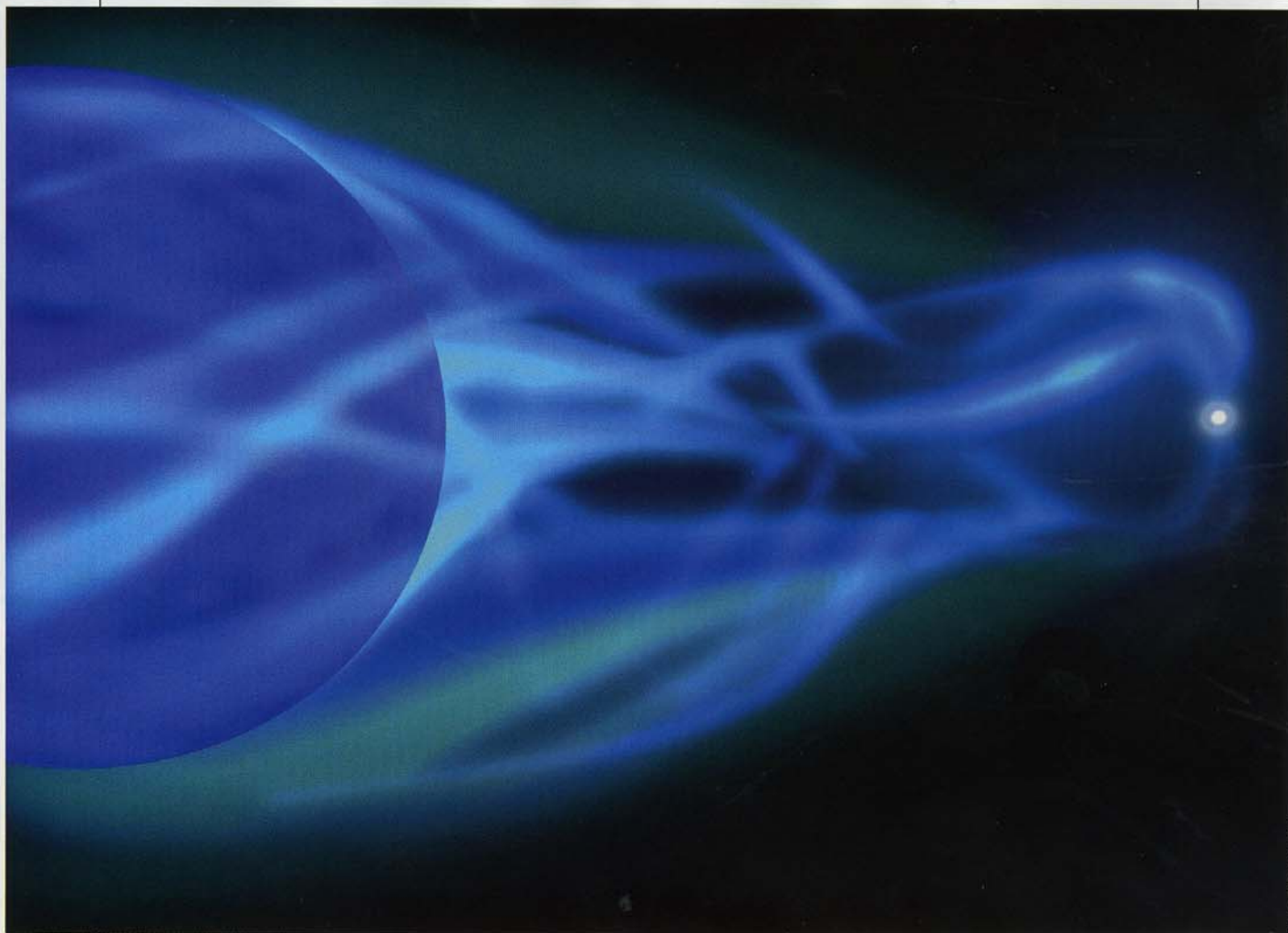


STELLE NASCOSTE NELLA GALASSIA

Un gruppo di ricercatori italiani scopre una nuova tipologia di binarie X che sfoggiano un comportamento del tutto inatteso

VITO SGUERA

LA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA emessa dai numerosi oggetti celesti che popolano il Cosmo rappresenta il principale messaggero di informazione che gli astrofisici hanno a disposizione per studiare l'Universo. La luce percepita dai nostri occhi, chiamata banda ottica, costituisce solo una piccolissima porzione della radiazione elettromagnetica, mentre gli oggetti celesti emettono gran parte della loro energia in altre bande invisibili ai nostri occhi (radio, infrarosso, ultravioletto, X e gamma) e distinte da valori di frequenza ed energia via via crescenti. Per svariati secoli, e fino a circa cent'anni fa, l'astrofisica è stata caratterizzata esclusivamente da osservazioni nella banda ottica attraverso l'uso dei telescopi, fornendoci così una visione molto limitata degli svariati oggetti celesti che popolano il Cosmo. Infatti osservare e studiare l'Universo avvalendosi del solo uso della banda ottica è un po' come sbirciare a malapena un capolavoro artistico attraverso il buco di una serratura. È solo dal secolo scorso che lo studio dell'Universo si è allargato a tutte le altre bande della radiazione elettromagnetica, da quella radio alla gamma, grazie allo sviluppo di tecnologie avanzate che hanno permesso la costruzione di «occhi elettronici» in grado di rilevare tali radiazioni altrimenti invisibili. Questo allargamento ci ha mostrato un aspetto dell'Universo rapidamente variabile, che ha profondamente rivoluzionato l'idea stessa che avevamo di un Cosmo quasi immutabile così come ci è apparso per numerosi secoli nella banda ottica. Questo discorso vale in particolar modo per l'astrofisica X e gamma, conosciuta anche con il nome di astrofisica delle alte energie, perché investiga i fenomeni celesti più energetici e violenti: i suoi fotoni trasportano energie comprese tra 10^3 - 10^{12} volte quella di un fotone di luce visibile e provengono dalle regioni più interne delle sorgenti osservate, dove risiedono le fonti di energia primaria e hanno luogo i processi per la produzione della radiazione. È importante sottolineare come la banda elettromagnetica dei raggi X e gamma sia stata l'ultima ad essere esplorata e conquistata in ordine di tempo, solo agli inizi del 1960, in quanto ha richiesto tecnologie e competenze avanzatissime, in grado non solo di costruire sofisticati rivelatori ma anche di portarli in orbita nello spazio, a bordo di razzi e satelliti, allo scopo di superare l'opacità dell'atmosfera terrestre che di fatto



CREDIT IMAGE ESA

Fig. 1: Rappresentazione artistica di una binaria a raggi X. Il piccolo oggetto compatto (a destra) strappa materia e gas alla stella donatrice (a sinistra) grazie al suo potente campo gravitazionale. L'accrescimento di tale materia sulla superficie dell'oggetto compatto produrrà energia sotto forma di raggi X.

blocca i raggi X e gamma provenienti dal Cosmo impedendone l'arrivo sulla superficie della terra.

La prima sorgente di raggi X nel cielo è stata scoperta, con grande sorpresa, solo nel 1962, anno in cui i due italiani trapiantati negli Usa Riccardo Giacconi e Bruno Rossi, insieme ai loro collaboratori americani degli istituti MIT e AS&E, collocarono a bordo di un razzo il primo rilevatore X costruito per scrutare il cielo. Questa prima pionieristica osservazione X portò alla scoperta di una sorgente la cui natura era un assoluto mistero, e che fu battezzata con il nome Sco X-1 perché era l'oggetto X più brillante situato nella costellazione dello Scorpione.

La portata rivoluzionaria di tale scoperta (grazie ad essa Giacconi riceverà il premio Nobel per la Fisica circa quarant'anni dopo) fu tale da motivare sia l'agenzia spaziale americana (Nasa) che quella europea (Esa) a progettare e costruire nei decenni a seguire diverse missioni spaziali con rilevatori X e gamma via via sempre più sofisticati

e sensibili. Arrivando fino ai nostri giorni, tutte queste missioni sono state coronate da scoperte e risultati straordinari che ci hanno insegnato come il cielo brulica di sorgenti X e gamma.

L'attuale mappatura ne conta diverse decine di migliaia: molte appartengono alla nostra Galassia (perciò denominate sorgenti galattiche) e altrettante ad altre galassie (extragalattiche). Tutte queste sorgenti X non hanno però la stessa natura e quindi non si comportano tutte allo stesso modo. Al contrario, esibiscono una complessa diversità di comportamenti e vengono quindi catalogate in diverse classi e tipologie. Nello zoo del cielo X e gamma, una delle classi più interessanti è senza dubbio quella a cui fa capo la nostra vecchia amica Sco X-1. Infatti oggi Sco X-1 non è più sola e la sua natura non è più un mistero, dato che conosciamo nella nostra Galassia centinaia di sorgenti X simili, a cui gli astrofisici hanno attribuito il nome di binarie a raggi X. Come la dicitura suggerisce,



ESA

© ESA - S. CORVAJA - October 2002

Il vettore russo Proton, con in cima il payload del satellite Integral, prima del lancio.

queste sorgenti sono in realtà composte da due oggetti celesti gravitazionalmente legati e orbitanti intorno al comune centro di gravità del sistema: una stella detta «donatrice» e un oggetto compatto collassato. Quest'ultimo può essere del tipo stella di neutroni, buco nero o nana bianca. Le due componenti di una binaria a raggi X sono sufficientemente vicine da permettere al potente campo gravitazionale dell'oggetto compatto di strappare e catturare materia dalla stella donatrice (vedi Figura 1). È come se l'oggetto compatto si nutrisse della sua stella compagna. Tale processo fisico, noto con il nome di accrescimento, rappresenta uno dei più efficienti meccanismi per la produzione di energia nell'Universo. Infatti, una volta giunto in prossimità della superficie dell'oggetto compatto, il gas catturato si muove con velocità vicine a quelle della luce e le violente collisioni tra le sue particelle componenti lo riscaldano fino a temperature comprese tra 10 e 100 milioni di gradi Kelvin. Sono queste temperature incredibilmente elevate che permetteranno al gas l'emissione di una enorme quantità di energia sotto forma di raggi X.

Negli scorsi decenni, man mano che gli astrofisici scoprivano un numero sempre maggiore di binarie a raggi X, si accorsero dell'esistenza di due popolazioni diverse, distinte da una diversa tipologia di stella donatrice. Una popolazione, nota con il nome di binarie a raggi X di piccola massa (LMXB, dall'acronimo inglese Low Mass X-ray Binary), è caratterizzata da una stella donatrice piuttosto vecchia (età tipica tra i 10 milioni e 1 miliardo di anni) con valori di massa, raggio e luminosità molto simili a quelli del nostro sole; a tale popolazione appartiene Sco X-1. L'altra popolazione invece è nota con il nome di binarie a raggi X di grande massa (HMXB, dall'acronimo inglese High Mass X-ray Binary) ed è caratterizzata da stelle donatrici piuttosto giovani (età compresa tra 100.000 e 1.000.000 di anni) e molto diverse se paragonate al nostro sole. Si tratta infatti di stelle note con l'appellativo di supergiganti blu perché sono molto più massicce del sole (tra 10 e 50 volte la massa solare che è pari a circa 10^{30} Kg), più luminose (circa $10^4 - 10^5$ volte la luminosità solare che è pari a circa 10^{26} watt o 10^{33} erg s^{-1}), più calde (tempe-

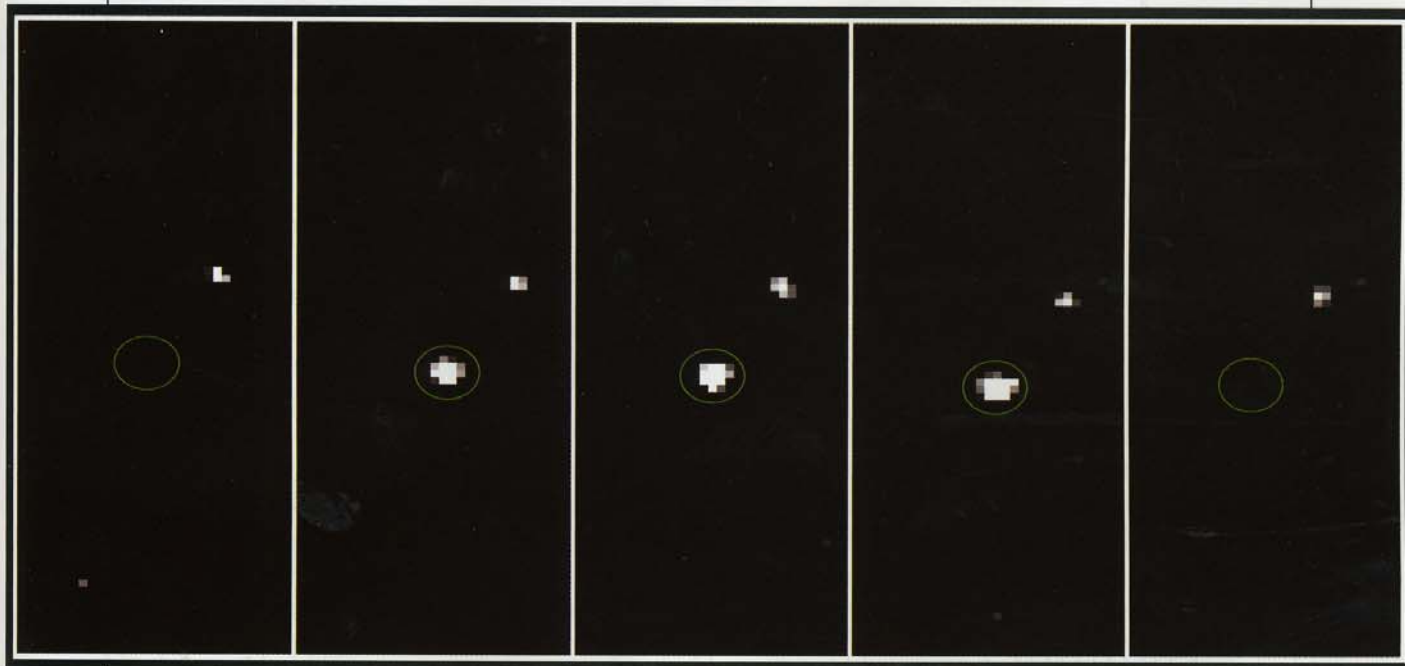


Fig. 2: Sequenza di cinque immagini, scattate da IBIS, ciascuna con una esposizione di mezz'ora ed intervallata a pochi minuti di distanza dall'altra. Il cerchio verde serve solo a catturare la nostra attenzione sulla porzione di cielo che racchiude. Da sinistra verso destra, nel suo interno è ben evidente il repentino accendersi e spegnersi di una SFXT la cui attività energetica è durata solo un'ora e mezza circa. Notiamo, per confronto, che vicino alla posizione della SFXT è presente un'altra debole sorgente X di campo che emette energia in maniera persistente rilevata in tutte le immagini.

ratura superficiale compresa tra 20.000 e 50.000 gradi Kelvin, mentre il valore solare è circa 6.000 K) e più grandi (raggio tipico tra 30-100 volte quello solare che è pari a circa 700.000 Km). Se collocate al centro del sistema solare al posto del sole, nei casi più estremi gli strati esterni delle supergiganti blu potrebbero arrivare a lambire l'orbita della nostra terra. Doverosa attenzione merita anche l'oggetto compatto collassato di cui le binarie X di grande massa (supergiganti) sono formate. Per la maggior parte dei casi si tratta di una stella di neutroni, che rappresenta uno dei due possibili stadi evolutivi finali (l'altro è quello di buco nero) di stelle estremamente massicce (massa superiore a circa 10 volte quella del sole) le quali terminano la loro esistenza con una gigantesca esplosione (detta supernova) lasciandosi dietro una sorta di relitto cosmico o «cadavere stellare», quale appunto la stella di neutroni. Questo nome deriva dal fatto che è formata quasi interamente da neutroni liberi, diverse decine di volte più numerosi rispetto ai protoni. Le stelle di neutroni sono dei veri e propri mostri del cielo, che hanno caratteristiche estreme. La loro massa è simile a quella del sole ma è contenuta in un raggio che è solo dell'ordine di 10 Km (per confronto il raggio del sole è di circa 700.000 Km), di conseguenza possiedono campi gravitazionali molto elevati e

valori enormi di densità (per riprodurla occorrerebbe comprimere la massa di una portaerei nello spazio occupato da un granello di sabbia). Inoltre ruotano rapidissimamente intorno a se stesse, riuscendo a compiere un giro completo da pochi millisecondi a poche decine di secondi, e possiedono campi magnetici circa 1000 miliardi di volte più intensi di quello terrestre. È importante sottolineare come le binarie X supergiganti siano tra le sorgenti più energetiche e luminose della nostra Galassia: la quantità di energia che sprigionano sotto forma di raggi X è pari a circa 10^{31} watt, per confronto la più potente bomba atomica (quella a idrogeno) fatta mai esplodere dall'uomo ha liberato un'energia pari a circa 10^{17} watt. La loro radiazione X è emessa in maniera continua e persistente, sono cioè sorgenti sempre accese e quindi sempre rilevabili dalle strumentazioni a bordo dei satelliti.

Fino a pochissimi anni fa gli astrofisici pensavano che il quadro delle binarie X supergiganti, ottenuto attraverso tre decenni di studi, fosse a grandi linee completo e tale da non lasciar spazio a grosse sorprese aggiuntive. Ecco perché in questi ultimi anni ha suscitato molto clamore nella comunità astrofisica internazionale il risultato di una ricerca, compiuta da chi scrive e da un team di ricercatori italiani dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (sedi INAF/IASF di Bologna e

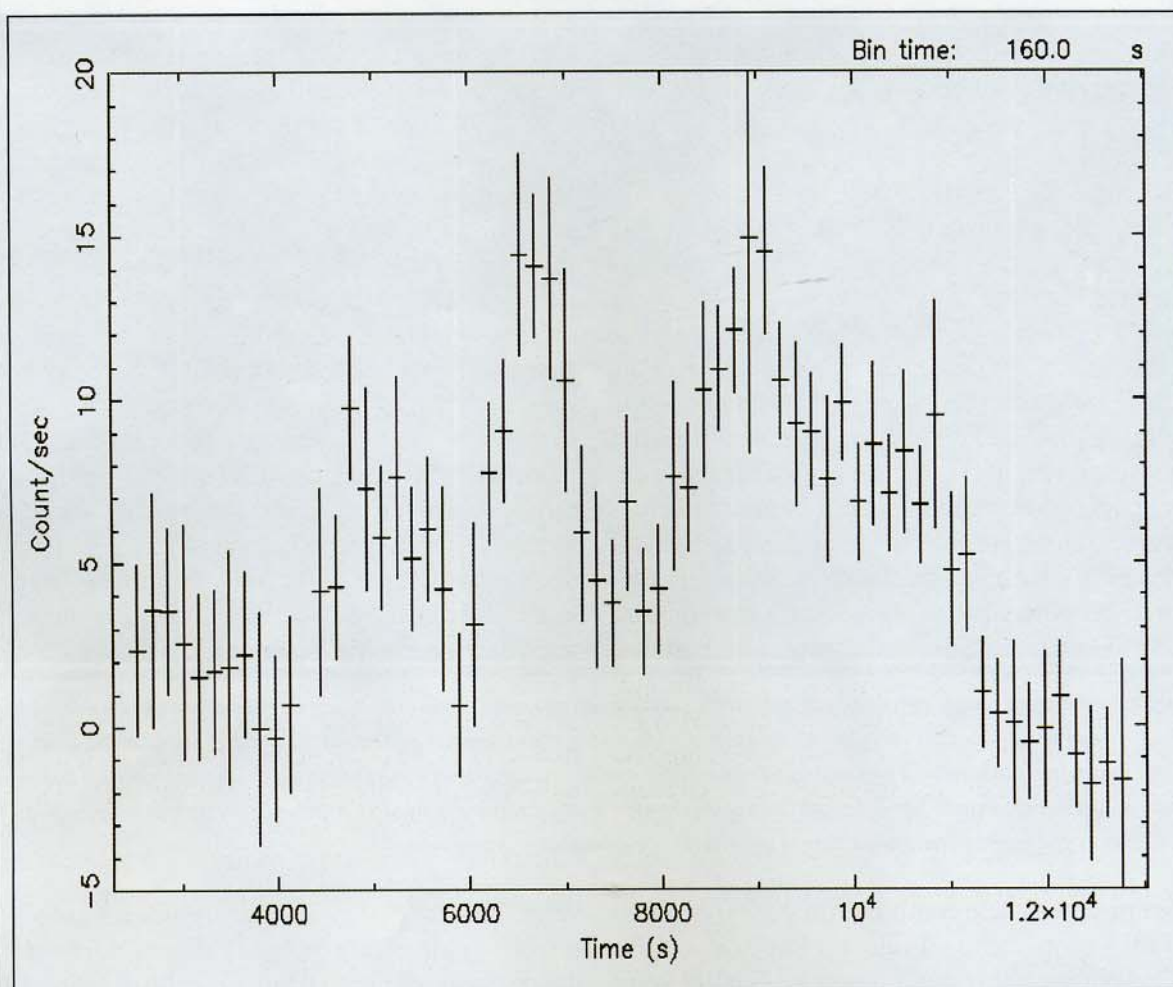


Fig. 3: Curva di luce della SFXT fotografata nella Figura 2. Mostra l'andamento della quantità di energia emessa (asse y) in funzione del tempo di osservazione (asse x, espresso in secondi). È evidente come l'emissione di energia, all'inizio e alla fine dell'osservazione, è consistente con il valore zero, segno che la SFXT è spenta. Nel mezzo, invece, la SFXT si è improvvisamente accesa e il valore dell'energia emessa è caratterizzato da tre consecutivi e velocissimi sali e scendi, detti «flares», che hanno tempo scala dell'ordine della decina di minuti.

Roma), che ha portato con stupore alla scoperta di una nuova tipologia di binarie X supergiganti che hanno mostrato un comportamento del tutto inatteso. Ad esse è stato dato il nome di Supergiant Fast X-ray Transients (SFXT). Contrariamente ai loro parenti più comuni che emettono raggi X in modo persistente, le SFXT hanno una natura transitoria, passano cioè la maggior parte del tempo in quiescenza durante la quale non emettono energia e non sono perciò rilevabili dalle strumentazioni. Solo occasionalmente si accendono e sprigionano raggi X in poche ore, per poi spegnersi nuovamente e ridiventare inosservabili. Questo attivarsi e disattivarsi in maniera così repentina è il motivo per cui le SFXT sono riuscite per decenni ad eludere la rilevazione, nascondendosi così allo sguardo degli astrofisici.

Il merito della loro scoperta va attribuito in buona parte a un sofisticato rivelatore X e gamma, chiamato IBIS, presente a bordo del satelli-

te INTEGRAL dell'Agenzia Spaziale Europea, lanciato in orbita nell'ottobre del 2002 e ancora operativo con successo. IBIS è stato costruito con un forte contributo dei gruppi degli istituti di astrofisica INAF/IASF di Roma e Bologna, contributo che continua tuttora attivamente con l'analisi dei dati e la loro successiva interpretazione. IBIS è riuscito là dove tutti i suoi predecessori hanno fallito, grazie a superbe ed innovative caratteristiche tecniche: precisa capacità di localizzazione delle sorgenti; elevata sensibilità ai raggi X e gamma; monitoraggio frequente della nostra Galassia; ampio campo di vista. In particolar modo, queste due ultime caratteristiche di IBIS hanno rappresentato l'asso nella manica per catturare le SFXT con le mani nel sacco, infatti maggiore è la porzione di cielo che possiamo osservare per il periodo di tempo più lungo possibile, maggiore è la probabilità che avremo di poter rilevare sorgenti X sconosciute di cui non sappiamo né dove né quando si accenderanno

nel cielo, esattamente come nel caso delle SFXT. Un esempio evidente della peculiare natura transitoria delle SFXT è rappresentato nella Figura 2, che mostra le immagini riprese da IBIS della prima SFXT scoperta. Si tratta di una sequenza di cinque immagini, ciascuna di esposizione di mezz'ora, scattate a pochi minuti di distanza l'una dall'altra. In ogni immagine il cerchio verde serve solo a catturare la nostra attenzione sulla piccola porzione di cielo che racchiude. Partendo da sinistra, notiamo che nel cerchio della prima immagine non è presente nessuna sorgente X (rappresentabile da una macchia bianca la cui grandezza è proporzionale alla quantità di energia emessa), mentre nelle tre successive immagini una SFXT si è chiaramente accesa ed è stata rilevata, per poi spegnersi nuovamente e scomparire nell'ultima immagine; la sua attività energetica è durata solo un'ora e mezza circa. Per confronto, notiamo che vicino alla posizione della SFXT è presente un'altra debole sorgente X di campo (la macchia bianca più piccola) la quale emette raggi X in maniera persistente ed è perciò rilevata in tutte le immagini. La Figura 3 rappresenta invece il grafico fisico corrispettivo della Figura 2, detto «curva di luce», che mostra l'andamento della quantità di energia emessa dalla SFXT (asse y) in funzione del tempo di osservazione (asse x, espresso in secondi). È evidente come all'inizio e alla fine dell'osservazione il valore dell'energia emessa è consistente con zero. Invece nel mezzo, la SFXT si è improvvisamente accesa ed è come se si fosse divertita a sfrecciare sulle montagne russe: il valore dell'energia emessa è caratterizzato da tre consecutivi e ripidissimi sali e scendi (detti *flares*) che hanno tempo scala dell'ordine della decina di minuti.

Ad oggi sono circa una ventina le SFXT scoperte nella nostra Galassia nel giro di pochissimi anni, un numero che senza dubbio rappresenta una buona base di partenza considerando il fatto che, fino a poco tempo fa, non immaginavamo nemmeno lontanamente la loro esistenza. Questo numero potrebbe rappresentare solo la punta dell'iceberg: ci sono buone ragioni per ritenere che una numerosa popolazione, fatta di migliaia e migliaia di SFXT, si nasconda nella nostra Galassia. Se da un lato conosciamo molto bene le regole comportamentali delle SFXT, altrettanto non possiamo dire riguardo le loro corrispondenti cause fisiche. Le attuali conoscenze osservative hanno permesso finora l'elaborazione di due principali modelli teorici. Entrambi individuano le cause fisiche nella modalità in cui il flusso di

materia viene strappato dalla stella supergigante donatrice verso l'oggetto compatto. Un primo modello ipotizza che tale flusso di materia non sia continuo e omogeneo ma bensì altamente strutturato e disomogeneo, con rare nubi di materia molto massicce e dense (chiamate *clumps*) che hanno massa tipica dell'ordine di 10^{18} Kg e sono immerse in un mezzo continuo molto più rarefatto e tenue. Quest'ultimo non contiene sufficiente quantità di materia tale da innescare la produzione di raggi X, al contrario dei massicci *clumps* che, pur essendo rari, possono occasionalmente essere catturati dalla stella di neutroni e per accrescimento produrre raggi X. Un modello alternativo si basa invece sul fatto che il flusso di gas trasportato dalla stella donatrice verso la stella di neutroni potrebbe diventare molto irregolare e turbolento ed essere bloccato da una barriera magnetica e/o centrifuga che impedirebbe così l'accrescimento. L'azionarsi o meno di questa barriera dipenderebbe esclusivamente dalla stella di neutroni e in particolar modo dagli specifici valori assunti dal suo campo magnetico e dalla sua velocità di rotazione. Accumulare nell'immediato futuro ulteriori dati e informazioni osservative sarà di vitale importanza per sostenere o rigettare questi due modelli teorici o eventualmente per elaborarne altri alternativi e più convincenti. Sebbene scoperte solo recentemente, ad oggi sono numerosi i team astrofisici di tutto il mondo impegnati nello studio delle SFXT. Questa sana competizione ha permesso, in soli pochissimi anni, di imparare molto, sebbene siano ancora tante le sfide da affrontare e gli enigmi da risolvere. A tal scopo, nel prossimo futuro un forte impegno in termini di energie umane sarà richiesto da parte di diverse decine di ricercatori astrofisici. Tuttavia questo impegno da solo potrebbe non essere sufficiente. Per affrontare le proibitive sfide teoriche ed osservative che le SFXT ci pongono all'alba della loro scoperta, sarà anche fondamentale progettare e realizzare nel prossimo futuro nuove missioni satellitari e nuovi sofisticati rivelatori che possano permetterci di continuare a osservarle in modo da affrontare e vincere questa affascinante sfida conoscitiva.

Vito Sguera, INAF-IASF Bologna

Vito Sguera è stato premiato nel 2010 con la Zeldovich Medal per l'astrofisica, un ambito riconoscimento internazionale per i ricercatori under-35, per la scoperta dei Supergiant fast X-ray transients.