

Un lampo gamma da record

di Andrea Simoncelli

18

Grazie al satellite Swift e al Telescopio Nazionale Galileo è stato possibile studiare il lampo gamma più distante dell'universo: si tratta del GRB090423, posto a circa 13 miliardi di anni luce da noi.

Nel 2001, completati gli esami universitari, decisi di chiedere una tesi sui Gamma Ray Burst (GRB) al mio professore di meccanica celeste, Adriano Guarnieri, che in quel campo diede nel 1997 un contributo significativo. Su sua indicazione iniziai a studiare le controparti ottiche dei GRB presso l'IASF di Bologna, sotto la supervisione di due giovani e validi ricercatori, Nicola Masetti ed Eliana Palazzi. A distanza di anni, gli

archivi degli astronomi sono ricchi di GRB, ma il loro studio continua a sorprendere la comunità scientifica e, senza ombra di dubbio, rappresenta uno dei settori più vivi dell'astrofisica delle alte energie.

Ma che cosa sono i GRB? Sono delle brevi e intense emissioni di radiazione elettromagnetica di alta energia (tipicamente nella banda "gamma" dello spettro elettromagnetico) del tutto imprevedibili nello spazio e nel tempo. Queste emissioni, note anche come lampi gamma, possono avere una durata che varia da una frazione di secondo a pochi minuti. Non provengono da direzioni specifiche, ovvero la loro distribuzione in cielo è isotropa e si originano da violenti fenomeni astrofisici in grado di rilasciare quantità incredibili di energia (spesso di gran lunga superiori a quelle irradiate dalle galassie che li ospitano e paragonabili alla



luce di miliardi e miliardi di stelle come il Sole).

Gli astronomi classificano queste esplosioni utilizzando la sigla GRB seguita da tre coppie di cifre che indicano l'anno, il mese e il giorno della scoperta (ad esempio, GRB030329 è il lampo esploso il 23 marzo del 2003).

La loro scoperta risale al 1967, nel periodo della guerra fredda, quando alcuni satelliti spia americani, messi in orbita per tutelare il trattato tra USA e URSS che proibiva test nucleari nell'atmosfera, individuarono segnali gamma di origine astrofisica. I primi burst furono tenuti sotto segreto militare fino al 1973, quando l'intera comunità scientifica ne venne a conoscenza grazie alla pubblicazione di uno storico articolo apparso su *The Astrophysical Journal* (182, L85); tuttavia si dovettero attendere ancora parecchi anni per fare chiarezza sul fenomeno.

L'esperimento BATSE (Burst And Transient Source Experiment), a bordo del satellite americano Compton Gamma Ray Observatory (CGRO), tra il 1991 e il 2000 registrò più di 2700 eventi, con un tasso di rivelazione di circa un burst al giorno.

Quelle osservazioni confermarono ciò che era stato osservato sin dall'inizio, ossia una distribuzione altamente isotropa nello spazio.

Prima di BATSE, la scala delle distanze dei GRB era sconosciuta e la comunità scientifica era divisa tra i sostenitori dell'origine galattica e coloro che, al contrario, sostenevano l'origine extragalattica (quest'ultima trova un'ovvia giustificazione proprio nell'isotropia osservata da BATSE). Il problema era che all'epoca mancavano riscontri di controparti ad energie inferiori del gamma, in particolare nell'ottico, da cui fosse possibile ricavare ulteriori informazioni circa la distanza (per poter discriminare definitivamente le due ipotesi) e l'energia rilasciata.

Una rappresentazione artistica di un lampo gamma. L'origine di quelli lunghi è collegata alle esplosioni di ipernovae, ovvero di supernovae particolarmente energetiche. [ESO/A. Roquette]



Nel centro dell'immagine è presente la controparte infrarossa del GRB 090423 osservata con il Gemini North Telescope nelle Hawaii. [Penn State University/Harvard University/Gemini Observatory/NSF]

20

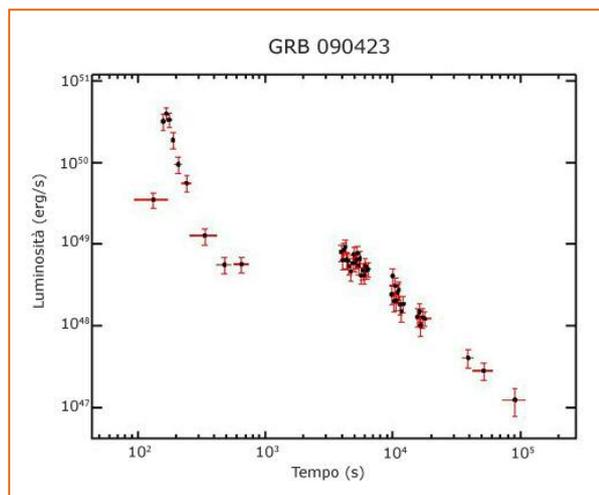
Nessun satellite era in grado di ricostruire la posizione dei GRB nel cielo con un'accuratezza tale da poterli associare a sorgenti celesti di cui si potessero osservare le controparti alle altre lunghezze d'onda. Da qui sorgeva anche la difficoltà a ricondursi a pochi modelli teorici che potessero fornire delle risposte convincenti alle caratteristiche osservate. I dati raccolti da BATSE hanno permesso agli scienziati di notare l'esistenza di due famiglie di GRB: quelli "lunghi" (con una durata superiore ai 2 s) e quelli "brevi", (con durata inferiore ai 2 s). Entrambi gli eventi presentano lo stesso livello di isotropia nel cielo, e in generale più il GRB è breve più il suo spettro è duro, ovvero è caratterizzato da una maggiore emissione alle alte energie.

La svolta nello studio dei lampi

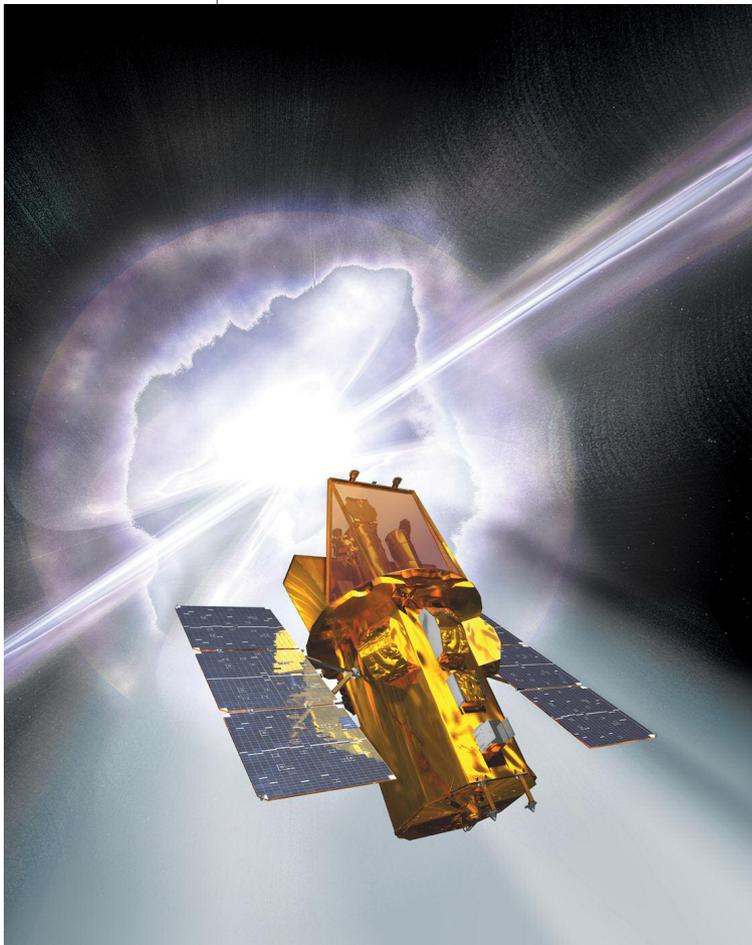
La curva di luce del GRB090423 nella banda 0,3÷10 keV. Si vede nella fase iniziale il brusco innalzamento della luminosità associato al Gamma Ray Burst. [INAF]

gamma è avvenuta negli anni Novanta con il satellite italo-olandese BeppoSAX (così chiamato in onore del fisico Giuseppe Occhialini, uno dei pionieri dell'astronomia X), che ha permesso di risolvere il problema della precisione sulla posizione celeste utilizzando un rivelatore di raggi gamma (il Gamma Ray Burst Monitor) in combinazione con un rivelatore X a campo largo (costituito da due Wide Field Camera, WFC) in grado di localizzare una sorgente con buona precisione.

L'utilizzo del satellite ha finalmente portato alla scoperta delle controparti ad energie inferiori a quella gamma: per il burst del 28 febbraio 1997 (GRB970228) furono per la prima volta individuate la controparte X, grazie a BeppoSAX, e quella ottica, con osservazioni indipen-



denti eseguite al William Herschel Telescope delle Canarie, e al telescopio "G.D. Cassini" di Loiano (Bo), dal gruppo guidato dal professore Guarnieri, e visualizzata da una debole sorgente puntiforme (Guarnieri et al., A&A 328, L13; 1997).



Le emissioni meno energetiche seguono l'evento gamma a lunghezze d'onda maggiori (ovvero a frequenze minori) e diminuiscono con il passare del tempo; sono indicate con il termine inglese *afterglow* (che può essere tradotto come post-brillamento). Il loro studio risulta di fondamentale importanza per comprendere, attraverso l'analisi del tipo di emissione che li caratterizza, il processo con il quale viene prodotta la radiazione. Le controparti ottiche, inoltre, permettono

l'individuazione della *host galaxy* (la galassia ospite) e, attraverso le osservazioni spettroscopiche, la misurazione del redshift (indicato con la lettera z). Tale valore fornisce la misura di quanto la luce di un oggetto è stata "stirata" dal-

Immagine artistica di Swift (in orbita dal 2004), il satellite che ha permesso agli astronomi di compiere enormi progressi nelle conoscenze relative ai lampi gamma. [Spectrum and NASA E/PO, Sonoma State University, Aurore Simonnet]

l'espansione dell'universo, e quindi della sua distanza.

Grazie a BeppoSAX e alle prime misure di redshift si è potuto confermare lo scenario extragalattico. Al termine della brillante "carriera" di BeppoSAX, conclusasi nel 2002, diversi altri satelliti sono stati ideati e lanciati per studiare i lampi gamma. Tra questi, in orbita dal novembre 2004, vi è Swift, realizzato e gestito da una collaborazione fra centri di ricerca americani, inglesi e italiani (l'Agenzia Spaziale Italiana e l'Osservatorio Astronomico di Brera).

I meriti principali di Swift sono quelli di aver scoperto gli *afterglow* anche per i lampi gamma brevi (nessun satellite precedente era stato in grado di individuarli), e di aver osservato parecchi GRB ad alto redshift, con distanze paragonabili a quelle delle galassie e dei quasar più lontani attualmente noti.

Una volta esaminate le caratteristiche generali dei lampi gamma, resta da capire quali siano i loro progenitori. Attualmente, nella comunità scientifica che si occupa del fenomeno, c'è un generale accordo sull'origine dei lampi lunghi: si ritiene siano associati all'esplosione di stelle massicce in un tipo di supernova particolarmente violenta (detta *ipernova*). Negli ultimi anni, inoltre, si sono raccolte prove a favore della teoria che prevede per i lampi gamma brevi un'origine connessa alla fusione di due oggetti compatti, come ad esempio due stelle di neutroni, in un sistema binario.

Il 23 aprile del 2009, alle 07:55 UT (verso le ore 10 di mattina in Italia), Swift ha rilevato il GRB090423 grazie allo strumento di bordo BAT (Burst Alert Telescope). Il lampo gamma ha avuto una durata di circa 10 secondi e all'inizio sembrava uno dei tanti lampi gamma registrati da Swift. Grazie all'allerta fornita da BAT, il satellite ha immediatamente ripuntato gli altri telescopi di bordo verso la zona di cielo in cui è esploso il lampo gamma. In tal modo sono iniziate le osservazioni sia di XRT (appena 73 secondi dopo l'allarme di BAT), che osserva in banda X, sia di UVOT (77 secondi dopo l'allarme), che osserva nel visibile e ultravioletto. Mentre la controparte X veniva rivelata come una sorgente in affievolimento, UVOT non osservava nulla. I ricercatori, grazie all'esperienza maturata, sono consapevoli che tale circostanza è abbastanza frequente e potrebbe significare che la controparte ottica del burst è troppo debole per essere osservata da UVOT. Di conseguenza, dopo aver localizzato con precisione il lampo gamma, gli astronomi hanno attivato i telescopi a Terra allo scopo di continuare le osservazioni nel visibile, in cerca della controparte ottica. Al momento dello scoppio del GRB090423 potevano però essere utilizzati solo i telescopi delle Hawaii e del Nord Ame-

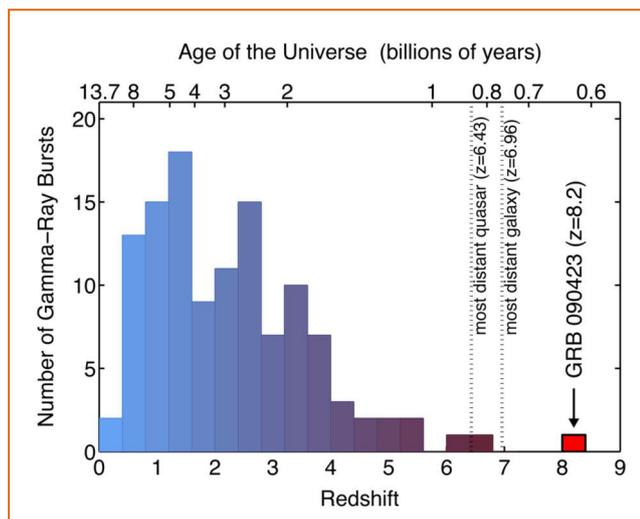


Il TNG è un telescopio di 3,6 m di diametro situato sulla sommità dell'isola di La Palma, ed è il più importante strumento ottico della comunità astronomica italiana. Il TNG fa parte del complesso di telescopi che compongono l'Osservatorio di Roque de Los Muchachos, uno dei più importanti dell'emisfero boreale. [INAF]

rica, poiché in quel momento lì era notte; tuttavia le osservazioni nell'ottico non mostravano la presenza di una controparte. Soltanto grazie all'UKIRT (United Kingdom Infra Red Telescope, situato alle Hawaii), si scopre, circa 20 minuti dopo l'allerta fornita da Swift, una de-

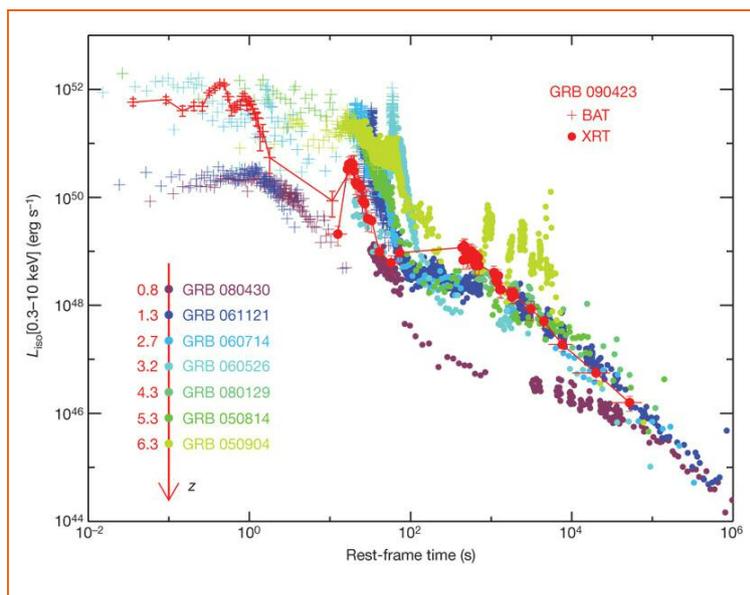
22

Il diagramma mostra la distribuzione dei redshift misurati fino a oggi per i lampi gamma osservati da Swift (notare che solo per una frazione di GRB è possibile misurare il redshift). Per confronto sono riportati anche i valori di redshift per il quasar e per la galassia più lontani noti fino al 2009. Precisiamo che lo z riportato per il GRB090423 è l'8.2 ricavato da un altro gruppo di ricerca e ovviamente compatibile con il valore di 8.1 trovato dal consorzio CIBO. [Edo Berger, Harvard-Smithsonian CfA]



bole controparte infrarossa, un possibile indizio che la stessa sorgente è veramente molto lontana. Evidenze che il burst è a un redshift elevato vengono fornite anche dal Gamma-Ray Burst Optical/Infrared Detector (GROND, montato sul telescopio MPI/ESO da 2,2 m situato a La Silla in Cile) le cui osservazioni indicano un valore di z circa 8. Vedere la controparte infrarossa e non quella nel visibile significa, infatti, che la radiazione ottica emessa è stata spostata verso l'infrarosso a causa dell'espansione dell'universo.

talia dall'astrofisico Paolo D'Avanzo (Osservatorio di Brera e Università di Milano-Bicocca), con la collaborazione dei colleghi di Brera, Bologna, Roma e delle Canarie. Circa 14 ore dopo l'allerta vengono effettuate osservazioni spettroscopiche e i dati così acquisiti al TNG sono via via trasferiti in Italia, dove un gruppo di ricercatori, presente per tutta la notte nella sede di Merate dell'Osservatorio di Brera, è pronto ad analizzarli. Già alle prime luci dell'alba del 24 aprile, agli astronomi appare evidente che i dati raccolti dal TNG rivelano un risultato di



Curve di luce (gamma e X) del GRB090423 e di altri lampi gamma (con redshift crescenti) corrette per i valori di redshift, ovvero riportate nei sistemi di riferimento dei burst. Come si nota, la curva di luce del GRB090423 è simile alle altre; questo suggerisce che il meccanismo che produce sia i burst ad alto z sia quelli a z bassi e intermedi sia simile. [Salvatterra et al. 2009]

Dopo ore di trepidante attesa, la notte arriva finalmente anche alle Canarie, dove si trova il TNG (Telescopio Nazionale Galileo). Una rete di astrofisici (denominata CIBO, ovvero Consorzio Italiano Burst Ottici), organizzata per seguire e studiare in tempo reale questi fenomeni (attiva, se necessario, anche nel bel mezzo della notte), appena ricevuto l'allarme in automatico da Swift, chiede di osservare il lampo gamma con il TNG. Il direttore, Emilio Molinari, accetta la proposta di osservazione degli astronomi italiani, sconvolgendo la schedula osservativa prevista per quella notte, e iniziano le osservazioni coordinate dall'I-

importanza eccezionale: l'analisi spettrale della luce della sorgente, infatti, indica che la radiazione emessa proviene da un GRB molto distante, più di qualsiasi altro mai osservato fino ad allora. Presto altri astrofisici della rete nazionale CIBO e Swift si aggiungono a dare man forte ai ricercatori di Merate per affinare l'analisi dei dati e confermare il risultato che era stato ottenuto. Nel pomeriggio gli astronomi giungono al risultato finale: l'esplosione osservata mostrava un redshift $z = 8.1$ (con un errore di pochi decimi), corrispondente a più di 13 miliardi di anni luce di distanza da noi; questo vuol dire che l'esplosione è avvenuta

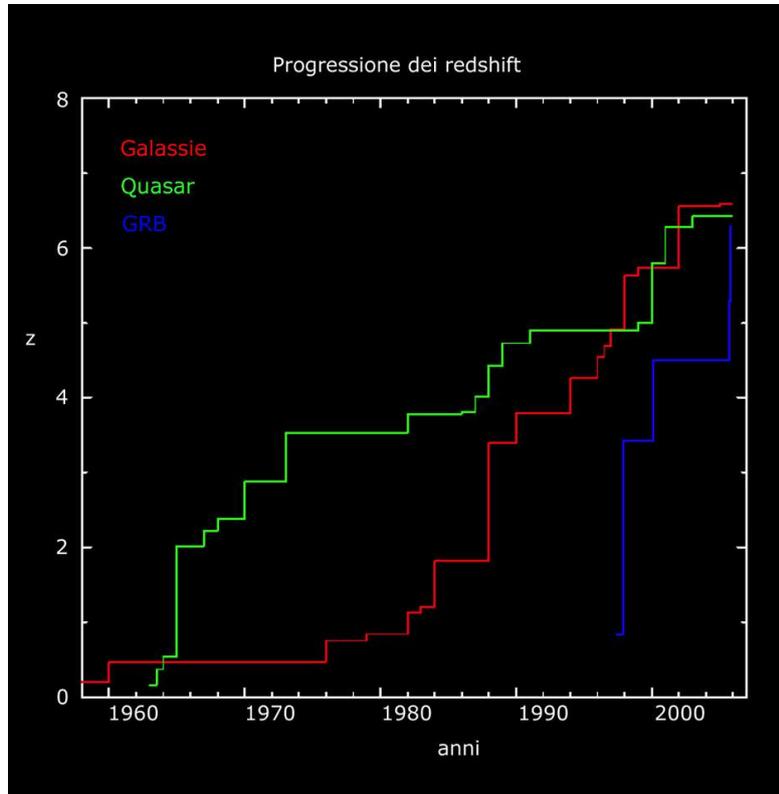
soltanto dopo circa 600-700 milioni di anni dal Big Bang.

Le proprietà del GRB090423, simili a quelle di altri GRB situati a redshift minori e intermedi, suggeriscono che il meccanismo e i progenitori non sono differenti. La scoperta, pubblicata sulla prestigiosa rivista internazionale *Nature* (Salvaterra et al. 461, 1258; 2009), dimostra che l'universo ha iniziato a formare molto rapidamente stelle simili a quelle che conosciamo oggi ed evidenzia come i GRB siano

un mezzo di indagine eccezionale per studiare l'universo primordiale.

Il GRB090423 è dunque il lampo celeste più distante mai osservato finora; per meglio comprendere l'importanza della scoperta, basta ricordare che il GRB più distante aveva un redshift $z = 6,7$ (GRB080913) e solo le galassie più remote recentemente evidenziate nelle riprese ultra profonde dell'Hubble Space Telescope raggiungono distanze simili.

Sono molti, ormai, i lampi gamma rivelati a redshift alti, fino all'epoca corrispondente alla formazione della prima generazione di stelle ($z = 8-15$), come previsto da parecchi modelli. Queste stelle primordiali potrebbero essere anche le responsabili della reionizzazione dell'universo e del suo iniziale arricchimento di elementi più pesanti dell'elio. I GRB originati da questa popolazione primordiale di stelle dovrebbero essere potenzialmente osservabili fino a $z = 20$ (Lamb & Reichart, 2000, ApJ, 536, L1) e



Questo grafico sintetizza la progressione dei redshift registrati negli ultimi 50 anni: se inizialmente solo i quasar erano visibili a elevatissime distanze, via via che il diametro e le prestazioni dei grandi strumenti crescevano, tutti e tre i fenomeni rappresentati potevano essere scoperti a distanze sempre più paragonabili. [R. McMahon, N. Tanvir]

anche la sola osservazione di tali eventi sarebbe un risultato sensazionale, che confermerebbe l'esistenza di quella prima generazione di stelle. Senza dubbio, il risultato ottenuto dal consorzio CIBO rappresenta un vero e proprio record nell'astrofisica... ma quanto durerà? A quando il prossimo burst?

Andrea Simoncelli, nato a Ortona nel 1978, abita a Vasto. Nel 2002 ha conseguito la laurea in astronomia presso l'Università degli Studi di Bologna, occupandosi della controparte ottica e infrarossa del GRB020405. In seguito ha trascorso un periodo di ricerca presso l'Osservatorio Astronomico di Brera-Merate. Nel 2007 ha ottenuto l'abilitazione all'insegnamento presso l'Università di Modena. Attualmente insegna scienze matematiche nella scuola secondaria di primo grado e si occupa di divulgazione scientifica.