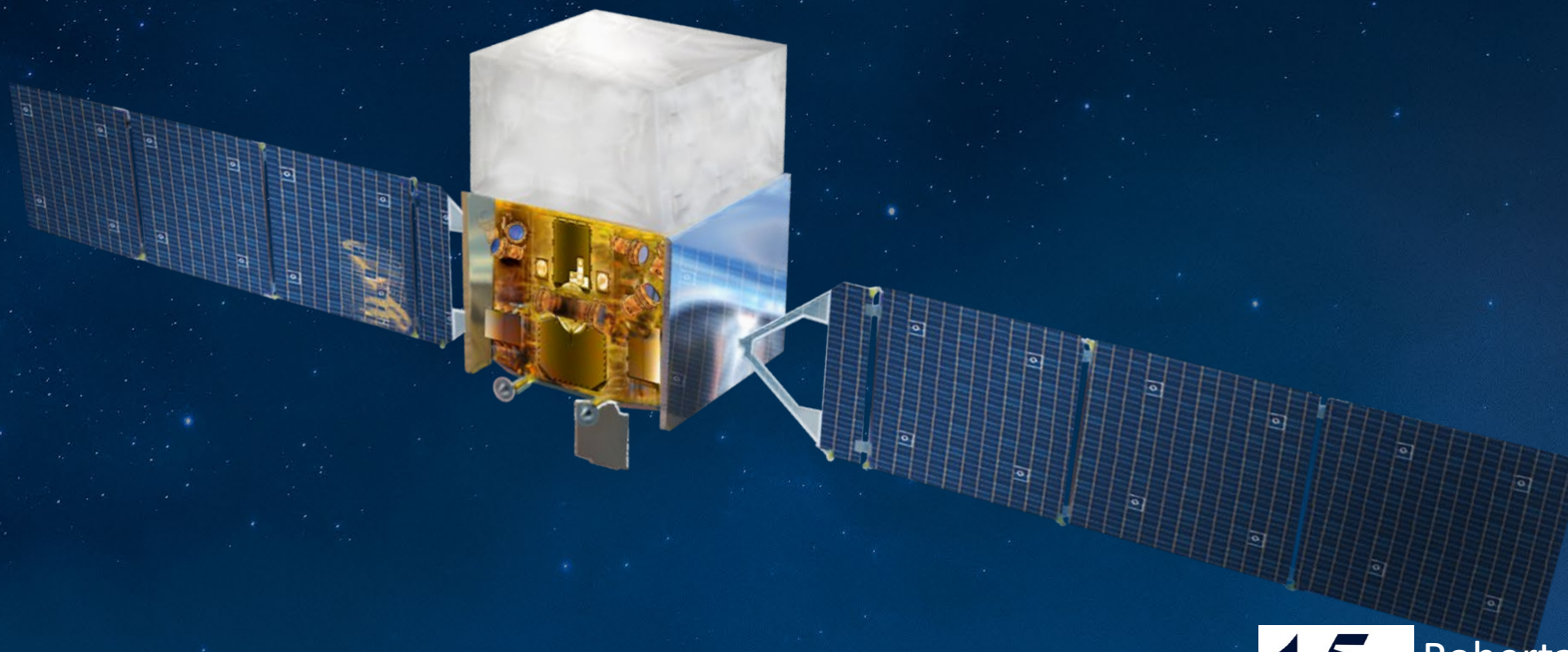


Credit: NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration



Conclusioni

- In 15 anni di presa dati Fermi LAT ha portato a numerosi risultati scientifici di altissimo livello
- È uno strumento essenziale per l'astrofisica delle alte energie
- Ha ancora molto da insegnarci e non smette di stupirci...



Roberta Pillera
IFAE 2023

