

COSMOLOGIA

Le frontiere dell'astronomia gamma

di Carlo Ferri

18

*Rappresentazione artistica dell'osservatorio per astronomia gamma INTEGRAL.
[ESA-D. Ducros]*

L'astronomia delle alte energie ha compiuto, sin dalla sua recente nascita, passi da gigante nella comprensione di molti fenomeni che popolano il cosmo. In questa retrospettiva sull'astronomia gamma ripercorriamo la sua storia, dagli albori delle prime missioni spaziali fino ai giorni nostri, presentando lo stato dell'arte dei satelliti attualmente in orbita dedicati allo studio dell'universo violento.

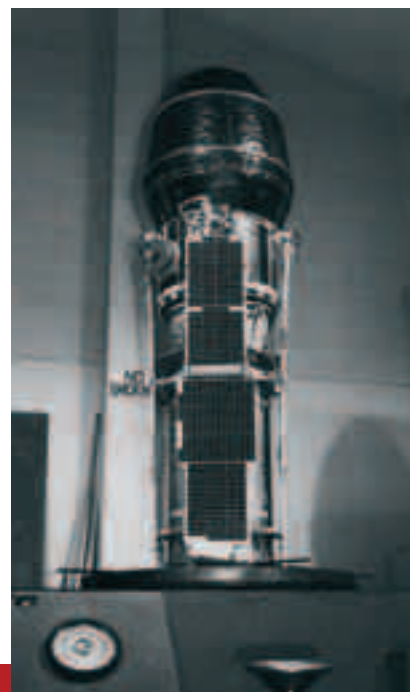
Non è facile trovare nella scienza moderna un'area che abbia fatto progressi in modo così vertiginoso come l'astronomia delle alte energie. La sua nascita è il frutto di scoperte (in alcuni casi casuali) legate alla situazione geo-politica e agli avvenimenti storici che caratterizzarono gli anni della seconda metà del secolo scorso. In tal senso il successo del primo satellite artificiale, lo Sputnik I, è probabilmente quello che negli anni ha assunto più significato poiché rappresentò la chiave di volta attorno alla quale questa disciplina dell'astronomia poté svilupparsi. Il "bip-bip" che i russi ascoltarono per la prima volta il 4 ottobre del 1957, a conferma della corretta messa in orbita attorno alla Terra di quella sfera metallica di circa 80 chilogrammi di peso, aprì letteralmente gli occhi dell'uomo a una nuova realtà. Per l'astronomia l'evento marcò una svolta epocale (forse solamente comparabile con l'invenzione del telescopio avvenuta pressappoco quattro secoli fa) e che fece scoprire un universo fino ad allora rimasto invisibile, poiché osservabile solo dallo spazio.

La novità per l'uomo fu, quindi, poter contemplare il cosmo da un altro punto di vista, superando l'ostacolo più grande per qualsiasi appassionato delle stelle: l'atmosfera terrestre. Nuovi tipi di radiazione elettromagnetica provenienti dalla volta celeste (come i raggi X e i raggi gamma ma anche i domini infrarosso e ultravioletto) che erano rimasti ancora inesplorati a causa dell'assorbimento atmosferico, vennero sottoposti per la prima volta a un'analisi attenta (e curiosa) da parte degli scienziati. Il risultato di queste prime ricerche fu l'osservazione diretta di scenari astrofisici in cui materia molto densa, temperature di centinaia di milioni di gradi e campi magnetici assai intensi la fanno da padrone. Oggi sappiamo che condizioni fisiche così estreme sono realizzabili in natura solo supponendo l'esistenza di un *universo violento*, termine scelto dagli esperti per indicare quegli ambienti capaci di produrre copiose radiazioni X e gamma, come i buchi neri supermassicci, i getti di gas esageratamente caldi, le eruzioni di lampi gamma o le esplosioni di supernovae.

Una nuova finestra sull'universo

La storia dell'astronomia gamma (e più in generale quella delle alte energie) ha origini abbastanza recenti. La vera nascita è fatta risalire ai primi anni Cinquanta con le prime pubblicazioni basate su studi teorici riguardanti la nucleosintesi stellare, apparse sulle riviste specialistiche e che ipotizzavano l'esistenza di radiazioni ad elevato contenuto energetico. Dapprima Feenberg e Primakoff nel 1948 e, successivamente, Hayakawa e Hutchinson nel 1952 predissero che l'interazione dei raggi cosmici con la materia interstellare potesse produrre raggi gamma per decadimento del mesone π^0 attraverso il fenomeno del bremsstrahlung, come risultato dell'interazione tra i due mezzi. Il sospetto che la

volta celeste potesse essere fonte di tali emissioni provocò grande fervore nell'ambiente astrofisico, aprendo una vera e propria "stagione della caccia" all'emissione dei raggi X (con energie tra 0.1 e 100 keV) e raggi gamma (maggiori di 100 keV). Facendo uso di aerostati e razzi balistici vennero messi a punto, negli anni a seguire, una serie di esperimenti capaci di raggiungere gli strati più alti dell'atmosfera,

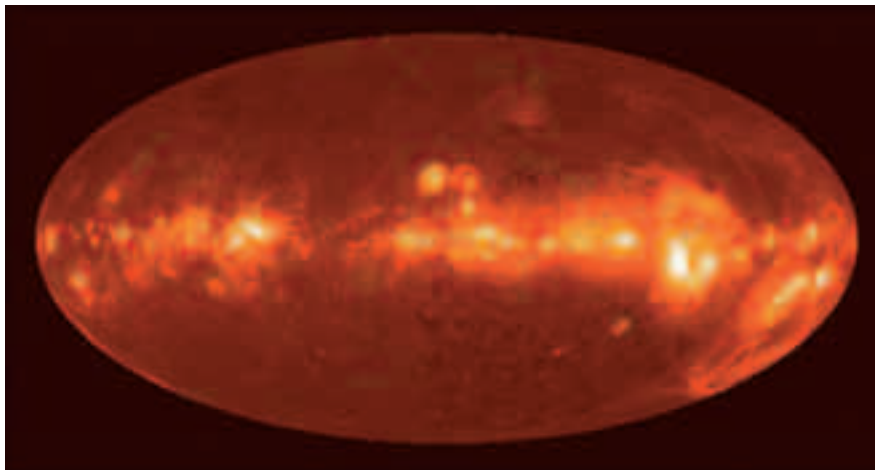


Il satellite nordamericano SAS-2 durante i test che precedettero il suo lancio del 19 novembre 1972. La messa in orbita di questo osservatorio spaziale permise di realizzare il grande salto di qualità nella conoscenza dell'astronomia galattica delle alte energie. [NASA]

con la speranza di rivelare radiazioni esterne al sistema solare.

La conferma arrivò nel 1962, quando Bruno Rossi e Riccardo Giacconi rivelarono fotoni di raggi X provenienti dal centro galattico, una scoperta sensazionale che aprì la strada a un nuovo modo di osservare le stelle. Tuttavia, per i raggi gamma si dovette aspettare qualche anno in più, finché, nel 1967, il terzo satellite nordamericano della serie Orbiting Solar Observatory (OSO-3) non registrò 621 di questi fotoni, attribuiti a raggi cosmici provenienti principalmente dall'equatore galattico. Ciò nonostante la scoperta più rilevante ed evidente dell'esistenza di queste emissioni fu opera di satelliti spia statunitensi della serie Vela, progettati per verificare il rispetto da parte dell'URSS dei trattati internazionali che proibivano gli esperimenti nucleari nello spazio (firmati nel 1963 dalle due superpotenze). Nel corso di questi "controlli" tali satelliti rivelarono, tra il 1969 e il 1972, intensi flussi di radiazione gamma di breve durata tra i 0.2 e 1.5 MeV, e che sorprendentemente non avevano né origine terrestre né solare, bensì cosmica. Il fenomeno venne successivamente associato a violente esplosioni oggi conosciute come lampi gamma (o Gamma Ray Burst, GRB), e sebbene la rivelazione potesse rappresentare un risultato clamoro-

COSMOLOGIA



Questa mappa del cielo mostra regioni di idrogeno ionizzato dell'universo locale. I buchi neri rilevati da INTEGRAL sono contraddistinti da quadrati. Molte fonti sono state rilevate all'interno delle polveri diffuse nel piano galattico, la linea luminosa che si estende da sinistra a destra nella parte centrale dell'immagine. [ESA]

so per quegli anni, la notizia fu mantenuta sotto segreto militare fino al 1973, quando venne pubblicata su *The Astrophysical Journal* da Klebesadel, Strong e Olson.

L'agenzia spaziale americana (NASA) fu la prima a dedicarsi alla progettazione di satelliti con fini scientifici

per la ricerca di queste radiazioni. I tre Small Astronomical Satellites (SAS), lanciati dalla piattaforma italiana San Marco posizionata al largo delle coste keniane, rappresentano oggi giorno la pietra miliare dell'esplorazione del cosmo delle alte energie. Il primo di essi, il SAS-1, fu messo in orbita il 12 dicembre del 1970 e passò alla storia con il nome Uhuru, che in lingua swahili significa "libertà", essendo stata scelta come data di lancio il settantesimo anniversario dell'indipendenza del Kenya. Grazie a strumenti sensibili al range energetico tra i 2 e 20 keV, durante i suoi tre anni di attività Uhuru identificò molte sorgenti di raggi X tra cui Cygnus X-1, il buco nero situato nel centro della Galassia. Fu tuttavia SAS-2 il vero e proprio pioniere dello studio nella banda dei raggi gamma, essendo il primo satellite interamente dedicato all'esplorazione delle più alte energie. Lanciato nel 1972 e in grado di osservare fotoni gamma nel range tra i 20 MeV e 1 GeV di energia (ma con poca sensibilità), l'esperimento permise di individuare molte sorgenti gamma, sebbene visse poco (meno di otto mesi) a causa di un errore tecnico nella strumentazione di bordo. Il SAS-3, infine, ideato per esplorare il cielo a

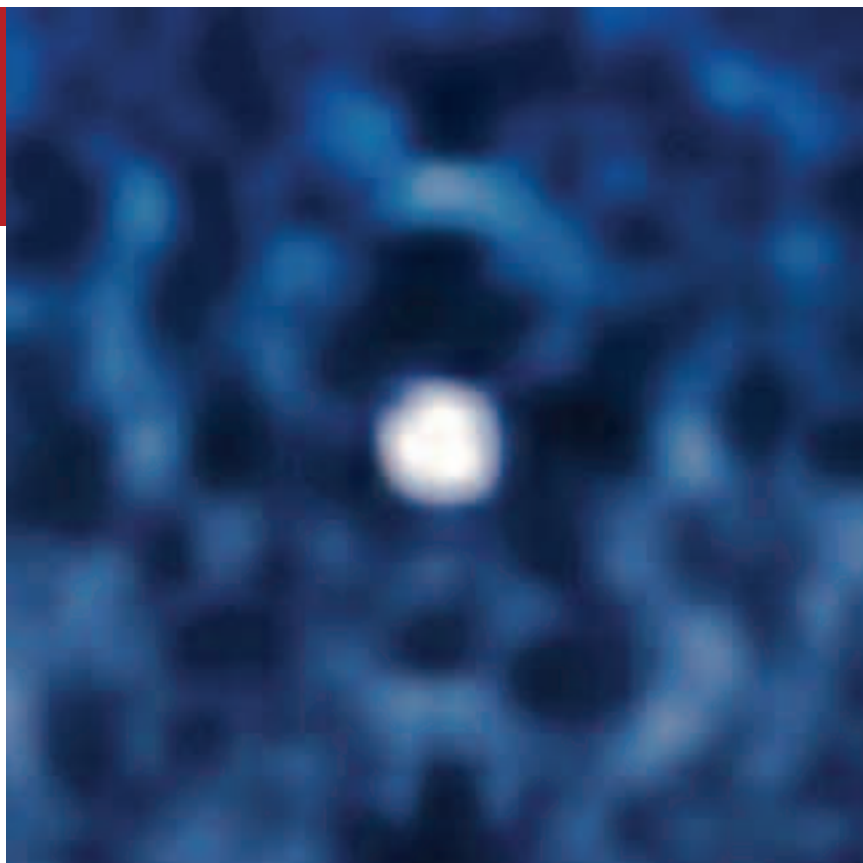
raggi X con misure solo fino ai 60 keV, fu lanciato nel 1975 con una permanenza nello spazio di circa quattro anni.

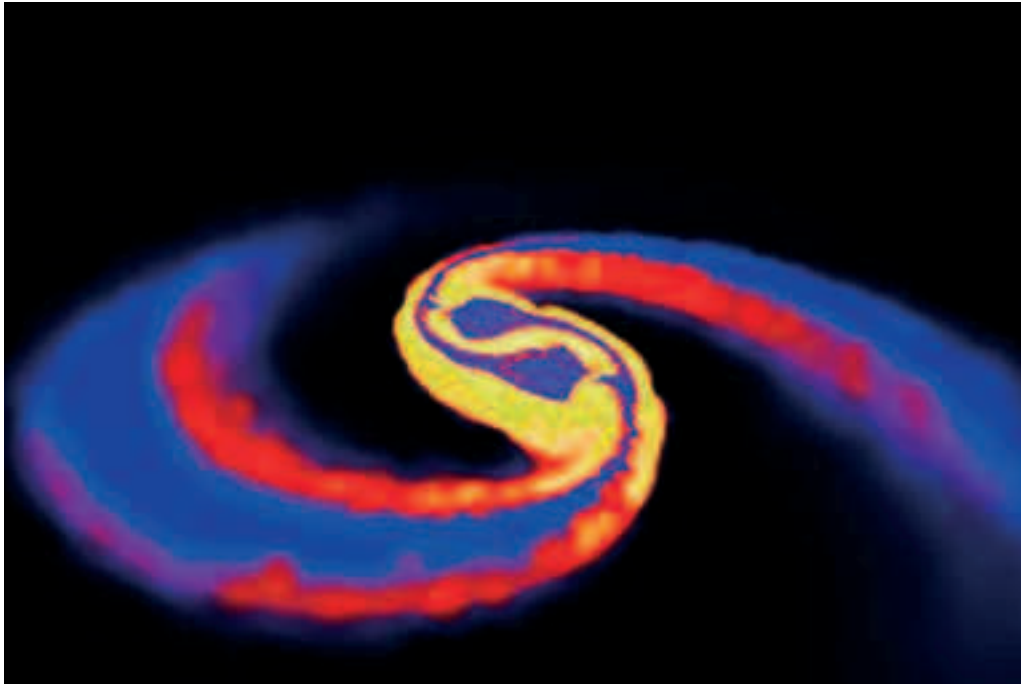
L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) non rimase nel frattempo con le mani in mano: nello stesso anno mise in orbita COS-B, satellite dedicato all'ampia banda tra i 2 keV e 5 GeV di energia, che rappresentò la risposta europea ai tre satelliti americani. Durante i suoi sette anni di attività, COS-B identificò la pulsar della nebulosa Granchio, quella della Vela, e fornì i dati più precisi fino allora ottenuti sulla terza sorgente più luminosa del cielo gamma, la pulsar Geminga.

Alle suddette missioni seguì nel 1979 il lancio di altri tre satelliti nordamericani: gli High Energy Astronomical Observatories (HEAO). I risultati più interessanti arrivarono solamente con il terzo e ultimo della serie, HEAO-3, capace di osservare tra i 50 keV e i 10 MeV e che scoprì una forte emissione gamma proveniente dalla regione centrale della Galassia, dovuta al decadimento radioattivo dell'isotopo dell'alluminio ^{26}Al .

Sulla scia degli ottimi risultati fin qui ottenuti, nel 1991 la NASA decise di inviare nello spazio il Compton Gamma-Ray Observatory (CGRO), uno tra i più innovativi osservatori spaziali della storia. Con una sensibilità senza precedenti alle radiazioni comprese tra i 30 keV e 30 GeV, il CGRO fornì agli esperti la miglior mappa fino ad allora conosciuta dell'universo gamma e,

Immagine di un lampo gamma catturato dallo strumento IBIS (Imager on Board the Integral Satellite), a bordo di INTEGRAL. [ESA]





per la prima volta, l'immagine di una sorgente gamma esterna alla Galassia: il quasar 3C 279.

Il lancio delle missioni successive al CGRO è già storia dei nostri giorni. Oggi gli astronomi possono contare su tre osservatori orbitali in funzione, capaci di operare nella regione dei raggi gamma: l'europeo INTEGRAL, l'americano Swift e il tutto italiano AGILE.

INTEGRAL

Il progetto della missione scientifica INTEGRAL (acronimo di INTERNATIONAL GAMMA-RAY ASTROPHYSICS LABORATORY) fu approvato nel giugno del 1993 dall'Agenzia Spaziale Europea nell'ambito di una collaborazione internazionale che vede coinvolti, oltre a tutti i Paesi membri dell'ESA stessa, anche Russia, Repubblica Ceca, Polonia e NASA. L'Italia ha partecipato attivamente a questa missione con un importante contributo dal momento che l'ESA designò la Alenia Spazio come industria responsabile del disegno e dell'integrazione degli strumenti scientifici nel modulo spaziale. A livello scientifico, invece, il maggior contributo è arrivato con la gestione dello strumento principale (IBIS), il cui responsabile scientifico è il prof. Pietro Umbertini, del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Roma.

Lanciato il 17 ottobre del 2002 dal cosmodromo di Baikonour in Kazakistan, INTEGRAL è il primo osservatorio spaziale capace di osservare gli oggetti celesti simultaneamente nella banda dei raggi gamma, dei raggi X e dell'ottico. Il satellite fu trasportato oltre l'atmosfera terrestre utilizzando un razzo Proton di fabbricazione russa; la sua attuale orbita altamente eccentrica, che gli permette di compiere una rivoluzione attorno al nostro pianeta ogni 72 ore, fu raggiunta solo grazie a sistema proprio di razzi propulsori. La scelta di queste caratteristiche orbitali fu messa a punto in modo da garantire la massima operatività

del satellite, e poter così dedicare circa il 90% del suo periodo orbitale a osservare il cielo, oltre a ridurre il più possibile il suo passaggio per le fasce di Van Allen che avvolgono la Terra.

L'osservatorio orbitale INTEGRAL conta con un'altezza di 5 metri e un peso totale di 4 tonnellate, metà del quale è rappresentato dal suo carico, il più pesante fino ad allora messo in orbita dall'ESA. I due strumenti operanti

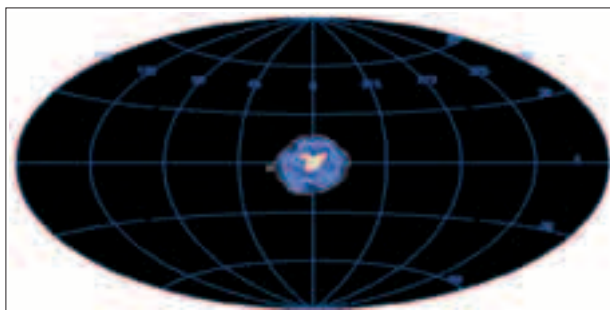
in banda gamma sono l'Imager on Board the Integral Satellite (IBIS) e lo SPectrometer on Integral (SPI): mentre il primo fornisce immagini gamma assai definite tra i 15 keV e 10 MeV, il secondo realizza uno studio spettroscopico dettagliato della sorgente tra i 20 keV e gli 8 MeV. Gli altri due rivelatori, il Joint European X-ray Monitor (JEM-

Le fusioni di stelle di neutroni sono, probabilmente, tra i fenomeni responsabili dei lampi gamma. In questa istantanea di una simulazione al computer vengono mostrati i primi 12 millisecondi della fusione. Le due stelle, poste a una distanza di circa 140 km, iniziano a muoversi gradualmente l'una verso l'altra per attrazione gravitazionale, fino a fondere le loro masse. Inoltre formeranno braccia a spirale che avvolgono l'oggetto centrale, risultato della fusione, che sarà ricoperto da un campo magnetico molto più intenso dei due iniziali delle due stelle considerate singolarmente. [Daniel Price (U/Exeter) and Stephan Rosswog (Int. U/Bremen)]

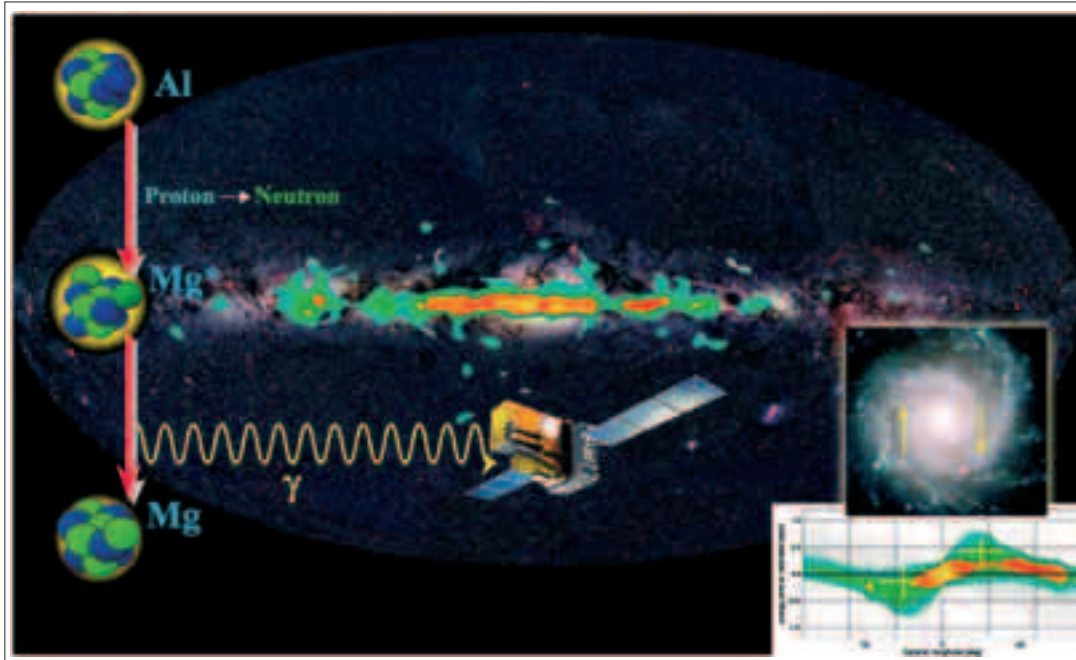
X) e l'Optical Monitor Camera (OMC), sono stati progettati allo scopo di fornire un notevole supporto al momento di identificare, rispettivamente, le controparti X e ottiche delle sorgenti gamma. IBIS, SPI e JEM-X sono praticamente rivelatori a maschera codificata, una tecnologia innovativa in grado di ricostruire in maniera dettagliata l'immagine della sorgente gamma, oltre a permettere un'accurata localizzazione nel cielo.

Dopo poco più di cinque anni di volo questa missione ha cambiato notevolmente la nostra visione dell'universo: l'indagine della volta celeste ha consentito di ricostruire l'emissione gamma prodotta da materia diffusa nel cosmo dalle stelle massicce, di studiare i lampi gamma, di identificare centinaia di sorgenti di diversi tipi e di realizzare un censimento delle emissioni ad alta energia. Il terzo catalogo INTEGRAL (aggiornato al mese di maggio 2006) contiene un totale di 420 nuove sorgenti gamma: il 41% è stato associato a sistemi galattici nei quali è presente un processo di accrescimento di materia, il 29% a oggetti extragalattici, il restante 26% a oggetti non ancora identificati.

Un altro dei traguardi raggiunti da questa missione è stato quello di aver tracciato la



Mapa del cielo gamma in corrispondenza di 511 keV di energia prodotta dall'annichilazione elettrone-positrone. L'immagine, ottenuta con lo spettrometro SPI a bordo di INTEGRAL, mostra chiaramente come detta emissione provenga dal centro della Galassia. [J. Knödseder et al.]



MPE Il decadimento dell'alluminio 26 (^{26}Al) produce un nucleo di magnesio 26 (^{26}Mg) eccitato che, prima di arrivare allo stato stabile, emette un fotone gamma. In quest'illustrazione l'immagine di fondo mostra la Galassia come appare nelle frequenze del visibile, dove il piano galattico è rappresentato da una stretta linea orizzontale; ad essa è stata sovrapposta l'immagine della distribuzione galattica di ^{26}Al ripresa dallo strumento COMPTEL (a bordo di CGRO) che mostra intense emissioni provenienti da regioni con stelle giovani massicce. Le due piccole immagini in basso a destra, invece, mostrano come sia stata dimostrata la rotazione del piano galattico osservando la distribuzione nel centro galattico dello stesso isotopo radioattivo con INTEGRAL.

22



mappa topografica della Via Lattea attraverso lo studio di due righe di emissione con due distinti livelli di energia: una in corrispondenza di 511 keV, l'altra di 1808 keV. La prima è una riga di cruciale importanza perché ha origine dall'annichilazione di un elettrone con un positrone e fornisce la prova dell'esistenza di antimateria nel bulge galattico; la seconda invece, dovuta al decadimento radioattivo dell'isotopo di ^{26}Al , ha permesso di misurare l'effetto Doppler del piano galattico e confermare così la rotazione della Galassia. Da queste misure si è anche arrivati alla conclusione che dette radiazioni provengono principalmente dalle regioni interne, mentre meno intense sarebbero quelle dovute alle regioni più esterne. Inoltre, poiché si ritiene che questo

Prima pagina dell'articolo originale di Klebesadel, Strong e Olson, apparso su The Astrophysical Journal che annunciava la scoperta di emissioni gamma di origine cosmico.

isotopo radioattivo venga prodotto nelle esplosioni di supernovae si è anche potuto stimare che nella nostra galassia ne avviene in media una ogni 50 anni, un valore

consistente con quello ottenuto osservando le supernovae in altre galassie.

Altri studi a livello galattico hanno riguardato la scoperta di nuove sorgenti interessanti, le Supergiant High Mass X-ray Binaries (SGXB), ovvero sistemi binari in cui una stella di neutroni o un buco nero strappa materia a una stella giovane massiccia supergigante (della classe OB). Sebbene fossero oggetti già noti, il loro numero è stato visto duplicarsi grazie a INTEGRAL che ne ha scoperti 17 e ne ha evidenziato una caratteristica sfuggita alle precedenti missioni: malgrado la maggior parte di essi mostri



Illustrazione di un sistema binario formato da una pulsar (di colore blu e con due fasci di radiazione uscenti dalla sua superficie) e dalla sua compagna. Gli esperti ritengono che questi tipi di sistemi siano i responsabili della formazione dei lampi gamma. [ESA, F. Ferraro (Bologna Astronomical Observatory)]

un'emissione X di tipo persistente, si è notato che alcune SGXB presentano rapide variabilità difficili da osservare per la loro breve durata (tipicamente di qualche ora) e alle quali è stato dato il nome di Supergiant Fast X-ray Transients (SFXT).

A livello extragalattico, invece, il satellite ha individuato centinaia di buchi

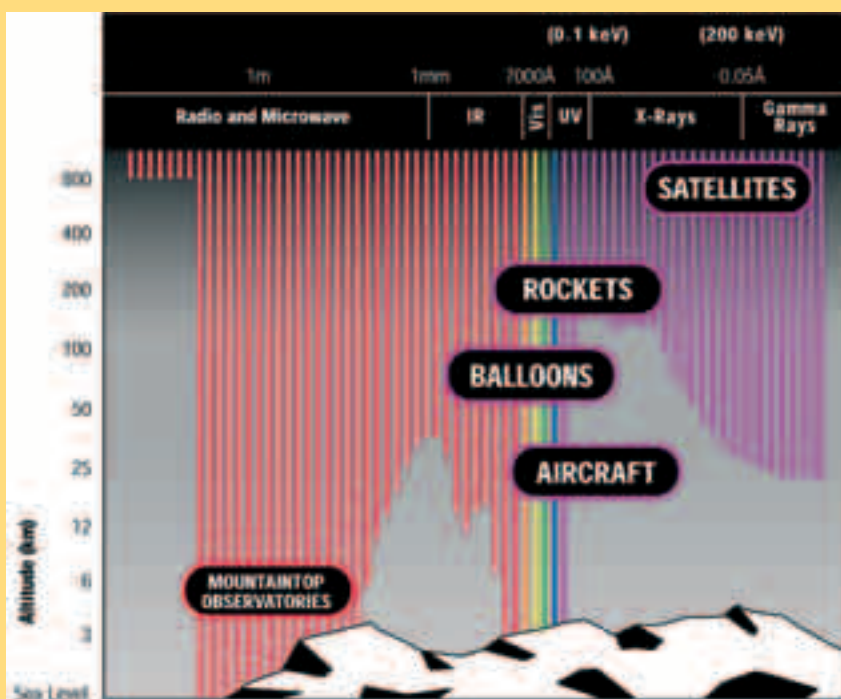
Il compito di INTEGRAL è quello di raccogliere la più energetica radiazione proveniente dallo spazio. La sonda venne lanciata nell'ottobre 2002 e contribuirà a risolvere alcuni dei più grandi misteri cosmici. [ESA]



COSA SONO I RAGGI GAMMA?

La radiazione presente nel cosmo racchiude in sé la storia degli oggetti celesti e pertanto della materia che lo costituisce, nonché dei diversi processi fisici che la producono. Per questo motivo, poiché ciascun fotone porta con sé una porzione preziosa di informazione su tali eventi, studiare le emissioni prodotte dagli astri ci permette di andare a fondo nella conoscenza dell'evoluzione dell'universo e della sua

me di onde elettromagnetiche che un corpo può emettere o assorbire. Questo spettro si estende dalle onde radio e passa per le microonde, la radiazione infrarossa, la luce visibile, l'ultravioletta, i raggi X fino ad arrivare ai raggi gamma, quelli con energia più elevata. L'unica vera differenza tra un fotone di raggi gamma e un fotone della luce visibile è l'energia, giacché i primi possono trasportare energie di oltre un miliardo di volte maggiori rispetto ai secondi; in effetti, la banda energetica dei raggi gamma è solitamente considera-



I fotoni X e gamma provenienti dal cosmo vengono assorbiti dall'atmosfera terrestre. Sebbene gli atomi che la costituiscono siano distanziati tra loro, il loro numero assai elevato rende l'atmosfera molto spessa e in grado di assorbire tali radiazioni. Questo fenomeno restringe, quindi, le osservazioni da terra alla banda radio, del vicino infrarosso e del visibile. Qui sono mostrati i diversi metodi usati per rilevare ciascun tipo di radiazione in funzione dell'altitudine dalla superficie terrestre. [NASA/SAO]

ta a cominciare da energie che superano i 100 keV.

Quando provengono dallo spazio le emissioni gamma sono talmente energetiche che possono risultare dannose per la vita, ma sulla Terra l'atmosfera riesce ad assorbirli in modo da non mettere in pericolo la nostra esistenza. Malgrado ciò, la presenza di questo schermo può rappresentare un problema se si vuole studiare l'universo delle alte energie. È per questo motivo che le osservazioni astronomiche devono realizzarsi mediante l'uso di rivelatori montati su opportuni telescopi terrestri (come MAGIC alle isole Canarie, HESS in Namibia, etc.) o su satelliti lanciati allo spazio, eludendo così l'effetto schermante di questa protezione naturale che assorbe anche le radiazioni X, ultravioletta e parte di quella infrarossa.

formazione. È chiaro, quindi, come l'astronomia gamma rappresenti un'opportunità unica per indagare tutti quei fenomeni avvenuti in un tempo e in uno spazio per noi inaccessibili.

In generale la luce visibile, o meglio quella che i nostri occhi sono capaci di percepire, occupa solamente una piccola regione dello spettro di radiazione elettromagnetica, l'insie-

menti più intense mentre ha confermato che quelle più deboli sono confinate in zone remote dell'universo: a quanto pare esse contribuiscono a un fondo diffuso di emissioni gamma e X, essendo impossibile di distinguerle singolarmente persino con i sofisticati strumenti di bordo.

neri giganti con masse che superano milioni di volte la massa del Sole e che si pensa possano essere molto diffusi nell'universo, più di quanto si credesse precedentemente. A proposito di questi oggetti, INTEGRAL ci ha fornito immagini accurate delle sor-

Lo studio dell'universo profondo è stato coronato dalla scoperta, condotta da un gruppo internazionale che fa capo a cinque ricercatrici italiane dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), dell'oggetto più lontano osservato da INTEGRAL: un quasar, ovvero un nucleo galattico attivo con un buco nero nel centro, che potrebbe contenere miliardi di masse solari e che emetterebbe una spaventosa quantità di energia. Essendo stato trovato ad alto redshift (circa 3.7), quest'oggetto celeste è considerato un vero e proprio "fossile cosmico" risalente ai primi anni della formazione dell'universo e

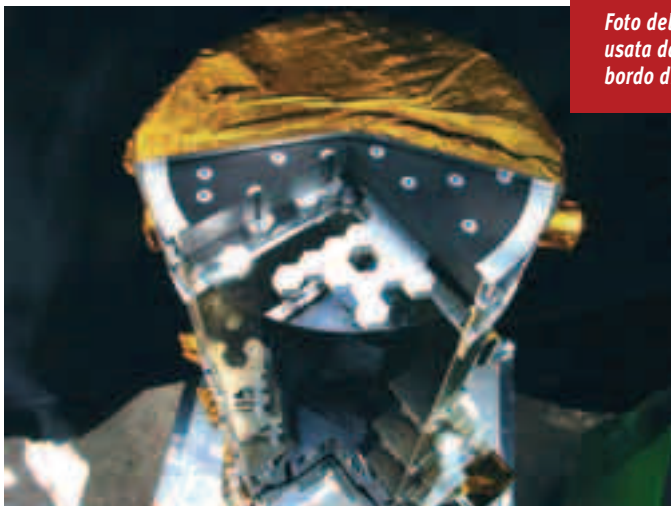
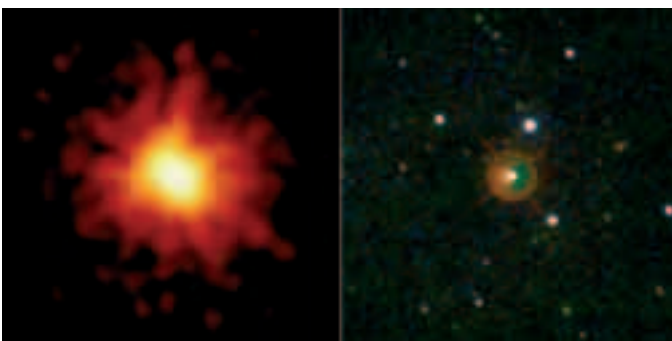


Foto della maschera codificata usata dallo spettrografo SPI a bordo di INTEGRAL.

che potrebbe svelarne misteri ancora irrisolti.

Altresì, lo studio dei GRB si sta manifestando come uno degli obiettivi più importanti della missione e, in particolare, quello che più ha dato sorprese finora. Infatti, considerato che la durata di questi eventi improvvisi è molto breve (compresa tra 0.1 e 100 secondi) è quasi impossibile che un osservatorio con la massa di INTEGRAL possa orientarsi in direzione del lampo prima che questo svanisca nell'oscurità del cosmo. Tuttavia, se il fenomeno si produce nella stessa regione inquadrata in quell'istante dai suoi



strumenti, INTEGRAL è in grado di osservarlo e di fornirne la posizione esatta, che sarà inviata via web ai telescopi ottici per seguirne l'evoluzione temporale da terra.

Nel dicembre 2004 un fenomeno alquanto singolare fu individuato dal satellite quando quest'ultimo venne investito dal più forte flusso di alta energia mai misurato da qualsiasi telescopio spaziale. L'emissione, osservata come un lampo gamma, fu in realtà prodotta dal magnetar SGR 1806-20 posizionato a 50.000 anni luce di distanza, dall'altra parte della nostra galassia. Questa scoperta suscitò grande stupore tra gli esperti e li indusse a pensare che molte delle emissioni che sono osservate come lampi gamma potrebbero provenire da simili magnetar presenti in altre galassie.

Questi e molti altri dei successi fin qui ottenuti fanno di questo osservatorio orbitale un ottimo strumento per la scoperta di un universo popolato da oggetti straordinari. Per questi motivi e alla luce dell'eccezionale produzione di risultati scientifici la missione INTEGRAL è stata prorogata fino al 31 dicembre 2012, sebbene fosse stata progettata per essere operativa durante un periodo di soli 2 anni.

Swift, il rondone dei lampi gamma

L'osservatorio Swift, lanciato nel novembre del 2004, forma parte del programma MIDEX della NASA per missioni di medie dimensioni e fu realizzato in collaborazione con Italia (Agenzia Spaziale Italiana e l'Osservatorio di Brera-Milano) e UK. L'intera missione fu pensata con l'obiettivo di studiare l'origine dei GRB,



tant'è che Swift è considerato il primo osservatorio multibanda dedicato allo studio di questi fenomeni, con una capacità di rivelarne mediamente 100 ogni anno. Il suo carico è costituito da tre rivelatori: uno a maschera codificata a grande campo per i fotoni gamma (Burst Alert Telescope, BAT),

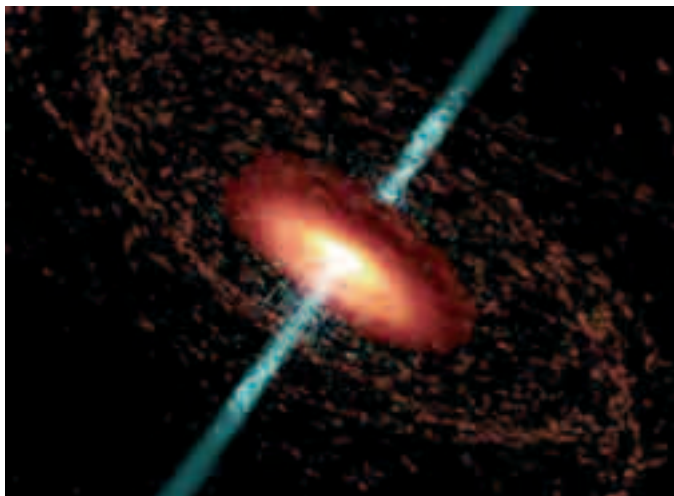
un telescopio per i raggi X (X Ray Telescope, XRT) e uno ottico-UV (Ultra Violet Optical Telescope, UVOT). I fotoni preda del BAT sono quelli con energie comprese tra i 10 e 150 keV e la precisione astrometrica dello strumento è di 1-4 arcmin, a seconda dell'intensità e posizione dell'evento.

Grazie a un campo di vista che copre circa 1,4 steradiani del cielo, il BAT è ideale per rivelare i GRB che, una volta scovati, vengono osservati entro 30-70 secondi con XRT e UVOT in seguito a un pronto e rapido ripuntamento automatico dei due telescopi. Questa caratteristica è proprio il suo punto forte: come un rondone (traduzione inglese di "Swift"), l'agile uccello che cattura gli insetti di cui si ciba, quest'osservatorio possiede una velocità di movimento senza eguali per un satellite. Le posizioni e una cartina di identificazione dei GRB e dei loro afterglow (in questo caso emissione X e ottica che segue l'esplosione gamma) vengono

infine comunicate, tramite un network, in meno di un minuto alla comunità scientifica per permettere l'immediato puntamento dei

Il centro di controllo della Telespazio, nel Fucino, Abruzzo, dove arrivano i dati raccolti da AGILE. [Finmeccanica]





In questo disegno artistico viene mostrato un blazar, ovvero una fonte di energia molto compatta e altamente variabile associata a un buco nero supermassiccio, caratterizzato da un getto relativistico che punta in direzione della Terra. È uno tra i più violenti fenomeni dell'universo e fa dei blazar interessanti oggetti dell'astronomia extragalattica. Il satellite italiano AGILE, in meno di un anno di vita, ne ha già individuati tre. [Boston University - Cosmvision]

26

telescopi terrestri.

Il primo risultato utile per Swift arrivò dopo meno di un mese dal suo lancio, l'11 dicembre 2004, quando BAT osservò il suo primo lampo gamma e ne ottenne la curva di luce. Nel settembre 2005 il satellite rivelò GRB050904, il lampo gamma più lontano mai osservato che provocò, proprio a causa dell'alto valore

del redshift cosmologico, uno spostamento della sua emissione verso bande di minor energia. L'evento fu infatti osservato come una debole emissione in banda gamma, poiché il lampo si era spostato in banda X. L'ipotesi fu confermata dall'assenza di dati nell'ottico e da osservazioni nell'infrarosso da parte di telescopi terrestri, a dimostrazione del fatto che si trattava di una delle sorgenti più lontane e più antiche mai osservate.

Sebbene la determinazione dell'origine dei lampi gamma per lo studio dell'universo primordiale rimanga l'obiettivo scientifico primario, la missione fu concepita anche per altre finalità scientifiche. Infatti, proprio l'agilità di movimento nello spazio permette al satellite di eliminare i tempi necessari per il ripuntamento verso un'altra sorgente e sfruttare così il tempo che intercorre tra un GRB e l'altro per effettuare altri tipi di osservazioni. Questa caratteristica ne fa uno degli osservatori più efficienti attualmente in orbita. Ciò ha consentito anche la realizzazione del primo censimento di galassie con un buco nero centrale attivo: questo catalogo di AGN dell'universo locale, reso possibile dal BAT grazie

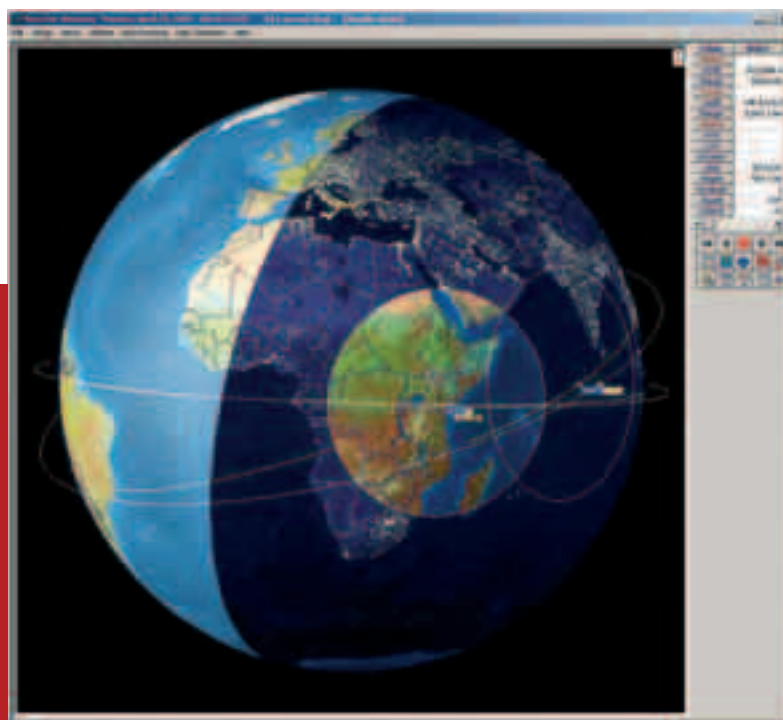
Schema dell'orbita di AGILE e del suo passaggio sulla stazione terrestre di Malindi, in Kenya, dove vengono scaricati i dati raccolti dal satellite. In questa simulazione al computer della Terra viene anche indicata l'orbita del satellite Swift, nato da collaborazione tra USA, Inghilterra e Italia, situata proprio al di sopra di quella di AGILE e della posizione della stazione della Telespazio nel Fucino. [INAF IASF BOLOGNA]

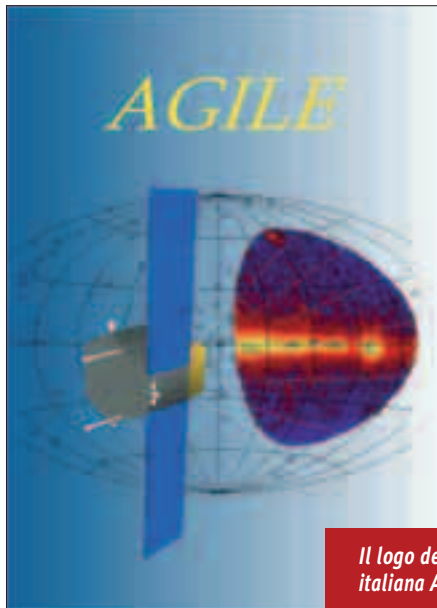
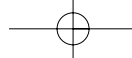
alla sua capacità di penetrare attraverso gli involucri polverosi dietro ai quali si cela l'attività di tali oggetti compatti, ha rivelato anche che il buco nero presente al centro della nostra galassia è un chiaro esempio di buco nero inattivo.

Swift è, in fin dei conti, uno dei satelliti più produttivi della storia dell'astrofisica moderna. Per gli esperti è ormai consuetudine ricevere quasi quotidianamente notizie riguardanti oggetti già conosciuti (e non) recentemente osservati dal satellite. Una delle ultime annunciava piccole e intense esplosioni per due sistemi SFXT (Supergiant Fast X-ray Transients) scoperti da INTEGRAL: IGR J16479-4514 e IGR J11215-5952 (quest'ultimo è l'unico membro delle classe che realizza outburst periodici). Senza dubbio ancora più straordinaria è la notizia dell'osservazione di GRB080319B, il primo lampo gamma scoperto da Swift che detiene l'attuale record di luminosità per una sorgente extragalattica: l'afterglow ottico è stato osservato da terra per una manciata di secondi con una magnitudine nel visuale di 5.6 e, pertanto, visibile persino ad occhio nudo. Secondo alcune teorie il fenomeno è presumibilmente da riferirsi ad una stella di grande massa implosa nella formazione di un buco nero situata a una distanza di 7,5 miliardi di anni luce.

AGILE, una missione che parla italiano

La comunità scientifica italiana è per tradizione tra le più attive nell'astrofisica delle alte energie. Al giorno d'oggi gioca un ruolo privilegiato nel panorama internazionale anche grazie all'esperienza e ai risultati raggiunti già negli anni Novanta, con la missione Beppo-SAX. Dopo questa esperienza, nata dalla collaborazione tra l'ASI e l'agenzia spaziale olandese (Nederlands Instituut voor Vliegtuigontwikkeling en Ruimtevaart, NIVR) che durò dal 1996 al 2002, l'Italia è tornata a esplorare l'universo vio-



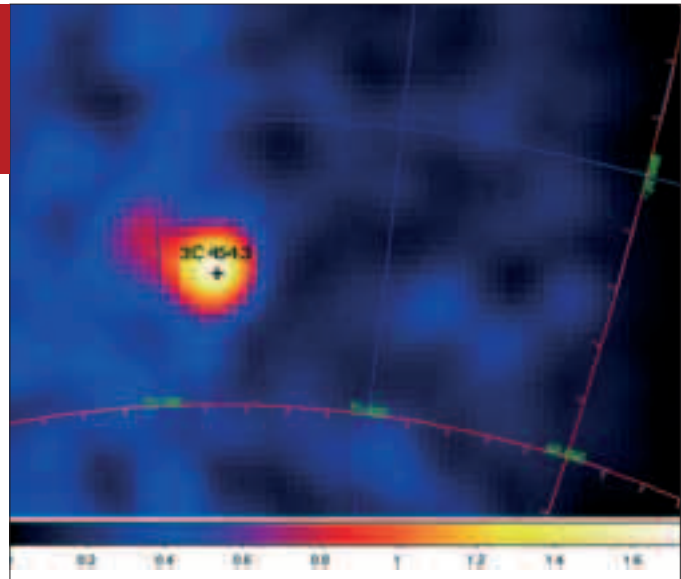


Il logo della missione italiana AGILE.

Immagine gamma in coordinate galattiche del blazar 3C454.3 ottenuta da AGILE. [Vercellone, S. et al. 2008, ApJ, 676, 13]

lento con un satellite completamente "made in Italy". AGILE (o Astro-rivelatore Gamma a Immagini LEggero) è il tele-

scopio spaziale di nuova generazione dell'ASI, progettato dall'INAF, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), il CNR e la collaborazione di una serie di università italiane. Lanciato con successo il 23 aprile 2007 dalla base indiana di Shriharikota, questo piccolo satellite è stato posizionato ad un'altezza di circa 550



27

CATTURARE I RAGGI GAMMA

Osservare raggi X e raggi gamma che ci arrivano dal cosmo significa far ricorso a telescopi che sfruttano tecniche differenti da quelli usati per altre regioni dello spettro elettromagnetico. Mentre nel caso della radiazione infrarossa, di quella visibile e, tutto sommato, di quella ultravioletta si possono utilizzare strumenti che sfruttano gli stessi principi fisici dei telescopi ottici, per le alte energie le cose si complicano poiché questa emissione non viene facilmente riflessa da uno specchio, ma lo attraversa o ne viene assorbita. Nel caso dei fotoni X, tuttavia, vengono impiegati particolari telescopi costituiti da vari specchi concentrici, uno dentro l'altro, capaci di aumentare l'area di raccolta di questi fotoni. Tali specchi, costituiti da materiali quali l'oro e il nichel e con una superficie perfettamente levigata, hanno permesso di ottenere immagini di sorgenti X analoghe a quelle nel visibile.

Per i raggi gamma, al contrario, essendo queste radiazioni ancora più energetiche e penetranti di quelle prodotte dai fotoni X, è impossibile che alcun tipo di telescopio riesca a focalizzarli per produrre immagini del cielo. Nonostante tali limitazioni l'astronomia moderna è riuscita a trovare una soluzione al problema, ricorrendo sostanzialmente a metodi sviluppati nel mondo della fisica delle particelle. Nel primo caso ci si serve dell'atmosfera terrestre come rivelatore: considerando che i fotoni con energia superiore a qualche centinaio di GeV sono capaci di penetrare parzialmente nell'atmosfera, essi producono una cascata di particelle che generano emissione Cherenkov. Questa, raccolta con speciali telescopi posti sulla Terra, permette di ricostruire la direzione del raggio gamma primario e sapere da che regione del cielo proviene. L'altra metodologia, utilizzata a bordo degli osservatori spaziali, prevede di utilizzare la tecnica delle maschere codificate, vale a dire piastre di materiale opaco ai raggi gamma (che impediscono il transito ai fotoni, ma piene di fori opportunamente disegnati), poste tra la sorgente e il rivelatore. Questa tecnica, attualmente utilizzata sul satelli-

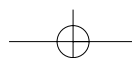
te INTEGRAL, consiste nel creare figure composte di luci ed ombre prodotte dalla radiazione incidente. L'immagine della sorgente è infine ricostruita da un computer con complessi algoritmi matematici, in modo da escludere i fotoni gamma spuri prodotti sia dai raggi cosmici impattanti con la struttura del satellite sia dall'eventuale rumore di fondo dovuto all'elettronica propria degli strumenti.

I nuovissimi satelliti come AGILE e GLAST utilizzano invece i tracciatori di

Schema del funzionamento della tecnica della maschera codificata. In questa illustrazione i raggi gamma di diversi oggetti stellari passano attraverso diverse regioni della maschera prima di colpire il sensore; la figura risultante è una sequenza di ombre sovrapposte che vengono successivamente identificate da un computer capace di ricreare l'immagine dei singoli oggetti. [ESA]



coppia, una tecnica secondo la quale i fotoni gamma vengono assorbiti da strati di materiale al silicio, producendo una coppia elettrone-positrone. La separazione di queste due particelle consente di tracciare le loro traiettorie e, da queste, risalire con ottima precisione alla direzione di provenienza e all'energia del fotone che le ha originate, fornendo un'immagine e informazioni accurate della sorgente.



COSMOLOGIA

km, al di sotto dell'area di influenza delle radiazioni prodotte dalle fasce di Van Allen.

L'obiettivo è quello di approfondire informazioni sulle sorgenti di radiazioni gamma non ancora identificate, sui buchi neri, sui nuclei galattici attivi, sulle pulsar e sui meccanismi astrofisici di

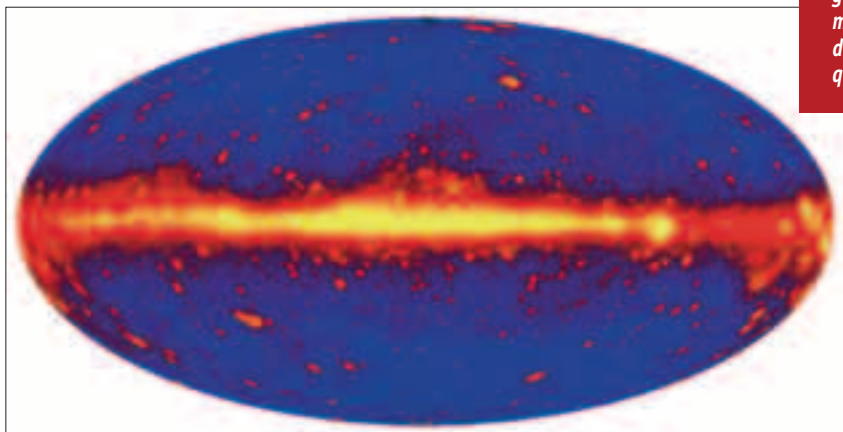


Immagine di come apparirà la volta celeste vista dal satellite GLAST, simulata al computer. La linea centrale di color giallo intenso rappresenta l'emissione dei gamma dal piano galattico; il punto brillante sulla destra dello stesso piano proviene dalla pulsar della Vela mentre quello posizionato alla sua estremità è Geminga. Il resto dell'emissione ha origine nei resti di supernova, nei buchi neri e nelle stelle massicce con forti venti stellari. Le emissioni provenienti dalla parte alta e bassa dell'immagine raffigurano, invece, quasar del lontano universo. [S.W. Digel (NASA/GSFC)]

della pulsar della Vela, faro di calibrazione per gli strumenti gamma.

Quando nella sua orbita passa sopra al Kenya, cosa che avviene 14 volte al giorno, il piccolo satellite italiano scarica tutti i dati verso la stazione dell'ASI di Malindi. Da qui vengono poi rimbalzati, attraverso un altro satellite, al Centro Operativo di Missione nel Fucino (in Abruzzo) ed infine a un archivio dati, da dove i ricercatori possono prelevar-

28

accelerazione delle particelle responsabili delle emissioni X e gamma. Per questo, il satellite è stato equipaggiato di tre rivelatori: il Gamma-Ray Imaging Detector (GRID) per i fotoni tra i 30 MeV e 50 GeV e per il quale il satellite è stato ottimizzato, il Super AGILE che è sensibile ai fotoni con energie comprese tra i 20 e 60 keV, e il Mini Calorimetro (MC) per osservare alle energie comprese tra i 0.25 e 200 MeV. La combinazione di questi tre rivelatori fa di AGILE uno tra i satelliti più innovatori attualmente in orbita giacché è in grado di osservare un ampio campo di vista ad ogni puntamento: con un angolo di 120 gradi, corrispondente a circa un quinto della volta celeste, quest'osservatorio possiede, dunque, un'ampia visuale e una capacità di cattura di raggi gamma molto elevata. Inoltre, la caratteristica di portare a bordo strumenti per alte energie della più moderna tecnologia, capaci di realizzare simultaneamente immagini di ottima risoluzione sia in banda X che gamma, fa di AGILE una missione all'avanguardia nel campo delle alte energie.

Il primo fotone fu intercettato dopo soli 15 giorni dal lancio, quando aprì per la prima volta il suo "occhio" e rivelò un raggio gamma ad altissima energia (circa 250 MeV) originato fuori dalla nostra galassia, probabilmente in una zona remota dell'universo. Questo evento di straordinaria importanza ha confermato agli esperti del settore di poter contare su un nuovo preziosissimo alleato per studiare i fenomeni più energetici del cosmo. Da allora di fotoni ne sta rilevando a migliaia, dimostrando l'alta qualità del lavoro svolto. In effetti i primi risultati scientifici non hanno tardato ad arrivare, dando ottima prova di funzionalità e affidabilità dell'intera missione. Ad appena tre mesi dal lancio, infatti, i sensori del satellite avevano già catturato due potenti flare gamma di oltre 100 MeV di energia in corrispondenza di due distinti blazar, 3C454.3 e TXS 0716+714; per di più, una forte emissione in direzione del centro galattico (presumibilmente dalla regione del Cigno) e tre lampi gamma furono subito intercettati dai suoi rivelatori al silicio, i quali fornirono anche la sua prima immagine



li e analizzarli.

Verso la fine dell'anno scorso il satellite ha terminato la fase iniziale di test, epoca di rodaggio necessaria per calibrare gli strumenti di bordo e verificare il corretto puntamento. Dall'1 dicembre 2007 il satellite è ufficialmente disponibile alla comunità internazionale per compiere osservazioni scientifiche. Tra le prime pubblicazioni figurano l'osservazione della regione della Musca, dove AGILE ha rilevato un'emissione gamma variabile proveniente dalla sorgente 3EG J1410-6147, e quella del blazar PKS 1510-08, oltre a un outburst a energie tra i 20 e 60 keV per la stella di neutroni SAX J1750.8-2900. Molte

Un disco di polvere attorno a un buco nero supermassiccio. Questi oggetti si nascondono nel centro di galassie attive sviluppano un disco di accrescimento formato da materiale interstellare presente nelle sue vicinanze, oltre a getti di alta energia in direzione perpendicolare al piano di tale disco. Essi costituiscono parte dell'universo violento, ovvero di quell'insieme di ambienti estremi responsabili dei fenomeni più energetici del cosmo. [ESA/NASA, the AVO project and P. Padovani]

delle sorgenti sinora osservate sono infatti sistemi la cui emissione gamma era già stata notata da altri satelliti.

Una delle caratteristiche più interessanti per la quale la missione è stata ideata è proprio quella di complementare gli studi, ad alte energie, compiuti da altri osservatori spaziali come XMM-Newton, INTEGRAL, Swift e Chandra. Sfruttando le sinergie tra questi osservatori, AGILE contribuirà notevolmente ad estendere le osservazioni ad un livello di energia che solo la sua strumentazione è capace, al momento, di analizzare. Grazie ad un programma scientifico di allerta sarà così possibile osservare fenomeni transienti (come i lampi gamma, ad esempio), realizzandone uno studio in multifrequenza. Inoltre, da un punto di vista tecnologico, questo esperimento ci mostrerà come le conoscenze nate dalla ricerca con gli acceleratori di particelle possano essere applicabili con grande efficienza all'astrofisica delle particelle e per approfondire le nostre conoscenze sulla struttura della materia.

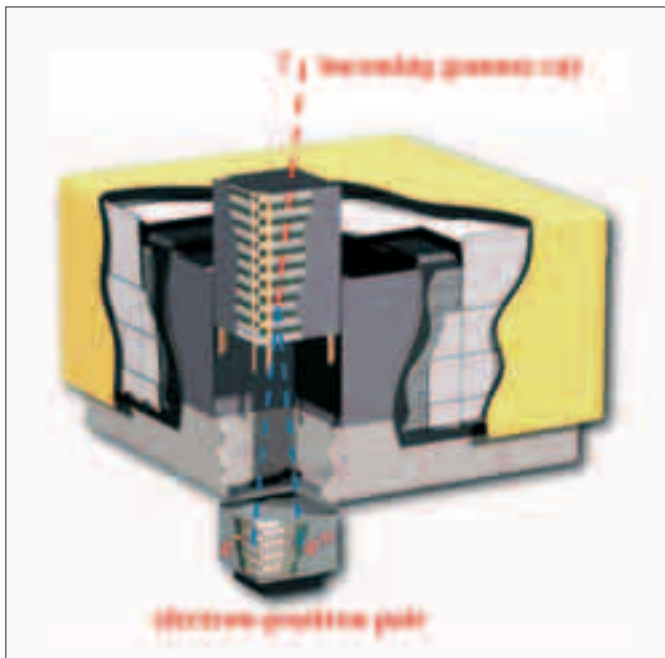
Il futuro si chiama "GLAST"

29

Per quanto riguarda la sensibilità ai fotoni gamma dei suoi strumenti, AGILE viene considerato nell'ambito degli osservatori delle alte energie come il successore di EGRET, uno degli strumenti a bordo di CGRO e che tanto ha contribuito nel secolo scorso al conocimiento del cielo gamma. Seguendo questa stessa filosofia, la NASA ha sviluppato il Gamma-ray Large Area Space Telescope (GLAST), un osservatorio per le altissime energie che viene considerato proprio il fratello maggiore del piccolo satellite italiano. In realtà GLAST e AGILE sono due missioni complementari poiché mentre il primo è ideale per studiare le radiazioni con energie maggiori a 1 GeV, il secondo lo è per energie inferiori a questa soglia. L'esperienza acquisita dagli esperti di AGILE, inoltre, sarà trasferita al satellite americano dal momento che il suo strumento principale è stato costruito in Italia grazie alla cooperazione tra ASI, INFN e INAF. Con un cuore italiano, GLAST si presenta come l'osservatorio di prossima generazione capace di stravolgere le attuali teorie cosmologiche.

Questo ambizioso progetto (al quale partecipano anche Francia, Germania, Giappone, Italia e Svezia) pretende da un lato di esplorare un cosmo ancora invisibile e che potrebbe nascondere scenari sorprendenti e dall'altro di arrivare a capire molti dei suoi fenomeni più insoliti. In orbita a 550 km dal suolo, questo telescopio spaziale batterà tutti i primati sinora stabiliti dai precedenti satelliti, utilizzando due strumenti costruiti grazie alla più moderna tecnologia dei rivelatori al silicio: il Large Area Telescope (LAT) e il GLAST Burst Monitor (GBM). Il primo, strumento principale della missione, è stato costruito per investigare emissioni con energie tra i 20 MeV e 300 GeV con il proposito di fornire le immagini più nitide mai viste prima. In particolare, al fine di identificare e studiare il più dettagliatamente possibile le sorgenti gamma, il LAT sarà in grado di misurarne la posizione nel cielo con un'accuratezza di un minuto d'arco di diametro. Inoltre, abbracciando un campo di vista vastissimo (la sua area effettiva è pari a circa quattro volte quella di AGILE in corrispondenza dei 100 MeV) e con una sensibilità ai raggi gamma superiore a qualsiasi altra missione, si stima che GLAST rivelerà

COSMOLOGIA



I raggi gamma intercettati da GLAST saranno quelli che ci porteranno notizie sull'evoluzione delle stelle e sulle più potenti esplosioni che possono avvenire nel cosmo dopo il Big Bang, sui

Schema del funzionamento del tracciatore di coppia LAT a bordo di GLAST. Il fotone gamma, entrando nel dispositivo, interagisce con strati di silicio e produce una coppia di particelle elettrone-positrone, le quali si separano disegnando un' traiettoria a forma di Y rovesciata. Studiando lo spazio percorso nel dispositivo da ciascuna di esse è possibile risalire alla direzione di provenienza e all'energia del fotone originale e avere così informazioni sulla sorgente che lo ha originato. [LAT Collaboration]

meccanismi di accelerazione di particelle negli oggetti compatti, sui relitti dell'universo come i buchi neri primordiali e persino sulle radiazioni gamma prodotte dalle interazioni della materia oscura. Il proposito della missione è infatti quello di

analizzare tutti

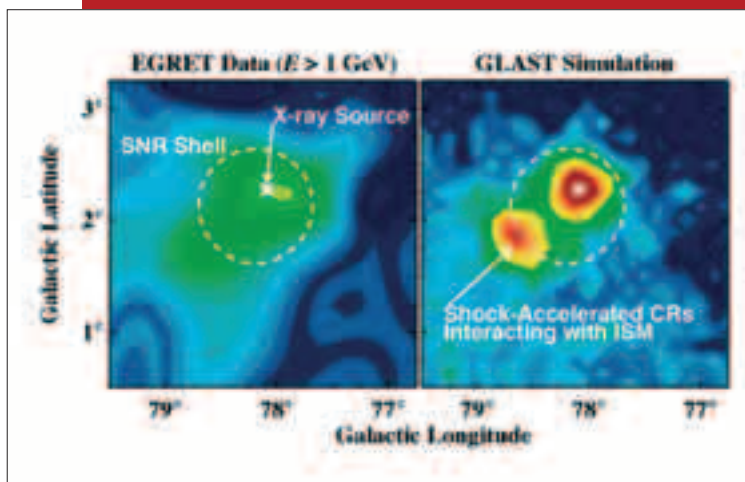
quegli ambienti astrofisici nei quali le particelle subatomiche si vengono a trovare in un regime di energie difficili da raggiungere con gli acceleratori installati sulla superficie terrestre. Attraverso le osservazioni sarà invece possibile riprodurre in laboratorio le condizioni per lo sviluppo di quei processi che liberano energie così elevate e ottenere, per esempio, informazioni preziose sui primi istanti di vita dell'universo.

Il lancio del veicolo spaziale che porterà GLAST nello spazio è stato fissato per il giorno 16 maggio 2008 e verrà effettuato dalla base statunitense di Cape Canaveral. Durante la fase iniziale della missione è prevista una collaborazione molto stretta con il team di AGILE: mentre quest'ultimo osserverà una determinata zona del cielo, GLAST sarà puntato verso la stessa regione, in modo che i due satelliti possano compiere indagini congiunte. Dalla sovrapposizione delle due osservazioni si potrà studiare contemporaneamente la forte variabilità temporale di sorgenti gamma in un'ampia banda, oltre a ottenere informazioni utili sulle loro emissioni in banda X.

La missione americana è stata progettata per una durata di cinque anni con l'obiettivo di estenderla fino al 2018: durante i prossimi dieci anni ci si aspetta che GLAST compia grandi passi in avanti nella comprensione degli eventi più energetici del cosmo. ■

migliaia di nuove sorgenti durante i primi cinque anni di volo, potendo penetrare nello spazio più profondo. Il secondo strumento, invece, è un rivelatore disegnato per osservare circa duecento lampi gamma ogni anno, e non è altro che una camera a scintillazione capace di trasformare i fotoni della radiazione emessa tra

Confronto tra un'immagine gamma ad energie maggiori di 1 GeV della regione del Cigno ripresa dallo strumento EGRET (a bordo del CGRO, a sinistra) e di come sarà osservata da GLAST (a destra). Quest'ultimo, con una risoluzione molto maggiore rispetto alle precedenti missioni dedicate all'astronomia gamma, fornirà le immagini più dettagliate osservate a queste energie grazie alle quali sarà possibile individuare sorgenti finora invisibili. [S.W. Digel (NASA/GSFC)]



gli 8 keV e i 30 MeV in luce visibile. Tale ampio intervallo di energia permetterà di ottenere, in tal senso, informazioni che vanno dall'emissione gamma alla sua controparte in banda X, che caratterizza l'afterglow di un GRB.

• Carlo Ferri è originario di Pianella, in provincia di Pescara. Nato nel 1979, si è laureato in Astronomia presso l'Università degli Studi di Bologna, con una tesi realizzata nell'Istituto de Astrofísica de Canarias (IAC) di Tenerife. Risiede attualmente in Catalunya ed è iscritto al Programma di Dottorato in Astronomia dell'Universitat de Barcelona, dove sta svolgendo una tesi dottorale presso l'Institut de Ciències de l'Espai (CSIC-IEEC), sullo studio di novae e variabili cataclismiche nella banda dei raggi X. •