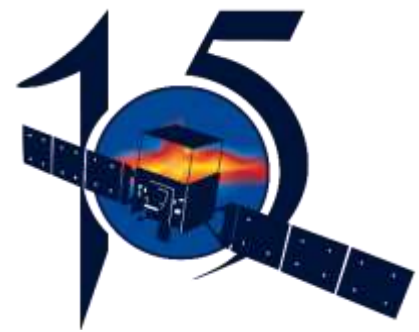


I raggi gamma e l'esperimento *Fermi*

Francesco de Palma

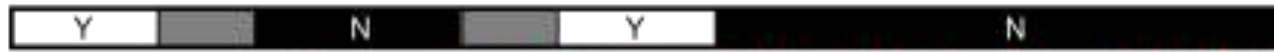
Francesco.depalma@le.infn.it

UniSalento & Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Sezione di Lecce

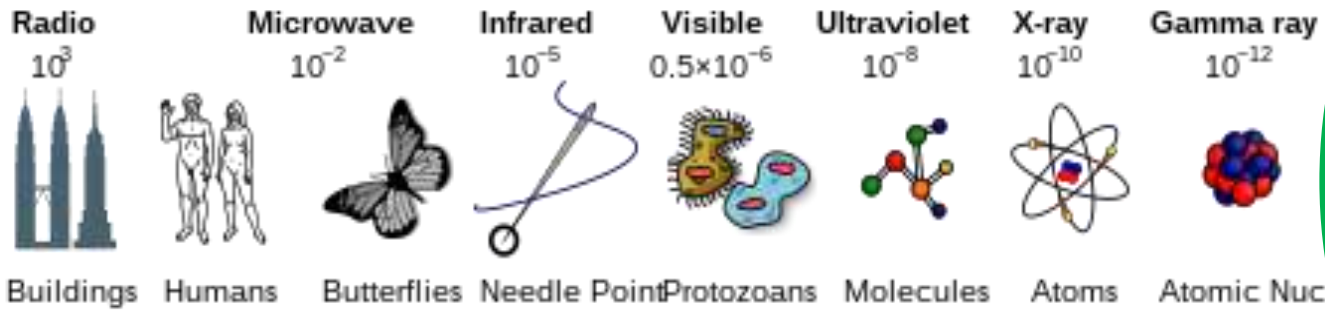
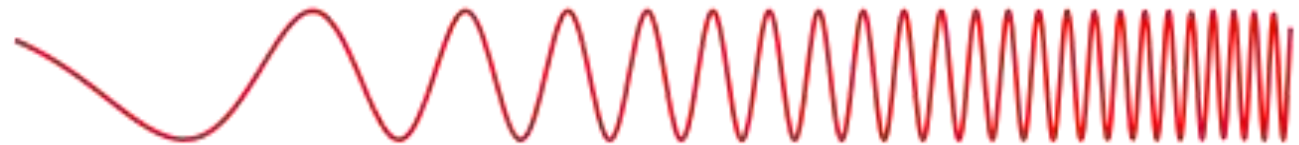


Spettro elettromagnetico

Attraversa l'atmosfera?

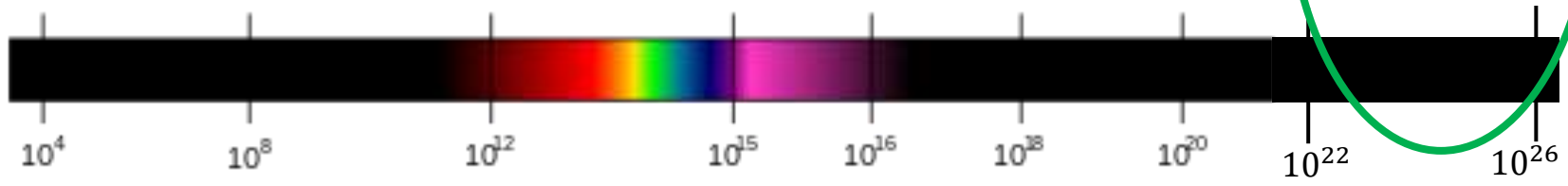


Tipo di radiazione
Lunghezza d'onda (m)

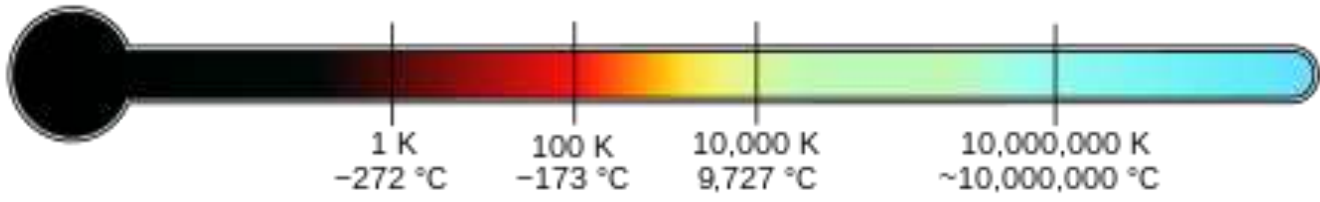


Scala della
lunghezza d'onda

Frequenza (Hz)



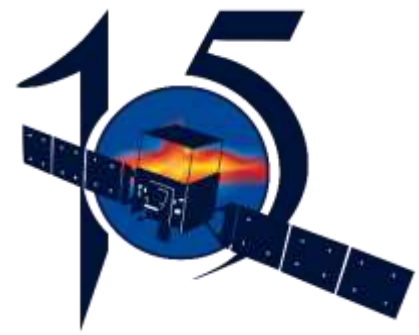
Temperatura alla
quale risulta la
radiazione
emessa più
intensa



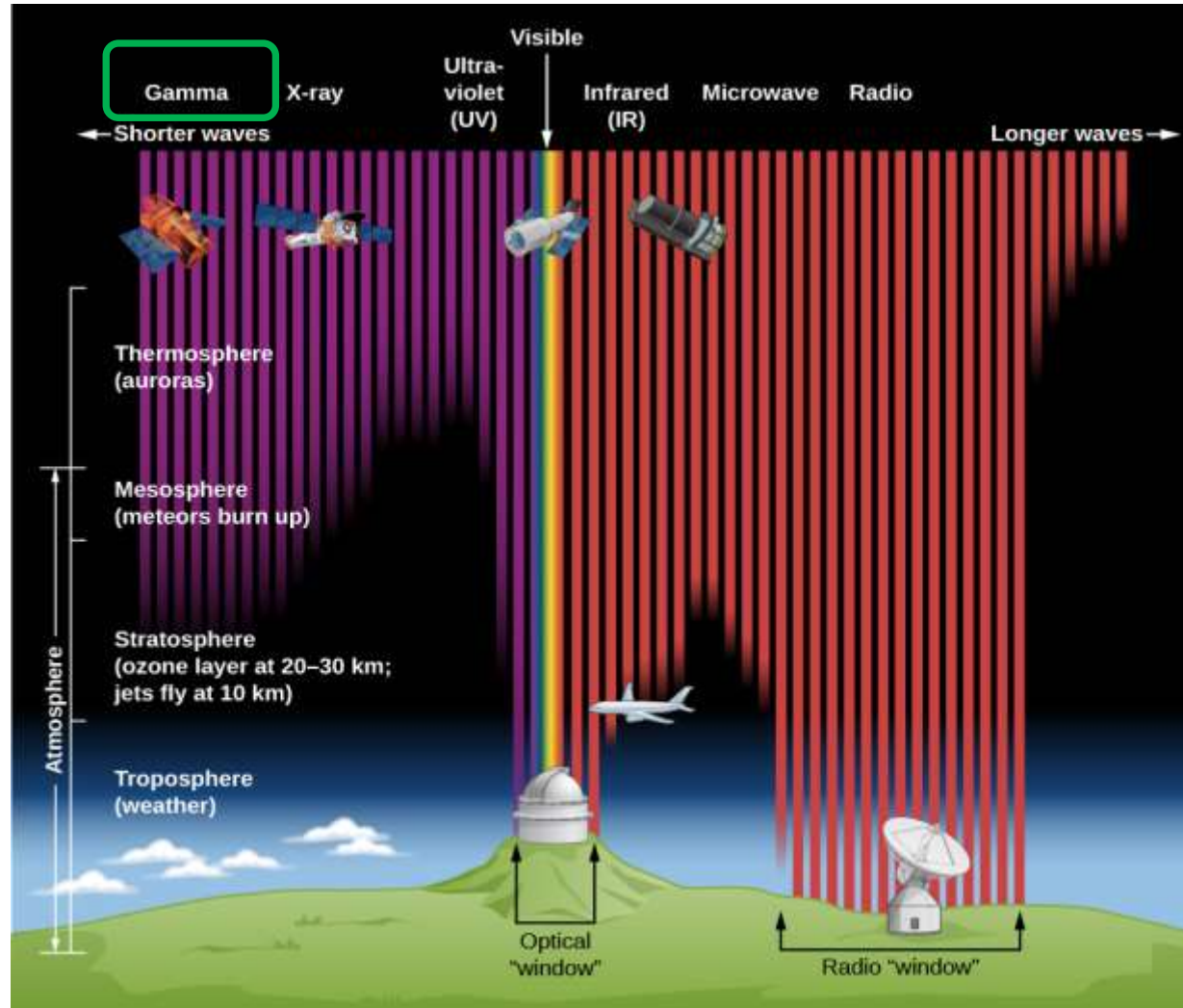
GBM: fotoni 100 mila-10 milioni di volte più energetici della luce visibile

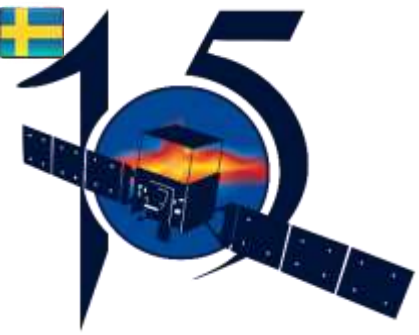
LAT: fotoni 100 Milioni-1000 miliardi di volte più energetici della luce visibile

Raggi Gamma osservati da Fermi



Perché usiamo un satellite?



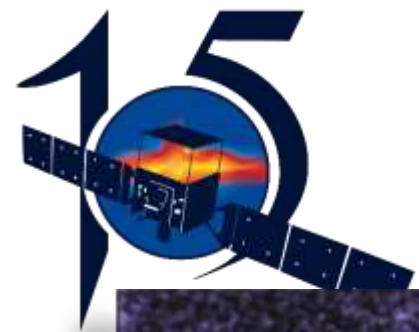


Il lancio di Fermi: 11 giugno 2008

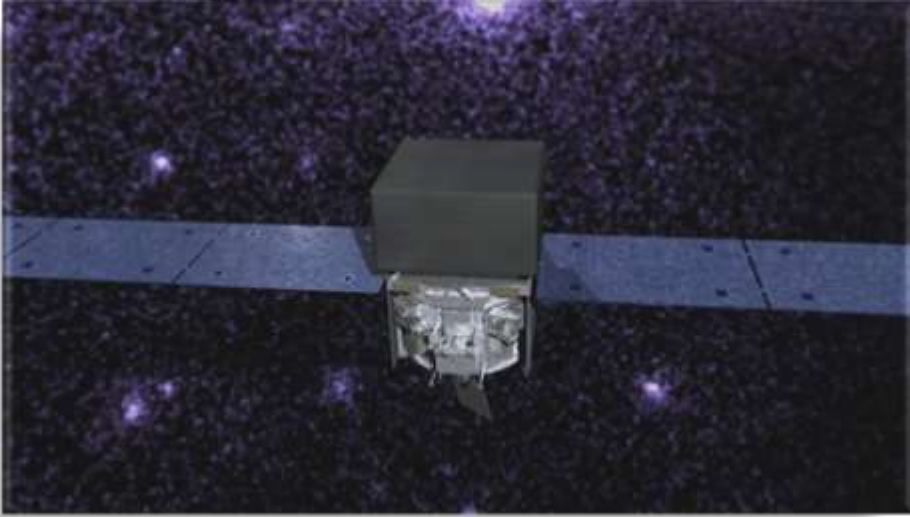


- Nella collaborazione *Fermi*-LAT ci sono più di 400 scienziati e studenti di più di 90 università e laboratori in 12 nazioni.



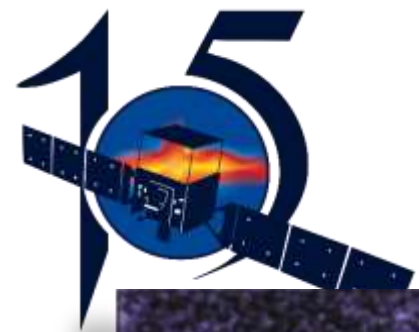


L'esperimento *Fermi*

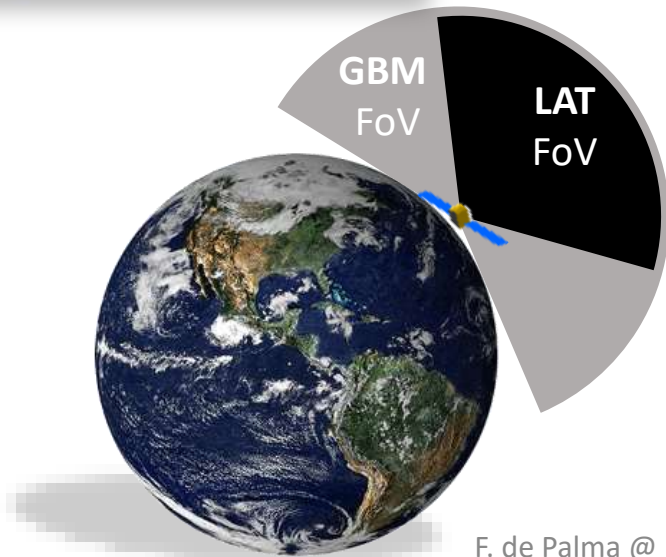
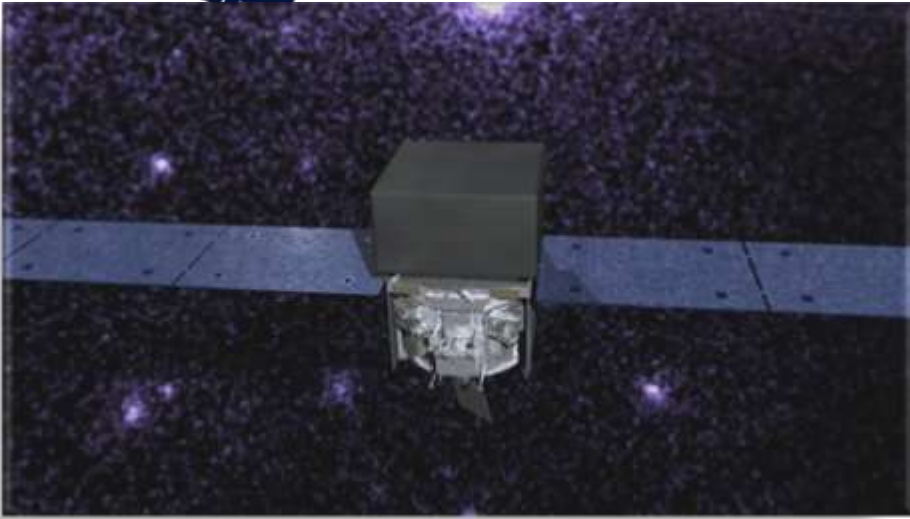


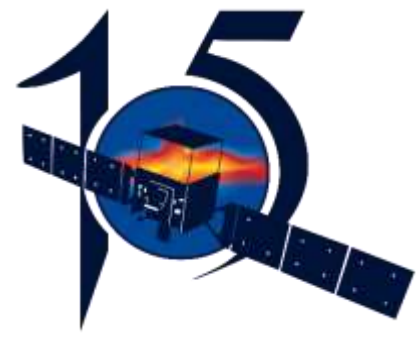
Large Area Telescope (**LAT**)

Gamma-Ray Burst Monitor (**GBM**)



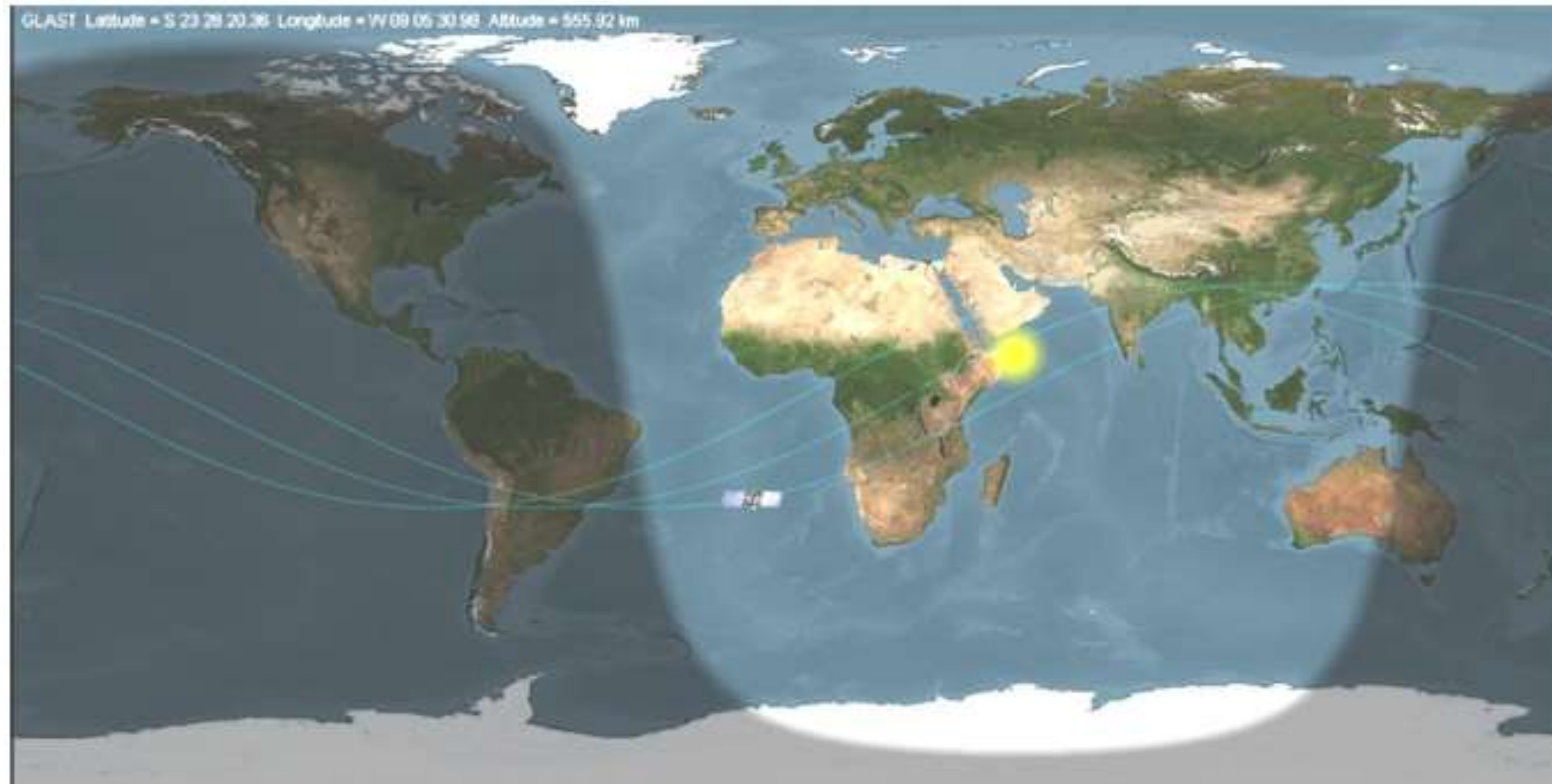
L'esperimento *Fermi*

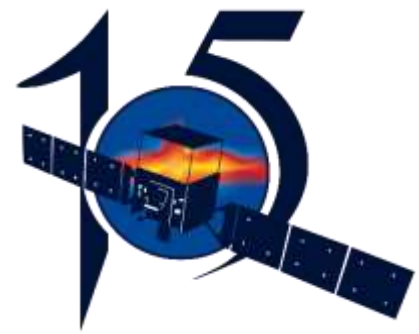




La missione Fermi

- Fermi descrive un'orbita circolare, a circa 565 km di altitudine, con un'inclinazione di 25.6° e con un periodo di 96 minuti
- Per sapere dove si trova il satellite Fermi in tempo reale: <http://www.n2yo.com/?s=33053>





Il Large Area Telescope (LAT) di Fermi

Tracciatore in silicio (TKR)

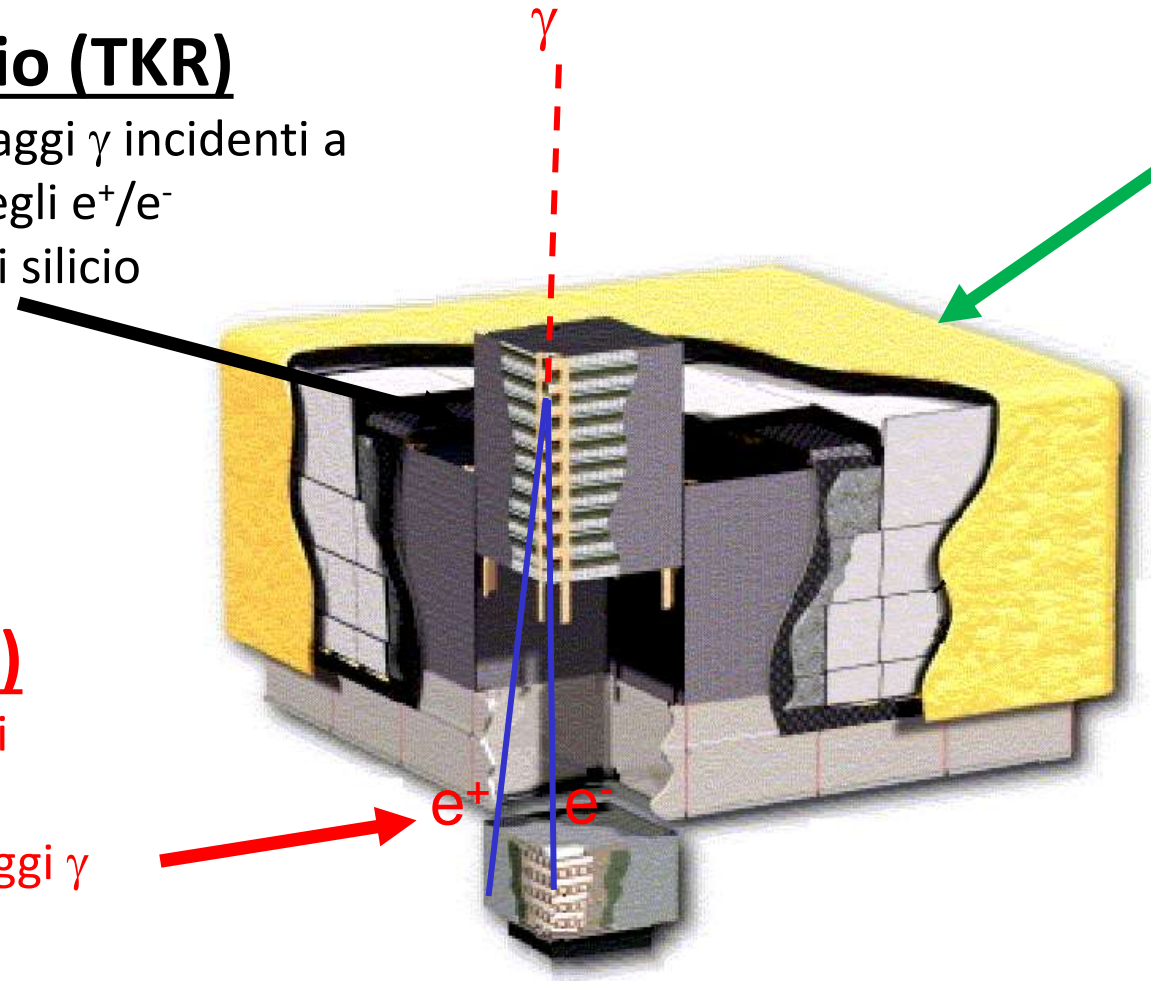
- Misura le direzioni dei raggi γ incidenti a partire dalle direzioni degli e^+/e^-
- Rivelatori a microstrip di silicio

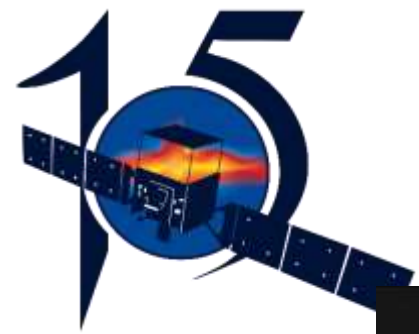
Rivelatore di anticoincidenza (ACD)

- Scintillatori plastici
- Serve per rigettare il fondo di raggi cosmici carichi

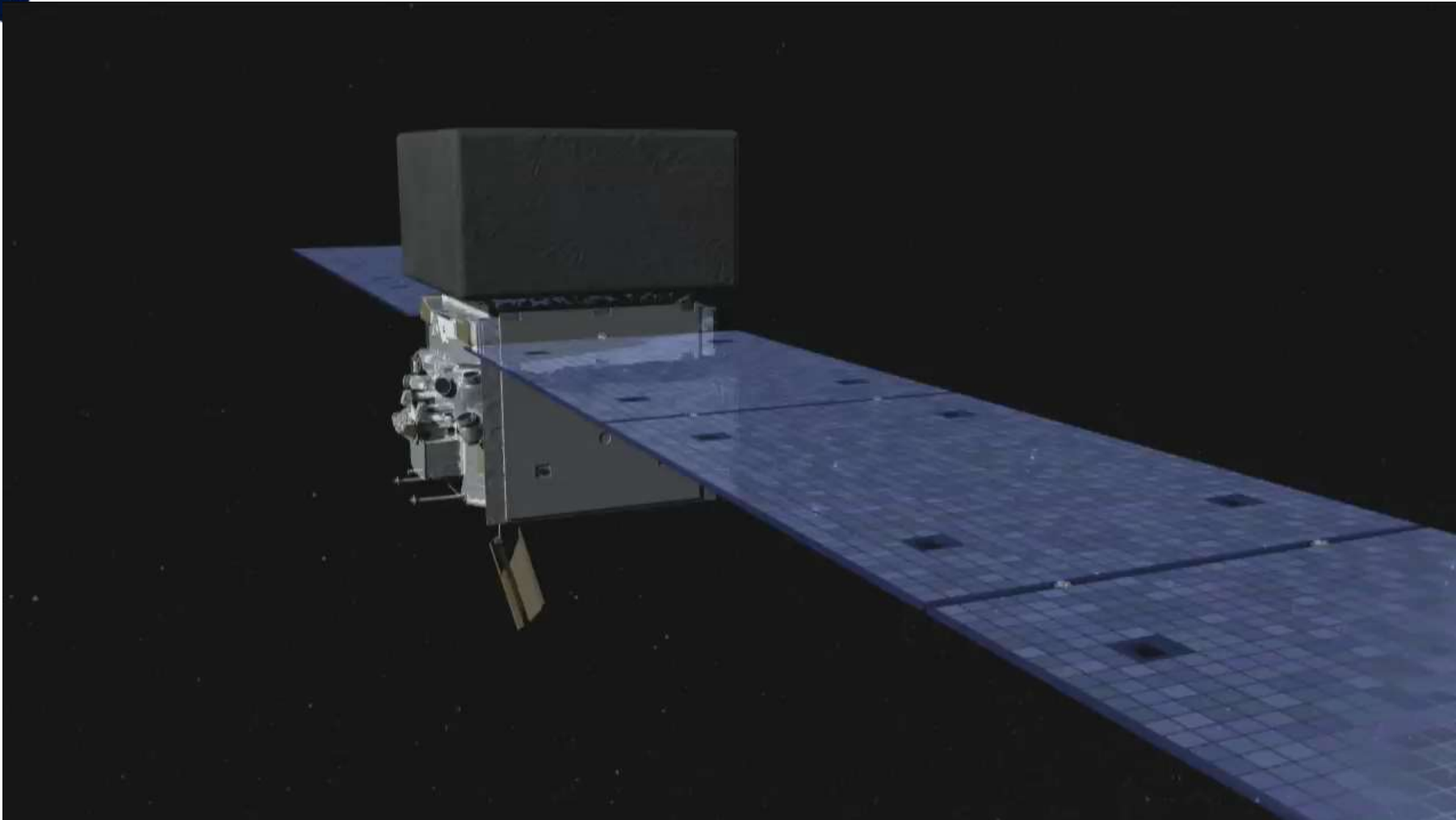
Calorimetro (CAL)

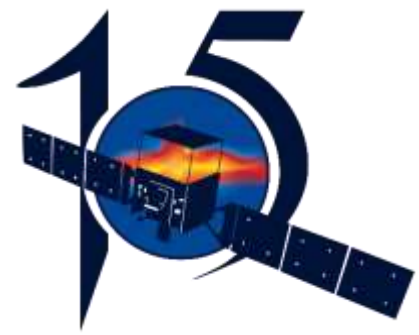
- E' composto da cristalli scintillatori
- Misura l'energia dei raggi γ



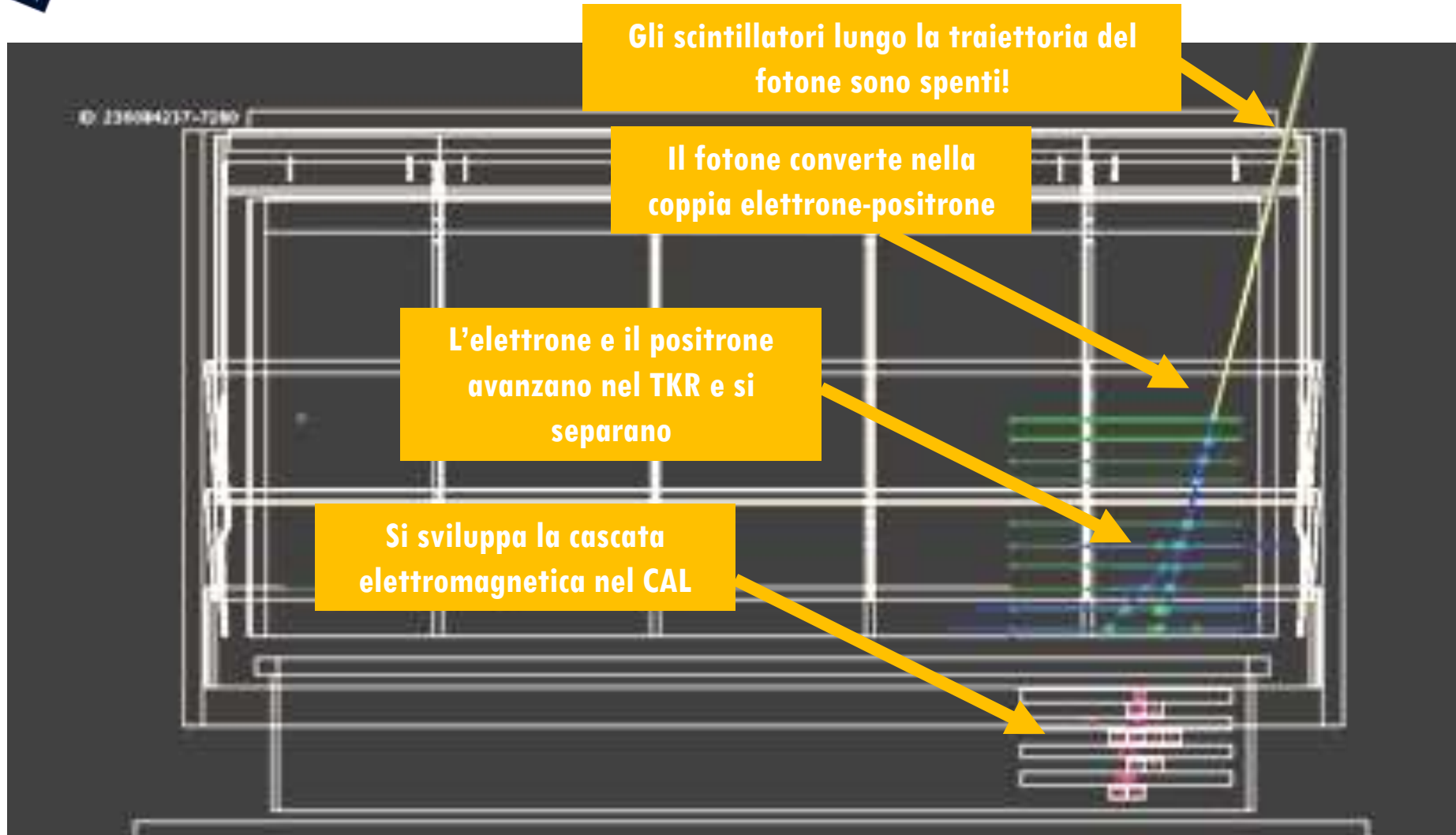


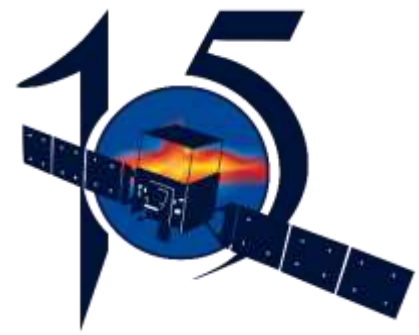
Come il LAT rivela i raggi γ



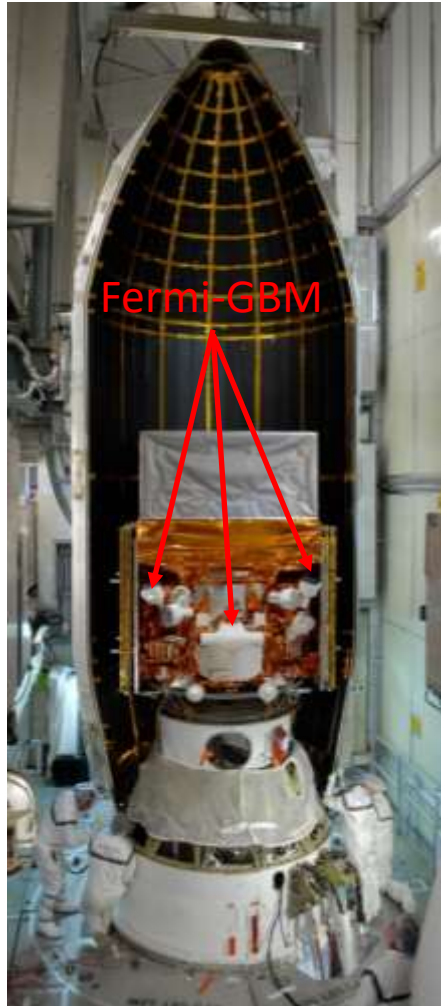


Esempio: evento con un fotone

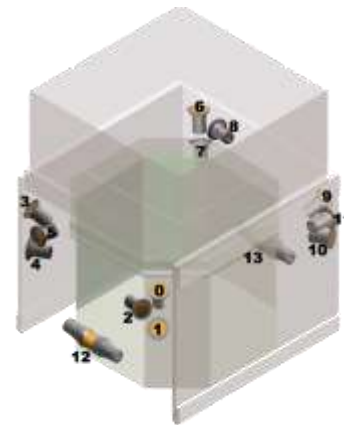


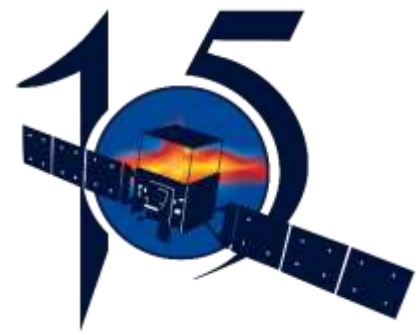


Detector a scintillazione: Fermi-GBM



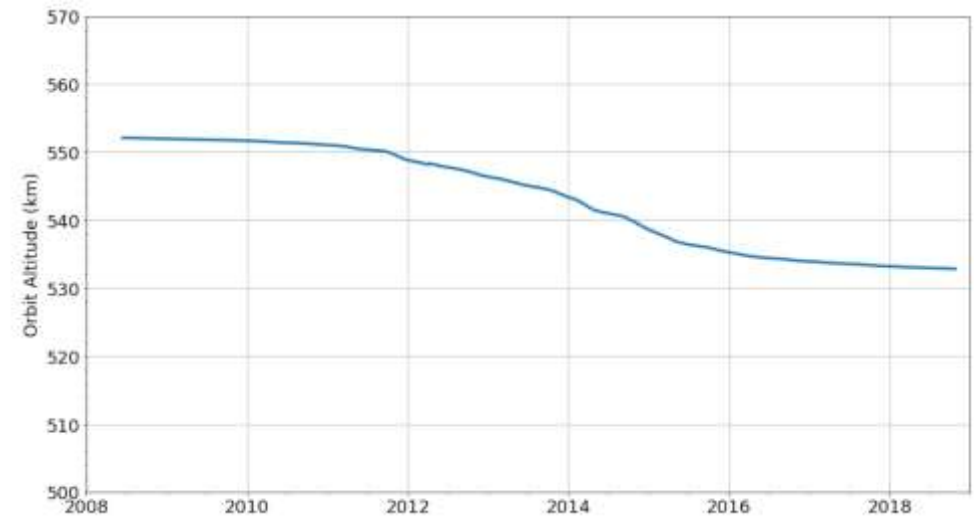
- Al transito di fotoni e particelle cariche l'energia depositata nello scintillatore viene convertita in pochi fotoni di luce visibile
- Tale luce viene osservata da delle «fotocamere» sensibilissime, chiamate fotomoltiplicatori.





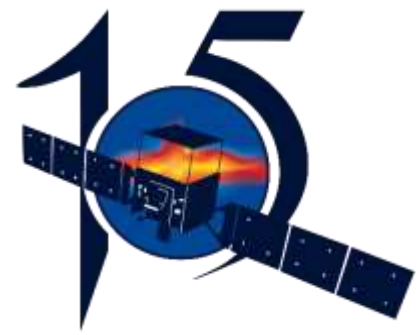
Stato del telescopio

- *Fermi* continua ad operare in modo continuativo dal lancio.
- E' in orbita da oltre 15 anni
- Non ha a bordo materiale che si consuma e non vi è un peggioramento evidente delle performance scientifiche.
- Dal lancio vi sono stati vari aggiornamenti al software di analisi.
- Dall'inizio della missione la modalità di osservazione predefinita è *di survey*, che scansionava continuamente il cielo per fornire una copertura completa ogni due orbite.
- Venivano impiegate anche altre strategie e osservazioni puntate.
- Il 16 marzo 2018, il veicolo spaziale ha subito un guasto meccanico e non è più in grado di muovere uno dei suoi pannelli solari. Per questo, la modalità di survey è stata modificata.
- Le strategie di survey alternative e le osservazioni puntate sono state sospese.

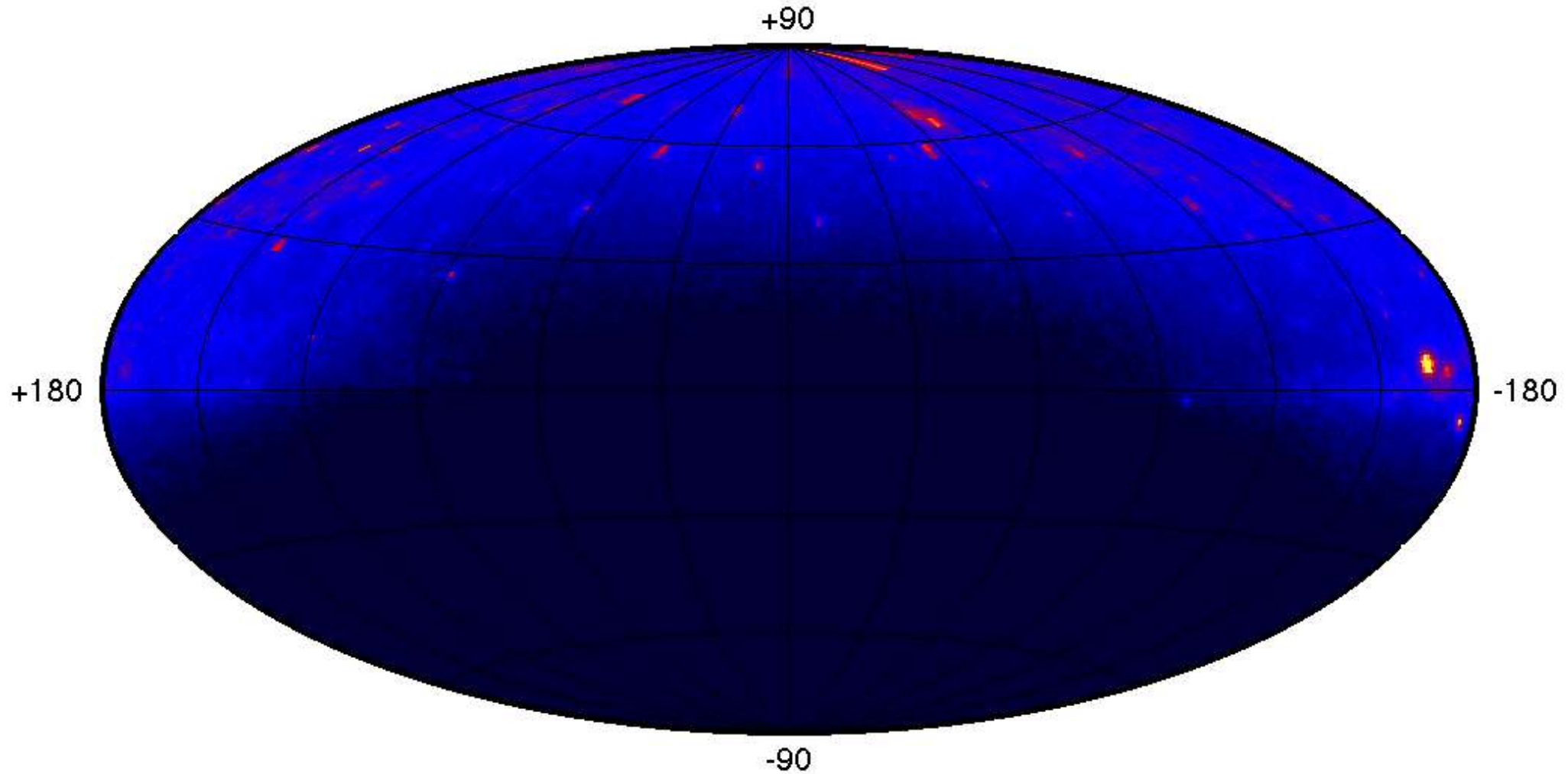


Science Mission start	2008-08-04 15:43:36 UTC	
Days	3652	
Orbits	55179	
LAT runtime fraction (including SAA transits)	99.8%	
LAT triggered event readouts	$598 \cdot 10^9$	Oggi:
Downlinked LAT events	$120 \cdot 10^9$	$4.5 \cdot 10^9$
Publicly released LAT photon-like events (transient class)	$3.03 \cdot 10^9$	$1.7 \cdot 10^9$
Publicly released Source Class photons	$1.13 \cdot 10^9$	

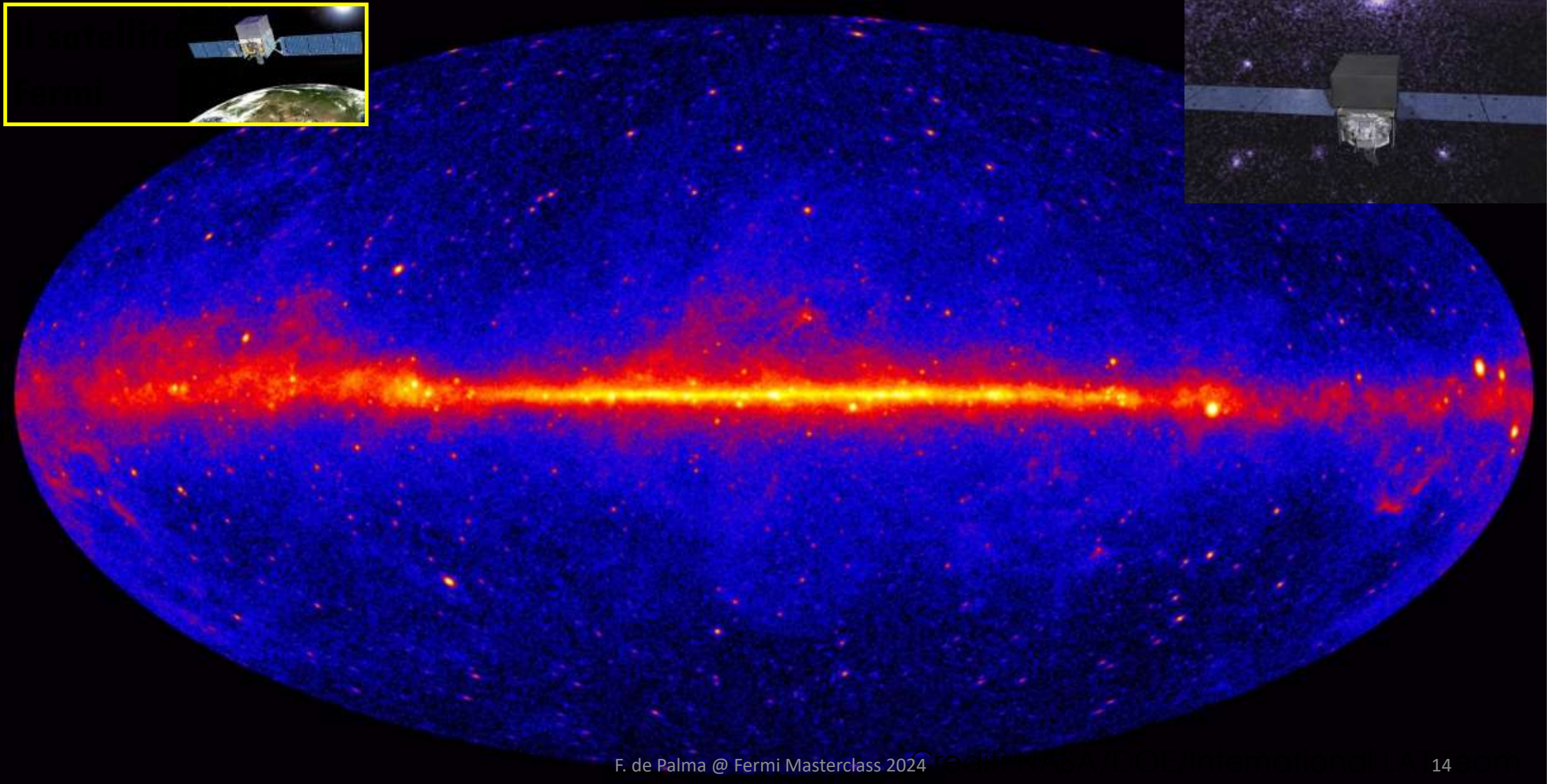
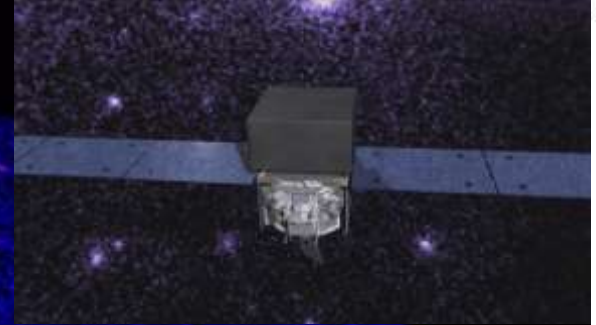
Table 1. LAT Performance Measures after 10 Years of *Fermi*'s Science Mission.



Cosa osserva Fermi-LAT



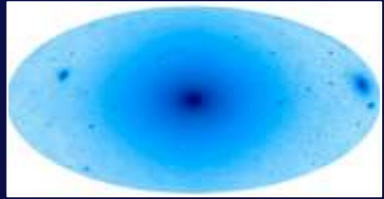
Il cielo gamma



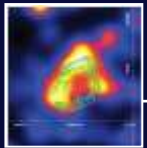
Cosa osserva Fermi?



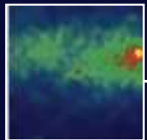
Controparti di sorgenti di neutrini



Ricerche di materia oscura



Supernova Remnants & Pulsar Wind Nebulae



Novae

Sorgenti non identificate

Lampi terrestri di Raggi γ

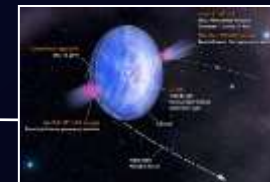


Sole: flares & interazione raggi cosmici

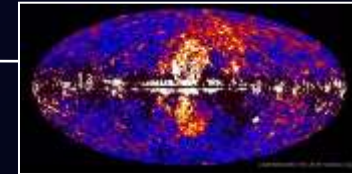


Pulsars: isolate, binarie & MSPs

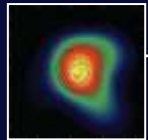
Binarie



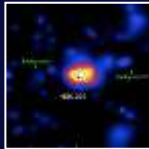
Fermi Bubbles



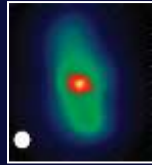
Globular Clusters



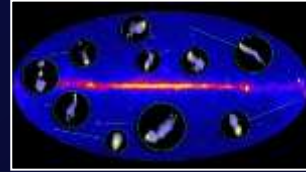
Starburst Galaxies



Radio Galaxies



Blazars



Lampi di raggi gamma

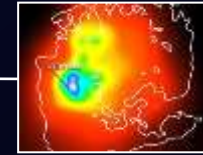


Controparti di onde gravitazionali

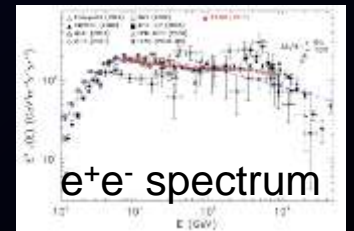


Extragalattiche

LMC & SMC

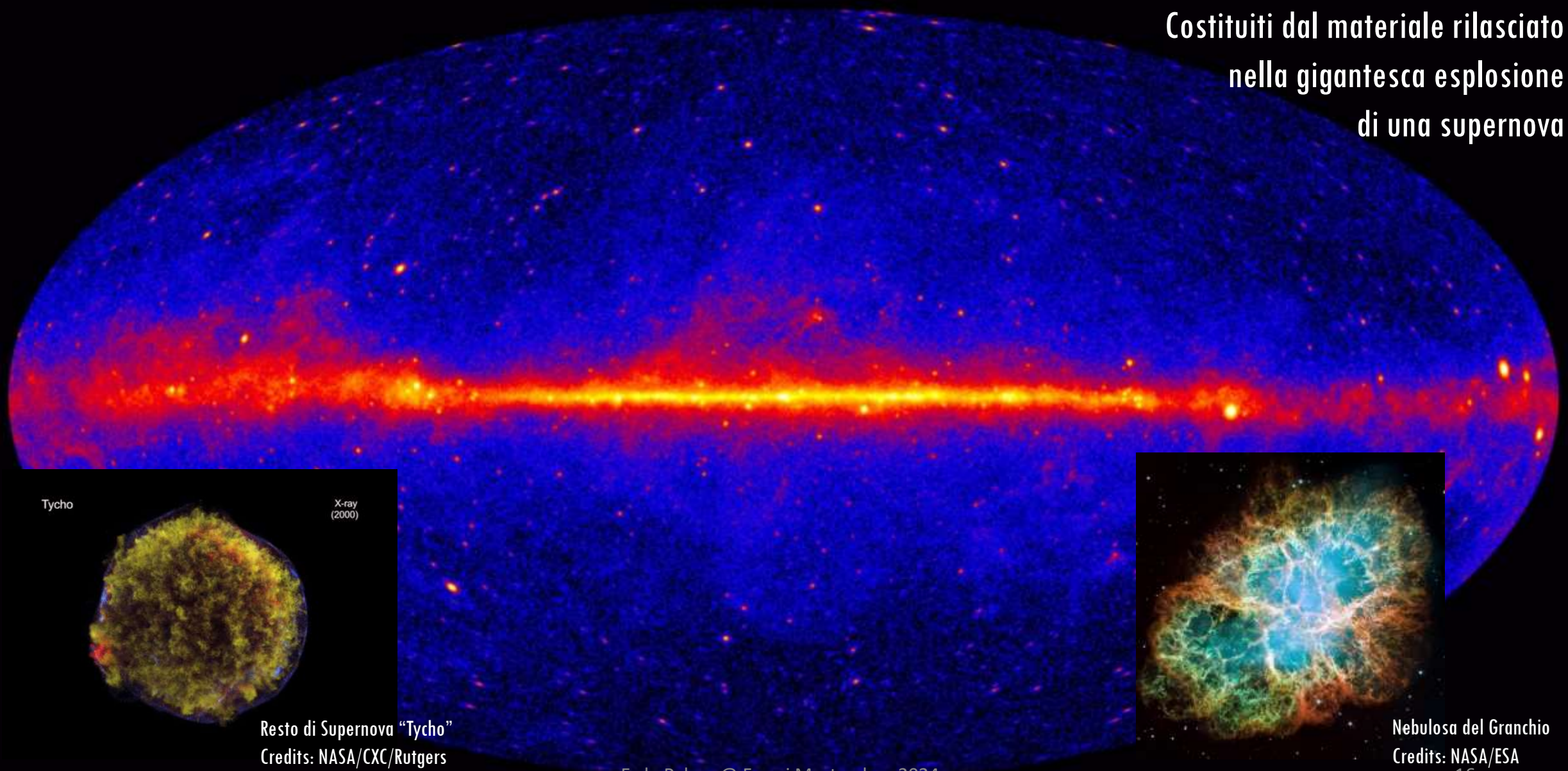


Galattiche

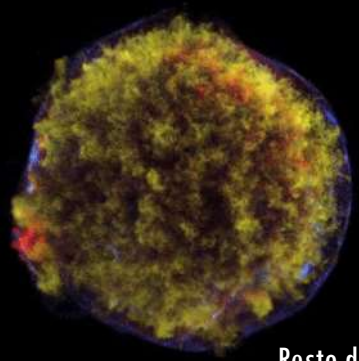


Raggi cosmici

Costituiti dal materiale rilasciato
nella gigantesca esplosione
di una supernova



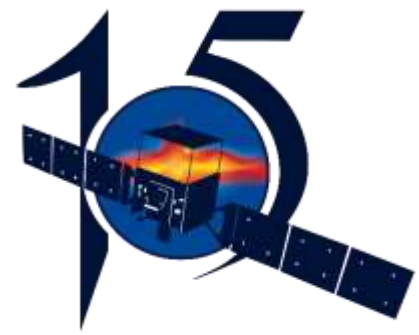
Tycho

X-ray
(2000)

Resto di Supernova "Tycho"
Credits: NASA/CXC/Rutgers



Nebulosa del Granchio
Credits: NASA/ESA

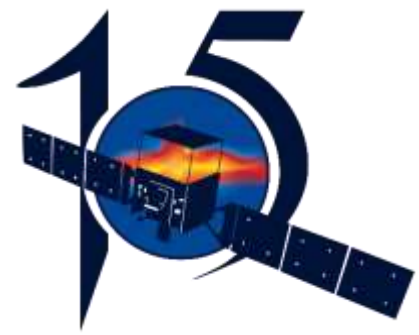


I resti di Supernova

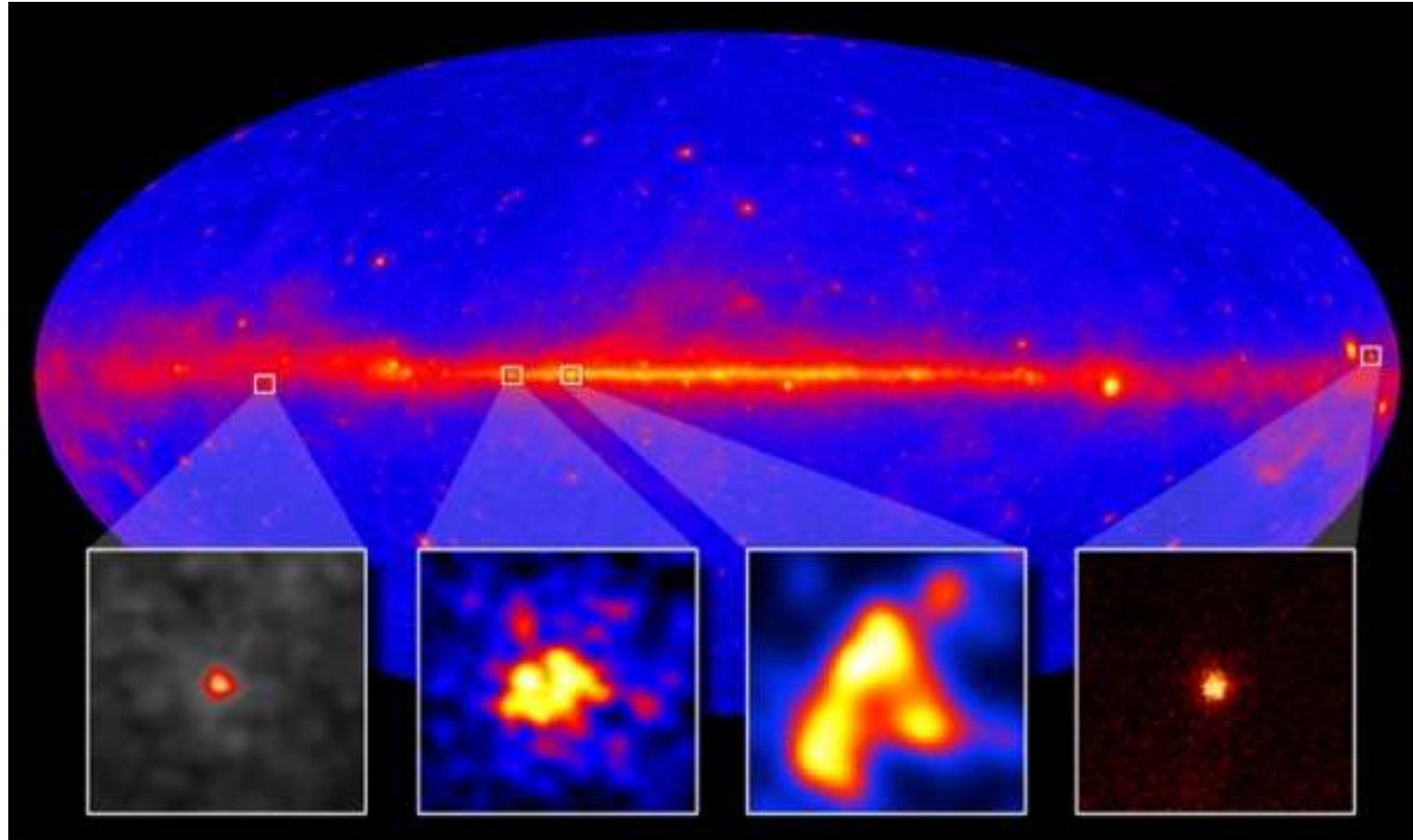
Morte di una stella massiva: esplosione di Supernova

L'onda d'urto dell'esplosione si propaga, spazzando via il gas che incontra e rallentando lentamente —————→ Resto di Supernova

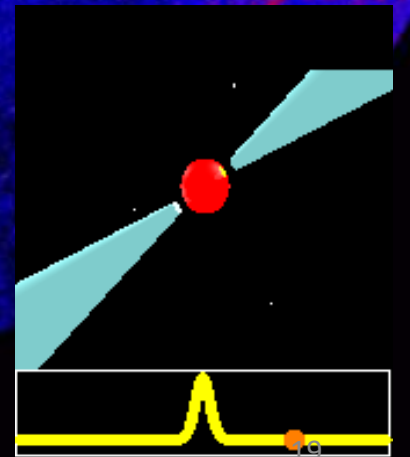
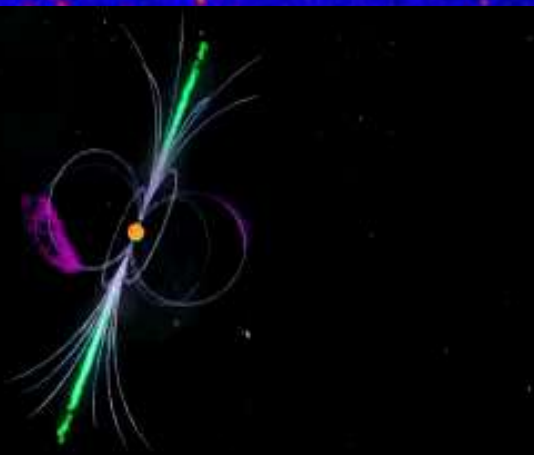
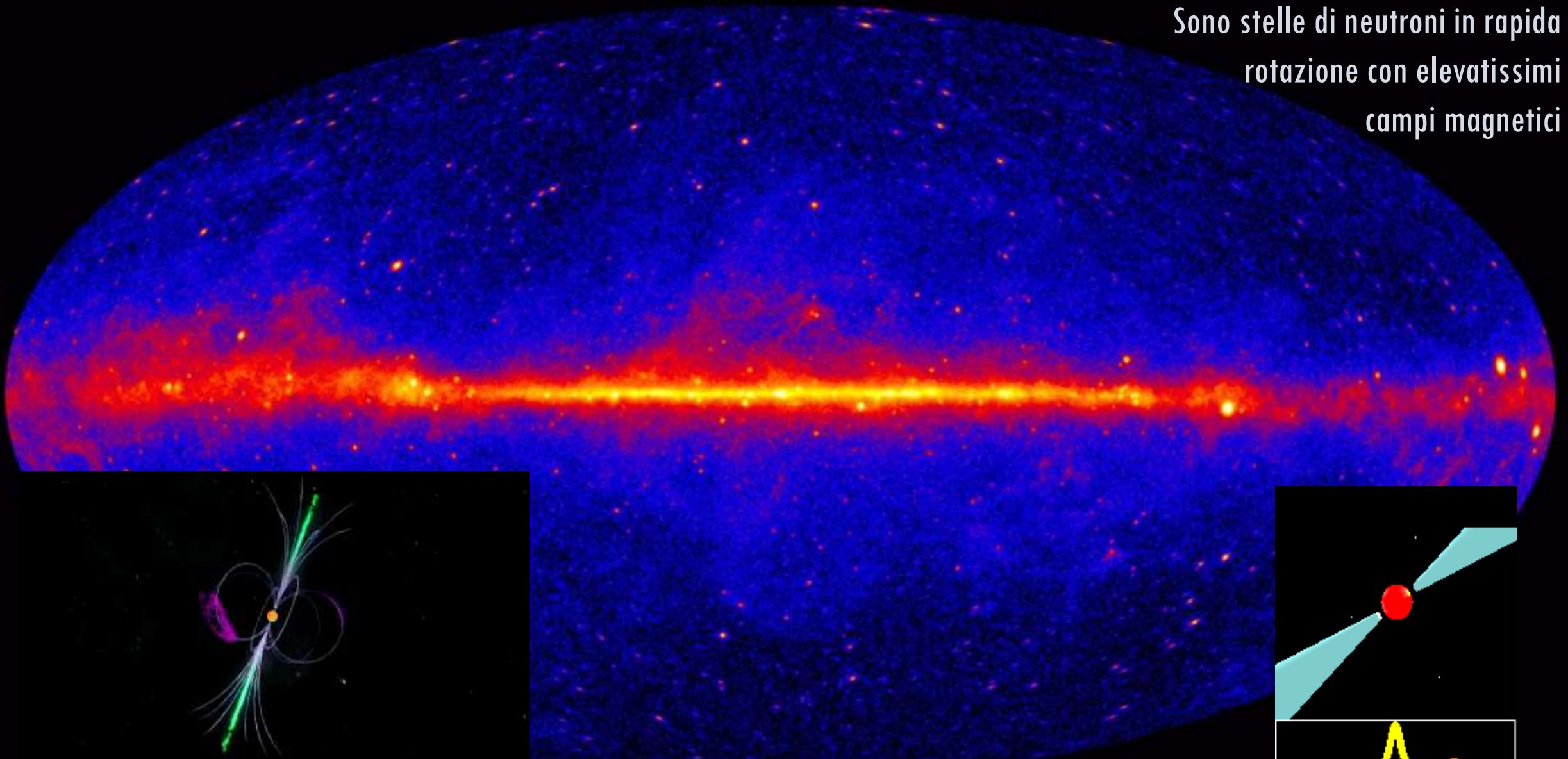


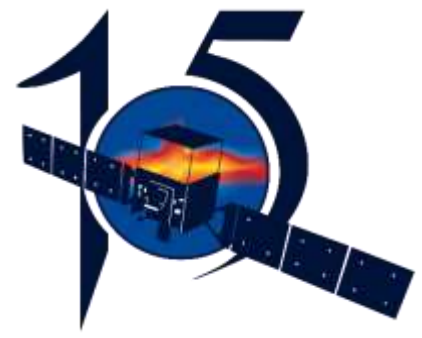


I resti di supernova visti da Fermi



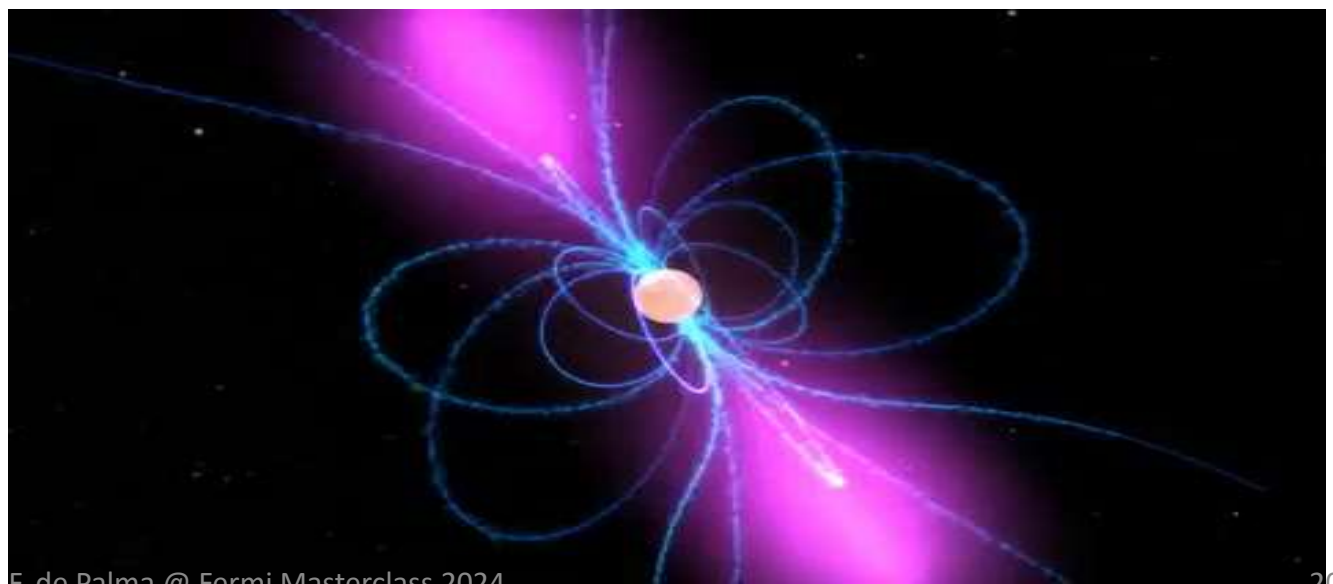
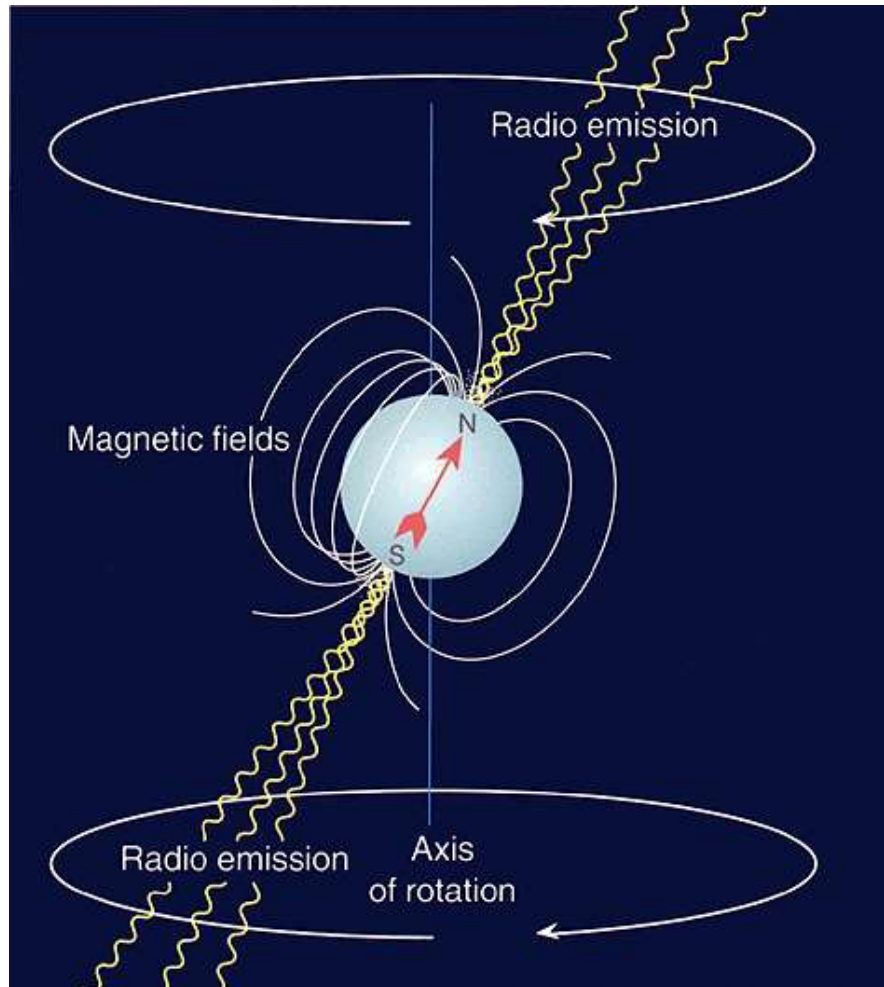
Sono stelle di neutroni in rapida rotazione con elevatissimi campi magnetici

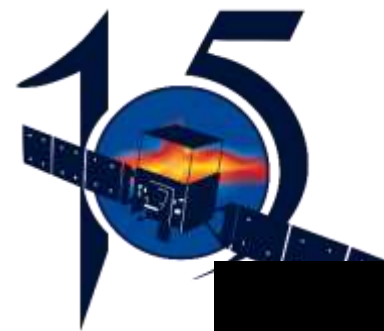




Le Pulsar

- Esplosione di SN: stella di neutroni rotante
- Il campo magnetico rotante accelera particelle che emettono luce (radio e gamma)
- Fasci di luce molto intensi visibili solo quando sono allineati con l'osservatore

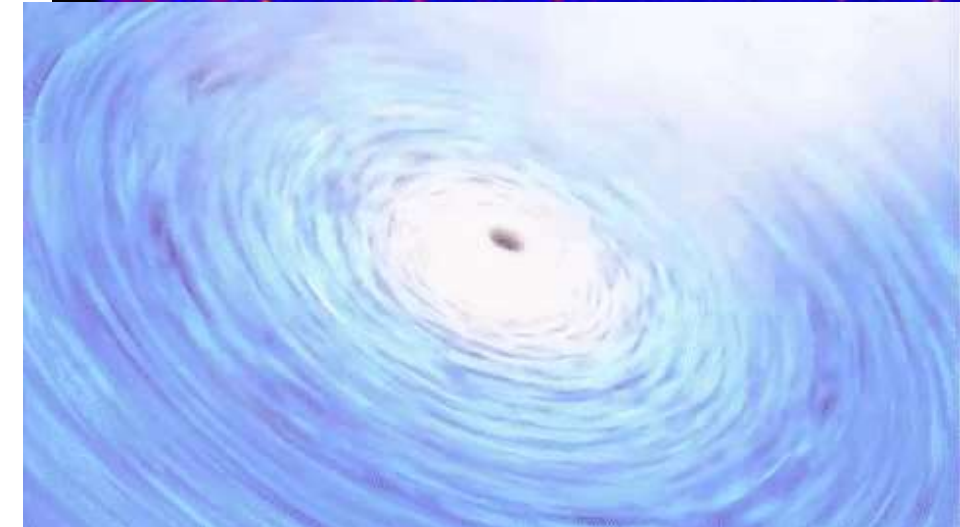
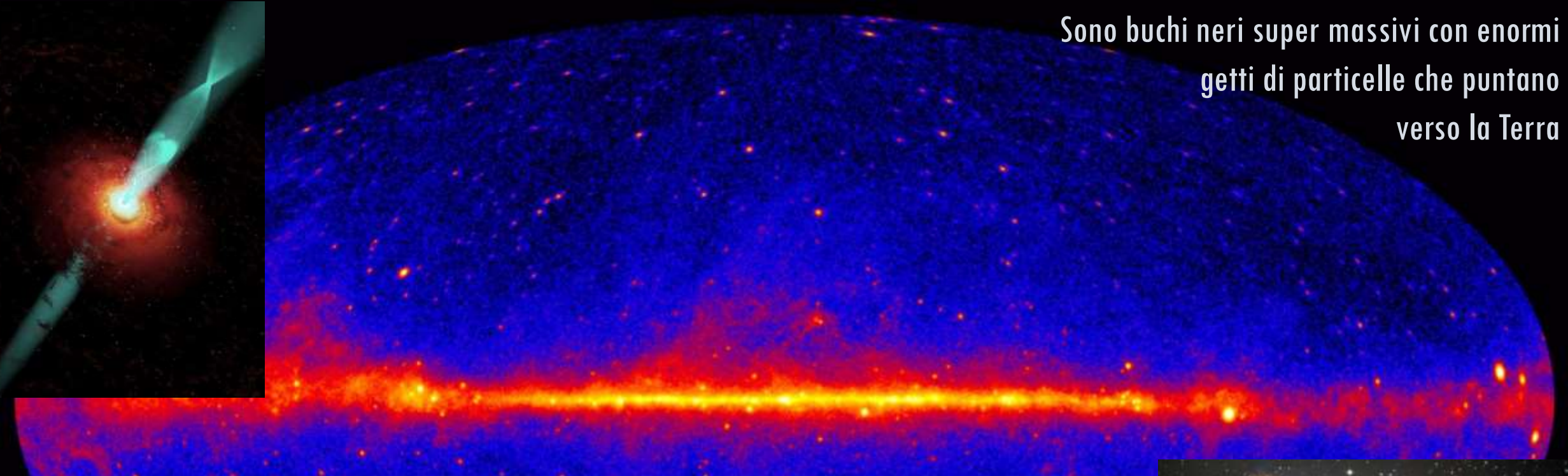
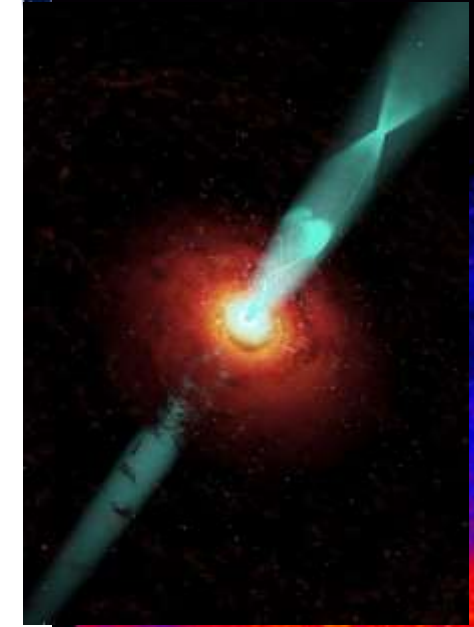




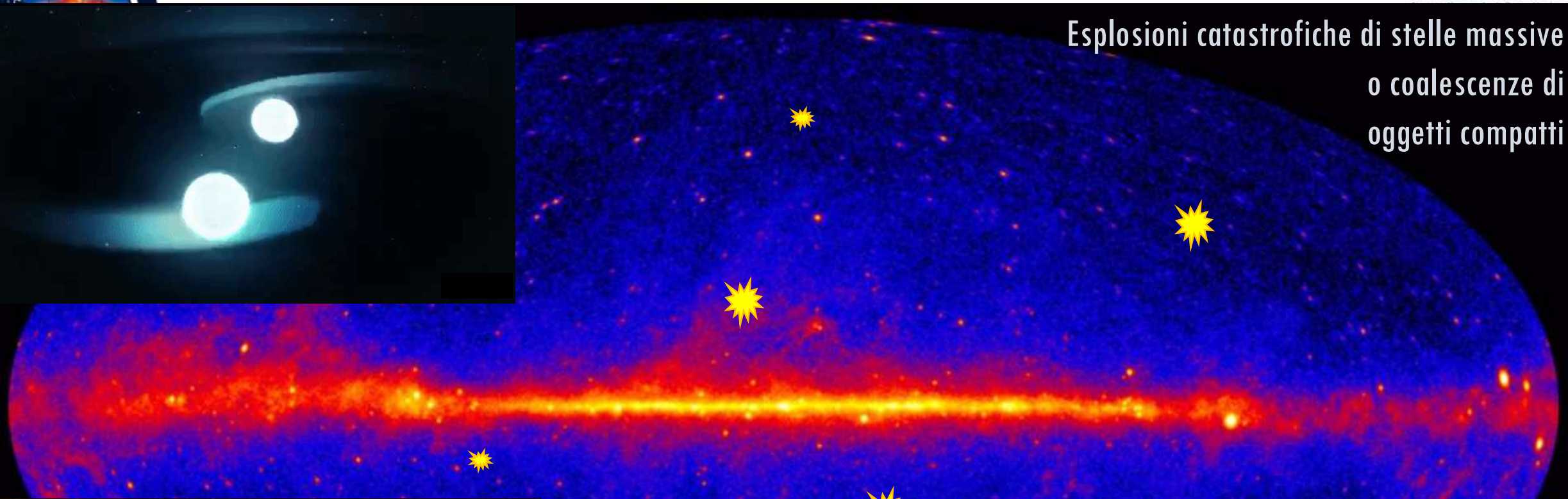
Le 294 pulsar viste da Fermi

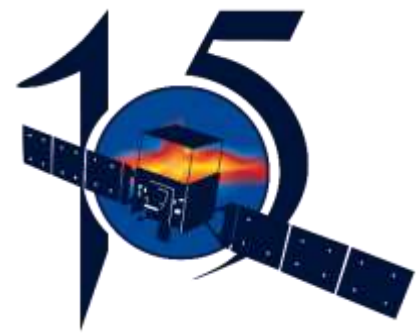


Sono buchi neri super massivi con enormi
getti di particelle che puntano
verso la Terra



Esplosioni catastrofiche di stelle massive
o coalescenze di
oggetti compatti

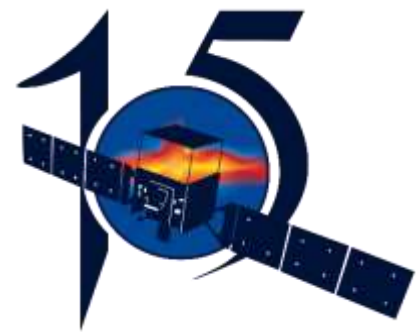




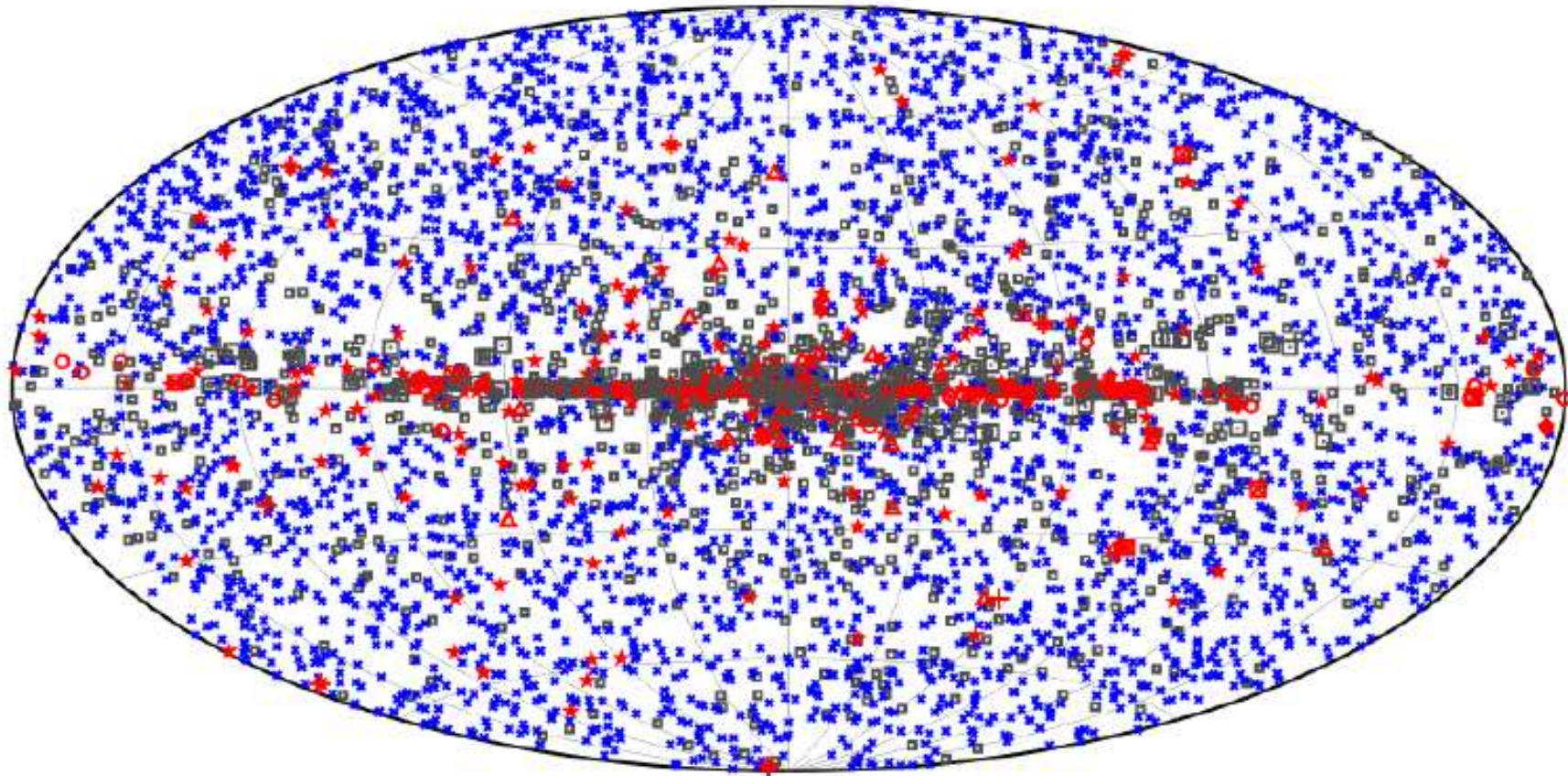
Quante sorgenti «vede» Fermi-LAT?

- In 12 anni sono state osservate 6658 sorgenti.
- La gran parte sono nuclei galattici attivi, sorgenti non identificate, pulsar e resti di supernova.

Galactic center	GC	1	...	...
Young pulsars, identified by pulsations	PSR	135	...	...
Young pulsars, no pulsations seen in LAT yet	...	...	psr	2
Millisecond pulsars, identified by pulsations	MSP	120	...	...
Millisecond pulsars, no pulsations seen in LAT yet	...	...	msh	35
Pulsar wind nebula	PWN	11	pwn	8
Supernova remnant	SNR	24	snr	19
Supernova remnant / Pulsar wind nebula	SPP	0	spp	114
Globular cluster	GLC	0	glc	35
Star-forming region	SFR	3	sfr	2
High-mass binary	HMB	8	hmb	3
Low-mass binary	LMB	2	lmb	6
Binary	BIN	1	bin	6
Nova	NOV	4	nov	0
BL Lac type of blazar	BLL	22	bll	1435
FSRQ type of blazar	FSRQ	44	fsrq	750
Radio galaxy	RDG	6	rdg	39
Nonblazar active galaxy	AGN	1	agn	8
Steep spectrum radio quasar	SSRQ	0	ssrq	2
Compact steep spectrum radio source	CSS	0	css	5
Blazar candidate of uncertain type	BCU	1	bcu	1491
Narrow-line Seyfert 1	NLSY1	4	nlsy1	4
Seyfert galaxy	SEY	0	sey	2
Starburst galaxy	SBG	0	sbg	8
Normal galaxy (or part)	GAL	2	gal	4
Unknown	UNK	0	unk	134
Total	...	389	...	4112
Unassociated	...	...	...	2157

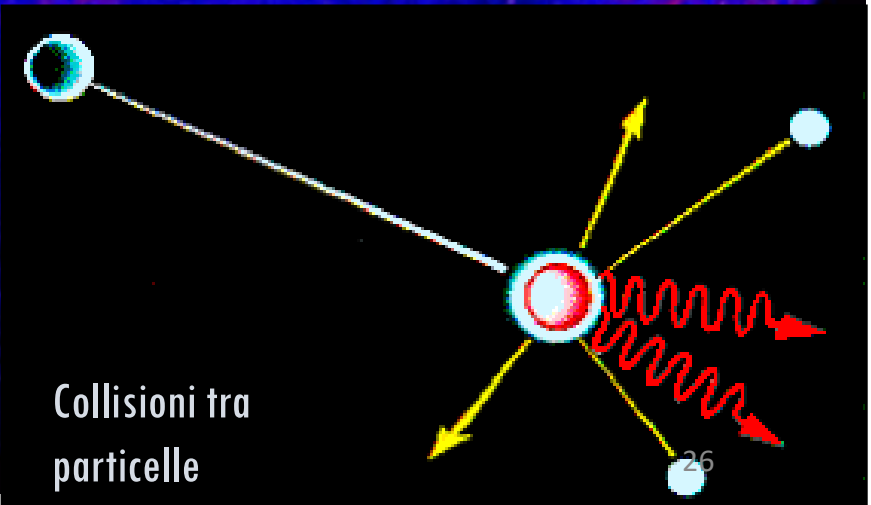
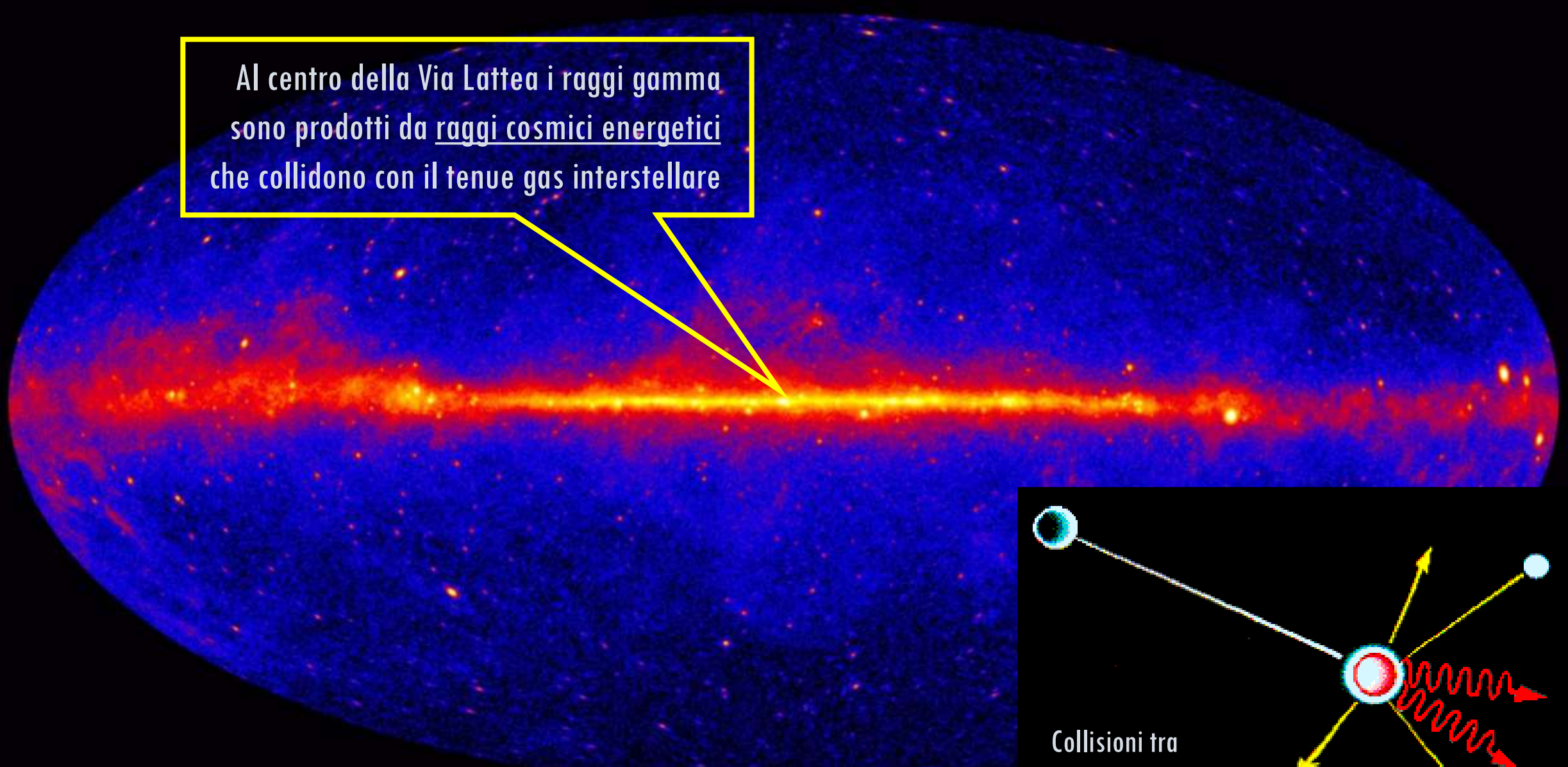


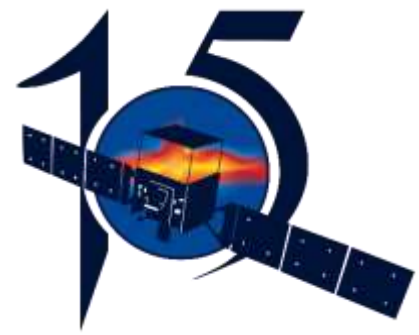
Come sono distribuite?



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

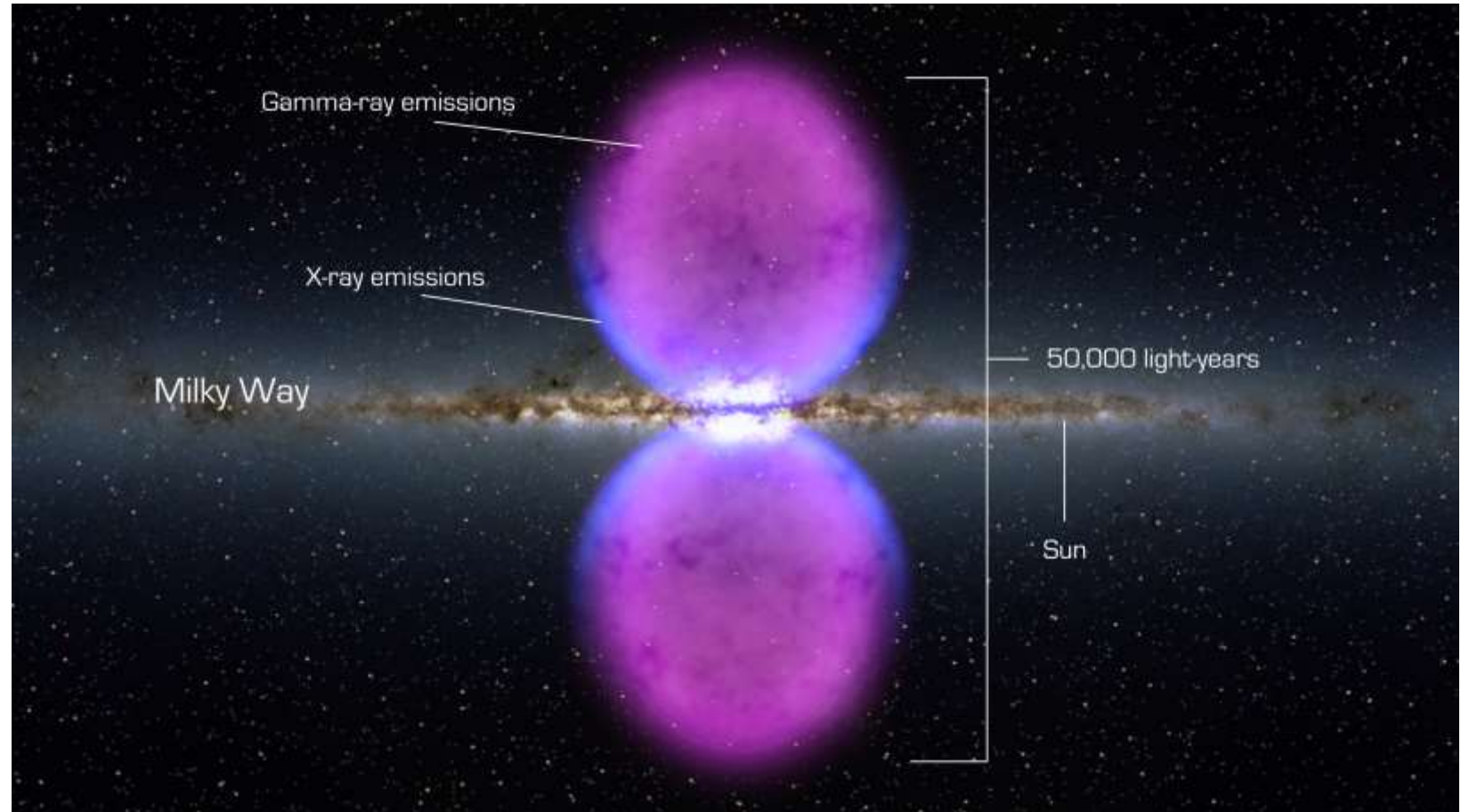
Al centro della Via Lattea i raggi gamma sono prodotti da raggi cosmici energetici che collidono con il tenue gas interstellare

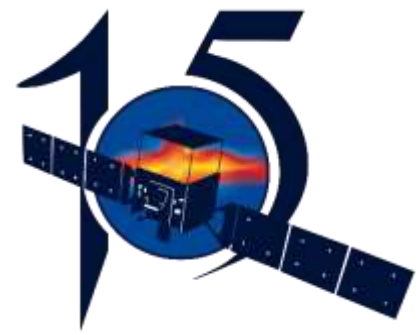




«Bolle» nei raggi gamma

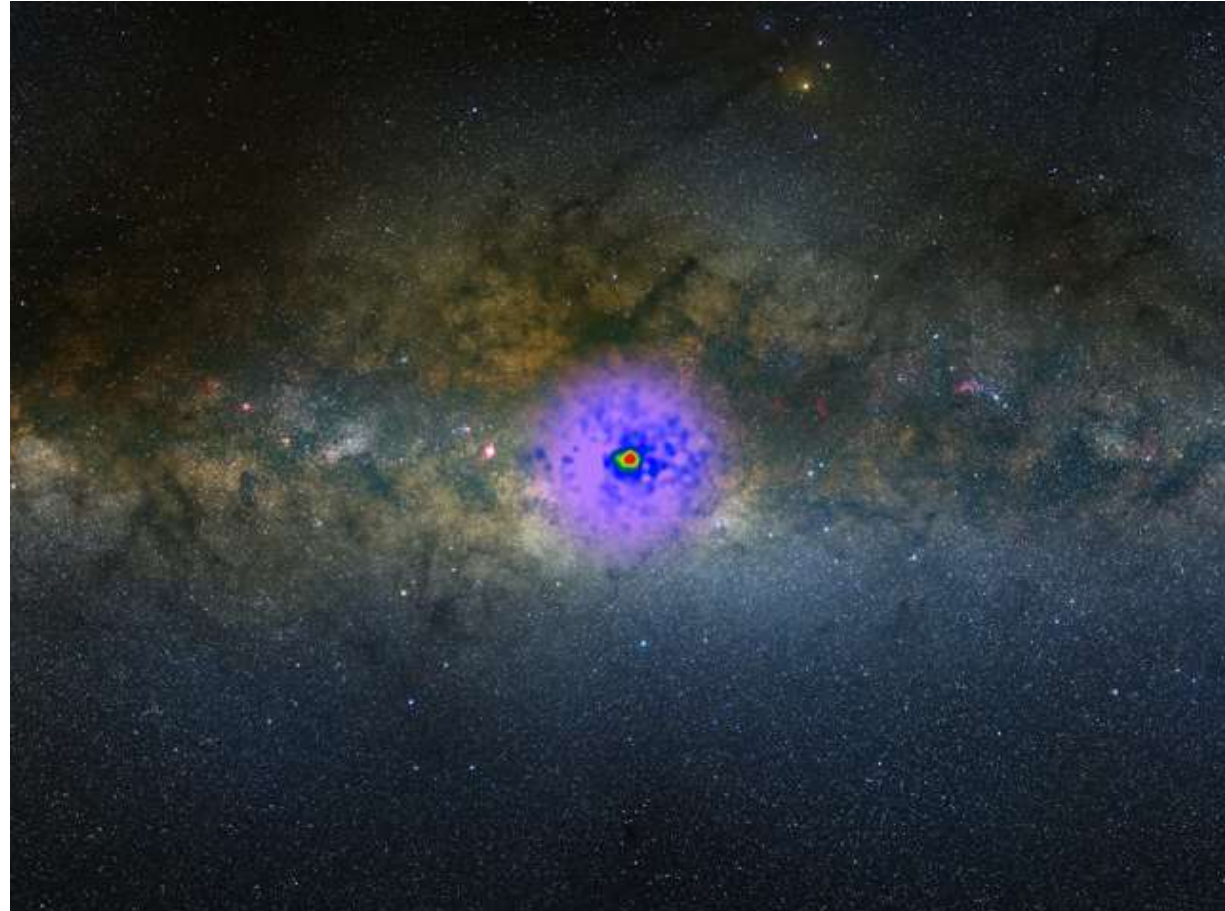
- Grande emissione diffusa che parte dal centro della nostra galassia.
- Vista per la prima volta da Fermi
- Emissione dovuta ad elettroni in rapido moto.
- Il buco nero al centro della nostra galassia ha avuto una intensa fase attiva?

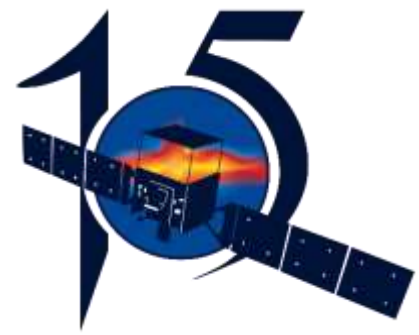




Ricerche di materia oscura

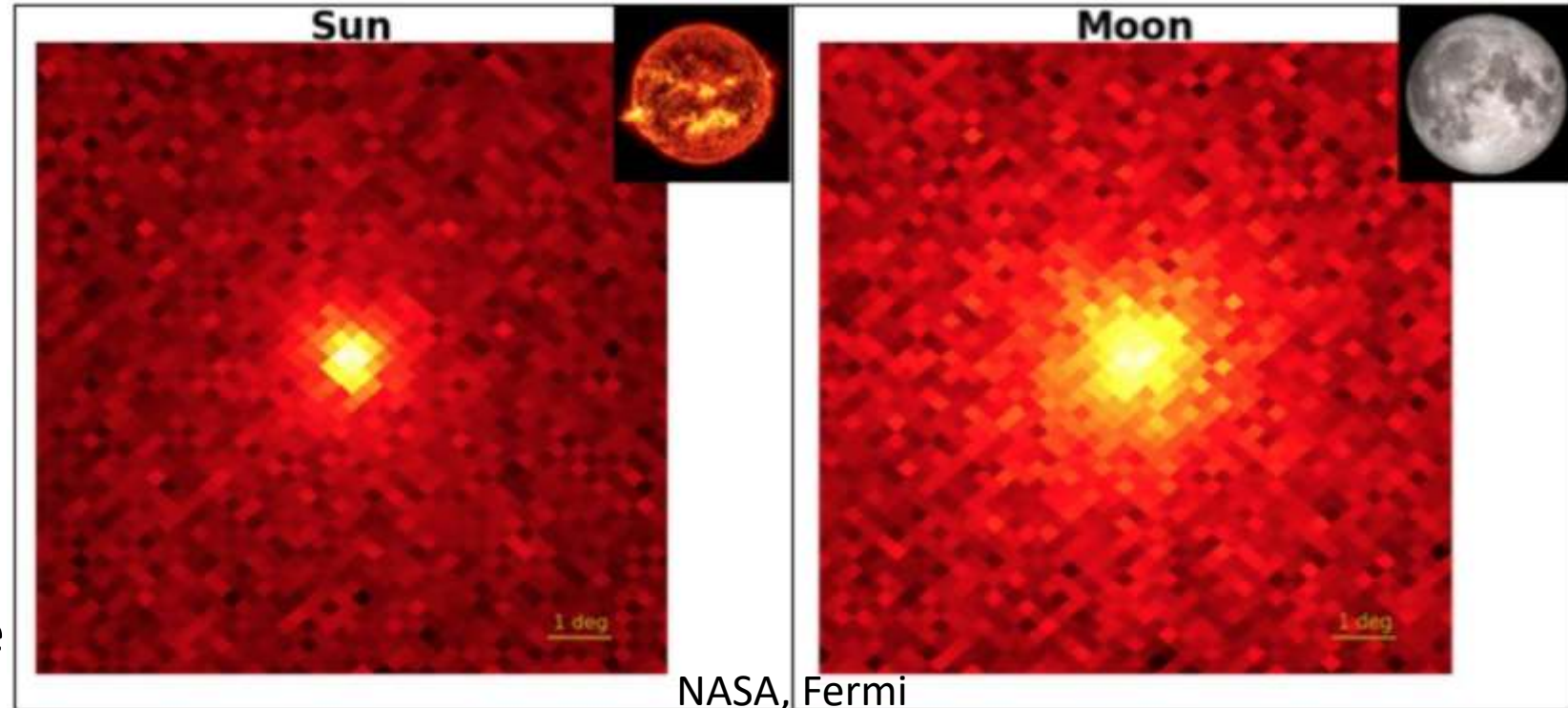
- Nel centro galattico ci sono numerosissime sorgenti.
- Da varie considerazioni teoriche e sperimentali alcune teorie prevedono abbondanza di materia oscura concentrata nel centro galattico.
- Alcune di queste teorie prevedono un segnale osservabile da *Fermi*.
- Per ora nessun segnale è stato osservato.

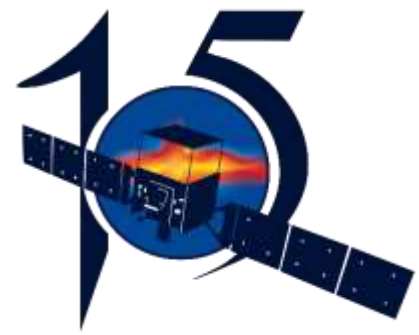




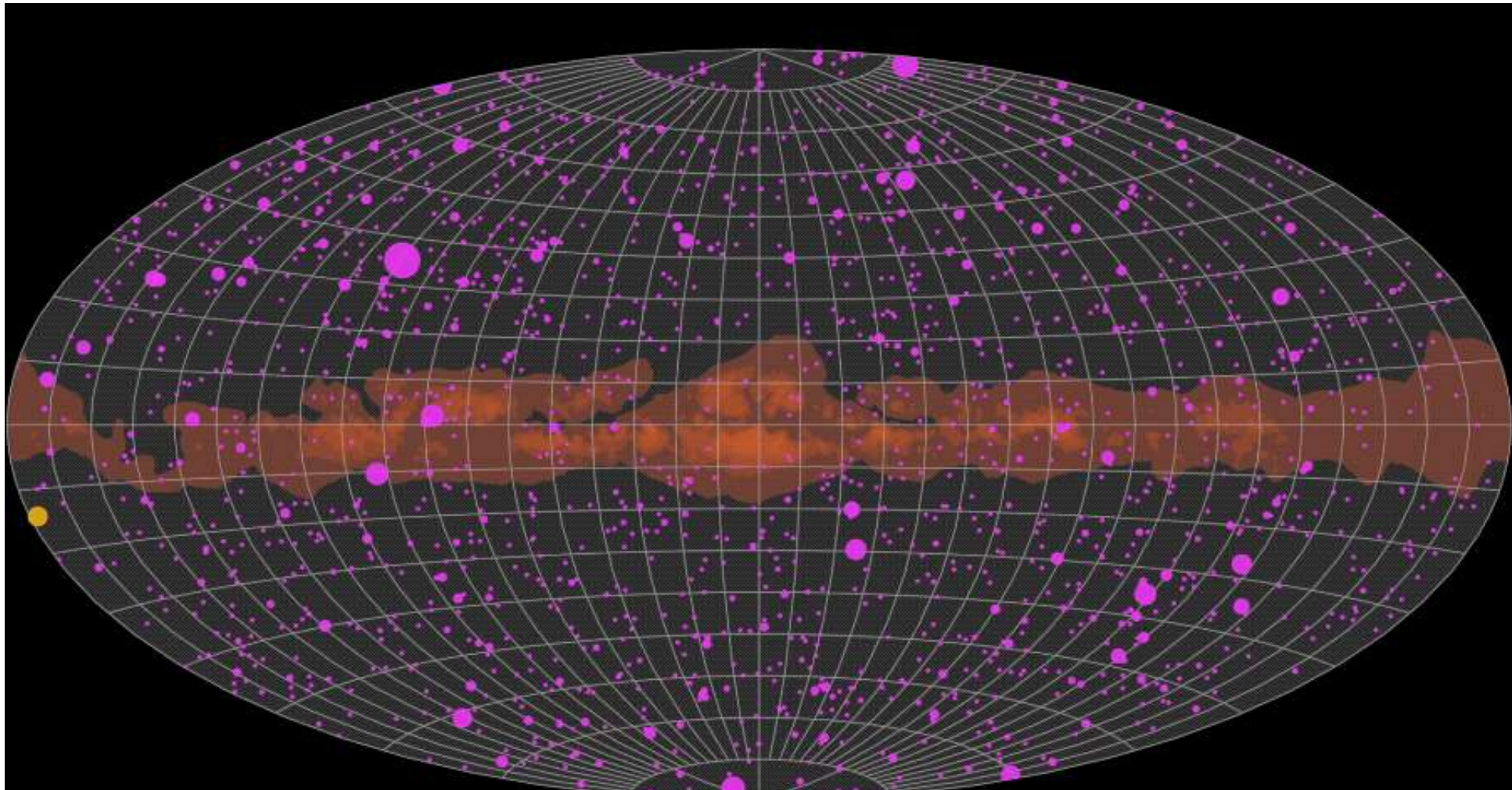
Emissione gamma dal sole e dalla luna

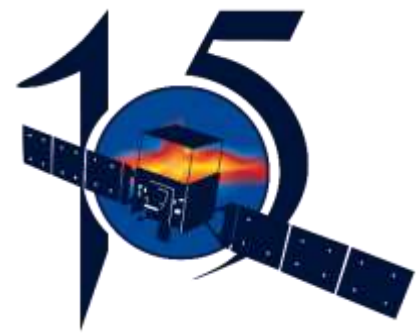
- Ne il sole ne la luna emettono raggi gamma propri nella loro emissione stabile.
- Il sole emette raggi gamma durante i brillamenti solari
- I raggi gamma sono dovuti dall'iterazione dei raggi cosmici con la loro superficie.
- La luna è più luminosa del sole perché ha un campo magnetico minore e devia meno i RC.





Il cielo di *Fermi*-LAT variabile nel tempo

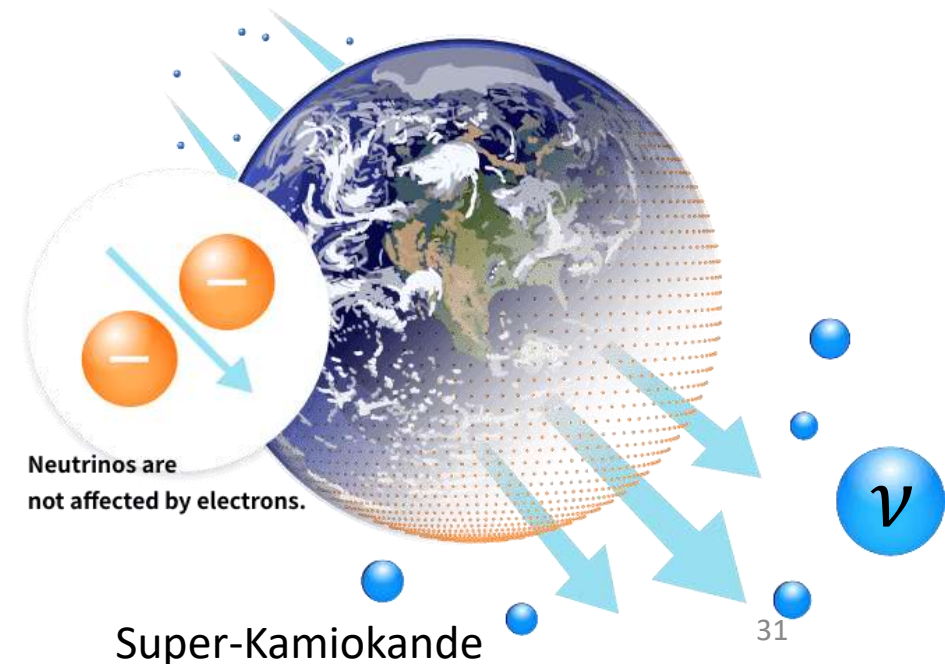
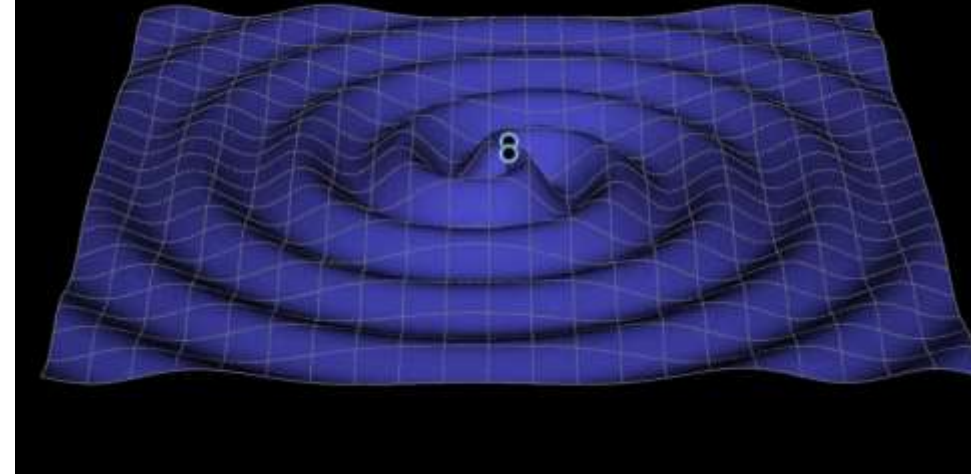


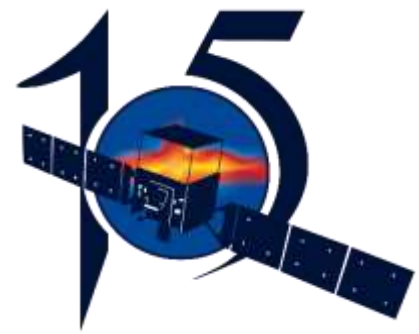


La nascita dell'astrofisica multimessaggera

- Alcune sorgenti:
 - transienti osservate tramite onde gravitazionali
 - variabili osservate tramite neutrini
- Sono osservate contemporaneamente anche da Fermi!
- Possiamo studiare in dettaglio i meccanismi di emissione di sorgenti astrofisiche!

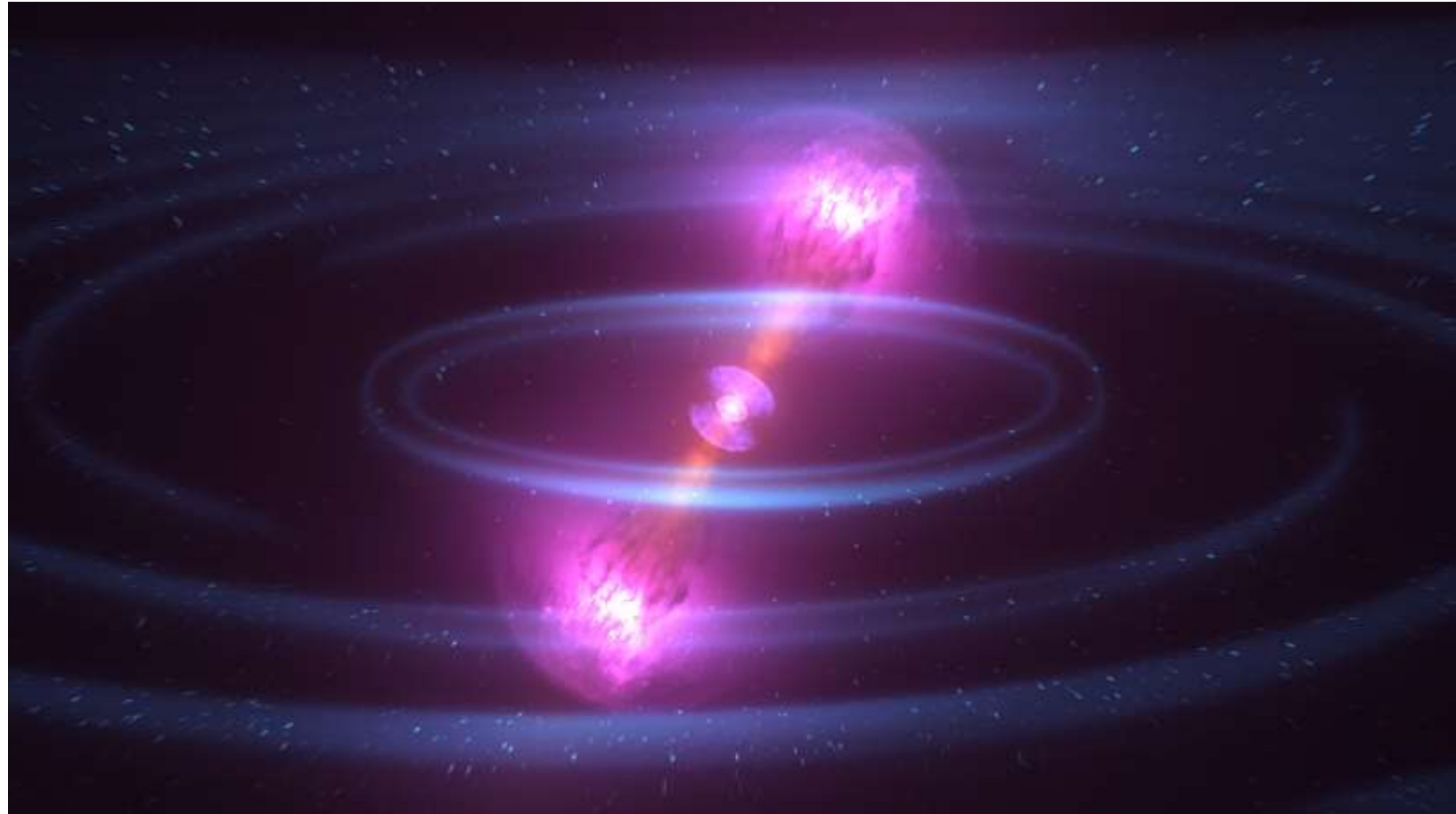
Jeff Bryant, Wolfram | Alpha, LLC



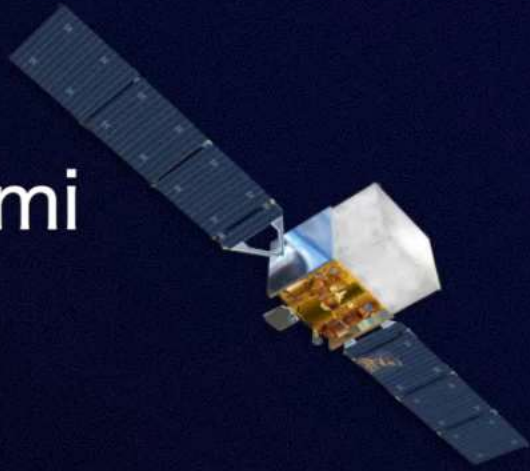


Collisione di stelle di neutroni

- Il GBM ha osservato uno short GRB il 17 agosto 2017, dopo due secondi gli osservatori di onde gravitazionali hanno osservato un evento di collisione di due stelle di neutroni.
- E' la prima volta che viene osservata la controparte elettromagnetica di un onda gravitazionale.

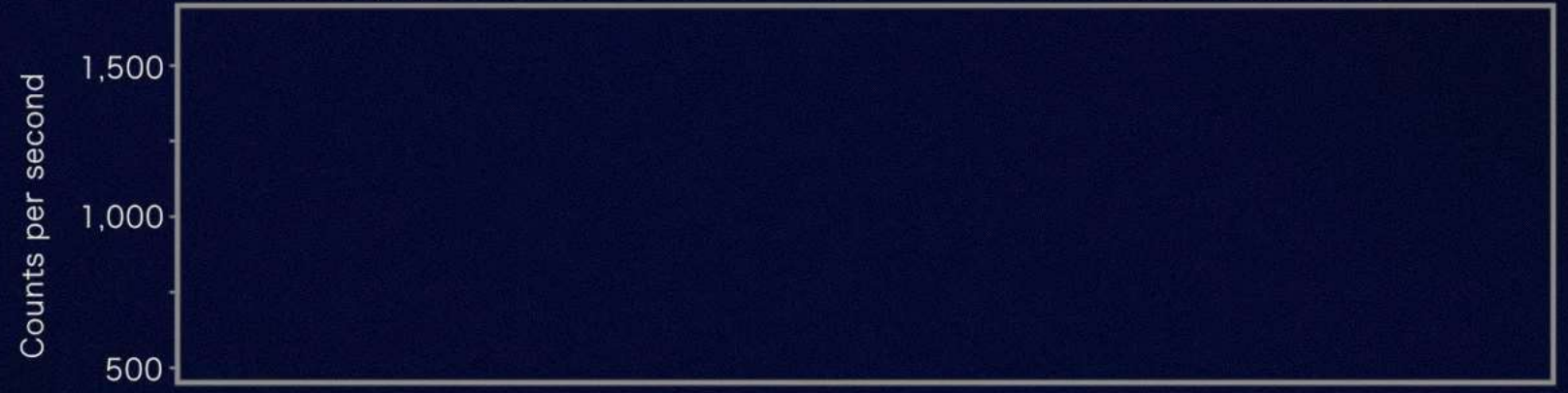


Fermi



Gamma rays, 50 to 300 keV

GRB 170817A

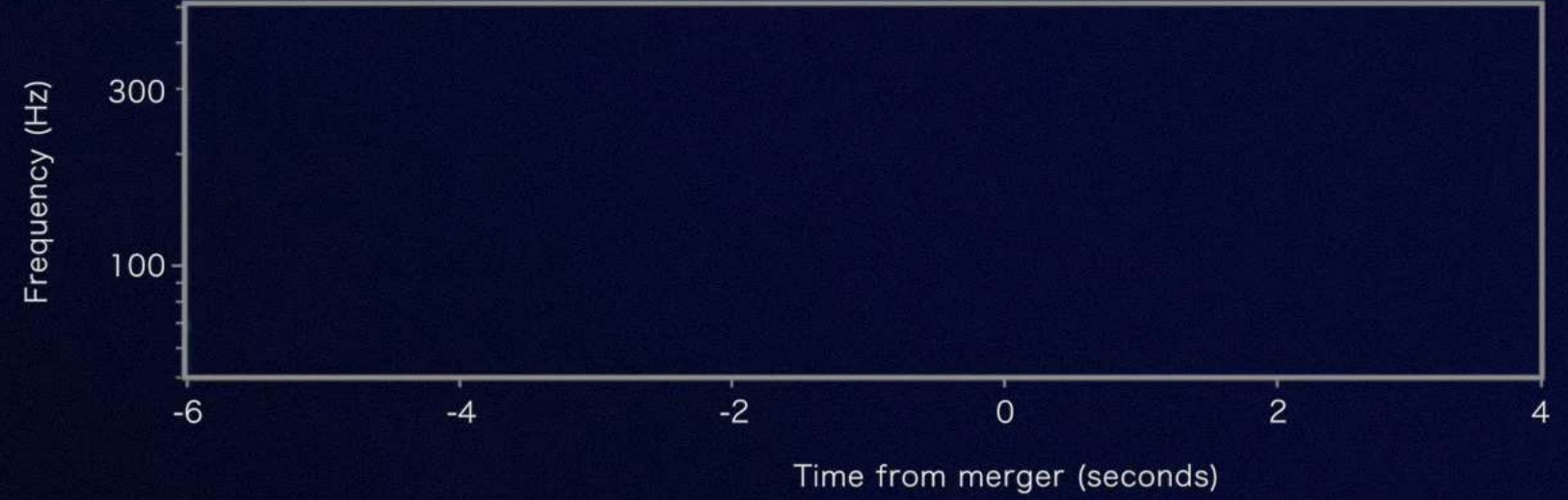


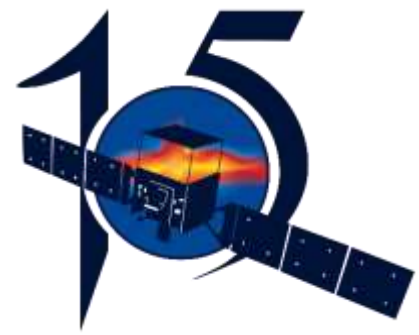
LIGO/VIRGO



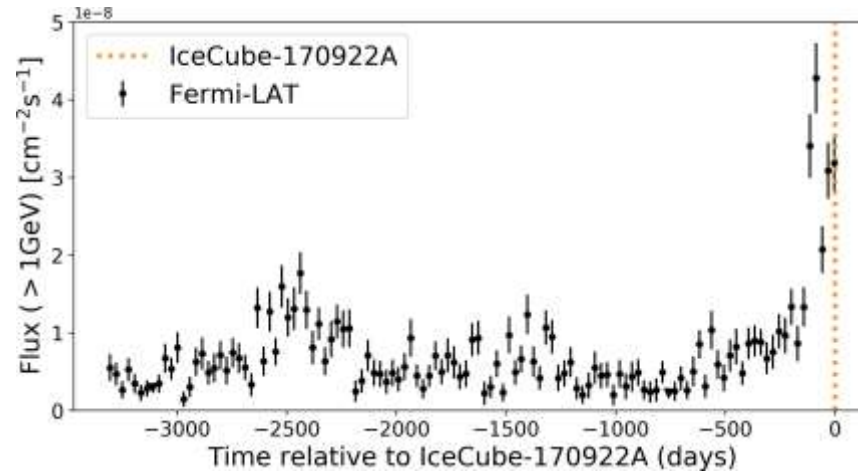
Gravitational-wave strain

GW170817

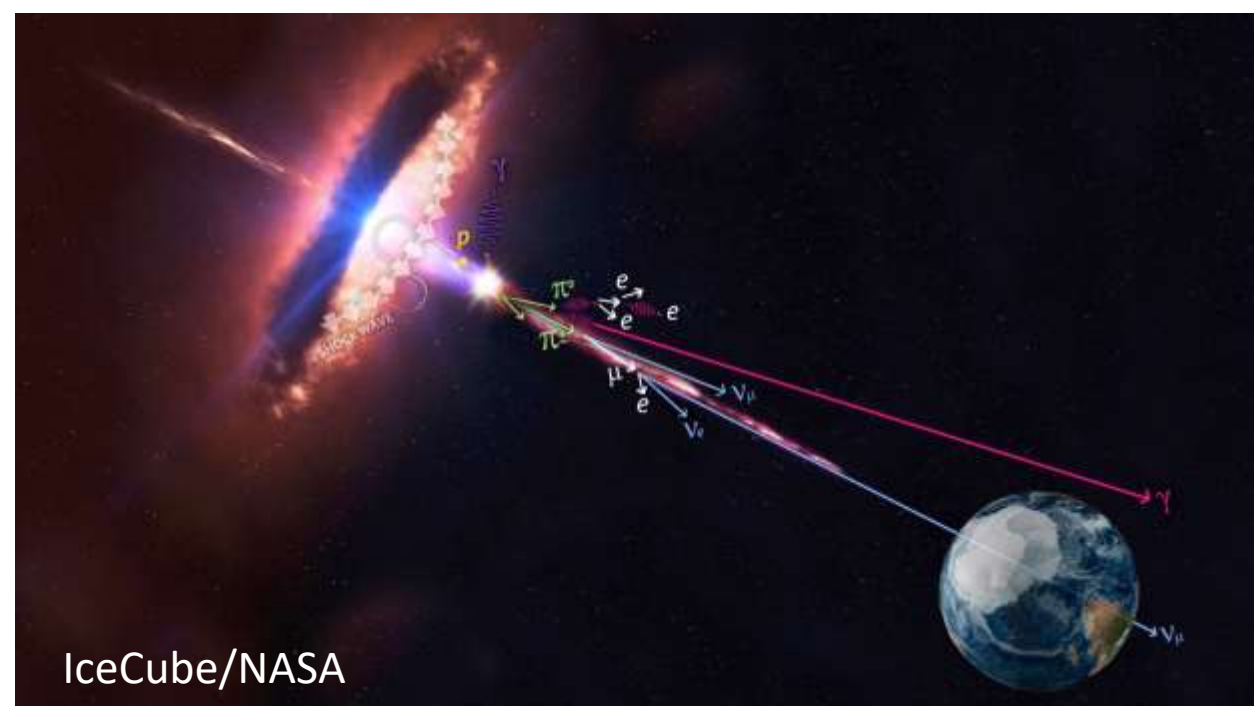




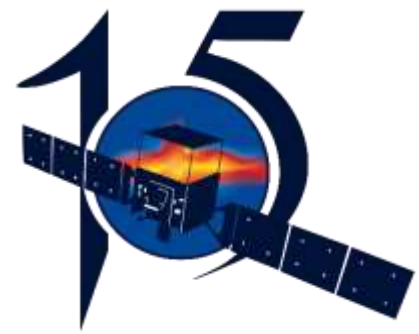
TXS 0506+056



- Il 22 Settembre 2017, l'osservatorio per neutrino posto al polo sud IceCube ha osservato un neutrino da una direzione consistente con la blazar TXS 0506+056
- *Fermi*-LAT ha osservato negli stessi giorni un aumento del flusso di questa sorgente.



IceCube/NASA



Link utili

- Siamo a oltre 15 anni di attività!
- *Fermi*-LAT ha osservato ben 1.7 miliardi di fotoni
- Continuano le scoperte e le osservazioni!
- Breve introduzione all'astrofisica gamma:
 - <https://scienzapertutti.infn.it/1-i-raggi-gamma>
- Canali social di Fermi:
 - Facebook: <https://www.facebook.com/nasafermi/>
 - Twitter: <https://twitter.com/nasafermi>
- Siti ufficiali di Fermi con i dati e i software per l'analisi:
 - NASA: <https://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/>
 - ASI: <https://fermi.ssdsc.asi.it/>