

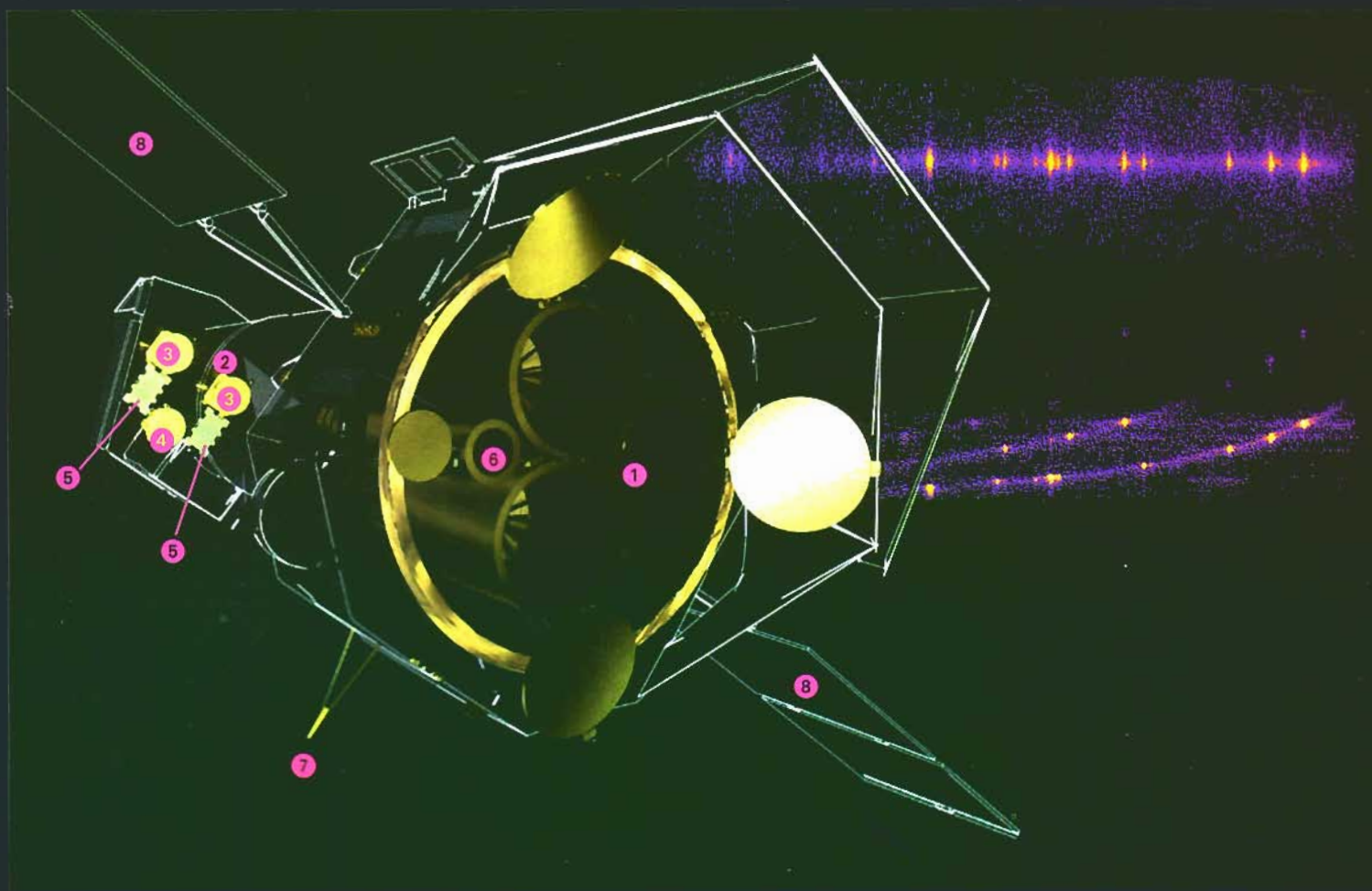
Parte XMM una grande scommessa europea

NON MOLTO TEMPO FA, lo scienziato americano Freeman Dyson faceva notare come nel campo delle scienze spaziali i maggiori progressi scientifici e tecnologici siano quasi sempre venuti dagli Stati Uniti. Un'affermazione sostanzialmente corretta, anche se non bisogna dimenticare i contributi importanti di altri Paesi, tra cui quelli europei. Infatti, se è vero che dal successo sovietico dello Sputnik in avanti la *leadership* nella corsa allo spazio è sempre stata saldamente nelle mani degli americani, non mancano certamente esempi di missioni scientifiche che hanno aperto capitoli nuovi nella storia dell'astronomia spaziale promosse da ricercatori e agenzie di altri Paesi. Fin dall'inizio delle sue attività, per esempio, l'Agenzia Spaziale

CARLO MUSSO

Il satellite che salpa
questo mese
è uno dei più raffinati
nella storia
dell'astronomia
spaziale:
è l'"Hubble"
dei raggi X.





Europa ha condotto un programma scientifico di tutto riguardo. COS-B, il primo satellite scientifico lanciato dall'ESA nel 1975, in oltre dieci anni di operazioni ha rivoluzionato l'astronomia gamma: misurando la direzione d'arrivo e l'energia dei fotoni ha permesso di scoprire, e in seguito di identificare, una trentina di sorgenti, tra cui il più famoso dei quasar, il 3C 273. Più recentemente, il satellite astrometrico *Hipparcos* ha misurato, nel corso dei quattro anni della sua vita, la posizione di 120 mila stelle con la precisione di un milionesimo di grado, che significa un incremento di almeno un ordine di grandezza rispetto alle misure precedenti. Questi dati stanno fornendo fondamentali informazioni sulla costituzione e sull'evoluzione delle stelle, oltre che sul comportamento dinamico della Galassia e sui più basilari parametri cosmologici. Bisogna poi ricordare le missioni EXOSAT (nei raggi X) e ISO (nell'infrarosso), la partecipazione alle attività dell'"Hubble" Space Telescope e i molti esperimenti scientifici condotti sullo Space Shuttle. E che dire del satellite BeppoSAX, fortemente voluto dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), senza le cui misure non sarebbe stato possibile stabilire la natura extragalattica dei *gamma-burst*, né porre su solide basi la ricerca di un

- ① Specchi per radiazione X
- ② Apparato di piano focale
- ③ Camera EPIC MOS
- ④ Camera EPIC p-n
- ⑤ Spettrografi RGS
- ⑥ Optical Monitor
- ⑦ Antenne di comunicazione
- ⑧ Pannelli solari

Le componenti principali del nuovo Osservatorio orbitante XMM. Sono stati evidenziati il "modulo di servizio", con gli apparati per la raccolta della radiazione X e l'Optical Monitor, e gli strumenti di piano focale. Sullo sfondo, la simulazione di uno spettro che potrebbe essere ottenuto con lo spettrometro RGS (Reflection Grating Spectrometer).

(nella pagina a fronte) L'Osservatorio dell'ESA durante le delicate fasi di preparazione. L'immagine ne evidenzia lo sviluppo in altezza, che supera i 10 m.

possibile meccanismo della loro produzione? L'agenzia spaziale giapponese NASDA, da parte sua, ha sviluppato un programma scientifico che, invece di puntare su grandi missioni con elevate prestazioni, lunghi tempi di realizzazione e alti costi, privilegia i satelliti medio-piccoli, che lancia puntualmente ogni cinque anni. Così facendo, i giapponesi sono spesso stati i primi a utilizzare tecniche innovative, che hanno aperto la strada a successivi sviluppi.

Ciò premesso, bisogna ammettere che anche una sbrigativa disamina dei più importanti traguardi raggiunti dall'uomo nelle scienze spaziali conferma in buona misura l'affermazione di Dyson: il programma Apollo per la conquista della Luna; le missioni planetarie Mariner, Pioneer, Viking, Voyager; lo Skylab; i grandi satelliti scientifici, IRAS (infrarosso), "Hubble" Space Telescope (visibile/ultravioletto), IUE (ultravioletto), "Einstein" (raggi X), "Compton" GRO (raggi gamma). Sono tutti progetti che hanno consolidato nel corso degli anni il primato americano nel campo della ricerca spaziale.

È pensabile sul medio periodo un cambiamento di rotta, che permetta all'Europa, se non di contrastare questa egemonia, quanto meno di inserirsi stabilmente nell'élite mondiale della scienza spaziale?

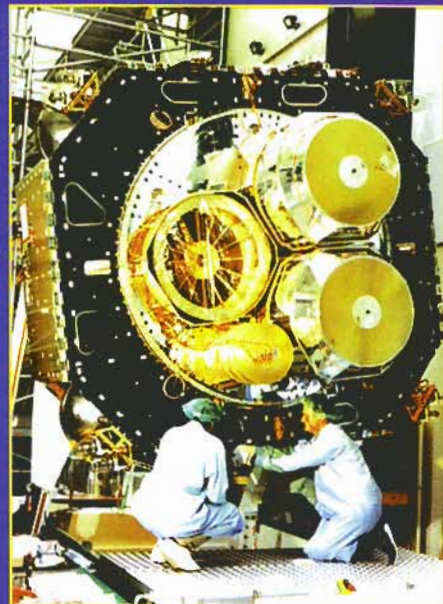
Oltre il Duemila

IL GIORNO 15 DI QUESTO MESE, se il programma verrà rispettato, dalla base di Kourou, nella Guyana Francese, l'ESA lancerà l'X-ray Multi Mirror (XMM), uno dei più ambiziosi satelliti per astronomia fin qui realizzati, che costituisce anche una delle pietre miliari dell'"Horizons 2000", il programma strategico dell'ESA per l'inizio del nuovo millennio: cominciato a metà degli anni '80, esso accompagnerà l'attività scientifica dell'Agenzia per i prossimi vent'anni.

L'XMM è stato giustamente paragonato all'"Hubble" Space Telescope: ci si aspetta che il suo ruolo nel campo dell'astronomia X sia di primissimo piano, analogamente a quello svolto nell'astronomia tradizionale dal famoso telescopio orbitante della NASA. Con i suoi due strumenti principali - EPIC (European Photon Imaging Camera) e RGS (Reflection Grating Spectrometer) - si potranno raccogliere immagini e spettri di sorgenti di raggi X, con energia compresa tra 0,1 e 10 keV, ossia fino a 100 volte più deboli rispetto a quelli raccolti dalle precedenti missioni. Dunque, con l'XMM l'Europa ha l'occasione per conquistare stabilmente un ruolo importante nel panorama mondiale delle grandi missioni spaziali.

A contendere all'XMM il primato nell'astronomia X dei prossimi anni ci sarà, tanto per cambiare, un satellite americano: l'Advanced X-ray Astrophysical Facility (AXAF, ribattezzato "Chandra", lanciato questa estate). Quelle dell'AXAF e dell'XMM sono due missioni molto simili per sforzo organizzativo, livello tecnologico e impegno economico.

Il "modulo di servizio" con i tre telescopi: quello a sinistra mostra la struttura a gusci cilindrici concentrici, mentre gli altri due sono chiusi. È anche visibile l'Optical Monitor, fra i due telescopi in basso. (cortesia Dornier Satellitensysteme GmbH)



(sopra) L'XMM viene sollevato all'interno della ESTEC Integration Facility a Noordwijk, in Olanda, per essere deposto in uno speciale container e trasportato verso la Guiana Francese, dove verrà lanciato.



(qui sopra) L'Osservatorio viene riassemblato dopo essere stato diviso in due parti per il trasporto. A sinistra si vede il "modulo di servizio" e a destra, appesa alla gru, la sezione con gli strumenti di piano focale. (cortesia D. de Chambure, XMM Project Team, ESTEC)

L'evoluzione dell'astronomia X

FORTUNATAMENTE PER GLI ESSERI VIVENTI, l'atmosfera assorbe gran parte dei raggi X e gamma, cioè dei fotoni di più alta energia provenienti dallo spazio. Per questo motivo l'astronomia X è una disciplina tipicamente spaziale e, di conseguenza, piuttosto giovane. La prima prova dell'emissione di raggi X da parte di un corpo celeste risale al 1949, quando un contatore Geiger in volo su un razzo V-2 rivelò i raggi X provenienti dal Sole. Il passo successivo si ebbe solo nel 1962, quando il gruppo di Riccardo Giacconi, utilizzando un rivelatore delle dimensioni di una carta di credito, ancora una volta posto a bordo di un razzo, osservò la prima sorgente X esterna al Sistema Solare.

Il primo satellite interamente dedicato all'astronomia X fu l'Uhuru (1970), che consentì di produrre un catalogo contenente 339 sorgenti. Successivamente un gran numero di missioni, sia su satelliti, sia su razzi e palloni stratosferici, ha costruito, passo dopo passo, la storia dell'astronomia X.

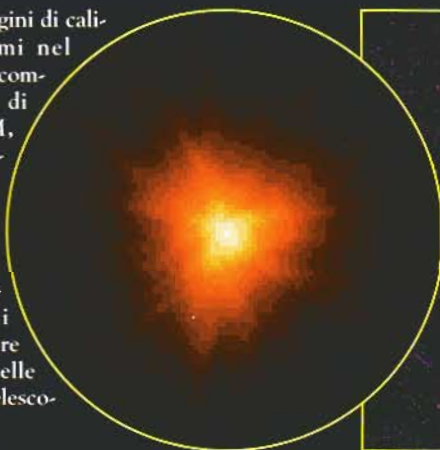
Le pietre miliari di questa storia sono rappresentate dalle missioni americane HEAO-1, che ha consentito di catalogare più di 600 sorgenti, e "Einstein", capace per la prima volta di ottenere immagini, focalizzando i fotoni X con l'impiego di un telescopio a incidenza radente, dal satellite tedesco-anglo-statunitense ROSAT, il cui prodotto primario è stata una mappa di tutto il cielo, comprendente oltre 60 mila sorgenti, e dal satellite giapponese (con partecipazione statuni-

Perché l'incidenza radente

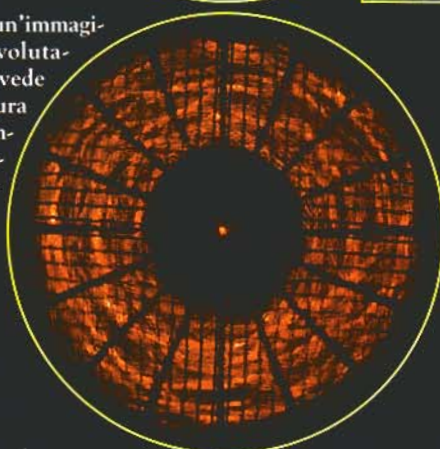
LA LUCE VISIBILE PUÒ ESSERE FACILMENTE FOCALIZZATA mediante specchi a sezione circolare. È quello che avviene normalmente nei grossi telescopi ottici. I radiotelescopi sfruttano una geometria simile, anche se diversi sono i materiali utilizzati. Nell'uno e nell'altro caso, i fotoni arrivano sulla superficie riflettente più o meno perpendicolarmente ad essa. I raggi X, invece, vengono riflessi solo se incidono sullo specchio viaggiando quasi paralleli alla sua

superficie, indicativamente a meno di 1° (*incidenza radente*). In caso contrario, il fotone viene assorbito. Un telescopio per raggi X è quindi simile a un tubo la cui superficie interna è modellata secondo una particolare geometria che consente di convogliare il fascio di raggi X in un unico punto a seguito di successive riflessioni radenti. Ogni irregolarità della superficie si traduce inevitabilmente in uno sparpagliamento dei fotoni intorno

(a destra) Due immagini di calibrazione puntiformi nel fuoco di un modulo completo (58 elementi) di specchi dell'XMM, prese al Centro Spaziale di Liegi. L'analisi della distribuzione dei fotoni attorno al centro consente di caratterizzare il comportamento degli specchi e di ricostruire forma e posizione delle sorgenti, quando il telescopio sarà operativo.



(a lato) Esempio di un'immagine di calibrazione volutamente sfocata. Si vede l'ombra della struttura di sostegno, che scompare quando il fuoco viene riaggiustato.



al punto focale teorico. Analogamente a quanto accade per l'astronomia tradizionale, è estremamente importante, per poter ricostruire accuratamente la posizione degli oggetti celesti e la forma delle sorgenti estese, conoscere in dettaglio la legge con cui i fotoni si distribuiscono in seguito all'interazione con gli specchi. Questa funzione può essere ricavata attraverso una serie di misure di calibrazione, da effettuarsi in laboratorio, che però sono molto complesse, dato che bisogna utilizzare sorgenti il cui spettro sia sufficientemente rappresentativo delle sorgenti reali.

tense) Astro-D, poi ribattezzato ASCA, il primo ad avere a bordo rivelatori di tipo CCD per astronomia X.

La missione più recente è rappresentata da BeppoSAX, il quale, grazie ai suoi numerosi strumenti, si distingue per la capacità di spaziare dalla banda X a quella gamma per oltre tre ordini di grandezza, da 0,1 a 200 keV. In questo senso, BeppoSAX si inserisce a buon diritto in quella che ormai sta diventando la caratteristica dominante dei grandi satelliti scientifici moderni, e cioè l'approccio multi-lunghezza d'onda.

Lo spettro elettromagnetico si estende dalle onde radio ai raggi gamma, e le energie in gioco variano di circa 20 ordini di grandezza. Per comprendere i meccanismi di emissione delle sorgenti celesti è importante analizzare in modo omogeneo i risultati di osservazioni fatte nel maggior numero possibile di bande spettrali. Questo significa confrontare dati rilevati con strumenti profondamente differenti, sia in termini di prestazioni, sia dal punto di vista tecnologico, e in condizioni osservative diversissime fra loro. Un tale esercizio non è sempre facile, e diventa davvero arduo quando si studiano fenomeni di breve durata, per i quali è difficile organizzare osservazioni coordinate.

Per questo motivo, e grazie ai progressi tecnologici che consentono di ridurre via via il peso e l'ingombro delle apparecchiature, le moderne missioni spaziali sono sempre più spesso attrezzate per compiere osservazioni a più lunghezze d'onda. È appunto il caso di BeppoSAX, ma anche del "Compton" Gamma-Ray Observatory della NASA, che con i suoi quattro strumenti permette di osservare dai raggi X "duri" (10 keV) ai raggi gamma molto energetici (30 GeV), coprendo sei decenni in energia.

Seguendo questa filosofia, l'XMM, pur essendo essenzialmente una missione X, porterà a bordo anche un piccolo telescopio ottico (Optical Monitor), decisivo per avere informazioni sulle controparti delle sorgenti X.

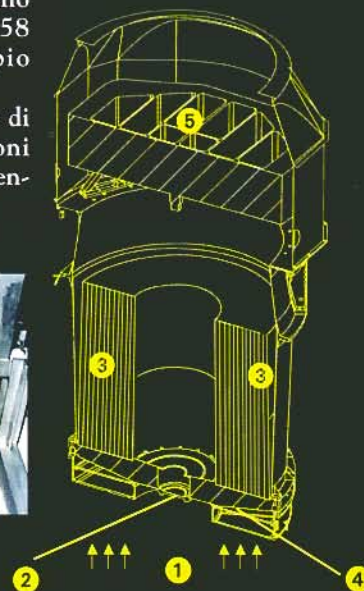
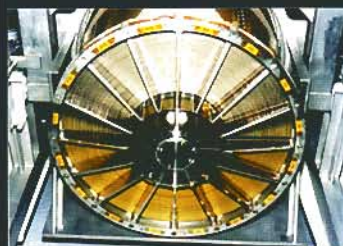
Ancora più indirizzata nel senso della flessibilità sarà la successiva missione dell'ESA, l'International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory (INTEGRAL). Questo satellite disporrà, oltre che di due strumenti per ottenere spettri e immagini nei raggi gamma, anche di un monitor X e di un telescopio ottico, coprendo così circa sette ordini di grandezza nella scala delle energie (da 1 eV a 10 MeV).

Un Osservatorio orbitale internazionale

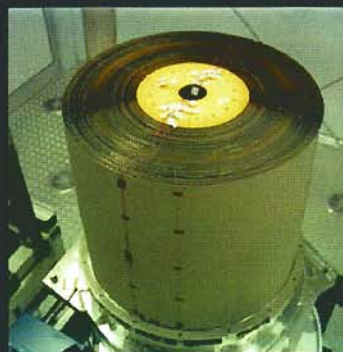
LA COMPLESSITÀ DI UN PROGETTO COME L'XMM, con strumenti molto diversi fra loro e tecnologicamente ai limiti delle possibilità attuali, richiede uno sforzo economico e organizzativo enorme. Nella realizzazione degli strumenti scientifici - EPIC, RGS e Optical Monitor - sono coinvolti una quindicina di centri di ricerca di sei Paesi europei, con la collaborazione anche di Università e laboratori americani, oltre che un gran numero di aziende europee, impegnate nella

(a destra) Lo schema di uno dei moduli che ospitano i 58 specchi di ogni telescopio dell'XMM.

(sotto) La parte posteriore di un modulo. Da qui i fotoni proseguono verso gli strumenti di piano focale.



- 1 Raggi X
- 2 Dispositivo di allineamento
- 3 Specchi
- 4 Supporto degli specchi
- 5 Reticolo

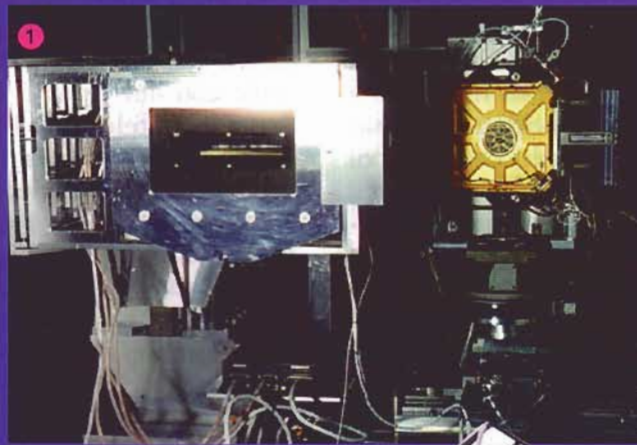


In quest'immagine si vede chiaramente la struttura a gusci cilindrici concentrici dei 58 specchi, distanziati di circa 1 mm uno dall'altro. (cortesia Media Lario)

costruzione della navicella.

Gli specchi, realizzati in Italia, costituiscono la parte fondamentale dell'intero sistema: dalla loro capacità di raccolta dei fotoni dipenderanno, in larga misura, la profondità delle osservazioni e la precisione nel posizionamento delle sorgenti e nella ricostruzione delle immagini. I raggi X possono essere focalizzati sfruttando il fenomeno dell'incidenza radente (si veda il riquadro nella pagina precedente): i fotoni che raggiungono la superficie dello specchio (un tubo di nichel lungo 60 cm al cui interno è depositato un sottile strato d'oro, perfettamente levigato) con un angolo di incidenza minore di 40 primi d'arco vengono convogliati verso il punto focale, posto, nel caso dell'XMM, a 7,5 m di distanza. Per rendere massima l'area di raccolta dei fotoni, ciascun telescopio dell'XMM è costituito da 58 moduli concentrici, distanziati di circa 1 mm l'uno dall'altro. In questo modo si ottiene un'area efficace dieci volte maggiore di quella del ROSAT. La massa complessiva dei telescopi (uno per ciascuno dei tre rivelatori che costitui-

(al centro della pagina) Una visione in trasparenza dell'XMM. In basso a sinistra si trovano i tre telescopi e l'Optical Monitor. In alto a destra sono visibili gli strumenti di piano focale: le camere EPIC MOS con i loro radiatori (in verde), il radiatore della camera EPIC p-n (in viola) e i due rivelatori dell'RGS (in azzurro) con i relativi radiatori (in arancione). (cortesia *Dornier Satellensysteme GmbH*)



2 La camera EPIC p-n: il CCD è posto al centro, circondato dagli altri componenti elettronici. (cortesia *MPE Halbleiter-Labor, Garching*)

3 Il piano focale del rivelatore di tipo p-n per EPIC. I dodici "chip" dello strumento sono montati su un unico wafer di silicio.

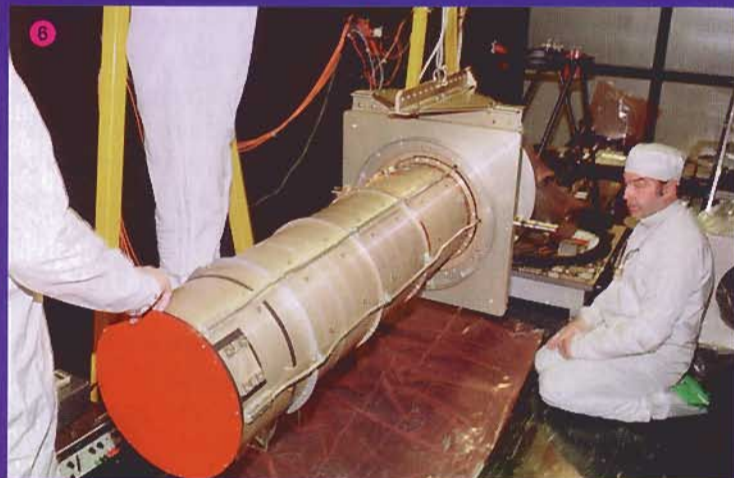
4 Piano focale di un rivelatore di una delle due camere MOS di EPIC, con i sette chip. In assetto di volo i sei periferici saranno complanari e lo spazio tra uno e l'altro sarà praticamente nullo. Sono visibili i circuiti stampati flessibili che collegano i chip all'elettronica di bordo.

5 La camera EPIC MOS completamente assemblata, con il radiatore conico di raffreddamento.

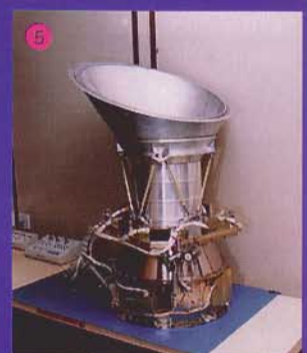


1 La RGS Focal Camera ripresa di fronte, cioè dalla direzione di provenienza della radiazione X. Sono visibili i CCD che formano lo strumento. (cortesia *Space Research Organization of Netherlands*)

7 Uno dei rivelatori dell'RGS (Reflection Grating Spectrometer) posto sotto il suo radiatore di raffreddamento. I due rivelatori, collocati dietro due dei tre telescopi, consentiranno di ottenere alte risoluzioni nella banda compresa fra 0,35 e 2,5 keV grazie a due camere CCD che misureranno la posizione dei fotoni raccolti: a posizioni diverse corrisponderanno energie diverse.



6 L'Optical Monitor presso l'MSSL (Mullard Space Science Laboratory), prima di essere installato sull'XMM. Si tratta di un piccolo telescopio ottico che avrà il compito di ricavare informazioni sulle controparti delle sorgenti X.



scono l'EPIC) è di quasi una tonnellata e mezza, cioè più di un terzo della massa totale dell'intero satellite.

Nella banda spettrale da 0,1 a 10 keV, l'EPIC sarà in grado di produrre immagini di sorgenti con flussi fino a dieci milioni di volte più deboli di quello della pulsar posta al centro della Nebulosa Granchio e spettri di sorgenti con flussi un milione di volte minori. Alcuni modi di lettura dei CCD piuttosto sofisticati permetteranno di eseguire anche l'analisi temporale dei segnali, alla ricerca di eventuali periodicità, inferiori addirittura a un millisecondo.

L'EPIC è uno strumento estremamente complesso, con tre rivelatori indipendenti, realizzati seguendo due diverse tecnologie. Due di essi sfruttano la tecnologia dei CCD tradizionali, benché sviluppata in maniera innovativa per l'applicazione ai raggi X. Il terzo rivelatore, invece, utilizza un dispositivo del tutto nuovo da cui ci si aspettano prestazioni di altissimo livello, in particolare un'elevata efficienza di rivelazione per i raggi X poco energetici (circa 0,1 keV).

Per sfruttare al meglio le potenzialità di uno strumento che dovrà essere in grado di puntare sorgenti estremamente differenziate tra loro - deboli e brillanti, puntiformi ed estese, variabili - sono previsti diversi modi di operazione dei CCD e la possibilità di selezionare filtri per eliminare la contaminazione di fotoni ottici e ultravioletti, provenienti dagli stessi oggetti che si vogliono analizzare nei raggi X, che contribuisce a innalzare il livello di rumore dello strumento.

Il secondo strumento, l'RGS, permetterà di fare spettroscopia ad alta risoluzione nella banda di energia da 0,35 a 2,5 keV. Si tratta di uno spettrometro a diffrazione con due reticoli situati immediatamente dietro due dei tre telescopi, in modo da deviare parte della radiazione raccolta dagli specchi con angoli diversi a seconda dell'energia. Due rivelatori CCD, posti anch'essi nel piano focale, raccoglieranno i fotoni, misurandone la posizione: a posizioni differenti corrisponderanno differenti energie, e così sarà possibile risolvere nella loro struttura le righe di emissione di molti elementi, quali il ferro, il nichel, l'ossigeno e il silicio.

Il terzo strumento, l'Optical Monitor, è un telescopio

40

Satellite	Area efficace (cm ²)	Risoluzione angolare 1-1,5 keV	Risoluzione spettrale (ΔE/E) 0,5-1 keV
ROSAT	300	5"	0,42
Astro-E	400	45"	0,01
AXAF	900	0",5	0,05
XMM	6000	5"-10"	0,07 (EPIC) 0,0025 (RGS)

La tabella mostra le caratteristiche di quattro fra i più recenti Osservatori orbitanti dedicati alla ricerca nella banda X dello spettro elettromagnetico. ROSAT ha sospeso le operazioni pochi mesi or sono. AXAF è stato appena immesso in orbita e ha cominciato da poco a rilasciare le prime, spettacolari immagini. Il giapponese Astro-E non è stato ancora lanciato.

La natura delle sorgenti di raggi X

I RAGGI X SONO FOTONI MOLTO ENERGETICI, tipicamente con energia compresa tra 0,1 e 10 keV. Nel cosmo molti fenomeni fisici portano alla produzione di questa radiazione, che può essere molto diversa, a seconda dei casi, sia per intensità che per caratteristiche spettrali.

In moltissime situazioni l'emissione X può essere ricondotta alla presenza di un plasma caldo, con temperature generalmente comprese tra un milione e cento milioni di gradi: succede così nelle corone stellari, che si sono rivelate una delle fonti più frequenti di radiazione X.

Un caso diverso è quello dei sistemi binari, dove un oggetto compatto - nana bianca, stella di neutroni, buco nero - sottrae materia alla stella compagna, trasformando l'energia potenziale gravitazionale in energia termica, che viene emessa come *radiazione di corpo nero*.

Nelle galassie, il mezzo interstellare diffuso produce anch'esso radiazione X, che si aggiunge a quella risultante dalla somma delle sorgenti di tipo stellare. In modo analogo, negli ammassi di galassie il mezzo intergalattico è responsabile di gran parte dell'emissione X.

Infine, i nuclei galattici attivi (AGN), come i quasar, le galassie di Seyfert o gli oggetti tipo BL Lac, vanno soggetti a fenomeni di accrescimento, similmente a ciò che accade nei sistemi binari stellari. La luminosità X di questi oggetti raggiunge valori dell'ordine di 10⁴⁵ erg/s; si pensi che la luminosità del Sole, integrata su tutto lo spettro elettromagnetico, vale circa 10³³ erg/s, cioè è mille miliardi di volte minore. Si tratta dunque delle sorgenti di raggi X più luminose finora conosciute.

L'emissione di tipo termico, tuttavia, non esaurisce la casistica delle osservazioni. Molti oggetti compatti, quali le stelle di neutroni e le nane bianche, emettono fotoni X come *radiazione di sincrotrone*, prodotta dall'interazione di particelle cariche relativistiche con campi magnetici di elevata intensità.

A questo scenario già abbastanza complesso si aggiunge un ulteriore elemento, che è il fondo X diffuso. È stata una delle prime scoperte nel campo dell'astronomia X, ed è anche una delle più difficili da comprendere: si tratta di una radiazione altamente isotropa, il cui spettro non sembra possa essere semplicemente ricondotto alla somma delle emissioni di tutte le sorgenti non risolte conosciute.

di tipo Ritchey-Chretien modificato, di 30 cm di diametro, capace di rivelare in un migliaio di secondi di posa stelle di magnitudine 24. La sua funzione principale sarà quella di individuare le controparti ottiche di sorgenti X puntate con l'EPIC e con l'RGS. Di particolare interesse saranno le osservazioni combinate in ottico, ultravioletto e X di sorgenti variabili o di fenomeni transitori.

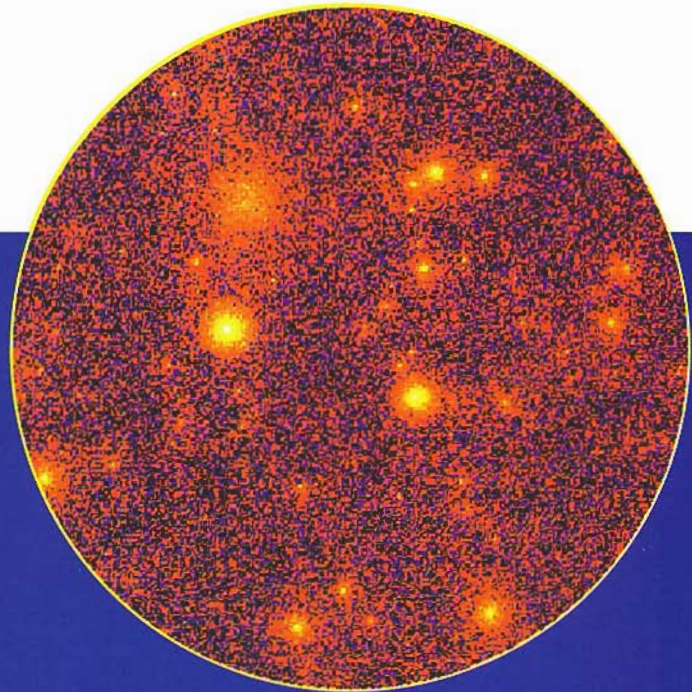
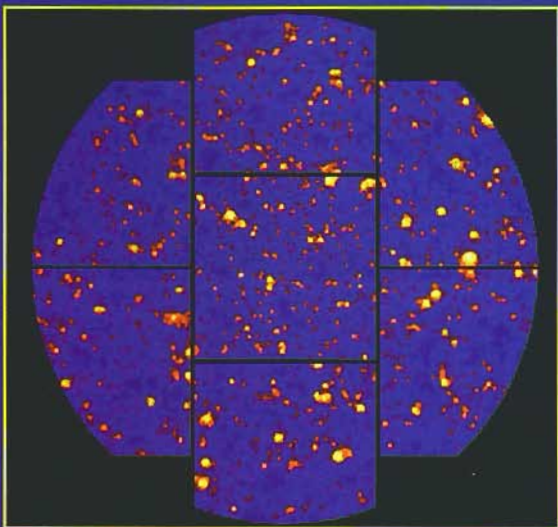
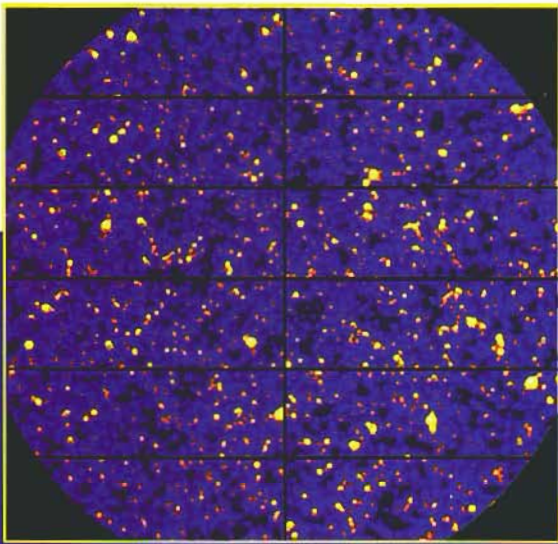
L'XMM avrà la capacità di osservare praticamente tutti i tipi di sorgenti X già note, abbassando il flusso minimo rilevabile di circa due ordini di grandezza. Un'orbita di 48 ore, fortemente ellittica, lo porterà fuori dalle fasce di radiazione per la maggior parte del tempo, consentendo lunghe esposizioni, senza le interruzioni dovute all'occultazione da parte della Terra e grazie al contatto continuo con le stazioni al suolo. L'efficienza di osservazione, cioè il rapporto tra il tempo utile di osservazione e il tempo totale della missione, sarà così di circa il 70%.

La missione, dato il suo alto costo in termini economici e di impegno scientifico e tecnologico, è stata studiata in modo che possa produrre dati scientifici per almeno dieci anni.

È evidente che uno strumento di questo genere non poteva essere destinato a una parte soltanto, per quanto estesa, della comunità astronomica. E infatti l'ESA ha concepito l'XMM come un Osservatorio orbitante, destinato a essere sfruttato a fondo dal maggior numero possibile di scienziati. Se si esclude una parte del tempo - in particolare durante il primo anno di attività - riservata agli Istituti che hanno contribuito alla sua realizzazione, il resto del tempo utile verrà messo a disposizione degli scienziati di tutto il mondo. Il metodo per selezionare le proposte di osservazione sarà quello classico, utilizzato anche per i telescopi a terra: le proposte ricevute saranno sottoposte a un apposito comitato e valutate secondo criteri oggettivi. Su questa base verranno assegnati i periodi di osservazione.

Quale scienza con l'XMM?

QUESTA FILOSOFIA DI UTILIZZO, unita alla grande versatilità degli strumenti, rende difficile parlare del tipo di scienza che si pensa di fare con l'XMM. Infatti l'idea, ambiziosa, è quella di poter affrontare tutti i temi



(a sinistra) Il fondo X diffuso è una radiazione altamente isotropa, che necessita di una grande capacità di raccogliere fotoni per essere studiata. Le due immagini mostrano la simulazione della risposta di EPIC (con i suoi diversi rivelatori) a un'esposizione di 200.000s di un campo privo di sorgenti brillanti. Il fondo X è stato simulato sommando il contributo di sorgenti debolissime attualmente non rilevabili.

(in alto) Simulazione di un'esposizione profonda, di 50.000s, effettuata dal rivelatore p-n di EPIC. Si è ipotizzato che nel campo compaiano tanto sorgenti puntiformi quanto deboli sorgenti estese. L'immagine è già stata trattata dall'elettronica di bordo, al fine di eliminare i raggi cosmici. (cortesia P. Tognon, IFC-CNR)

scientifici più rilevanti dell'astronomia X. È possibile, tuttavia, dare alcune idee sui risultati principali che si potranno raggiungere nel corso della missione.

L'analisi di spettri X estremamente dettagliati permetterà di studiare i meccanismi di emissione delle corone stellari, e al tempo stesso consentirà di fare il bilancio energetico dei brillamenti stellari grazie ai contemporanei dati ottici, apprezzando variazioni dell'ordine di millesimi di magnitudine. Grazie ai dati ottici relativi alla compagna della sorgente X, potranno inoltre essere capiti meglio molti aspetti della dinamica dei sistemi binari.

Le pulsar X saranno studiate sotto diversi aspetti, in modo del tutto nuovo. Nei casi più favorevoli, l'analisi temporale dell'EPIC avrà una precisione migliore del millisecondo, mentre l'RGS permetterà di determinare il rapporto massa/raggio delle stelle di neutroni, misurando *redshift* gravitazionali dell'ordine dello 0,3%, e i loro campi magnetici grazie all'effetto Zeeman.

Per i resti di supernova, la combinazione delle immagini e degli spettri ad alta risoluzione darà risultati spettacolari, evidenziando l'andamento spaziale della temperatura, della composizione chimica e dello stato di ionizzazione del plasma.

L'EPIC potrà anche risolvere sorgenti X nelle galassie vicine, fornendo elementi preziosi per la comprensione dello sviluppo degli scenari evolutivi. Nello studio di molte sorgenti extragalattiche, come i nuclei galattici attivi e gli ammassi di galassie, si potranno risolvere, per la prima volta, gli spettri, separando le componenti termiche da quelle non-termiche. Negli ammassi di galassie, l'emissione termica è dovuta principalmente al plasma intergalattico ad alta temperatura, mentre l'emissione non-termica è causata dallo scambio di energia tra gli elettroni relativistici e i fotoni di bassa frequenza. Nei nuclei galattici attivi l'emissione termica si sviluppa nel disco di accrescimento attorno al buco nero centrale, mentre l'emissione non-termica è dovuta a elettroni relativistici che interagiscono con il campo magnetico.

In molti casi si misurerà il *redshift* direttamente dalle righe di emissione e si potrà studiare il bilancio energetico delle varie componenti spettrali, analizzando statisticamente come evolve il rapporto tra la luminosità X e la luminosità ottica con il variare del *redshift* stesso. Sarà possibile inoltre determinare la distanza assoluta di molti ammassi, e questo sarà di grande aiuto per ricavare il valore di alcuni parametri cosmologici, come la costante di Hubble.

Infine, l'Optical Monitor costruirà, come sottoprodotto dei dieci anni di attività, una mappa nell'ultravioletto di buona parte del cielo.

La competizione continua

PURE SE LA COMPARAZIONE DEI FLUSSI in bande energetiche diverse ha un valore puramente indicativo, il confronto con le prestazioni dei migliori strumenti

astronomici attualmente operativi può dare un'idea della qualità dell'XMM.

Nelle onde radio, il radiointerferometro VLA (Very Large Array) arriva a limiti di flusso che vanno dalla magnitudine 21 alla 27, a seconda della banda. Nell'infrarosso il satellite europeo ISO (Infrared Space Observatory) riesce a vedere oggetti dell'ordine della magnitudine 26. Nel visibile, i migliori telescopi al suolo, come l'americano Keck o l'europeo Very Large Telescope (VLT) possono arrivare alla magnitudine 25, mentre l'HST si spinge fino alla 28. Infine, nell'ultravioletto i migliori risultati sono ancora quelli dell'"Hubble", che può raccogliere spettri di oggetti fino alla magnitudine 22. Per l'XMM l'aspettativa è di riuscire a rivelare oggetti corrispondenti alla magnitudine 23, il che vorrebbe dire portare l'astronomia X al livello di profondità di ricerca dei settori operanti nelle altre bande.

Un confronto più significativo è però quello relativo agli altri telescopi per astronomia X, sia del recente passato sia del futuro prossimo.

Nella tabella che abbiamo proposto a pag. 40 sono messe a confronto alcune caratteristiche di quattro missioni per astronomia X particolarmente significative: il ROSAT, il satellite tedesco di cui abbiamo già parlato, l'Astro-E, il quinto satellite scientifico del programma giapponese (che ancora non è stato lanciato), l'AXAF e appunto dell'XMM, i due "rivali" lanciati a pochi mesi di distanza l'uno dall'altro. ROSAT ha già portato a termine con successo la sua missione e ha sospeso le operazioni nei primi mesi di quest'anno.

I suoi dati hanno fornito un contributo di tutto rispetto all'astronomia X, e molti devono essere ancora analizzati. Astro-E è un progetto con prestazioni modeste, ma ridotti sono anche i costi e il tempo di sviluppo. AXAF punta tutto sulla risoluzione spaziale, che dovrebbe raggiungere livelli di assoluto valore, al di sotto del secondo d'arco.

Questa capacità sarà fondamentale per la ricerca di controparti ad altre lunghezze d'onda delle sorgenti puntiformi e per lo studio spettrale delle sorgenti estese. La carta vincente dell'XMM dovrà essere la grande area di raccolta degli specchi, che permetterà di studiare in dettaglio un grandissimo numero di sorgenti.

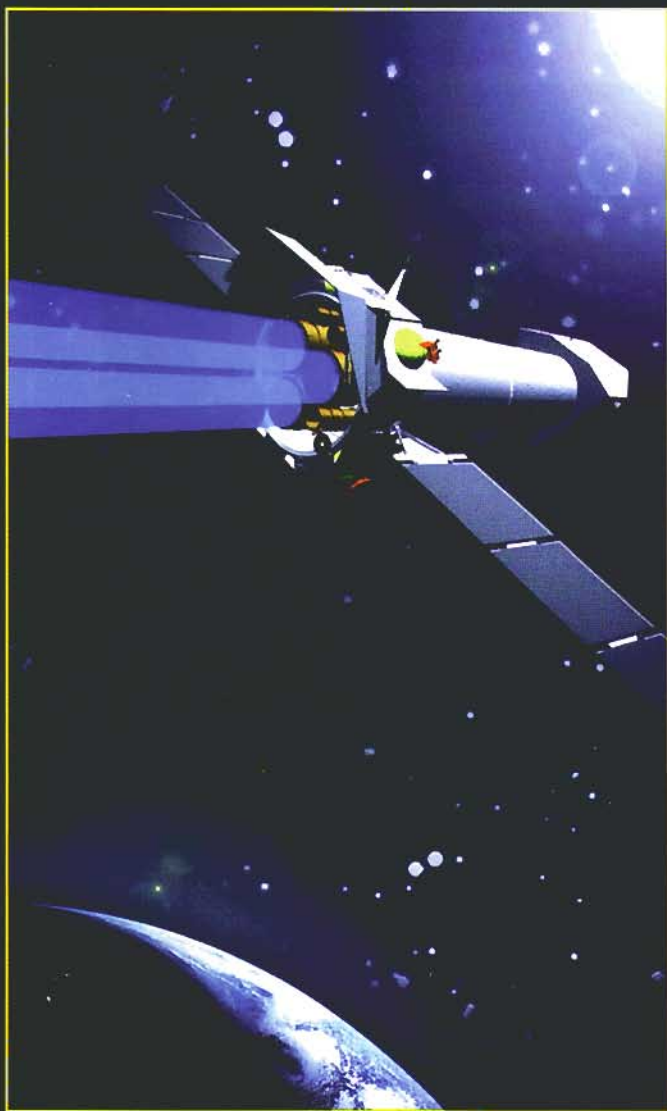
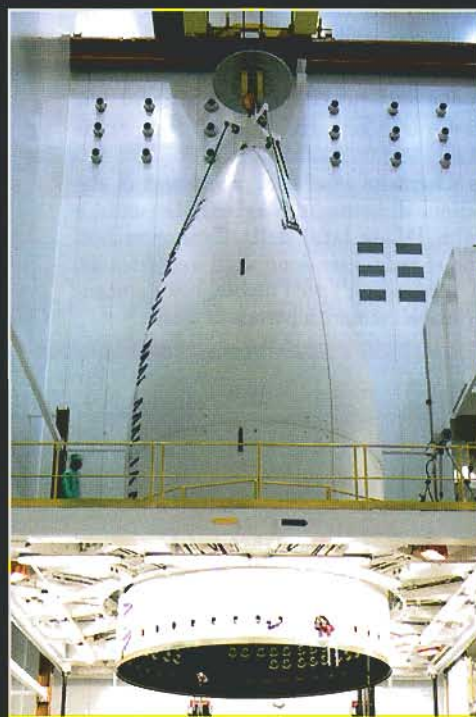
La vita degli oggetti celesti è, in generale, molto lunga: centinaia di migliaia, milioni o miliardi di anni. Questo significa che la loro evoluzione non può essere apprezzata neppure da intere generazioni di studiosi. Si può tuttavia disegnare possibili scenari evolutivi studiando diversi oggetti di una medesima classe, che si trovino in differenti stadi della loro evoluzione. Per fare questo, però, è necessario disporre di dati relativi a un elevato numero di oggetti per ciascuna classe di sorgenti. Grazie alla sua grande area efficace, l'XMM sarà in grado di fornire agli astronomi questi dati, per quasi tutti i tipi di sorgenti celesti di raggi X. In definitiva, non è facile dire chi sarà il migliore, e

(a destra) Il Final Assembly Building: l'edificio a Kourou nel quale l'XMM è stato riassemblato dopo un viaggio durato una decina di giorni. L'immagine è stata presa nell'ottobre 1998, in occasione del lancio di Ariane 503.

(al centro) L'Osservatorio orbitante sta per essere sbarcato nel porto di Paracaibo nella Guiana Francese.

(in basso a destra) La carenatura di Ariane che proteggerà l'XMM durante il lancio che lo porterà in orbita, ripresa all'interno del Final Assembly Building.

(qui sotto) Una tavola pittorica che mostra l'XMM in orbita.



probabilmente non è questa la domanda giusta da porsi.

Il dato importante per l'astronomia europea è che l'XMM sarà realmente competitivo e che potrà rivestire un ruolo guida non solo nell'ambito dell'astronomia X, ma, più in generale, nello sviluppo delle grandi missioni spaziali dei prossimi anni.

CARLO MUSSO è nato a Roma nel 1966. Laureatosi in Fisica all'Università di Genova, ha lavorato per quattro anni nella Collaborazione EPIC per la realizzazione dello strumento principale del satellite XMM, occupandosi, in particolar modo, degli aspetti scientifici e organizzativi della calibrazione. Attualmente fa parte dell'Area per la Ricerca Scientifica dell'Agenzia Spaziale Italiana.