

Bagliori nel buio

I lampi gamma e le loro sorgenti

di Elisabetta Bissaldi

L'universo ospita numerosi fenomeni esotici e meravigliosi, alcuni dei quali possono generare quantità di energia quasi inconcepibili. Buchi neri supermassicci, stelle di neutroni che si fondono, flussi di gas caldo che si muovono quasi alla velocità della luce: sono solo alcune delle meraviglie che generano i raggi gamma, la forma di radiazione più energetica, miliardi di volte più energetica della luce visibile. Grazie al telescopio spaziale Fermi Gamma-ray Space Telescope, denominato precedentemente GLAST, che l'11 giugno 2023 celebra il quindicennale della messa in orbita attorno alla Terra, l'astronomia nei raggi gamma rappresenta oggi la scienza degli estremi – gravità estrema, campi magnetici estremi, ecc. Un paio di mesi dopo il lancio nel 2008, GLAST è stato ribattezzato Fermi Gamma-ray Space Telescope e dedicato a Enrico Fermi (1901 – 1954), scienziato che fu pioniere dello studio delle particelle di alta energia e in particolare studiò il meccanismo fisico per accelerare i raggi cosmici che pervadono la nostra galassia e giungono fino a noi. In questo

a.

La missione spaziale GLAST decolla a bordo di un razzo Delta II dalla Cape Canaveral Air Force Station l'11 giugno 2008. Ribattezzata poi Fermi, è una missione spaziale internazionale della NASA che conta su una fondamentale partecipazione italiana, con i contributi dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF).



lungo periodo, gli strumenti a bordo di Fermi hanno permesso numerose scoperte scientifiche che hanno rivoluzionato la nostra comprensione dell'universo visto attraverso i raggi gamma, aprendo una finestra su alcune delle strutture più interessanti dell'universo.

Fra le sorgenti più misteriose e affascinanti studiate da Fermi ci sono i lampi gamma o *gamma-ray burst* (GRB). Solitamente si distinguono due classi di lampi gamma in base alla durata del segnale gamma misurato a bassa energia. La maggior parte dei lampi gamma si verifica quando alcuni tipi di stelle massicce esauriscono il carburante e collasano per creare dei buchi neri, producendo un segnale "lungo" che continua per decine o centinaia di secondi. Altri si verificano quando due stelle di neutroni, resti superdensi di esplosioni stellari, si fondono. In questo caso il segnale "breve" dura meno di 2 secondi. Entrambi i tipi di eventi cataclismici creano getti di particelle che si muovono quasi alla velocità della luce. I raggi gamma sono prodotti nelle collisioni di materiale in rapido movimento all'interno dei getti e quando questi interagiscono con l'ambiente intorno alla stella. Tutti i lampi gamma appaiono nel cielo in maniera del tutto imprevedibile e non sono eventi ripetibili. Per questo motivo sono classificati come "transienti", e sono stati protagonisti indiscussi della storia di Fermi fin dagli albori della missione, permettendo alcune delle più importanti scoperte.

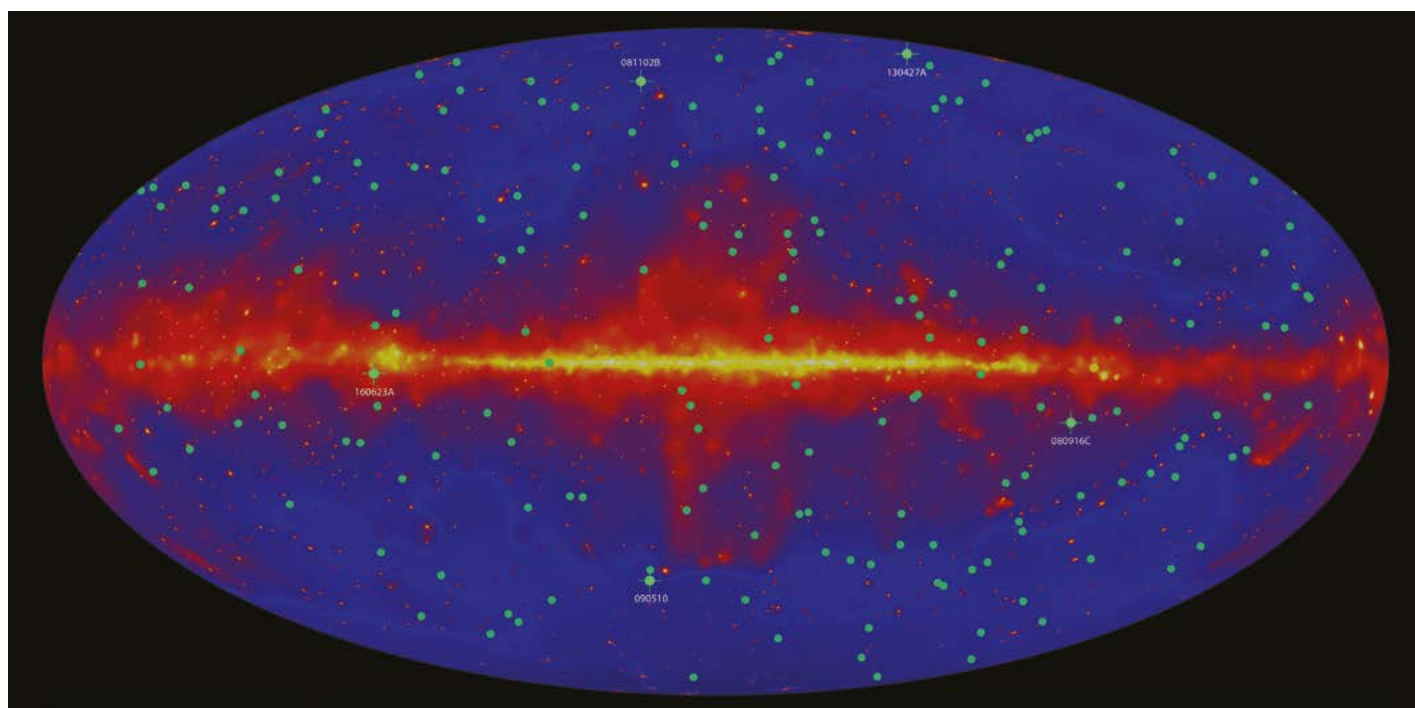
A bordo di Fermi si trovano due strumenti. Quello principale, il Large Area Telescope (LAT), scansa il cielo ogni tre ore e ha osservato più di 6500 singole sorgenti di raggi gamma.

Lo strumento secondario, il Gamma-ray Burst Monitor (GBM), dedicato allo studio dei fenomeni cosmici "transienti", monitora in ogni istante l'intero cielo, tranne la porzione occultata dalla Terra, e ha osservato oltre 3500 lampi di raggi gamma durante tutto il periodo della missione.

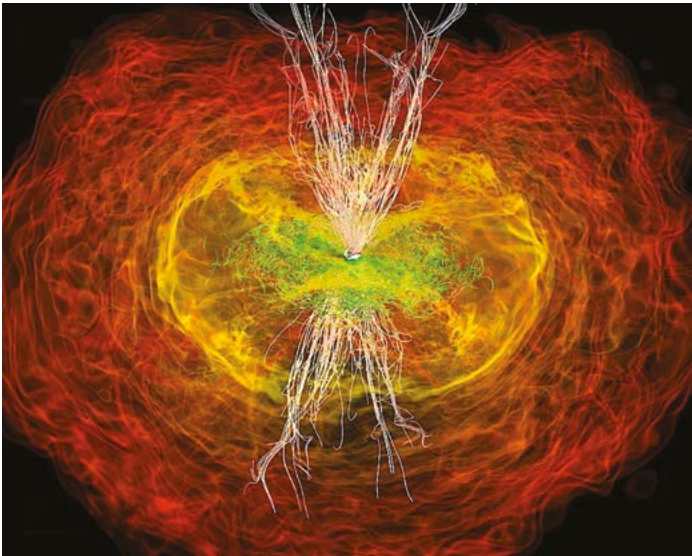
Il primo lampo gamma osservato dal LAT nel settembre 2008, GRB 080916C, è stato anche l'evento più lontano e uno dei più brillanti registrati in tutta la missione, verificatosi a 12,2 miliardi di anni luce di distanza nella costellazione della Carena. Alcuni mesi più tardi, nel maggio 2009, un lampo gamma breve denominato GRB 090510 ha contribuito a testare un aspetto della teoria di Einstein secondo cui il tessuto dello spaziotempo è liscio e continuo. Grazie allo studio di questa sorgente, il *team* di Fermi è riuscito a dimostrare che tutta la luce, indipendentemente dalla sua energia, si muove alla stessa velocità attraverso il vuoto dello spazio.

Un'altra fondamentale scoperta di Fermi, avvenuta il 17 agosto 2017, è stata l'aver osservato un lampo gamma breve, denominato GRB 170817A, in coincidenza con un segnale gravitazionale catturato dagli interferometri della collaborazione internazionale LIGO/Virgo. Questo evento è stato il primo in cui onde luminose e gravitazionali sono state rivelate dalla stessa sorgente, marcando così l'inizio della nuova era dell'astronomia multimessaggera.

Tra il 2018 e il 2019 Fermi ha rivelato due lampi gamma, GRB 180720B e GRB 190114C, che hanno prodotto la radiazione a più alta energia mai registrata da questi eventi. Entrambi i



b. Costruita accumulando nove anni di dati di Fermi-LAT, questa mappa mostra come appare il cielo nei raggi gamma a energie superiori a 10 miliardi di elettronvolt. Il piano della nostra galassia, la Via Lattea, appare brillante al centro dell'immagine. I punti verdi mostrano le posizioni di 186 lampi di raggi gamma osservati dal LAT durante il suo primo decennio. Gli eventi più spettacolari della missione sono evidenziati ed etichettati.



c.
Simulazione di una collisione di stelle di neutroni, che potrebbe spiegare i lampi gamma brevi.

lampi gamma sono stati osservati in combinazione con due diversi osservatori a terra e hanno fornito nuove e fondamentali informazioni sui meccanismi che li producono. Infatti, i getti prodotti durante l'evento catastrofico di formazione del nuovo buco nero, mentre si propagano verso l'esterno, emettendo in banda gamma, possono anche interagire con il gas circostante ed emettere radiazione in tutto lo spettro, dalla radio ai raggi gamma di energia più estrema.

Questi cosiddetti *afterglow* (bagliori ritardati) possono essere rivelati mesi – e raramente, anche anni – dopo l'esplosione del lampo gamma, generalmente a lunghezze d'onda maggiori (e a energie inferiori).

Per entrambi i lampi gamma in questione, Fermi ha rivelato un picco di raggi gamma in tempo reale e ha immediatamente allertato la comunità astronomica sulla posizione dell'esplosione, in modo da permettere ad altri telescopi a terra e nello spazio di monitorare la stessa porzione di cielo e osservare possibili controparti. I due esperimenti che hanno rivelato l'*afterglow* alle altissime energie sono stati rispettivamente l'osservatorio High Energy Stereoscopic System (HESS), situato in Namibia, che ha osservato il bagliore di GRB 180720B ben dieci ore dopo l'inizio dell'osservazione di Fermi, e l'osservatorio Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov (MAGIC), situato nelle Isole Canarie, che ha iniziato a osservare il GRB 190114C appena 50 secondi dopo che è stata data l'allerta di Fermi. Questo rivelamento, in termini di energia, ha superato di gran lunga quello del 2013, effettuato dal LAT, che aveva rivelato un fotone proveniente da un lampo gamma denominato GRB 130427A con un'energia di 95 miliardi di elettronvolt (GeV), all'epoca la più alta osservata per un lampo gamma. HESS e MAGIC, infatti, hanno registrato energie fino a mille miliardi di elettronvolt (1 TeV) (come termine di paragone, si consideri che l'energia della luce visibile varia da circa 2 a 3 elettronvolt!).

Tuttavia, i record sono fatti per essere infranti, e questo è quanto è accaduto nel 2022, quando Fermi ha registrato un impulso insolitamente luminoso e duraturo di radiazione ad alta energia,

prodotto da un lampo gamma di durata estremamente lunga, che ha investito la Terra domenica 9 ottobre. Questa ondata di raggi X e gamma, che ha attraversato il sistema solare, è stata così intensa da "accecare" per alcuni secondi sia il LAT che il GBM di Fermi, attivando oltre a questi anche gli strumenti di numerose altre missioni spaziali. I telescopi di tutto il mondo si sono quindi rivolti verso il luogo dell'esplosione per studiarne le caratteristiche e osservarne il bagliore ritardato. Denominato GRB 221009A e proveniente dalla direzione della costellazione della Sagitta, il lampo gamma ha percorso circa 1,9 miliardi di anni per raggiungere la Terra. Secondo le analisi preliminari, il LAT ha rivelato l'*afterglow* dell'esplosione per più di 10 ore. Uno dei motivi della luminosità e della longevità di questo *burst* è che, per un GRB, si trova relativamente vicino a noi. La vicinanza di questo evento è entusiasmante perché ci consente di rivelare molti dettagli che altrimenti sarebbero troppo deboli per essere visti. Si tratta infatti di una delle esplosioni più energetiche e luminose mai viste indipendentemente dalla distanza, il che lo rende doppiamente eccitante. La luce di questa antica esplosione porta con sé nuove intuizioni sul collasso stellare, la nascita di un buco nero, il comportamento e l'interazione della materia vicino alla velocità della luce, le condizioni in una galassia lontana e molto altro. Un altro GRB così luminoso potrebbe non apparire per decenni.

Biografia

Elisabetta Bissaldi è professoressa presso il Dipartimento Interateneo di Fisica del Politecnico di Bari e ricercatrice associata all'INFN Bari. Il suo lavoro si concentra sull'astrofisica dei raggi gamma alle alte energie, e in particolare sullo studio dei *gamma-ray burst*. È anche attiva nello sviluppo di nuovi sensori e rivelatori per strumenti di astrofisica gamma di nuova generazione.

10.23801/asimmetrie.2023.34.2