

Inizia la sua missione il satellite AXAF ("Chandra"),
il terzo dei Grandi Osservatori della NASA.

La sua caratteristica principale è la straordinaria risoluzione angolare e in energia.

ROBERTO
MIGNANI



Mai così nitido

l'Universo X

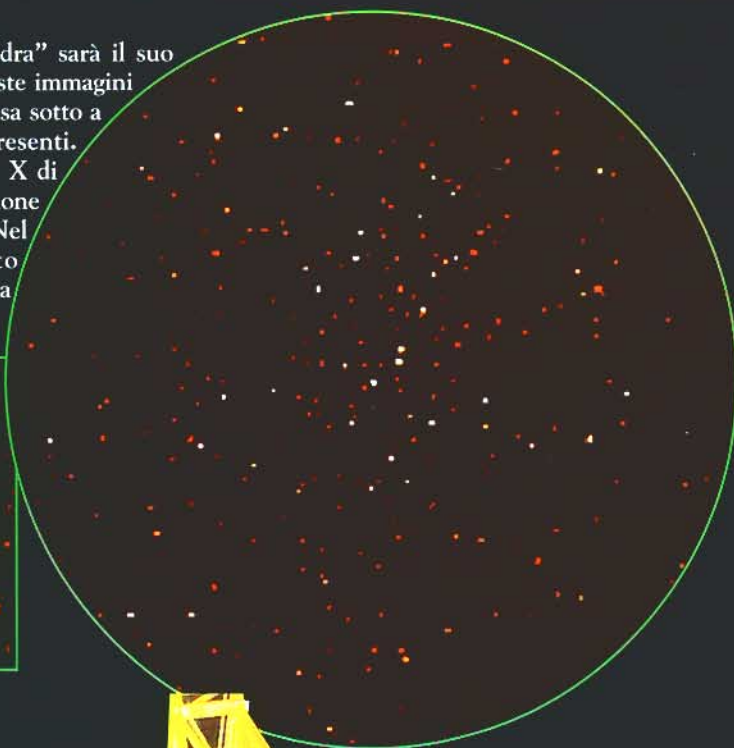
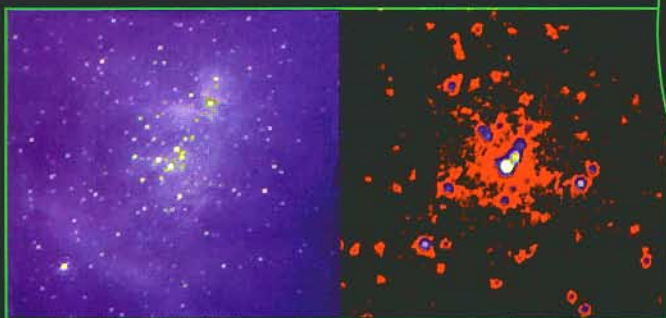


(qui sopra) Un disegno della NASA del satellite per raggi X "Chandra".

(a lato) Il logo della missione.

(pagina a fronte) Il satellite "Chandra" durante le ultime fasi di montaggio nelle officine della TRW Space and Electronics Group, di Redondo Beach, in California. (foto TRW)

La caratteristica più innovativa dell'Osservatorio X "Chandra" sarà il suo eccezionale potere risolutivo, illustrato dal confronto di queste immagini della regione del Trapezio nella nebulosa di Orione. La ripresa sotto a sinistra, in infrarosso, evidenzia le molte giovani stelle presenti. Accanto a essa una ripresa di ROSAT, effettuata nei raggi X di bassa energia, mostra le zone più calde, ma con una risoluzione insufficiente per individuare con certezza le singole stelle. Nel cerchio a lato è riportata una simulazione di quanto "Chandra" potrà rivelare: la risoluzione è paragonabile a quella ottenuta tramite osservazioni infrarosse da Terra.



L 1999, TAPPA OBBLIGATA per le immane riflessioni di fine millennio, chiude un periodo fondamentale nella storia dell'astronomia moderna. Gli anni '90, infatti, hanno visto la messa in orbita del primo telescopio ottico spaziale, l'HST, l'entrata in funzione della nuova generazione di telescopi ottici terrestri della classe dei 10 m (i due Keck, l'Hobby-Eberly, il VLT) e il prepotente affermarsi delle missioni di astronomia spaziale, ormai dedicate praticamente a ogni finestra dello spettro elettromagnetico. Un ruolo di primo piano in questo decennio l'ha avuto sicuramente l'astronomia X con ben quattro missioni spaziali a essa dedicate. Nel 1990, infatti, venne lanciato il satellite tedesco ROSAT, nel 1993 il giapponese ASCA, seguito nel 1995 dall'X-Ray Timing Explorer (XTE) della



NASA e infine, nel 1996, dall'italiano BeppoSAX. Gli astrofisici delle alte energie hanno quindi vissuto in una sorta di paradiso per un paio di anni avendo contemporaneamente a disposizione ben quattro diversi satelliti con caratteristiche complementari. ROSAT, infatti, era lo strumento ideale per lo studio delle sorgenti di raggi X "molliti", mentre ASCA si faceva preferire per la migliore risoluzione spettrale, XTE per la maggiore accuratezza nella temporizzazione dei fotoni rivelati, l'ideale per lo studio di sorgenti rapidamente variabili, e BeppoSAX per la vasta copertura spettrale, senza precedenti per una singola missione di astronomia X. Di questo quartetto, solo il ROSAT non è più della partita [vedi l'astronomia n. 197, pag. 12] essen-

Si chiamerà "Chandra"

COME GLI ALTRI GRANDI OSSERVATORI DELLA NASA, anche l'AXAF verrà ribattezzato con il nome di un grande astronomo del passato: "Chandra", diminutivo con il quale era noto agli amici il fisico di origine indiana Subrahmanyan Chandrasekhar, uno dei protagonisti dello sviluppo dell'astrofisica stellare e, in assoluto, una delle personalità scientifiche più prestigiose di questo secolo.

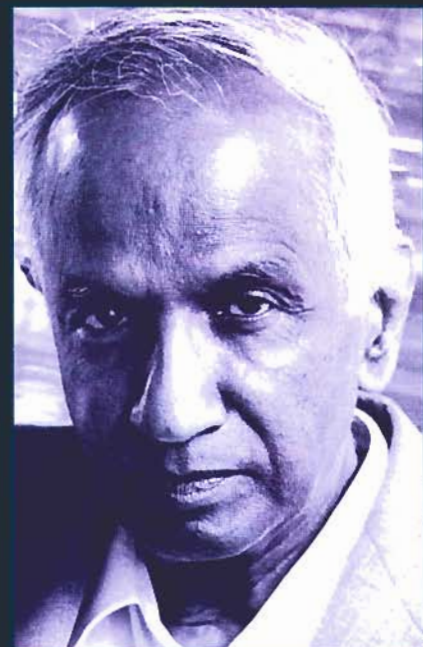
Nato nel 1910 a Lahore, a quel tempo parte dell'India britannica, ottenne il dottorato di ricerca in fisica nel 1933 presso l'Università di Cambridge. Nel 1937 si trasferì negli Stati Uniti dove lavorò presso l'Università di Chicago, rimanendovi per circa sessant'anni, e presso l'Osservatorio di Yerkes, uno dei più prestigiosi dell'epoca.

Condusse a termine numerosi lavo-

ri fondamentali nel campo della fisica stellare, e il suo nome rimarrà per sempre legato, in particolare, agli studi teorici compiuti sulle nane bianche, nei quali applicò, tra i primi in astrofisica, i principi della fisica dei gas degeneri. Questi studi portarono a definire, per la massa delle nane bianche, un limite superiore teorico di 1,4 masse solari, da allora noto come *limite di Chandrasekhar*.

Oltre che per i suoi contributi scientifici, il nome di Chandrasekhar va ricordato anche per i grandi meriti nella didattica dell'astronomia. Molti dei libri da lui scritti, tra i quali il famoso *Stellar Physics*, sono stati usati come testi da diverse generazioni di studenti di tutto il mondo.

Chandrasekhar fu per circa vent'anni direttore del prestigioso *The*



Subrahmanyan Chandrasekhar

Astrophysical Journal, la rivista di astrofisica più importante ed autorevole del mondo.

Nel 1983 ricevette, assieme a W.A. Fowler, il Premio Nobel per la fisica.

20

do stato pensionato anticipatamente per un inconveniente capitato all'ultimo strumento ancora operativo. Il suo posto, comunque, non rimarrà vacante per molto tempo, dal momento che sta per essere rilevato da un nuovo satellite per astronomia X della NASA: l'AXAF, acronimo per Advanced X-ray Astrophysics Facility. L'AXAF è il terzo satellite della serie Grandi Osservatori della NASA e rappresenta, in assoluto, la sesta missione di astronomia X statunitense dopo il precursore UHURU (1970-71), l'Ariel-5 (1974-79), il SAS-3 (1975-79), l'HEAO-2 (1978-80) e il già citato XTE.

Il terzo dei "Grandi Osservatori"

IL PROGRAMMA "GRANDI OSSERVATORI" della NASA consiste in una serie di quattro satelliti astronomici, ognuno dedicato allo studio del cielo in bande elettromagnetiche diverse, dal submillimetrico fino ai raggi gamma più energetici.

Il primo satellite della serie a essere lanciato fu il Telescopio Spaziale "Hubble" (HST), messo in orbita dallo Shuttle nel 1990, dedicato inizialmente alla regione visuale dello spettro e al vicino ultravioletto e poi esteso, con l'installazione di nuovi strumenti, fino al vicino infrarosso. Il secondo fu il Gamma Ray Observatory (GRO) "Compton", dedicato interamente ai raggi gamma e operativo anch'esso dal 1990. L'ultimo sarà lo Space Infrared Telescope Facility (SIRTF), una missione dedicata all'infrarosso e programmata per il 2001.

Come gesto di omaggio nei confronti dei più illustri astronomi e fisici del passato, questi satelliti sono stati ribattezzati con i loro nomi, proseguendo una tradizione incominciata con il satellite HEAO-2, ribattezzato "Einstein" per essere stato lanciato nell'anno del centenario della nascita del grande Albert. Così, all'HST è stato dato il nome di Edwin Hubble, astronomo ottico, al GRO quello di Arthur Compton, fisico delle alte energie e all'AXAF quello di Subrahmanyan Chandrasekhar (vedi riquadro qui sopra), mentre il SIRTF è ancora in attesa di battesimo.

Dopo molti ritardi, l'AXAF viene lanciato in questi giorni (la finestra si apre il 20 luglio), per mezzo di uno Space Shuttle. Inizialmente, l'AXAF venne progettato per operare su un'orbita bassa ed essere così accessibile a periodiche missioni di manutenzione, esattamente come avviene per l'HST. Nel 1992, però, considerazioni di bilancio costrinsero la NASA a una drastica revisione dell'intera missione e ad abbandonare l'idea utile, ma estremamente costosa (il preventivo per ogni volo dello Shuttle è di circa 400 milioni di dollari!), di effettuare revisioni in orbita del satellite.

Comunque, non tutto il male viene per nuocere. Poiché non era più necessario dislocare il satellite su un'orbita bassa, si decise di scegliere un'orbita operativa il più distante possibile dalla Terra. Questa scelta presenta innegabili vantaggi. Prima di tutto, a un apogeo di 140 mila km (quello dell'AXAF), le dimensioni apparenti del nostro pianeta risultano estremamente ridotte e la regione di cielo occultata è minima, il che permette al telescopio di osservare per circa l'80% dell'intera orbita. Inoltre, a questa distanza il satellite non soffre di tutti gli stress termici causati dal passaggio continuo tra la parte di orbita

illuminata dal Sole e quella notturna, come avviene per l'HST. Un ultimo vantaggio, infine, è quello di evitare gli effetti nefasti che il passaggio periodico attraverso le fasce di radiazioni circumterrestri induce sulla delicata elettronica di bordo e sugli strumenti di rivelazione.



Una donna comandante

IL LANCIO DELL'AXAF è uno dei compiti della missione STS-93 che vede impegnato in questi ultimi giorni di luglio lo Shuttle Columbia, il veterano della flotta di navette spaziali. Il Columbia fu il primo Shuttle a volare nello spazio 18 anni fa, il 12 aprile del 1981.

Sottoposto a revisione nell'agosto del 1991, è ritornato in attività sei mesi dopo. Questa missione è la numero 26.

Una volta rilasciato dalla stiva dello Shuttle, a una quota di circa 600 km, l'AXAF viene spinto da un razzo ausiliario a due stadi verso un'orbita transitoria con un apogeo di 64 mila km e un perigeo di soli 300 km. Si tratta di un'operazione estremamente delicata. Per raggiungere l'orbita transitoria, infatti, il satellite ha a disposizione una finestra di lancio che si apre per soli 9m durante l'orbita dello Shuttle. Un'eventuale mancanza di sincronia vorrebbe dire aspettare l'orbita successiva. Il tutto, però, deve avvenire assolutamente entro i primi tre giorni della missione. In caso contrario, sarebbe impossibile raggiungere l'orbita di destinazione, e di conseguenza l'AXAF verrebbe parcheggiato momentaneamente su un'orbita contigua a quella dello Shuttle e lì lasciato in attesa di tempi migliori.

Comunque, immaginando che tutto sia andato nel migliore dei modi, il satellite dovrebbe essere stato liberato a 7h 20m dall'inizio della missione; circa un'ora dopo, si sono accesi in sequenza ravvicinata i due stadi del razzo ausiliario che gli hanno dato la spinta necessaria per immetterlo verso l'orbita transitoria. Subito dopo, i pannelli solari sono stati dispiegati e le batterie di bordo hanno iniziato a caricarsi. Al termine di questa prima fase, il razzo ausiliario viene abbandonato nello spazio. Alla trentesima ora di missione viene attivato il sistema propulsivo autonomo che lo dirige verso la sua orbita finale (inclinata di 28°,5, con un apogeo di 140 mila km e un perigeo di 10 mila).

Procedendo secondo il programma, l'AXAF dovrebbe raggiungere, finalmente, la sua destinazione circa nove giorni dopo la partenza del Columbia. Da questa posizione darà il via a una serie di operazioni di routine per controllare il perfetto funzionamento degli strumenti di bordo e la calibrazione delle camere a raggi X, per poi iniziare nel giro di un mese il suo primo ciclo di osservazioni.

La missione STS-93 passerà alla storia anche perché, per la prima volta, una donna siederà sulla poltrona di comando. Il comandante della missione, infatti, è Eileen Marie Collins, colonnello dell'US Air Force nonché astronauta in forza alla NASA. Nata nel 1956 vicino a New York, sposata, un figlio, plurilaureata in matematica e scienza dello spazio e pluridecorata per la sua attività al

servizio dell'USAF, Eileen Collins ha tutte le credenziali necessarie per guidare una missione così delicata. Istruttrice pilota per dieci anni (dal 1979 al 1989), vanta un'esperienza di volo di 5 mila ore su una trentina di diversi tipi di velivoli. Nel 1990 è stata selezionata dalla NASA come aspirante astronauta, diventando effettiva dal luglio 1991. Con i suoi due voli sullo Shuttle, il primo nel febbraio 1995 (coincidente con l'inaugurazione del nuovo programma spaziale congiunto russo-americano), il secondo nel maggio 1997, Collins vanta un totale di 419 ore di permanenza nello spazio.

Le ottiche dell'AXAF

A DISTANZA DI VENT'ANNI si può dire che l'AXAF rappresenti un po' il successore ideale dell'Osservatorio "Einstein", il primo telescopio a raggi X a montare un sistema di specchi a incidenza radente per focalizzare i fotoni di alta energia (vedi riquadro nella pagina successiva). Naturalmente, si tratta di una versione molto più evoluta in termini sia di risoluzione angolare (10 volte più precisa) che di sensibilità (20 volte maggiore). Il sistema di specchi a bordo dell'AXAF è uno dei più complessi che la tecnologia può fornire attualmente nel settore.

Le ottiche sono composte da quattro insiemi di specchi a sezione parabolica/iperbolica ricoperti da un sottile strato di iridio per ottenere un'efficienza di riflessione maggiore alle alte energie. Gli specchi, ciascuno lungo 80 cm e con un diametro massimo di 1,2 m, sono innestati l'uno dentro l'altro secondo il classico schema Wolter e forniscono una lunghezza focale di 10 m. Questo sistema riuscirà a garantire una precisione nella focalizzazione dei fotoni X mai raggiunta finora, che permetterà di compiere un salto di un'ordine di grandezza nel potere risolutivo ottenibile da un telescopio a raggi X. La risoluzione angolare nominale lungo l'asse ottico, infatti, sarà di 0",5 (come dire leggere un giornale alla distanza di qualche centinaio di metri), otto volte migliore di quella dell'"Einstein" e del ROSAT, 150 volte migliore di quella dell'ASCA e confrontabile con quella dei telescopi ottici.

Anche se la superficie di raccolta del telescopio non è eccezionale se paragonata a quella di missioni di prossima realizzazione come l'XMM dell'ESA, la capacità delle sue ottiche di focalizzare i fotoni in un'area estremamente circoscritta compensa questa mancanza, facilitando la rivelazione di sorgenti deboli, altrimenti indistinguibili se "sparpagliate" su un'area più ampia. Se si può fare un paragone, dal punto di vista del potere risolutivo l'AXAF rappresenterà, rispetto alle altre missioni X, quello che l'HST rappresenta rispetto ai telescopi terrestri.

La strumentazione scientifica

L'AXAF LAVORERÀ TRA 0,1 E 10 KEV accoppiando una buona sensibilità a un'elevata risoluzione spettrale. In particolare, sarà specialmente sensibile a energie tra 6 e 7 keV, vale a dire nella regione di emissione delle righe del ferro, emesse da molte sorgenti X celesti.

Secondo il progetto iniziale l'AXAF avrebbe dovuto essere dotato di tre diversi strumenti scientifici. Purtroppo,

Specchi per raggi X

SE NELL'OTTICO È POSSIBILE RACCOGLIERE E FOCALIZZARE I FOTONI attraverso specchi, nei raggi X questo è più complicato. La loro lunghezza d'onda, infatti, è dello stesso ordine di grandezza delle distanze interatomiche dei materiali di cui sono costituiti gli specchi, ed essi tendono quindi a essere assorbiti invece che riflessi. Se per i raggi X di alta energia si tratta di un ostacolo fisico insormontabile, per quelli meno energetici la possibilità di focalizzare permane, purché si utilizzino specchi e tecniche particolari.

Il trucco consiste nel fare incidere i raggi X sulle pareti dello specchio secondo angoli di incidenza molto elevati rispetto alla perpendicolare (farli incidere, per così dire, "di striscio") e nell'utilizzare specchi costruiti con materiali di elevato numero atomico (come oro o nichel) che ne favoriscono la riflessione. Naturalmente, il problema di questi specchi a incidenza radente è che la sezione "vista" dai raggi X in arrivo è molto limitata e, di conseguenza, è scarsa la capacità di raccolta. Per evitare di costruire specchi di diametro enorme, si risolve il problema usando serie di specchi di dimensioni leggermente diverse e concatenati tra loro: una classica configurazione, adottata anche sull'AXAF, è quella denominata Wolter (Tipo I), dove i singoli specchi sono per metà a forma di paraboloide e per metà a forma di iperboloido.



Tecnici della Eastman Kodak controllano l'allineamento degli specchi dell'AXAF. (foto Kodak)

22

varie revisioni apportate al programma nel 1992 e nel 1993, a causa dei tagli al bilancio della NASA, hanno costretto a sacrificarne uno. La configurazione attuale prevede, così, solo due strumenti: la High Resolution Camera (HRC) e l'AXAF CCD Imaging Spectrometer (ACIS), montati entrambi su un modulo comune situato a una delle due estremità del telescopio.

Come suggerisce il nome stesso, l'HRC è una camera che permette di ottenere immagini a raggi X ad alta risoluzione attraverso un dispositivo basato su un rivelatore a microcanali. In particolare, l'HRC è costituita da due lastre di 10 cm di lato solcate da una struttura finissima di 69 milioni di microcanali (lunghi circa un 1 mm e spessi poco meno di un decimo di un capello umano). Questi canali sono coperti da una sostanza speciale che rilascia elettroni non appena viene colpita dai raggi X. Gli elettroni sono accelerati lungo il microcanale dove, rimbalzando sulle pareti, producono a loro volta altri elettroni. All'uscita il segnale elettrico è registrato su una griglia che localizza la posizione di arrivo del fotone X.

L'HRC rappresenta, concettualmente, un'evoluzione rispetto agli High Resolution Imager montati a bordo dell'"Einstein" e del ROSAT, perché permette di risolvere in energia la radiazione X rivelata. L'HRC verrà usata principalmente per tutte quelle osservazioni che richiedono immagini ad alta risoluzione spaziale e temporale, necessarie, ad esempio, nelle osservazioni delle pulsar.

L'ACIS, invece, è un rivelatore a CCD in grado di ottenere immagini direttamente risolte in energia e servirà soprattutto per compiere l'analisi spettrale delle sorgenti osservate. Un analogo rivelatore a CCD, di costruzione statunitense, è stato montato e sperimentato con successo anche sul satellite giapponese ASCA, anche se in questo caso le ottiche limitano la risoluzione spaziale a soli 2'.

Entrambi gli strumenti possono essere usati sia singolarmente che in combinazione con due reticoli di trasmissione situati appena oltre il sistema di specchi e interposti

lungo il cammino ottico della radiazione X. Analogamente ai reticoli impiegati negli spettrografi ottici, anche questi, realizzati in oro e ottimizzati, rispettivamente, per le alte e per le basse energie, cambiano la direzione dei raggi X incidenti di una quantità che dipende direttamente dalla loro energia, e consentono dunque di risolvere in energia la radiazione X incidente e produrre spettri registrabili sia dall'HRC che dall'ACIS.

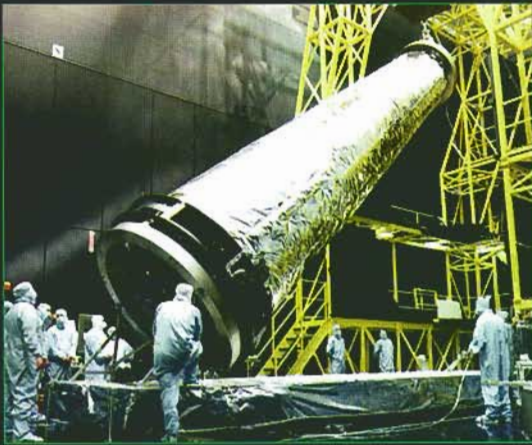
Una volta registrati dagli strumenti di bordo, i dati saranno temporaneamente archiviati in una delle unità di memoria di bordo per poi essere scaricati a terra ogni otto ore attraverso un *link* satellitare. Una volta a terra, i dati verranno inviati al Jet Propulsion Laboratory della NASA (JPL) a Pasadena e da lì trasferiti al centro di controllo di Cambridge (Massachusetts) per essere ridotti e distribuiti alla comunità scientifica.

Obiettivi scientifici

LA VITA OPERATIVA DELL'AXAF è stimata attorno a 5 anni, ma secondo le previsioni più ottimistiche dei tecnici di missione potrebbe addirittura raddoppiare, diventando così la missione di astronomia X più longeva.

Gli obiettivi scientifici sono molteplici e coprono tutti i campi di interesse dell'astronomia a raggi X. Come già ricordato, le armi vincenti dell'AXAF sono il potere risolutivo spaziale, accoppiato a un'elevata sensibilità sull'intero intervallo spettrale, e la risoluzione in energia. Queste caratteristiche permetteranno di risolvere e studiare singole sorgenti in campi vicini, anche se estremamente affollati, o distanti, come all'interno di altre galassie: in quest'ultimo campo, l'AXAF aprirà orizzonti del tutto nuovi. A distanze ancora maggiori, potrà risolvere l'emissione di quasar e di nuclei galattici attivi che si pensa costituiscano il contributo dominante del fondo cosmico di radiazione X.

L'elevato potere risolutivo dell'AXAF consentirà anche di



Le foto illustrano le ultime fasi di preparazione prima del lancio. Dall'alto si vedono: le operazioni di montaggio presso le officine della TRW, l'arrivo del satellite al Kennedy Space Flight Center, l'equipaggio dello Shuttle Columbia durante le fasi di addestramento, e a destra, il Columbia ormai pronto sulla piattaforma di lancio a Cape Canaveral. (foto NASA)

studiare meglio la morfologia di sorgenti estese come i resti di supernova e di ricostruire le varie fasi della loro espansione nel mezzo interstellare. La migliore risoluzione spettrale, d'altra parte, permetterà di distinguere le righe di emissione di atomi ionizzati quali il ferro, lo zolfo e il silicio, e di ricostruire la mappa delle abbondanze chimiche dei resti di supernova e, quindi, quelle delle stelle progenitrici.

La sensibilità dell'AXAF a energie elevate, dove i raggi X si propagano più facilmente attraverso il mezzo interstellare, accoppiata al suo potere risolutivo, permetterà di penetrare più efficacemente l'affollata regione del nucleo galat-

tico e di studiare le sorgenti X peculiari che popolano questa zona della nostra Galassia, come i cosiddetti microquasar, modelli in scala ridotta dei quasar cosmologici. In tutti i vari campi, l'AXAF consegnerà agli astronomi delle alte energie la visione più nitida che si sia mai avuta dell'Universo nei raggi X.

ROBERTO MIGNANI è nato a Milano nel 1964 e si è laureato in Fisica con una tesi riguardante lo studio delle sorgenti pulsanti. È ricercatore presso l'Istituto di Fisica del CNR di Milano; attualmente lavora presso il Max Planck Institut di Garching (Germania).