

# Storia dell'astronomia Gamma

La banda energetica dei raggi  $\gamma$  si estende su parecchi ordini di grandezza, da 100 keV a 1 TeV di energia. Poiché i fotoni  $\gamma$  vengono assorbiti dall'atmosfera l'astronomia  $\gamma$  ha cominciato a svilupparsi quando è stato possibile portare gli strumenti in orbita. Il campo di ricerca dell'astronomia  $\gamma$  utilizza due distinte metodologie di ricerca. La prima è basata sull'uso di satelliti che consentono di studiare i fotoni nella banda tra 100 keV e 100 GeV; la seconda riguarda fotoni con energia superiore a 100 GeV e può essere sviluppata anche dal suolo, infatti a quelle energie un fotone  $\gamma$  riesce a penetrare parzialmente nell'atmosfera producendo una cascata di particelle in grado di produrre emissione Cherenkov che viene osservata per mezzo di speciali telescopi.

A partire dagli anni '70 l'astronomia  $\gamma$  spaziale ha dominato la scena grazie ad una sequenza di missioni di successo.

L'astronomia  $\gamma$  di altissima energia, invece, ha iniziato a svilupparsi alla fine degli anni '80 quando sono state messe a punto le tecniche strumentali in grado di separare l'emissione Cherenkov da fotoni  $\gamma$  da quella prodotta dall'impatto dei raggi cosmici con gli strati più alti dell'atmosfera.

## Astronomia gamma dallo spazio

I primi esperimenti atti a rilevare raggi gamma provenienti da sorgenti celesti (per esempio il Sole) furono tentati con palloni sonda o razzi balistici alla fine degli anni '40 dal gruppo di Bruno Rossi e Hulsizer. La vera nascita dell'astronomia  $\gamma$  è da far risalire agli anni '50 con le prime previsioni teoriche. Nel 1952

Hayakawa predisse che raggi  $\gamma$  potessero essere prodotti dal decadimento



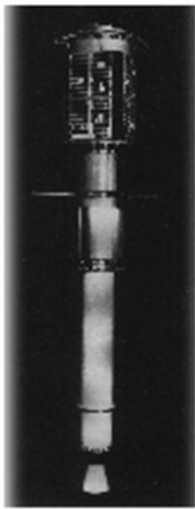
mesone  $\pi^0$  risultato

**Bruno Rossi**

dall'interazione dei raggi cosmici con la materia interstellare, nello stesso anno Hutchinson predisse emissione  $\gamma$  da processi di bremsstrahlung (frenamento) di raggi cosmici con la materia interstellare. Successivamente, pubblicazioni di Burbidge, Fowler, Hoyle e Morrison fecero sperare che non sarebbe stato poi così difficile rilevare i raggi  $\gamma$  di origine cosmica. Le previsioni di quegli anni si rivelarono troppo ottimistiche, non a caso gli esperimenti con palloni sonda finirono col dare solo risposte negative.

Si dovette aspettare ancora un decennio di sviluppo tecnologico e soprattutto la

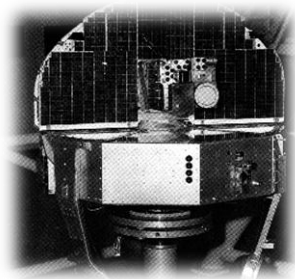
possibilità di disporre di un satellite orbitante per fare un salto di qualità.



**Explorer 11**

Il lancio di Sputnik 1 nel 1957 aprì nuove prospettive, e soltanto 4 anni più tardi vennero rilevati i primi raggi  $\gamma$  di origine cosmica tramite il satellite della NASA Explorer 11. Nel 1968 fu OSO-III che riuscì a misurare l'emissione  $\gamma$  dalla galassia al di sopra dei 100 MeV di energia.

In quegli anni, anche a causa della crisi cubana del 1963, i militari diedero un contributo enorme all'astronomia con la messa in orbita della serie di satelliti Vela. I rivelatori  $\gamma$  di questi satelliti avevano il compito di



**OSO - III**

verificare se potenze nemiche effettuassero test nucleari clandestini, violando il trattato internazionale. Uno dei satelliti Vela nel 1967 rivelò lampi di raggi  $\gamma$ . La scoperta venne mantenuta segreta per alcuni anni e divulgata soltanto nel 1973 come fenomeno di origine astronomica.

Tra il 1960 e il 1970 parecchie sonde interplanetarie vennero lanciate per esplorare il sistema solare interno. Poiché trasportavano

anche scintillatori omnidirezionali per rilevare raggi  $\gamma$  tra 100 keV e 30 MeV, essi costituirono la prima rete interplanetaria per lo studio dei lampi  $\gamma$ .

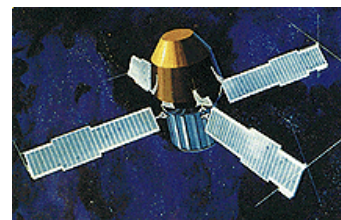
Nell'agosto 1972 venne lanciato OSO-VII, satellite che per la prima volta mise in evidenza l'emissione  $\gamma$



**Il satellite Vela**

prodotta da un flare solare. Lo stesso satellite osservò un'emissione a 511 keV proveniente dal centro galattico. Parve subito chiaro che tale emissione fosse prodotta dall'annichilazione di elettroni con antielettroni o positroni; le scoperte di OSO-VII non terminarono qui infatti vennero osservate anche righe di emissione  $\gamma$  a 4,4 e 6,1 MeV prodotte dal decadimento di nuclei eccitati di ossigeno e carbonio.

Il grande salto in qualità nella conoscenza dell'astronomia galattica  $\gamma$  ad alte energie è stato ottenuto con due satelliti: SAS-II della NASA e COS-B dell'ESA. SAS-II venne lanciato nel 1972 e fornì la prima mappa dettagliata

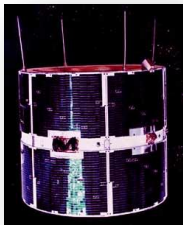


**SAS - II**

dell'emissione  $\gamma$  dalla Via Lattea. Questo strumento capace di misurare raggi gamma con energia maggiore di 30 MeV, fornì il corretto profilo dell'emissione diffusa  $\gamma$  lungo il piano galattico e accese profonde discussioni sui

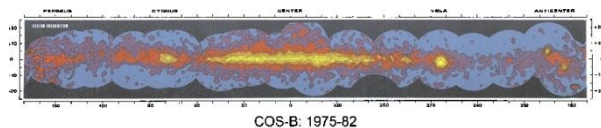
raggi cosmici produttori di tale emissione, in particolare sulla loro provenienza. SAS-II rivelò anche le prime sorgenti di raggi  $\gamma$ .

Successivamente la NASA lanciò OSO-8 che aveva lo scopo di studiare il Sole e la sua emissione X, il satellite fornì però anche un importante contributo sullo studio X e  $\gamma$  degli ammassi galattici, in particolare l'osservazione della riga in emissione del ferro permise di stimare il valore del rapporto tra ferro e idrogeno.



Il satellite europeo COS-B, lanciato nel 1975 dalla base spaziale di Vandenberg in California era uno dei primi satelliti europei dedicato alla scienza

spaziale. Il suo rivelatore era solo leggermente più grande di quello di SAS-II ma, grazie alla sua longevità rivoluzionò il panorama dell'astronomia  $\gamma$ . COS-B misurò con notevole precisione il profilo galattico della radiazione  $\gamma$  diffusa nella nostra galassia.

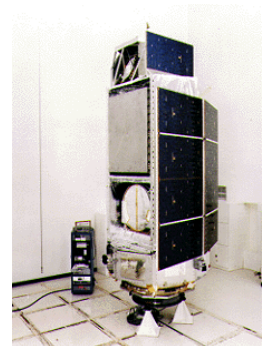


COS-B rivelò emissione  $\gamma$  dalla pulsar nella nebulosa granchio e da quella della Vela, la terza sorgente più luminosa del cielo gamma prese il nome di Geminga e rimase non identificata per oltre venti anni quando si dimostrò che si trattava di una pulsar piuttosto vicina ( vedi Storia di Gemina). COS-B

permise di stilare un catalogo di 25 sorgenti celesti  $\gamma$ , di esse una soltanto risultò essere extragalattica: il quasar 3C273.

Nel campo della spettroscopia a raggi  $\gamma$  furono ottenuti risultati notevoli grazie al satellite HEAO-C che, nel 1984, riuscì anche a misurare nella regione centrale della Via Lattea le righe di emissione a 1,809 MeV caratteristica del decadimento radioattivo dell'isotopo dell'alluminio  $^{26}\text{Al}$ .

Lo stesso spettrometro consentì un'accurata misura del profilo della riga a 511 keV emessa dalle parti centrali della galassia e rilevò la presenza di una coda nello spettro continuo verso le basse energie.



Lo spettrometro  $\gamma$  a scintillazione a bordo della missione Solar-Maximum Mission, lanciata nel 1981 e attiva per nove anni, ha fornito per la prima volta importanti misure sull'emissione  $\gamma$  da parte dei brillamenti solari per energie superiori ai 10 MeV.

La grande svolta dell'astronomia  $\gamma$  però avvenne negli anni '90, quando vennero utilizzate piattaforme fornite di diversi strumenti di grande area, in grado di coprire ampi intervalli spettrali con una migliore risoluzione angolare.

Il principale obiettivo di quegli anni era quello di studiare in dettaglio l'emissione  $\gamma$  degli oggetti galattici ma anche di stanare i primi oggetti extragalattici.



Nel 1989 venne lanciato il telescopio Sigma a bordo della navicella russa Granat. Sigma operava nella regione a cavallo tra i raggi X di alta energia e i  $\gamma$  di bassa energia, il picco di sensibilità cadeva

intorno ai 100 keV ma la grande innovazione di questo telescopio fu la risoluzione angolare che raggiungeva lo straordinario valore di 10 primi d'arco grazie all'utilizzo di una maschera ad apertura codificata. Si tratta di una risoluzione modesta per un telescopio ottico ma che nei raggi  $\gamma$  è davvero eccezionale. Venne principalmente osservato il centro galattico permettendo la scoperta di una grande varietà di oggetti. Nel 1991 la NASA lanciò la prima vera piattaforma orbitante dedicata all'astronomia  $\gamma$ , l'osservatorio orbitale Compton (CGRO). L'osservatorio Compton studiò una grande varietà di oggetti galattici come pulsar, buchi neri, supernove, resti di supernove; il dettaglio delle osservazioni permise di identificare nuove sorgenti. Con lo strumento EGRET si rivelarono oltre 200 nuove sorgenti molte delle quali senza un'identificazione certa.

EGRET rivelò l'emissione di un gran numero di sorgenti  $\gamma$ . Le osservazioni con l'osservatorio Compton combinate con quelle radio e ottiche consentirono di identificare l'emissione  $\gamma$  da parte di diversi classi di

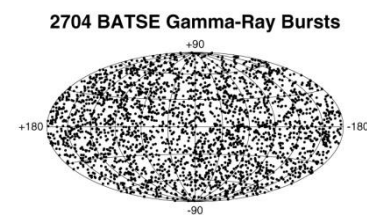


oggetti extragalattici, in particolare le emissioni furono associate sempre a galassie di Seyfert e a Quasar o Blazars; ciò spinse i teorici a migliorare i loro modelli dei nuclei di questi oggetti in funzione dei risultati osservativi ottenuti.

Un grande contributo dell'osservatorio Compton venne dato nel campo dei Gamma

Ray Burst. Oltre 2000 GRB furono rivelati con una distribuzione

isotropa in tutto il cielo, ciò implicava un'origine extragalattica. La conferma di questa intuizione avvenne qualche anno più tardi grazie alla missione italiana Beppo-Sax. Si trattava di una missione di astronomia X, ma l'anticoincidenza di uno dei telescopi X poteva essere usata anche come rivelatore  $\gamma$  per individuare i Gamma Ray Burst durante il picco di emissione. Il telescopio X veniva poi rapidamente puntato nella stessa direzione del Gamma Ray Burst per studiare e identificare la luminescenza X residua fornendo agli osservatori ottici al suolo le coordinate necessarie per l'individuazione



della controparte ottica. Con questo metodo si scoprì che Gamma Ray Burst rivelati da Beppo-Sax venivano prodotti tutti in lontane galassie.

### *Il presente: Integral, Swift, Agile e Fermi*

---



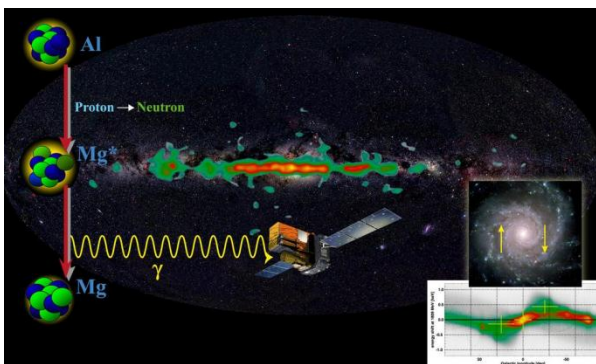
### **INTEGRAL**

INTEGRAL sta per INTERNATIONAL Gamma Ray Astrophysical Laboratory ed è una missione di astronomia gamma alla quale partecipano diversi paesi europei, gli Stati Uniti e la Russia. Si tratta di un satellite molto grande, pesante e complesso, è stato lanciato con un razzo Proton dalla base di Baikonur in Kazakistan il 17 ottobre 2002. La strumentazione di bordo di questo satellite è di primo ordine per lo studio dei raggi gamma di bassa energia, ma la stessa strumentazione è assai delicata e la sua sensibilità rende inutilizzabile il satellite quando è immerso nelle fasce di Van Allen. Per limitare i transiti in queste fasce di radiazioni e soprattutto per ridurre i tempi di transito a non oltre il 10% del periodo orbitale i 7000 kg di INTEGRAL

sono stati immessi su un'orbita del periodo di 72 ore con perigeo a 10000 km e apogeo a 153000 km. La sua strumentazione è costituita da due strumenti principali (IBIS e SPI) e due di supporto attivi alle lunghezze d'onda X e ottiche. IBIS ottiene immagini con risoluzione di 12 primi d'arco nell'intervallo energetico tra 10 keV e 10 MeV, SPI è uno spettrometro nei raggi  $\gamma$  sensibile alla banda compresa tra 20 keV e 8 MeV ha la straordinaria risoluzione in energia di 2,2 keV. Completano il parco strumenti Jem-X, un telescopio X, e OMC, un telescopio ottico che hanno l'arduo compito di individuare le controparti X e ottiche delle sorgenti  $\gamma$  osservate.

Il compito di Integral è quello di studiare le principali sorgenti  $\gamma$  galattiche ed extragalattiche, in particolare le sorgenti definite "transienti". Si tratta di sorgenti che hanno una notevole variabilità nel tempo: per tale motivo Integral è utilizzato per effettuare survey continue del piano galattico. L'elevata risoluzione spettrale di SPI consente di effettuare una mappa dettagliata della riga di annichilazione positrone-elettrone a 511 keV e di identificare diverse righe in emissione dovute ai nuclei radioattivi presenti nei resti di supernovae. Il contributo di INTEGRAL è stato notevole anche per lo studio delle righe prodotte dai nuclei instabili. Ciascun isotopo ha tempi di vita diversi e gli isotopi con tempi di dimezzamento molto lunghi saranno presenti in tutti i resti di supernova mentre gli

isotopi con tempi di dimezzamento molto brevi possono essere utili a scoprire resti di supernovae recenti, ma invisibili, perché nascosti dalla polvere che assorbe la radiazione visibile ma non disturba i fotoni gamma. L'isotopo radioattivo dell'alluminio 26 è prodotto da stelle massicce di tipo Wolf-Rayet. Poiché si tratta di un radioisotopo di lunga durata, con vita media di 720000 anni, la rilevazione della riga dell'alluminio 26 fornisce la prova che i processi di nucleo sintesi sono effettivamente in corso nella nostra galassia.

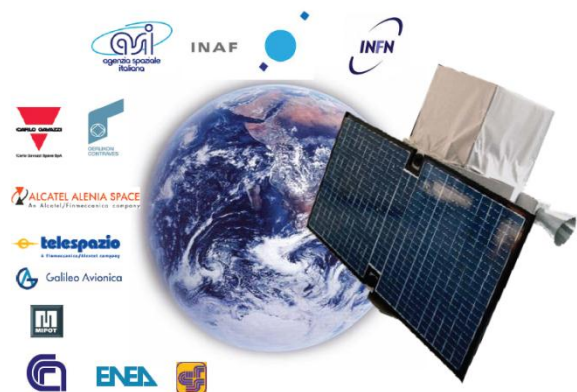


## AGILE

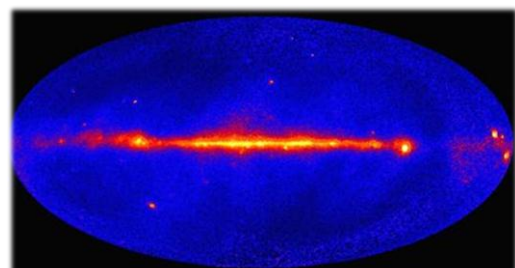
AGILE è una piccola missione di astronomia  $\gamma$  sviluppata dall'agenzia spaziale italiana ASI. AGILE è stato lanciato il 23 aprile 2007 con un vettore indiano PSLV dalla base di Sriharikota. Il satellite è stato inserito in un'orbita circolare alla quota di 540 km ed inclinata di  $2,3^\circ$  rispetto al piano equatoriale terrestre. La prima fase di check-out è durata tutto il periodo di maggio e giugno, durante questi due mesi si è verificato il corretto funzionamento di tutta la strumentazione; successivamente, tra luglio e ottobre, sono

state osservate la pulsar nella costellazione delle Vele e quella nella nebulosa del Granchio, per consentire la calibrazione della strumentazione.

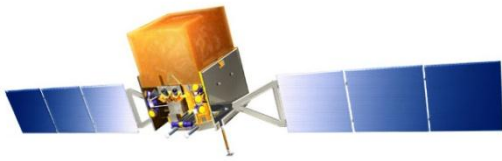
La fase di raccolta dei dati scientifici è iniziata il 1° dicembre 2007. AGILE opera nella banda di energia tra 100 MeV e 50 GeV, migliorando la risoluzione angolare ottenuta con il telescopio EGRET di almeno un fattore 2. Lo scopo di AGILE è di studiare tutti i tipi di oggetti celesti che emettono  $\gamma$ , dalle pulsar ai buchi neri, dall'emissione diffusa ai nuclei galattici attivi.



Il contributo straordinario di AGILE riguarda il monitoraggio della variabilità delle sorgenti celesti, sia galattiche, con la scoperta della variabilità della nebulosa del Granchio, sia extragalattiche come il blazar 3C454.3, battezzato "Crazy Diamand" per il suo comportamento sempre sorprendente.



## FERMI



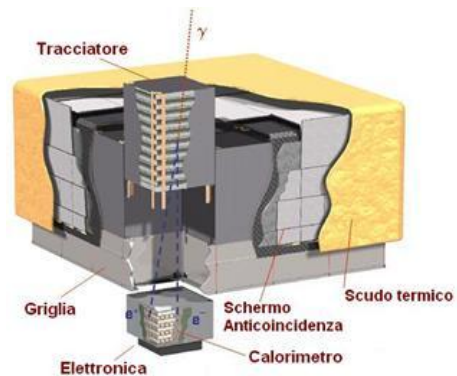
GLAST è invece la sigla per Gamma Ray Large Area Space Telescope), si tratta di un vero salto di qualità nell'astronomia gamma. È una missione NASA con ampia collaborazione internazionale lanciata l' 11 giugno 2008. Con questa missione la nasa ha reso omaggio al grande fisico Italiano Enrico Fermi intitolandogli l'osservatorio che ora è noto con il nome di Fermi. Enrico Fermi fu un

pioniere della ricerca in fisica nucleare e fisica delle particelle e venne insignito del premio Nobel per la fisica nel 1938. Fu anche il primo scienziato a suggerire un



meccanismo di accelerazione dei raggi cosmici, meccanismo oggi confermato dalle immagini che l'osservatorio ha prodotto per i resti di supernovae. La missione comprende due strumenti: il LAT (Large Area Telescope) sensibile alla banda di energia tra 20 MeV e 300 GeV ed il GBM (Gamma-ray Burst Monitor) nato con lo scopo di rilevare i lampi gamma; esso opera nella banda di energia tra

10 keV e 25 MeV e consente di stimare la posizione dell'esplosione con una risoluzione inferiore a  $1,5^\circ$ .

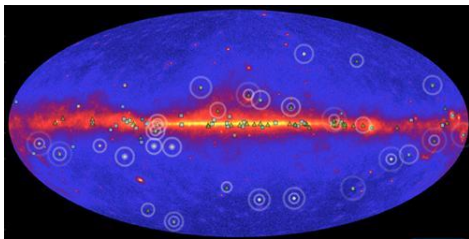


Gli obiettivi scientifici di Fermi possono essere sintetizzati nei punti seguenti:

- ★ Comprensione del meccanismo di accelerazione degli AGN, nelle pulsar e supernovae, fondamentale per risolvere il mistero della formazione dei jet e la dinamica delle onde d'urto nei resti di supernovae.
- ★ Mappatura del cielo nella componente di radiazione gamma: sorgenti non identificate ed emissione diffusa dalla Via Lattea.
- ★ Determinazione del comportamento ad alta energia dei GRB e di altri fenomeni transienti. La variabilità è la caratteristica principale del cielo gamma.
- ★ Studi sulla natura della materia oscura: ricerca di possibili decadimenti di particelle esotiche nell'universo primordiale e di processi di annichilazione di WIMPS nell'alone della Via Lattea.

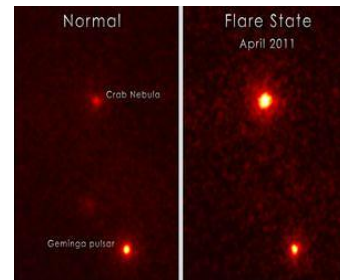
Tutti gli obiettivi di Fermi sono stati raggiunti, anzi il satellite ha permesso di fare delle scoperte inaspettate. Tra le scoperte di Fermi ricordiamo:

- ★ Il conteggio dei pulsar rivelati dalla missione Fermi ha raggiunto e superato quota 100. Se pensiamo che dal 1995 eravamo inchiodati a quota 7, la crescita ha dello spettacolare. 1/3 delle pulsar osservate da Fermi sono state scoperte grazie alla loro emissione gamma, dei restanti 2/3 la metà appartiene alla classe delle pulsar superveloci mentre le altre sono pulsar normali abbastanza giovani. In effetti, benché i pulsar rappresentino il 6 % delle sorgenti gamma rivelate dallo strumento Fermi-LAT, i risultati sui pulsar sono oggetto di circa 1/3 delle pubblicazioni di Fermi.



- ★ Nel secondo catalogo delle sorgenti Fermi ci sono 1873 sorgenti, più di 1000 sono state associate a nuclei galattici attivi, straordinari acceleratori cosmici alimentati da buchi neri che possono arrivare ad avere masse di miliardi di volte quella del Sole.

- ★ Sono state osservate variazioni nell'emissione gamma proveniente dalla Nebulosa del Granchio

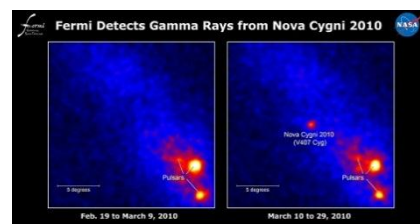


- ★ L'osservatorio Fermi dimostra che Enrico Fermi aveva ragione quando,



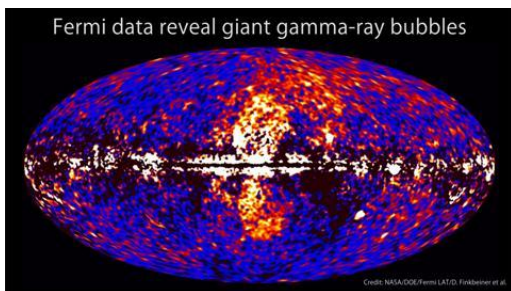
alla fine degli anni '40, per primo propose un meccanismo in grado di spiegare le enormi energie raggiunte dai raggi cosmici che permeano la nostra galassia. Secondo l'ipotesi di Fermi, i raggi cosmici vengono accelerati in dense nubi di gas magnetizzato in movimento.

- ★ Utilizzando le immagini prodotte col telescopio LAT è stata ottenuta una stima ancora più precisa della radiazione gamma dal fondo del cielo
- ★ Per la prima volta è stata osservata una nova nei raggi gamma





- ★ Si è svelato il periodo orbitale di LSI +61 303 un sistema binario massiccio e forte emettitore di raggi X situato a 6500 anni luce nella costellazione di Cassiopea
- ★ È stata rivelata una struttura centrata attorno al nucleo della nostra galassia mai vista prima. Tale struttura è stata chiamata la grande bolla e si estende per 50000 anni luce e non si esclude che possa essere il resto di una passata attività del buco nero presente nel centro galattico.



- ★ 3C 454.3 è una galassia attiva , in particolare un Blazar, cioè una galassia con un buco nero super massiccio centrale ed un getto relativistico orientato verso la Terra. Si trova a 7,2 miliardi di anni luce nella costellazione del Pegaso. Per un breve periodo questo oggetto è stato l'astro più luminoso del cielo gamma
- ★ Sono stati studiati i TGF. Si tratta di emissione di particelle e antiparticelle accelerate durante le scariche in un temporale. Fermi ha osservato la doppia annichilazione causata dalla

bottiglia magnetica del campo di dipolo terrestre.

- ★ È stata osservata un'emissione gamma straordinariamente brillante dal Sole in occasione del brillamento del 7 marzo 2012

## Referenze

- Volker Schönfelder – The Universe in Gamma Rays – Ed. Springer
- Carl E. Fichtel and Jacob I. Trombka – Gamma ray Astrophysics new insight into the universe SE – NASA reference publication 1386 Oct 1997
- L'astronomia n°235 ottobre 2002 – INTEGRAL una missione alla scoperta del cielo gamma
- GRB090429b: un nuovo lampo record - Andrea Simoncelli – Le Stelle, n° 98, agosto 2011
- Fermi incontra Fermi: da Roma all'universo – Patrizia Caraveo – Le Stelle, n° 97, luglio 2011
- La variabilità della Crab Nebula – Patrizia Caraveo – Le Stelle, n° 92, febbraio 2011
- I cataloghi delle sorgenti gamma di AGILE e FERMI – Patrizia Caraveo – Le Stelle, maggio 2009
- GRB090510 e la velocità della luce
- Cygnus X-3, chiarito l'enigma – Patrizia Caraveo, Le Stelle, gennaio 2010
- L'anno dei Pulsar – Patrizia Caraveo – Le Stelle, maggio 2010