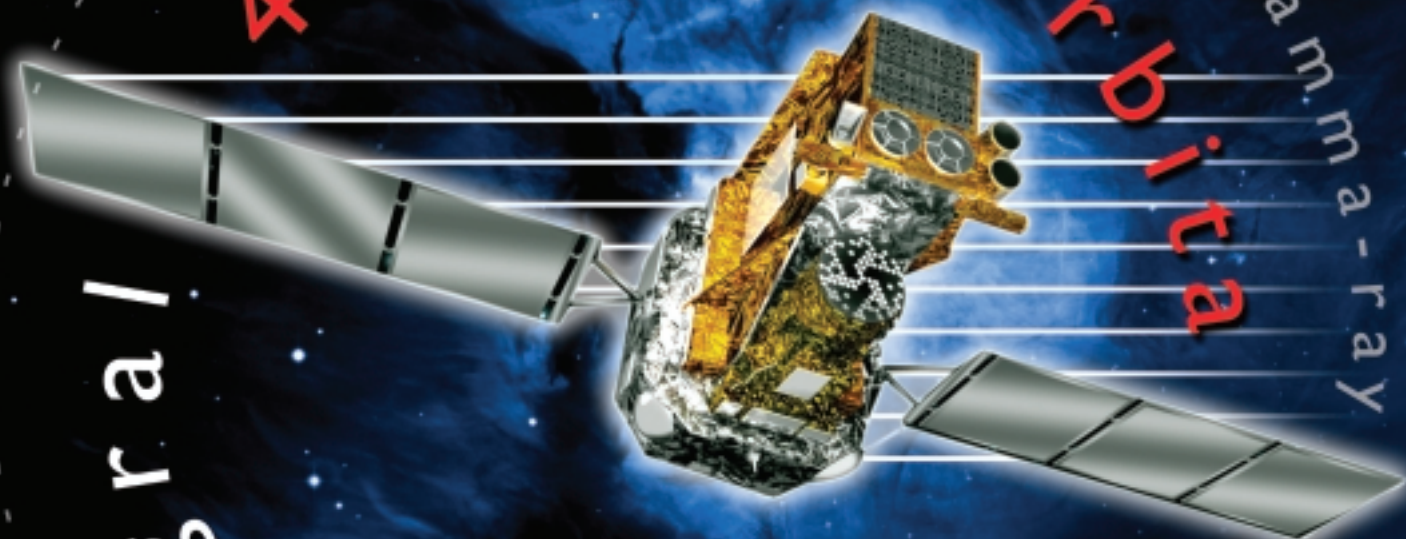


The International Gamma-ray  
**4 anni in orbita**



Alla ricerca di radiazioni estreme nell'universo

Gamma

ray

4

anni

in

orbita

Fermi

Astrophysics

Laboratory

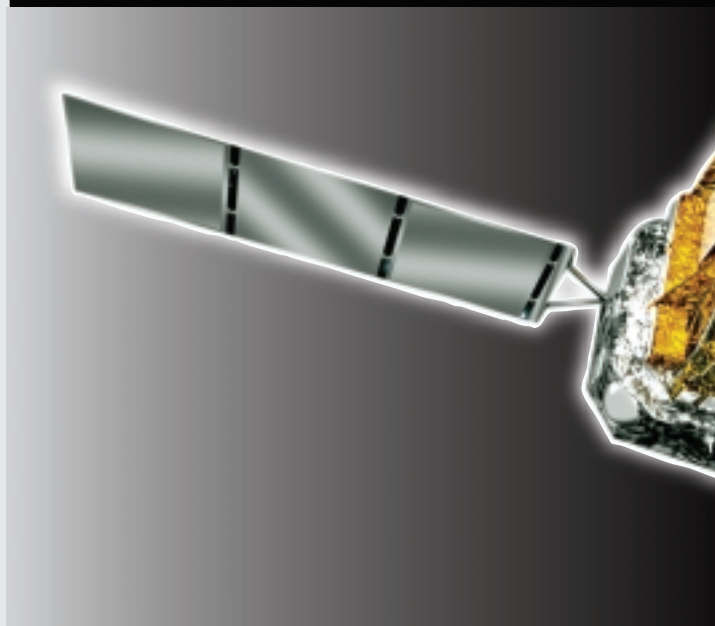


INAF



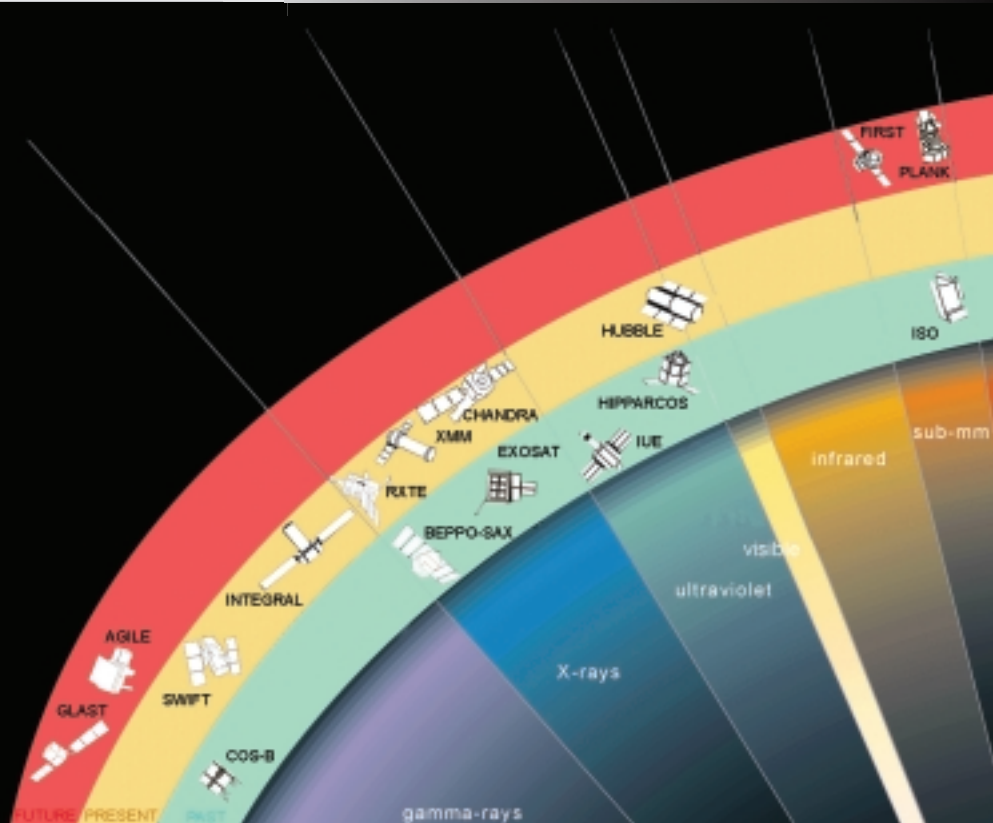
# Esplorare l'Universo turbolento

La luce che vediamo è solo uno dei tipi di radiazione che trasportano energia attraverso l'Universo. In effetti, i nostri occhi sono sensibili solo ad una piccolissima parte dello spettro elettromagnetico che consiste di diverse bande spettrali note come onde radio, microonde, radiazione infrarossa, luce visibile, luce ultravioletta, raggi X e raggi Gamma. Ogni tipo di radiazione elettromagnetica è prodotta da diversi processi fisici. Per questo ogni radiazione porta con sé una porzione preziosa di informazione sull'universo.



A distanze cosmiche avvengono esplosioni di dimensioni inimmaginabili. Esse liberano grandissime quantità di energia, in massima parte sotto forma di radiazioni che sono invisibili ai nostri occhi. Raccogliendo queste radiazioni, la missione INTEGRAL dell'ESA ci sta dando una visione dell'universo molto diversa da quella che abbiamo quando guardiamo il cielo in una notte limpida. Invece della serena bellezza delle stelle, INTEGRAL ci mostra un cosmo violento ed in continuo cambiamento.

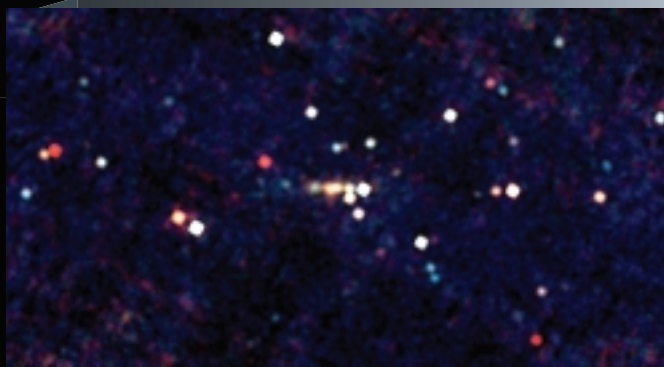
I raggi Gamma rappresentano la forma di radiazione più energetica in natura. Essi trasportano ingenti quantità di energia prodotta da alcuni tra i più catastrofici eventi astronomici. Vi sono stelle che esplodono, stelle di neutroni che collidono e materia ingoiata da buchi neri. Inoltre, i raggi Gamma sono prodotti da particelle relativistiche intrappolate in campi magnetici milioni di milioni di volte superiori a quello che fa orientare l'ago della bussola sulla terra. Tutti questi fenomeni rilasciano copiosi quantitativi di energia, gran parte della quale è trasportata fino a noi sotto forma di raggi Gamma.



INTEGRAL raccoglie questi raggi Gamma, che permettono agli astronomi di tutto il mondo di avere una visione più chiara degli ambienti più estremi dell'universo. INTEGRAL non è solo a svolgere queste ricerche: nel 2004 è entrato in funzione il telescopio NASA SWIFT, che conta su un importante contributo degli scienziati italiani. Altri strumenti scrutano l'Universo invisibile. Fotoni di energia di poco inferiore a quelli rivelati da INTEGRAL e SWIFT vengono misurati da telescopi X quali, la missione europea XMM-Newton e la missione NASA Chandra. Sfruttando le sinergie tra queste missioni, gli scienziati possono indagare i fenomeni più energetici dell'Universo.



## Osservare l'invisibile



### Il centro della via lattea

Il telescopio per raggi Gamma IBIS a bordo di INTEGRAL ha osservato per oltre 7 Milioni di secondi il centro della nostra Galassia. Si tratta della regione che contiene un vero e proprio "motore primo" attorno al quale ruota tutta la Via Lattea.

Gli Astrofisici hanno infatti scoperto la presenza di una forte radiosorgente di natura "non termica", denominata Sgr A\* che è associata ad un enorme buco nero che ha una massa tra 3 e 4 Milioni quella del nostro Sole.

Con grande sorpresa, si è visto che il flusso di radiazione Gamma prodotta da questo buco nero supermassiccio è molto debole e non varia nel tempo.

È un comportamento opposto a quello riscontrato in oltre venti buchi neri di massa molto più piccola presenti nella zona del centro della Via Lattea.

INTEGRAL ha impiegato una parte notevole dei quattro anni in orbita per fare immagini e spettri accurati di tutte le sorgenti del Centro e del Piano della Via Lattea. Una parte minore del tempo di osservazione è stata devoluta allo studio delle parti esterne della Galassia e delle sorgenti lontane.

Ciò ha permesso per la prima volta di fare immagini di oltre 300 sorgenti Galattiche e di circa 100 Nuclei Galattici Attivi, Ammassi di Galassie, Quasars e Blazars.

INTEGRAL ha dimostrato che, al contrario di quanto succede a più bassa e più alta energia, l'emissione diffusa proveniente dal Piano della Via Lattea è dovuta a molte decine di sorgenti Gamma deboli. Esse sono state finalmente rivelate dal sofisticato telescopio di bordo che è stato capace di distinguere i più piccoli dettagli.

Ciascuna sorgente viene posizionata con una accuratezza migliore di un primo d'arco e quindi associata con corpi celesti rivelati nella banda ottica, Infrarossa, radio etc. INTEGRAL ci ha svelato la presenza di un nuovo cielo a raggi Gamma estremamente variabile e sede di processi violenti, tra i più energetici mai osservati sinora: un vero e proprio Laboratorio Nucleare a nostra disposizione.

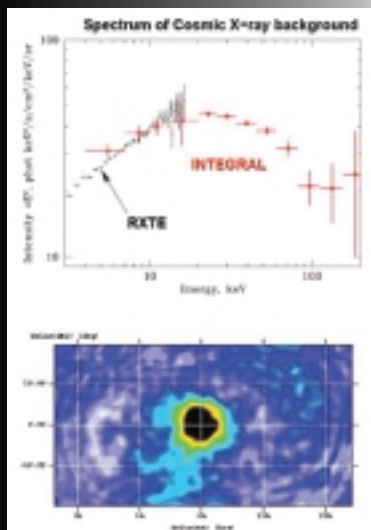
### L'osservatorio INTEGRAL

INTEGRAL è un Osservatorio Spaziale Astrofisico per raggi Gamma con una sensibilità e capacità di fare immagini delle sorgenti di alta energia sinora mai raggiunta. L'Osservatorio, del peso di circa quattro tonnellate, è stato messo in orbita dalla base di lancio di Baikonour (Kazakhstan) il 17 ottobre 2002 alle 4.41 UT.

Lo scopo primario di INTEGRAL è l'osservazione dell'Universo nella banda di energia che va da 15 keV a 10 MeV con sensibilità fino a 3 keV e copertura ottica nella banda V a 550 nm. È una missione internazionale guidata da ESA con gli strumenti realizzati principalmente da Istituti italiani, francesi e tedeschi con contributi di altri paesi europei e USA.

# INTEGRAL

guarda la terra e risolve la natura della *radiazione cosmica di raggi Gamma: buchi neri giganti*



INTEGRAL ha permesso di fare un passo avanti importante nella misura del fondo cosmico che permea tutto il cielo. Osservazioni fatte in modo non convenzionale durante gennaio e febbraio 2006 hanno fornito dati di eccezionale accuratezza sulla intensità e forma spettrale del fondo X e Gamma: la mossa vincente e' stata usare la Terra come un enorme schermo, anche se ciò ha comportato delle manovre aggiuntive "non standard" per il puntamento dell'Osservatorio Spaziale. Il gioco e' valso la candela: misurando la diminuzione del flusso di raggi Gamma quando la Terra ha bloccato il campo di vista dell'Osservatorio e calcolando accuratamente il contributo dovuto all'emissione della atmosfera terrestre e' stata fatta una misura accurata, attesa per anni, del fondo coprendo contemporaneamente l'intervallo energetico che va dai raggi X a quelli Gamma.

Una "eclisse di Terra" artificiale ha permesso ai telescopi di bordo di fare una stima accurata del flusso e della forma spettrale della radiazione gamma, la cui esistenza e' nota da vari decenni ma la cui natura e' stata per lungo tempo un mistero da risolvere. INTEGRAL ci ha fornito immagini accurate delle sorgenti più forti ed ha confermato che gran parte di questa "nebbia" che pervade l'Universo e' dovuta a oggetti molto lontani e deboli, non visibili singolarmente, neanche con i sofisticati strumenti di bordo. Molti Astronomi pensano che si tratti di buchi neri supermassicci, milioni o miliardi di volte più grandi del Sole, ciascuno attivo al centro di una galassia. Quando questi enormi buchi neri ingoiano la materia circostante, questa viene riscaldata fino a temperature di milioni di gradi ed emette raggi X e Gamma. Un'accurata misura della "nebbia", conosciuta come fondo X e Gamma, è il primo passo per calcolare il numero dei buchi neri che vi contribuiscono e fare una stima di quanto siano distanti nell'Universo.

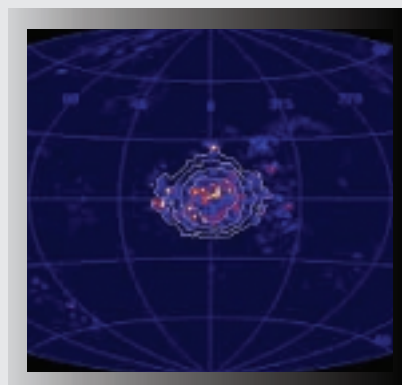
Scienziati Europei ed Americani, alla ricerca di buchi neri supermassicci nascosti in galassie vicine, ne hanno trovati sorprendentemente pochi. O i buchi neri sono più nascosti di quanto aspettato dagli scienziati o si trovano a distanze maggiori.

Gli scienziati sono convinti che alcuni buchi neri di grande massa si nascondano dietro spesse nubi di polvere. Questi schermi polverosi possono essere attraversati solo dai raggi X e Gamma più energetici. Una volta emessa questa radiazione permea l'intero Cosmo formando una radiazione di fondo diffuso. La ricerca dei buchi neri supermassicci nascosti è uno dei più importanti obiettivi della missione INTEGRAL. Le osservazioni fatte finora mostrano che nell'Universo vicino, la frazione di questi buchi neri enormi e così enigmatici è piccola, solo il 10-15 % del totale, troppo pochi quindi per spiegare la radiazione di fondo cosmico. INTEGRAL continuerà a cercare buchi neri supermassicci nascosti anche guardando nell'Universo più lontano.



## Evidenza di materia ed antimateria nel centro nella via lattea

Lo Spettrometro a bordo di INTEGRAL ha dedicato molto tempo di osservazione alla ricerca di emissione Gamma a 511 keV da tutto il cielo. La rivelazione di emissione a questa energia particolare è di cruciale importanza perché essa ha origine dalla annichilazione di un elettrone con un positrone, quindi fornisce la prova dell'esistenza dell'antimateria. I dati mostrano che le zone centrali della Galassia emettono copiosamente radiazione a 511 keV, mentre solo un segnale molto debole è rivelato dal disco della Galassia, dove sono contenute gran parte delle stelle. Benché non è possibile escludere che questa "bolla" di raggi Gamma sia dovuta ad un certo numero di sorgenti, troppo deboli per essere risolte singolarmente, è anche possibile che tale radiazione sia prodotta dalla misteriosa materia oscura che sappiamo esistere nelle zone centrali della Galassia.

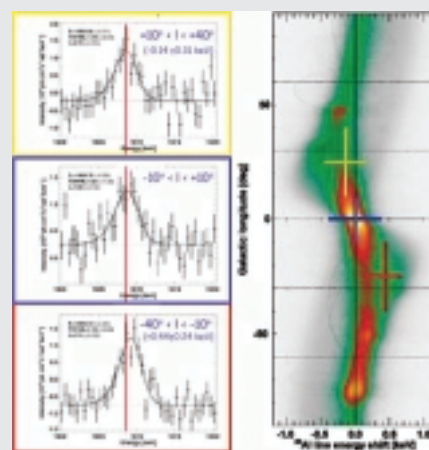


## INTEGRAL vede la rotazione della galassia dalle righe dello <sup>26</sup>Al generato da supernove recenti

Lo Spettrometro di INTEGRAL ha dedicato molto tempo all'osservazione del centro della Galassia per fare una misura accurata dell'emissione nucleare dovuta all'alluminio 26 (1809 keV) prodotto dalle supernove che esplodono nella Via Lattea capaci di produrre Alluminio tecnicamente di tipo core-collapse, oscilla tra 1 e 3 per secolo.

L'eccezionale accuratezza nella misura dell'energia dei raggi Gamma rivelati da INTEGRAL ha permesso di vedere lo spostamento "Doppler" che la radiazione subiva seguendo il moto rotatorio della Via Lattea. Mentre la radiazione proveniente dalla zona centrale della Via Lattea non mostra alcuna modificazione, ciò non era vero per quella emessa da supernove esplose lontano dal centro, che quindi ruotavano con tutta la Galassia. Un modello accurato della distribuzione tridimensionale delle supernove ha dimostrato che lo spostamento in energia della riga dell'alluminio 26 è compatibile con il moto della Galassia. Inoltre la misura ha permesso di verificare che il numero di supernove che esplodono nella Via Lattea capaci di produrre Alluminio, tecnicamente di tipo "core-collapse", oscilla tra 1 e 3 per secolo.

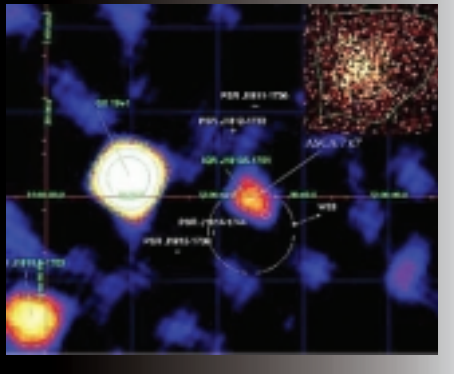
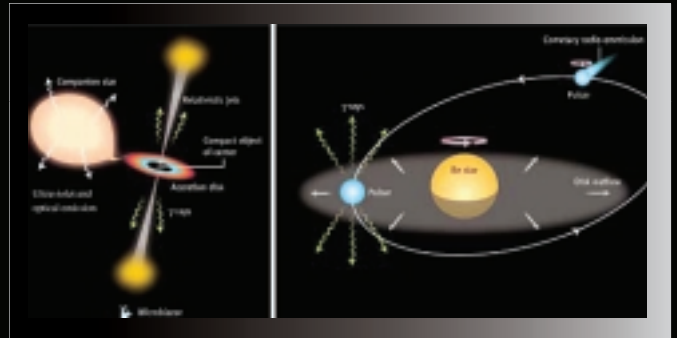
GLI ATOMI DI CUI SIAMO FATTI





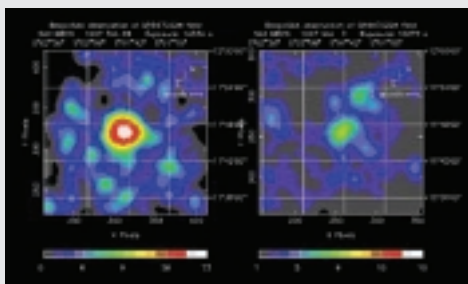
## Acceleratori cosmici in azione dal keV al TeV

Una delle più interessanti scoperte Astrofisiche del nuovo millennio è stata la rivelazione, con particolari Telescopi da terra detti "Cerenkov", dell'emissione di raggi Gamma di altissima energia da una serie di oggetti presenti nella nostra Galassia. La radiazione emessa ha una energia da mille a un milione di volte superiore a quella misurata da INTEGRAL. Gli astrofisici pensano che questa energia sia prodotta da MicroQuasars o da sistemi binari contenenti una stella di neutroni o un buco nero. Tanto modelli basati su jet emessi da Microquasars che su vento dovuto a Pulsar magnetizzate prevedono processi fisici simili ma non è ancora chiaro se l'enorme energia generata sia dovuta alla attrazione gravitazionale dei buchi neri o a particelle accelerate a velocità relativistiche dai campi magnetici delle stelle di neutroni rotanti.



Molte delle sorgenti di altissima energia scoperte con i telescopi "Cerenkov" sembravano non avere alcuna controparte a più bassa energia e la loro natura era incomprensibile. INTEGRAL è stato in grado di registrare il debole segnale che esse emettono nei raggi Gamma e ha potuto svelarne la natura. Successivamente alcune di loro sono state anche viste nella banda dei raggi X. Tutte le misure esistenti dimostrano che questi veri e propri acceleratori nello spazio sono in grado di produrre le maggiori energie mai registrate sino ad ora da oggetti celesti. Nonostante gli sforzi fatti, la natura di queste sorgenti non è ancora chiara ma alcune informazioni sono certe: appartengono alla Via Lattea e sono distribuite nel piano Galattico, sono in genere associate a zone contenenti supernove, stelle di neutroni rotanti e magnetizzate o buchi neri.

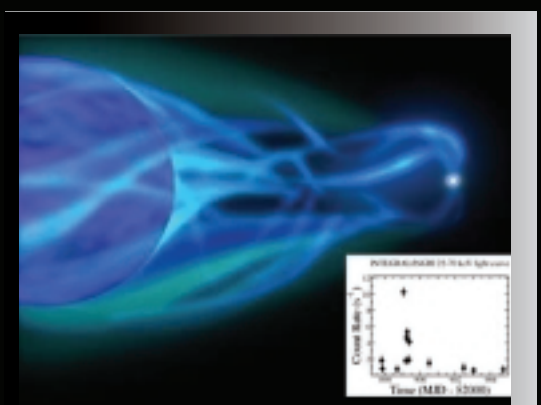
## Misteriosi Lampi Gamma



Sino dagli anni '60 i satelliti astronomici hanno registrato improvvisi lampi di raggi Gamma, sempre da direzioni diverse, circa una volta al giorno. Questi lampi possono durare pochi millesimi di secondo, fino a oltre un'ora. Essi diventano, per breve tempo, gli oggetti più brillanti del cielo gamma e non sono mai stati visti ripetersi. Per oltre 30 anni, gli Astronomi non sono stati in grado di capire se queste esplosioni avvenissero molto vicino al nostro Sole o ai limiti dell'Universo. Il 28 febbraio del 1997 il satellite italo-olandese BeppoSAX rivelava un forte lampo Gamma e ripuntava i telescopi di bordo verso la zona di emissione: venivano registrate le prime immagini in raggi X dell'esplosione Gamma avvenuta poche ore prima. Successivamente lo Hubble Space Telescope osservava la controparte ottica della sorgente X ed il mistero era risolto: i lampi Gamma provengono da oggetti lontanissimi, ai confini dell'Universo. Di conseguenza, l'energia che sprigionano è immensa e ciò li rende i fenomeni più energetici conosciuti. Ma ci sono ancora misteri irrisolti. Gli Astrofisici pensano che ci siano vari tipi di lampi Gamma: quelli generati dalla fine esplosiva di stelle giganti (Hypernovae), quelli dovuti a stelle di neutroni che si fondono dopo aver orbitato a lungo insieme ed infine quelli particolarmente brillanti in raggi X, dei quali ancora si ignora la natura. INTEGRAL osserva circa un lampo Gamma al mese, ne fa la posizione accurata ed in pochi secondi distribuisce l'informazione via web a tutta la comunità scientifica internazionale che è così informata in tempo reale. Questo permette a decine di telescopi robotizzati, che osservano nell'ottico, infrarosso, radio ed altissime energie, di essere puntati sulla zona dell'esplosione celeste. Spesso, i lampi Gamma rivelati da INTEGRAL sono osservati anche dal telescopio XMM Newton che fornisce informazioni dettagliate sulla emissione X oppure dalla missione SWIFT, che è equipaggiata per studiare l'affievolimento della luminescenza residua in raggi X.

## Transienti gamma con compagne supergiganti

INTEGRAL, durante le sue ricorrenti osservazioni del piano Galattico ha scoperto varie sorgenti di raggi Gamma che appaiono in cielo in poche decine di minuti e sono estremamente brillanti per alcune ore, per poi scomparire del tutto. Una loro caratteristica peculiare è quella di riaccendersi dopo mesi o anni con lo stesso tipo di comportamento. L'accuratezza delle immagini fornite dal telescopio IBIS ha permesso di identificarne la natura: una vera sorpresa. Queste "eruzioni" cosmiche sono dovute a sistemi di stelle binarie una delle quali è una stella giovane supergigante. La sua compagna è una stella di neutroni o, forse, una cosiddetta "nana bianca". La piccola compagna ruota all'interno del gigantesco involucro gassoso che circonda la stella supergigante. Finora, queste sorgenti non erano state osservate in dettaglio perché i raggi X non possono attraversare questa sorta di "bozzolo" stellare. E' per questo che INTEGRAL ne ha rivelate molte: i raggi Gamma attraversano facilmente anche gli enormi spessori di gas che circondano il sistema binario. Rimane ancora da capire perché si accendano e spengano in raggi Gamma in maniera così erratica.





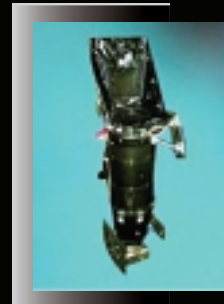
**L'imager Gamma IBIS** fornisce le più nitide immagini in raggi Gamma sino ad ora ottenute. E' in grado di localizzare le singole sorgenti con una precisione di 30 secondi d'arco che equivale a misurare la posizione delle persone all'interno di un assembramento posto a 1,3 km di distanza. Lo strumento, che opera nell'intervallo di energia 15 keV-10 MeV, consiste di un rivelatore per raggi Gamma composto da due strati di rivelazione: quello superiore è un mosaico di 16.384 blocchetti di CdTe, adatto ad operare alle basse energie, ed il secondo di 4.096 blocchetti di CsI, adatto alla rivelazione dei fotoni più energetici. La maschera codificata, in tungsteno dello spessore di 16 mm, è posta a 3,2 m dal rivelatore. I principali istituti coinvolti in IBIS sono: IASF/Roma, Italia, CEA Saclay, Francia e IASF/Bologna, Italia.



**Lo Spettrometro SPI** permette di misurare energie Gamma con eccezionale precisione. E' molto più sensibile di qualsiasi precedente strumento gamma di alta precisione. SPI è utilizzato per analizzare le sorgenti Gamma nell'intervallo di energia 20 keV - 8 MeV, usando un insieme di 19 rivelatori esagonali al germanio di grande purezza, raffreddati a -183 gradi Celsius (90 Kelvin). Per ridurre l'interferenza, il rivelatore è schermato da cristalli di BGO, disposti sul fondo e sui lati del rivelatore quasi fino alla maschera codificata. La sua massa è di 1.300 kg. Le principali istituzioni responsabili per SPI sono il CERS di Toulouse, Francia ed il MPE di Garching, Germania.



**Il Joint European X-Ray Monitor, JEM-X**, ha un ruolo cruciale come monitor per le energie più basse. JEM-X è formato da un paio di telescopi che fanno osservazioni simultanee con due strumenti Gamma principali e fornisce immagini nell'intervallo di energia da 3 a 35 keV con una risoluzione angolare paragonabile a quella di IBIS. Come IBIS e SPI, usa la tecnica della maschera codificata. Due maschere codificate sono poste a 3,2 m al di sopra del piano di rivelazione. Il rivelatore, un Imaging Micro-Strip Gas Counter (contatore a gas che fa immagini con i micro-strip), consiste di due strutture identiche riempite da una miscela di xenon e metano alla pressione di 1,5 bar, cioè 1,5 volte la normale pressione atmosferica al livello del mare. L'istituto responsabile è il DSRI in Danimarca con partecipazione dell'IASF di Roma e dell'Università di Ferrara.



**IL Monitor Ottico OMC** offre a INTEGRAL l'opportunità di fare, automaticamente, osservazioni simultanee della luce visibile proveniente da sorgenti X e Gamma. Tali osservazioni sono di particolare importanza nell'astrofisica delle alte energie perché l'emissione da una sorgente può variare rapidamente.

OMC può registrare oggetti di magnitudine 18,2 con una esposizione di 1.000 secondi, ed è fondamentalmente un telescopio a rifrazione tradizionale (cioè usa una lente per focalizzare la luce). Ha una lente di 5 cm e un CCD (rivelatore ad accoppiamento di carica) nel piano focale. L'istituto responsabile è INTA/LAEFF, Spagna.

## Una lunga tradizione da mantenere

Il primo satellite per raggi Gamma europeo è stato COS-B, lanciato nel 1975 dall'ESA. Ha assicurato agli Astronomi europei la leadership nel campo delle alte energie per lungo tempo. Seguirono poi la missione russo-francese GRANAT, il Compton Gamma Ray Observatory della NASA e, nell'aprile 1996, il satellite italo-olandese BeppoSAX. Dal 17 ottobre 2002 gli Astrofisici hanno un nuovo, potente strumento in orbita: INTEGRAL, l'Osservatorio Spaziale Gamma con la più elevata sensibilità. Nel 2004 INTEGRAL è stata affiancata dalla missione NASA SWIFT e nel 2007 si aggiungeranno anche le missioni Gamma di alta energia AGILE e GLAST, rispettivamente dell'Agenzia Spaziale Italiana e della NASA.

