

Le più potenti esplosioni del cosmo

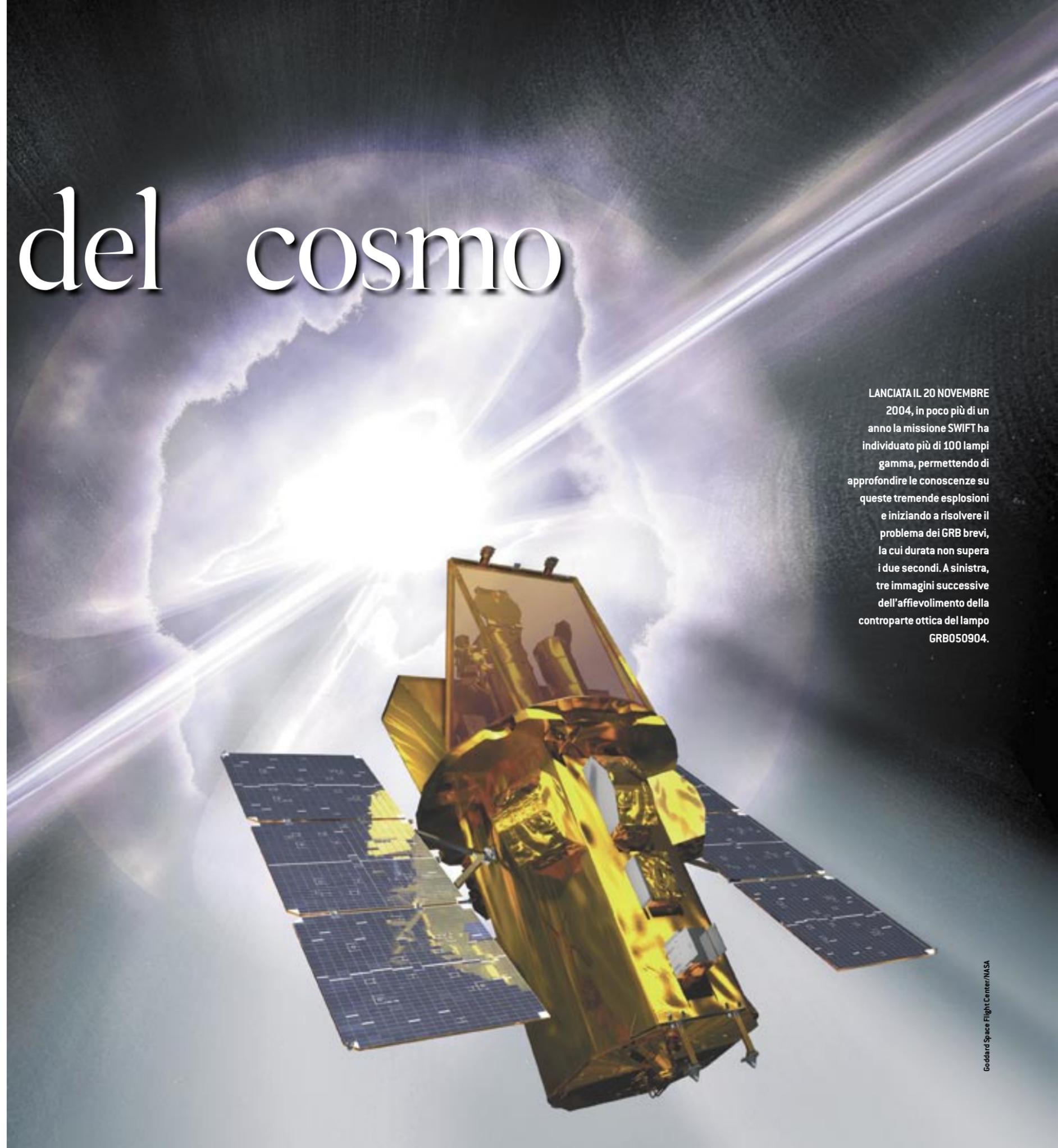
In poco più di un anno, SWIFT ha scoperto e studiato più di un centinaio di lampi gamma, dimostrando che quanto sapevamo è una piccola parte di un quadro ben più complesso che solo ora inizia a emergere

di Patrizia Caraveo e Gianpiero Tagliaferri



NASA/GSFC

Il 4 settembre 2005 gli strumenti a bordo di SWIFT registravano il segnale di un lampo gamma avvenuto 13 miliardi di anni fa, quando l'universo aveva meno di un decimo dell'età attuale. Etichettato con la sigla GRB050904 (secondo la convenzione anno-mese-giorno utilizzata per individuare i lampi gamma, dove GRB sta per *gamma ray burst*), con un redshift pari a 6,29 è uno degli oggetti più lontani mai misurati direttamente, e sicuramente la più distante sorgente mai rivelata in astronomia X. Il lungo viaggio ha lasciato una traccia nella curva di luce del lampo – risultato di una sorta di allungamento relativistico dovuto all'enorme distanza percorsa – che ha fatto registrare un aumento di conteggi piuttosto modesto, ma protratto per un tempo insolitamente lungo. La brillante luminescenza osservata nei raggi X ha permesso di individuare la controparte ottica per la quale è stato misurato il redshift da primato.



LANCIATA IL 20 NOVEMBRE 2004, in poco più di un anno la missione SWIFT ha individuato più di 100 lampi gamma, permettendo di approfondire le conoscenze su queste tremende esplosioni e iniziando a risolvere il problema dei GRB brevi, la cui durata non supera i due secondi. A sinistra, tre immagini successive dell'affievolimento della controparte ottica del lampo GRB050904.

A poco più di un anno dal lancio, SWIFT ha già rivoluzionato le nostre conoscenze nel campo dei lampi gamma, le esplosioni più violente dell'universo. Il satellite, che si trova su un'orbita quasi equatoriale bassa, scandaglia il cielo alla ricerca di lampi, e i dati raccolti vengono scaricati durante uno dei circa dieci passaggi giornalieri sopra la base italiana di Malindi (in Kenya) dove una delle due grandi antenne segue il moto del satellite per non perdere nemmeno un attimo utile del passaggio di SWIFT. È un sistema ben rodato, costruito per la missione BeppoSAX, che ha già seguito più di 4000 passaggi di SWIFT incontrando qualche problema solo una dozzina di volte.

Si tratta di un bel successo per la base di Malindi, che è uno dei contributi dell'Agenzia spaziale italiana alla missione SWIFT (un satellite NASA a cui hanno dato contributi decisivi ASI e PPARC, le agenzie spaziali di Italia e Regno Unito). I passaggi durano al massimo una decina di minuti, durante i quali devono essere scaricate le informazioni che gli strumenti di bordo hanno immagazzinato e devono essere inviati i comandi per le operazioni da eseguire nelle orbite successive.

Ma non sempre gli ordini vengono eseguiti. Nel caso il Burst Alert Telescope (BAT) – uno strumento molto sensibile con un ampio campo di vista – riveli un lampo gamma, il satellite ha capacità autonome per decidere di ripuntarsi annullando le sequenze di operazioni predefinite per fare posto alle osservazioni del nuovo lampo. È questa la strategia vincente di SWIFT, che grazie alla sua autonomia gestionale riesce a osservare il comportamento dei lampi gamma nei raggi X e nella banda ottica in modo simultaneo a partire da poche decine di secondi dopo il lampo.

La comunità astronomica viene aggiornata in tempo reale attraverso il TDRSS, il sistema di tracciamento e trasmissione dati della NASA, che invia a terra i dati essenziali del lampo: la posizione, la durata, il flusso. Nel frattempo il satellite si riposiziona e inizia la sequenza di osservazioni X e ottiche. Se si trova una sorgente X, viene trasmessa una posizione più precisa, che può essere ulteriormente migliorata dalla rivelazione in banda ottica. A volte, se la sorgente X è troppo debole per poter essere rivelata con il sistema automatico di bordo, è necessario aspettare il successivo transito su Malindi per poter avere accesso alla totalità dei dati.

Dal Kenya, i dati vengono spediti a Roma e poi al nodo NASA di Houston e da lì al Goddard Space Flight Center e al Mission Operation Center di State College, in Pennsylvania. Appena arriva un segnale, la veloce analisi dei dati e la distribuzione immediata dei risultati tramite un network informatico permettono agli astronomi di tutto il mondo di mettersi al lavoro con le informazioni più dettagliate. Quando non ci sono nuovi lampi, SWIFT riosserva quelli di qualche giorno prima, oppure si dedica allo studio di oggetti astronomici, le sorgenti interessanti non mancano.



Cortesia Luca Sauri

UNA DELLE ANTENNE DELL'ASI A MALINDI, dove vengono ricevuti i dati della missione SWIFT. Il satellite passa sopra la base una decina di volte al giorno, e durante ogni passaggio ci sono dieci minuti per inviare le informazioni.

Caccia all'imprevedibile

È difficile dire quanti lampi verranno rivelati da SWIFT domani o la settimana prossima. I lampi gamma sono quanto di più imprevedibile si possa immaginare. Se ne sono rivelati tre in un giorno e si sono passate diverse settimane consecutive senza vederne neanche uno. Per esempio, dall'8 giugno al 12 luglio 2005 BAT non ha visto nessun lampo gamma. Dal 12 al 20 luglio si è rifatto, con sette GRB in otto giorni. Facendo i conti, nel periodo giugno-luglio 2005, in media, è stato rivelato grossomodo un GRB alla settimana: peccato che si siano manifestati tutti nella stessa settimana.

Dopo un anno in orbita tutti gli strumenti funzionano perfettamente. L'unica anomalia è stata riscontrata subito dopo l'accensione del rivelatore per raggi X dell'X-Ray Telescope (XRT), che, per poter funzionare al meglio, deve essere raffreddato a circa 110 gradi sotto zero. Il sistema di raffreddamento è costituito da una compo-

TUTTI GLI OCCHI DI SWIFT

Per poter studiare i lampi gamma in diverse bande dello spettro, SWIFT ha a bordo tre strumenti: il Burst Alert Telescope (BAT), l'X-Ray Telescope (XRT) e l'Ultra-Violet/Optical Telescope (UVOT). BAT è costituito da 32.768 rivelatori sensibili a fotoni nell'intervallo di energia compreso tra 10 e 350 chiloelettronvolt (keV). Sopra i rivelatori c'è una maschera codificata che permette di ricostruire la direzione di arrivo di ogni fotone, e quindi di determinare la posizione delle sorgenti celesti. Per massimizzare la probabilità che si scoprano nuovi lampi, il campo di vista è molto ampio, circa un sesto di tutto il cielo. Entro cinque secondi dall'esplosione di un lampo gamma, il software di bordo calcola la posizione (con un'incertezza di 2 minuti d'arco), determina il flusso e le caratteristiche spettrali e trasmette immediatamente i dati a terra. Nel frattempo il computer di bordo acquisisce la nuova direzione di puntamento e, se possibile, in poche decine di secondi il satellite è ripuntato per porre il nuovo GRB nel campo di vista di XRT e UVOT.

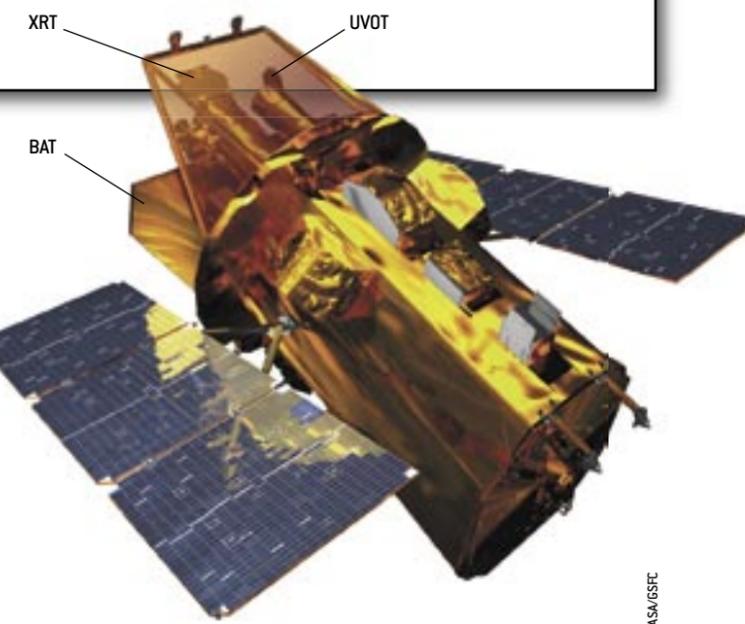
XRT è un telescopio a raggi X, con un campo di vista di 24 x 24 minuti d'arco, in grado di ottenere immagini e spettri nella banda tra 0,2 e 10 keV, e può dare le coordinate delle sorgenti X con una precisione di 4 secondi d'arco. XRT determina in modo totalmente automatico la posizione della sorgente X associata al lampo gamma e il suo flusso, e li trasmette a terra entro 5 secondi dall'inizio della sua osservazione. Grazie all'impiego

di diversi «modi operativi», che ottimizzano di volta in volta le osservazioni di sorgenti così variabili, XRT è in grado di osservare sorgenti con flussi che spaziano un intervallo di più di sette ordini di grandezza, scegliendo il modo operativo migliore in funzione del flusso della sorgente.

Componente essenziale di un telescopio X sono gli specchi a incidenza radente. Nel caso di XRT gli specchi sono stati sviluppati dall'Osservatorio Astronomico di Brera dell'INAF in collaborazione con la ditta Medialario, grazie a un contratto finanziato dall'Agenzia spaziale italiana (ASI). E l'Italia ha fornito anche il software per l'analisi dei dati di XRT, sviluppato dall'ASDC (ASI Science Data Center).

UVOT è un telescopio ottico-ultravioletto in grado di fare fotometria multifiltro e spettroscopia a bassa risoluzione nella banda compresa tra 170 e 600 nanometri. Non appena il satellite si è ripuntato sul lampo gamma, UVOT prende un'immagine di 100 secondi nel filtro della banda visibile. Questa immagine viene trasmessa a terra entro 300 secondi dall'inizio del burst, assieme alla lista di sorgenti rilevate nell'immagine dal software di bordo. Intanto UVOT osserva il campo del GRB in tutti i vari filtri a disposizione cercando di determinare le caratteristiche dello spettro su larga banda del transiente ottico. UVOT determina la posizione delle sorgenti con una precisione di circa 0,5 secondi d'arco.

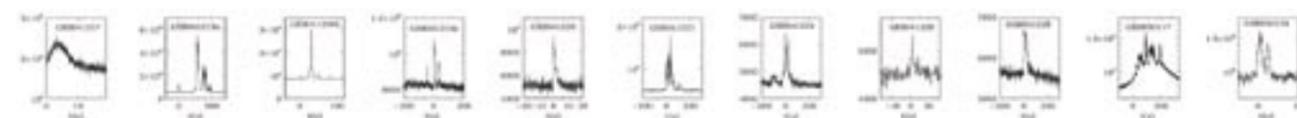
I TRE STRUMENTI DI SWIFT permettono di osservare i lampi gamma in tutto lo spettro di radiazione dalla banda ottica ai raggi gamma.



NASA/GSFC

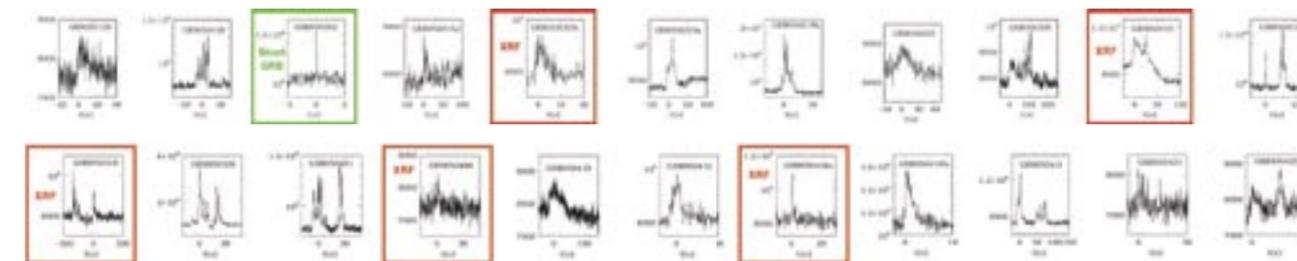
nente «attiva» e da una «passiva». Purtroppo il motore refrigerante ha dato subito problemi, e l'unico raffreddamento possibile si basa sui radiatori passivi. Per garantire il funzionamento del rivelatore si devono quindi adottare opportune limitazioni della direzione e dei tempi di puntamento (evitando che i radiatori siano troppo allineati con il Sole). Con questa strategia si è riusciti a garantire prestazioni di XRT in buon accordo con le aspettative pre-lancio. BAT individua la posizione dei lampi con un'accuratezza di circa 2 minuti d'arco, XRT posiziona la sorgente X associata con una precisione di 4 secondi d'arco e UVOT arriva, con l'eventuale osservazione ottica, a una precisione di 0,5 secondi d'arco.

Anche il satellite mantiene le promesse, con più di 20.000 manovre eseguite. Il tempo di riposizionamento varia da un minuto a pochi minuti, e di solito un paio di minuti dopo l'inizio del lampo i telescopi X e ottico sono già all'opera. Mentre la posizione della sorgente X associata viene trasmessa a terra



Un anno di lampi gamma

In queste pagine e nelle seguenti sono rappresentate le curve di luce di 77 dei lampi gamma registrati da SWIFT. Sia la durata (in ascissa, espressa in secondi) sia l'andamento dell'intensità (in ordinata, indicata in conteggi al secondo, ovvero il numero di fotoni rivelati in un secondo) sono sensibilmente diversi da un caso all'altro. I riquadri verdi evidenziano i lampi gamma brevi, quelli rossi indicano gli X-Ray Flare (XRF), eventi con una forte componente nei raggi X.



immediatamente, la posizione del transiente ottico, se è presente, segue entro pochi minuti.

Grazie alle ottime prestazioni degli strumenti, i risultati di SWIFT sono già andati al di là delle più rosee speranze: ci si aspettava un passo avanti nella comprensione dei lampi gamma, ma in diverse aree si è arrivati a risultati rivoluzionari, in cui i ricercatori italiani hanno sempre svolto un ruolo di primo piano.

Le esplosioni più lontane

Dopo un anno di vita operativa in orbita, con più di 100 lampi gamma rivelati, è già tempo di tentare un primo bilancio. Poiché SWIFT lavora a diversi intervalli di lunghezze d'onda, la prima statistica da fare si basa sul confronto delle rivelazioni nelle bande gamma, X e ottica. E, per non introdurre errori, è bene restringere il campo agli eventi che sono stati osservati quando tutti gli strumenti erano perfettamente funzionanti.

Non tutti i lampi gamma rivelati da BAT sono stati puntati dal telescopio X. All'inizio della missione, quando gli strumenti stavano completando la procedura di calibrazione, la capacità di puntamento automatico non era abilitata, quindi manca la copertura X dei primi lampi gamma. Ma anche dopo che è stata attivata la procedura di ripuntamento, a partire dal gennaio 2005, può succedere che la posizione di un lampo gamma non sia immediatamente ripuntabile, perché viola qualcuno dei limiti di sicurezza del satellite: per esempio è troppo vicina al Sole, alla Luna o alla Terra.

Alcuni lampi sono particolarmente brevi: probabilmente non sono generati dall'esplosione di stelle supermassicce



In questo caso bisogna aspettare, sapendo che più il tempo passa più debole sarà l'emissione residua dal lampo gamma. In tutto, a fine 2005, XRT aveva osservato 81 GRB scoperti da BAT, rivelando emissione, più o meno brillante, da 75 di essi (c'è un solo caso di lampo lungo, GRB050911, in cui a seguito di un rapido ripuntamento XRT non ha trovato la controparte X). La luminescenza X, dunque, è quasi sempre presente dopo un lampo gamma.

UVOT, che è stato l'ultimo strumento di bordo a essere attivato, ha osservato 74 di questi lampi, e ha rivelato emissione da 19 di essi (41 sono stati invece rivelati da terra, grazie a telescopi molto più potenti e alla possibilità di spingersi nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso, meno colpito dall'assorbimento interstellare e intergalattico). Per 29 dei lampi di cui è stato osservato il segnale ottico

è stato possibile misurare il redshift, che indica la distanza a cui si trova la sorgente, e i valori trovati hanno riservato la prima sorpresa. Mentre per i lampi rivelati prima di SWIFT il redshift medio era di circa 1,2 – corrispondente a un viaggio di 8,5 miliardi di anni – per i lampi di SWIFT il valore medio è più del doppio (circa 2,5, pari a 11 miliardi di anni), con la punta record di GRB050904.

Ma la caratteristica più interessante di SWIFT è la rapidità di puntamento, che permette di sondare il comportamento di ogni lampo a pochi secondi dall'esplosione. Poiché si trattava di un territorio inesplorato, è naturale che sia uno dei campi che ha riservato le maggiori sorprese.

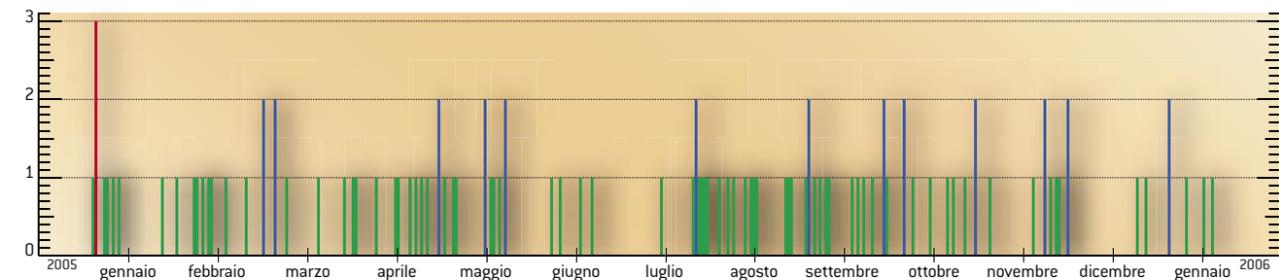
Dinamiche complesse

BeppoSAX aveva stupito il mondo astronomico con la sua capacità di posizionarsi in 6-8 ore. Iniziando l'osservazione appena un minuto dopo il lampo, SWIFT ha riempito un vuoto abissale, che si è rivelato pieno di sorprese. Chi pensava di trovare un'extrapolazione all'indietro dei decadimenti rivelati da BeppoSAX ha dovuto ricredersi: la realtà è molto più fantasiosa degli astrofisici.

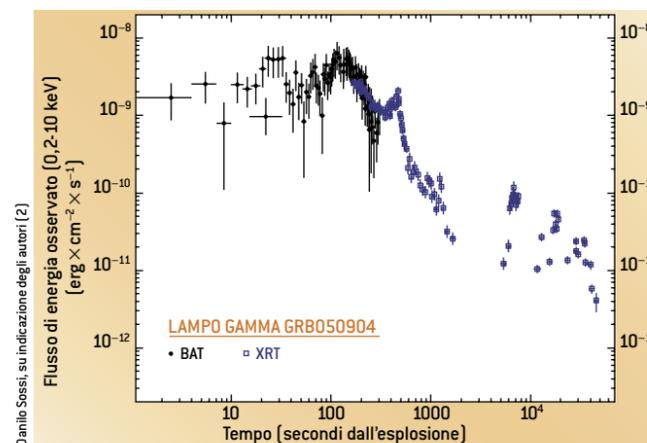
Le curve di decadimento dei lampi gamma sono molto più complicate di quanto si credesse. Come dicevamo, SWIFT segue ogni lampo gamma con la massima attenzione, lo osserva tutte le volte che è possibile e lo segue fino a quando diventa così debole da non essere più rivelabile (in alcuni casi dopo svariate settimane). Così anche nelle fasi più avanzate dell'evoluzione dei

lampi gamma, quelle già studiate dai satelliti della generazione precedente, SWIFT da un importante contributo.

Studiando la curva di decadimento di decine di lampi gamma «lunghi» si è arrivati a definire i canoni di un comportamento medio. L'emissione X rivelata appena dopo il lampo gamma, anche se molto brillante, si attenua in modo evidente: nella maggior parte dei casi, durante i primi minuti il flusso crolla fino a raggiungere valori tra 10 e 1000 volte inferiori a quelli iniziali. È un fenomeno di breve durata che si esaurisce in 5-10 minuti (in circa il 25 per cento dei casi questa rapida discesa iniziale non si osserva), poi la diminuzione di luminosità diventa meno violenta e la curva di decadimento si appiattisce. Questione di qualche ora, e la pendenza cambia ancora (anche più di una volta) per tornare a farsi ripida,



L'IMPREVEDIBILITÀ DEI LAMPI GAMMA è evidenziata dalla loro distribuzione in funzione del tempo (sopra). Talvolta BAT ha registrato anche due o tre lampi al giorno, in altri casi non se ne sono osservati per settimane. Sotto, l'andamento del flusso di energia registrato per il lampo gamma GRB050904. Sono mostrati i dati raccolti dallo strumento BAT, e dopo circa 120 secondi è iniziata l'osservazione da parte di XRT: l'osservazione nella banda X mostra il decadimento della sorgente, al quale si sovrappongono potenti brillamenti che si registrano anche diverse ore dopo l'esplosione.



Daniilo Sossì, su indicazione degli autori (2)

GLI AUTORI

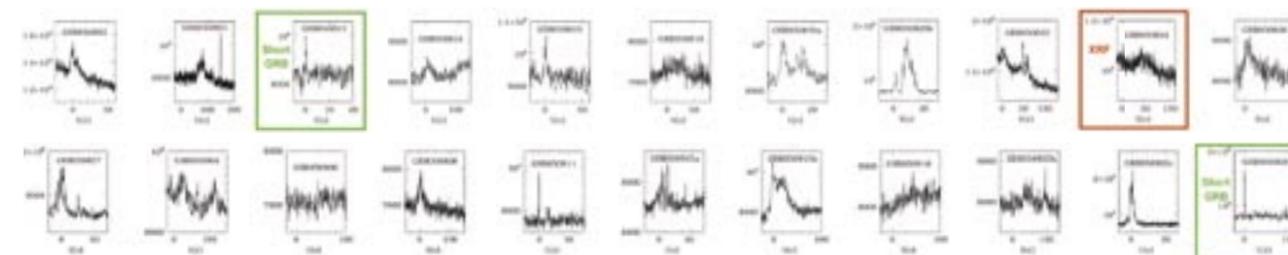
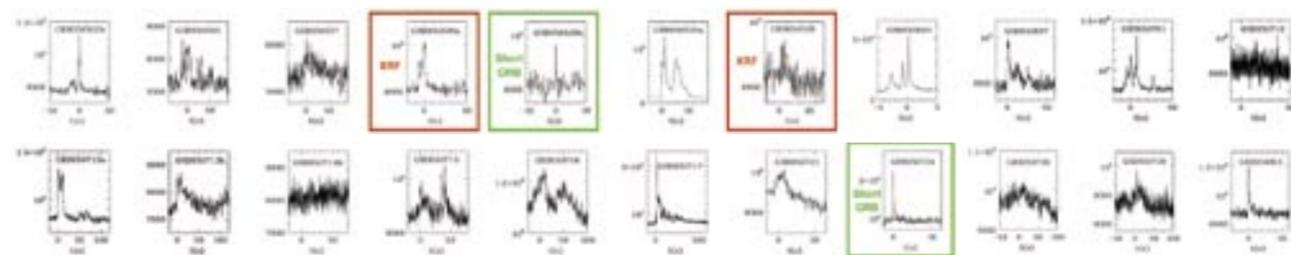
PATRIZIA CARAVED si è laureata in fisica all'Università di Milano nel 1977. Dopo un periodo al Goddard Space Flight Center della NASA e al Centre d'Etudes Atomiques di Saclay, è approdata all'Istituto di astrofisica spaziale e fisica cosmica dell'INAF di Milano. Ha collaborato a missioni spaziali internazionali dedicate all'astrofisica delle alte energie. Al momento partecipa alla missione ESA Integral, alle missioni NASA SWIFT e GLAST e alla missione ASI AGILE. **GIANPIERO TAGLIAFERRI** si è laureato in fisica all'Università di Milano nel 1984. Dal 1985 al 1992 ha lavorato presso i centri ESOC ed ESTEC dell'ESA. Dal 1992 è ricercatore all'Osservatorio astronomico di Brera dell'INAF. Fa parte del gruppo internazionale che ha proposto e realizzato la missione SWIFT.

ma senza arrivare al drammatico decadimento delle fasi iniziali. La sorgente diventa sempre più debole, e il tasso di diminuzione del flusso in quest'ultima fase è simile a quello registrato da BeppoSAX, che osservava proprio qualche ora dopo il lampo gamma.

I teorici spiegano queste osservazioni sia con la fisica dell'emissione (che è diversa nei diversi stadi del fenomeno) sia con la geometria. Si pensa, infatti, che l'emissione dei lampi gamma e dei transienti associati non avvenga in modo isotropo, ma lungo una direzione preferenziale ove si forma un cono di emissione associato a un getto relativistico. Dopo il bang iniziale, che dà origine al lampo ed è legato all'esplosione di una stella massiccia nella sua fase evolutiva finale, il flusso decade velocemente fino al primo cambiamento di pendenza quando subentra l'emissione del transiente X, prodotta dall'incontro, lungo il getto, tra il plasma relativistico espulso dell'esplosione e il materiale circostante, probabilmente emesso dalla stella stessa durante le sue ultime fasi evolutive. La cosa strana è che il flusso del transiente X è più debole di quanto ci si sarebbe potuti aspettare extrapolando all'indietro i valori misurati da BeppoSAX. La seconda fase ripida potrebbe segnalare la fine dell'iniezione di energia da parte del motore centrale nel getto relativistico. Senza una sorgente di energia, da lì in poi il flusso decade più velocemente.

Ma seguire il decadimento dell'emissione X dei lampi gamma ha riservato un'altra sorpresa. In diversi casi si è osservato un aumento di luminosità molto significativo (per GRB050502B è aumentata di 500 volte). Segno, probabilmente, che il motore del lampo non si è ancora spento, ma continua a covare sotto la cenere. Qualche deviazione dalla curva di decadimento si era già vista nei dati di BeppoSAX, ma aumenti così importanti che, in alcuni casi, si ripetono diverse volte mentre l'emissione X si affievolisce pian piano hanno molto stupito, proprio per le loro implicazioni sul motore della sorgente.

Contrariamente alle aspettative degli astrofisici, che pensavano che la formazione di un buco nero fosse un processo quasi istantaneo, la sorgente di energia sembra essere ancora attiva minuti dopo il lampo, e a volte ore dopo. Nell'ipotesi che il lampo corrisponda alla nascita di un buco nero con la formazione di un getto



Cortesia degli autori

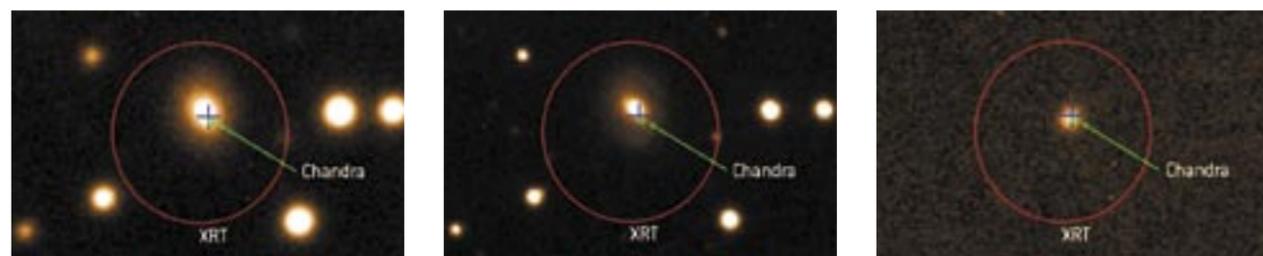
ALL'ORIGINE DEI LAMPI BREVI

I lampi gamma si dividono in due classi: quelli brevi, che durano meno di due secondi, caratterizzati da uno spettro più duro (cioè ricco di fotoni di alta energia) e quelli più lunghi, caratterizzati da uno spettro molle (cioè ricco di fotoni di bassa energia). Di questi ultimi sappiamo quasi tutto: avvengono a distanze cosmologiche, tipicamente in galassie poco luminose e con un'intesa attività di formazione stellare, producono transienti X, ottici e radio e sono associati all'esplosione di stelle di grande massa. I lampi brevi, invece, sono sempre rimasti un mistero: nulla si sapeva sulla loro distanza, l'energetica, i progenitori. La situazione è cambiata il 9 maggio 2005, quando il telescopio X a bordo di SWIFT ha scoperto per la prima volta una sorgente X associata a un lampo breve. In realtà, la sorgente X era molto debole: soltanto 11 fotoni in circa 30 minuti di osservazione, poi il nulla. Grazie all'accurata posizione è stato possibile associare questo evento a una galassia ellittica brillante, senza attività di formazione stellare, con un redshift pari a 0,225 (corrispondente a un viaggio del fotone di 2,6 miliardi di anni). Nonostante l'uso dei più potenti telescopi da terra, non è stato rivelato nessun transiente ottico.

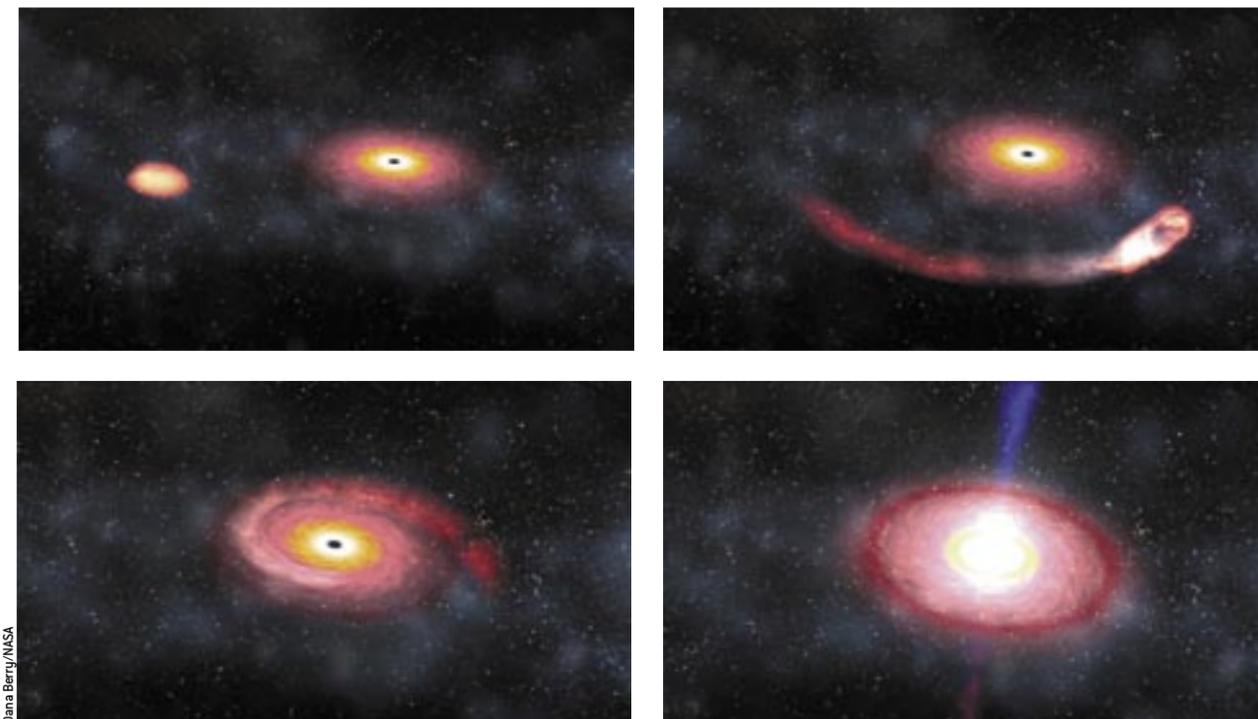
Dopo questa prima scoperta si sono trovate, alla fine del 2005,

le controparti ottiche e X di altri 6 lampi gamma brevi: uno scoperto dal satellite HETE-2 e cinque scoperti da SWIFT. Tenzialmente questi lampi sembrano trovarsi in galassie ellittiche relativamente vicine. In particolare XRT ha rivelato una sorgente X molto brillante associata al lampo GRB050724, la cui curva di luce è caratterizzata da forti episodi di variabilità, già osservati nella curva di luce X di parecchi transienti associati ai lampi lunghi. Si pensa che questi episodi siano da attribuire al motore centrale che ha dato origine al lampo stesso, anche se avvengono minuti (in alcuni casi ore) dopo la prima esplosione.

Le scoperte fatte fin qui sui lampi brevi supportano l'ipotesi che questi lampi abbiano origine dalla coalescenza di un sistema binario di stelle di neutroni o buchi neri, e non dall'esplosione di una stella massiccia, come nel caso dei lampi lunghi. Tutti i lampi brevi, infatti, sono stati scoperti in galassie che mostrano poca o nessuna attività di formazione stellare. Queste galassie non ospitano più stelle di grande massa, che sono le prime ad esaurire il loro ciclo vitale. Inoltre l'energia osservata nei GRB brevi è assai minore di quella tipicamente osservata per i GRB lunghi ed è consistente con le previsioni dei modelli di coalescenza di oggetti compatti.



Cortesia degli autori



TRE IMMAGINI OTTICHE DELLA GALASSIA ELLITTICA (a fronte) in cui è stato registrato il lampo breve GRB050724, ottenute dal Very Large Telescope dell'ESO in Cile. La prima immagine è stata ottenuta alcune ore dopo il lampo, e la seconda la notte successiva. La terza immagine, che è la differenza tra le prime due, evidenzia la presenza nella prima notte di una brillante sorgente ottica, chiaramente associata al lampo gamma, all'interno della galassia ellittica. Sopra, in una rappresentazione artistica, una sequenza in cui un buco nero divora una stella di neutroni. I lampi gamma brevi, di durata inferiore ai due secondi, potrebbero essere generati proprio da fenomeni di questo genere, anziché dall'esplosione di una stella nelle fasi finali della sua esistenza.

lungo il quale vengono espulsi degli strati di plasma relativistico, i brillamenti potrebbero essere dovuti o allo scontro di due di questi strati o all'accrescimento sul buco nero appena formato di materiale residuo dell'esplosione della stella. L'inattesa presenza di questi brillamenti è una grande opportunità per gli astronomi per capire le caratteristiche fisiche del motore centrale che dà origine al lampo, caratteristiche che sono ancora abbastanza oscure.

Tra i primi 100 lampi gamma rivelati finora da BAT, infine, alcuni (11) sono particolarmente brevi. Si tratta della categoria di GRB più misteriosa. SWIFT ha rivelato deboli sorgenti X per sei di questi lampi, permettendo di individuarne la sorgente in galassie relativamente vicine, e confermando che si tratta di un ramo diverso della famiglia che punta verso altri genitori. Probabilmente sono generati dalla coalescenza di stelle compatte in sistemi binari, anziché dall'esplosione di stelle supermassicce (si veda il box in alto).

Il bilancio di un anno

SWIFT dedica allo studio dei lampi gamma circa il 60 per cento del suo tempo di osservazione. Il resto è diviso tra l'osservazione di sorgenti di calibrazione, sempre necessarie per il buon funzionamento di uno strumento in orbita, puntamenti di «riempimento» e TOO (*target of opportunity*). Mentre i puntamenti di riempimento vengono scelti da una lista di oggetti di interesse astrofisico la cui

osservazione non riveste carattere di urgenza, le osservazioni TOO devono essere fatte nel più breve tempo possibile, perché in genere si riferiscono a oggetti variabili. Poiché SWIFT è un osservatorio multilunghezza d'onda, alcune delle osservazioni richieste sfruttano anche la sensibilità UV del suo piccolo telescopio: è il caso, per esempio, dello studio delle supernove.

SWIFT ha anche partecipato alla campagna di osservazione della cometa Tempel 1 prima e dopo l'incontro con la sonda Deep Impact. E sia il telescopio ottico sia il telescopio X hanno fornito bellissimi risultati. A differenza di tutti gli altri strumenti che hanno partecipato alla campagna di copertura dell'impatto, SWIFT ha continuato a osservare la cometa anche nei giorni successivi, seguendo il graduale affievolirsi della luminosità aggiuntiva dovuta all'impatto. Dopo aver registrato un aumento di un fattore 4 nella luminosità del nucleo di Tempel 1 subito dopo l'impatto, UVOT ha visto l'emissione affievolirsi per tornare a salire due giorni dopo, quando la rotazione della cometa ha riportato in vista la zona colpita. XRT, intanto, vedeva un basso livello di emissione dalla cometa, che è improvvisamente diventata dieci volte più brillante quando è stata colpita dalle particelle accelerate di una tempesta solare.

Oltre che per la ricerca dei lampi gamma, i dati raccolti da BAT sono utilizzati per costruire una mappa del cielo a energie di qualche decina di keV, una regione dello spettro relativamente poco esplorata. Ogni osservazione deve essere sommata a decine

di altre per costruire la mappa del cielo. Questa mappa è già la più profonda disponibile, almeno nelle regioni del cielo che non sono state già osservate da IBIS, a bordo di Integral, uno strumento simile a BAT ma con un campo di vista molto più piccolo, che concentra la sua attenzione sul piano della nostra Galassia. Osser-

vando fuori dal piano della Galassia, SWIFT ha rivelato decine di nuclei galattici attivi. È il primo passo di quello che, insieme alla visione galattica di Integral, fornirà il catalogo di riferimento del cielo nei raggi X duri per gli anni a venire.

Tuttavia, restano i lampi gamma l'obiettivo primario della missione. Mentre si è iniziato a capire qualcosa sui lampi brevi, si lavora sui dettagli della fenomenologia di quelli lunghi, sui quali abbiamo molte più informazioni. Per ora la varietà dei comportamenti registrati resiste ai tentativi di interpretazione unificata. Forse ci sono diversi tipi di lampi gamma «lunghi», prodotti da sorgenti diverse. Con circa 100 lampi all'anno SWIFT promette di migliorare in modo significativo la casistica nel giro di pochi anni.

Inoltre, col passare del tempo, l'esperienza accumulata affina le tecniche di ricerca rapida di controparti ottiche, le uniche da cui si può dedurre la distanza delle esplosioni. Come abbiamo visto, i lampi gamma sono così brillanti che possono essere osservati e studiati anche a distanze enormi. E poiché in astronomia guardare lontano corrisponde a viaggiare indietro nel tempo, queste immani esplosioni ci permettono di studiare l'universo quando era molto giovane. Ovviamente non sappiamo quando abbiano iniziato a esplodere, ma gli alti valori di redshift registrati per numerosi lampi individuati da SWIFT hanno dimostrato che i lampi gamma sono, in media, ancora più lontani di quanto si pensasse, e quindi potenzialmente utilissimi per studiare l'infanzia del cosmo. ■

PER APPROFONDIRE

GEHRELS N., CHINCARINI G., GIOMMI P. e altri, *The Swift Gamma Ray Burst Mission*, in «Astrophysical Journal», n. 611, p. 1005, 2004.

ZHANG B. e MESZAROS P., *Gamma-Ray Bursts: progress, problems and prospects*, in «International Journal of Modern Physics A», Vol. 19, n. 15, p. 2385, 2004.

BARTHELMEY S.D., CHINCARINI G., BURROWS D.N. e altri, *An origin for short gamma-ray bursts unassociated with current star formation*, in «Nature», Vol. 438, p. 995, 2005.

BURROWS D.N., ROMANO P., FALCONE A. e altri, *Bright X-ray Flares in Gamma-Ray Burst Afterglows*, in «Science», Vol. 309, p. 1833, 2005.

TAGLIAFERRI G., GOAD M., CHINCARINI G. e altri, *An Unexpectedly Rapid Decline in the X-Ray Afterglow Emission of Long Gamma-Ray Bursts*, in «Nature», n. 436, p. 985, 2005.

Il sito NASA di SWIFT: swift.gsfc.nasa.gov/docs/swift/swiftsc.html. Per informazioni in italiano: www.merate.mi.astro.it/docM/OAB/Research/SWIFT/index.html oppure sky4you.iasf-milano.inaf.it.