

Esplorazione dell'Universo in Raggi X

Filippo Frontera

Dipartimento di Fisica, Università di Ferrara
e

Istituto di Astrofisica Spaziale, INAF,
Bologna

Progetto, Lauree Scientifiche,

Ferrara, 4/05/2009

Sommario

- Introduzione
- L'Universo visibile
- L'Universo in raggi X
- La ricerca astrofisica a Ferrara

Sonda principale per conoscere l'universo: la radiazione elettromagnetica

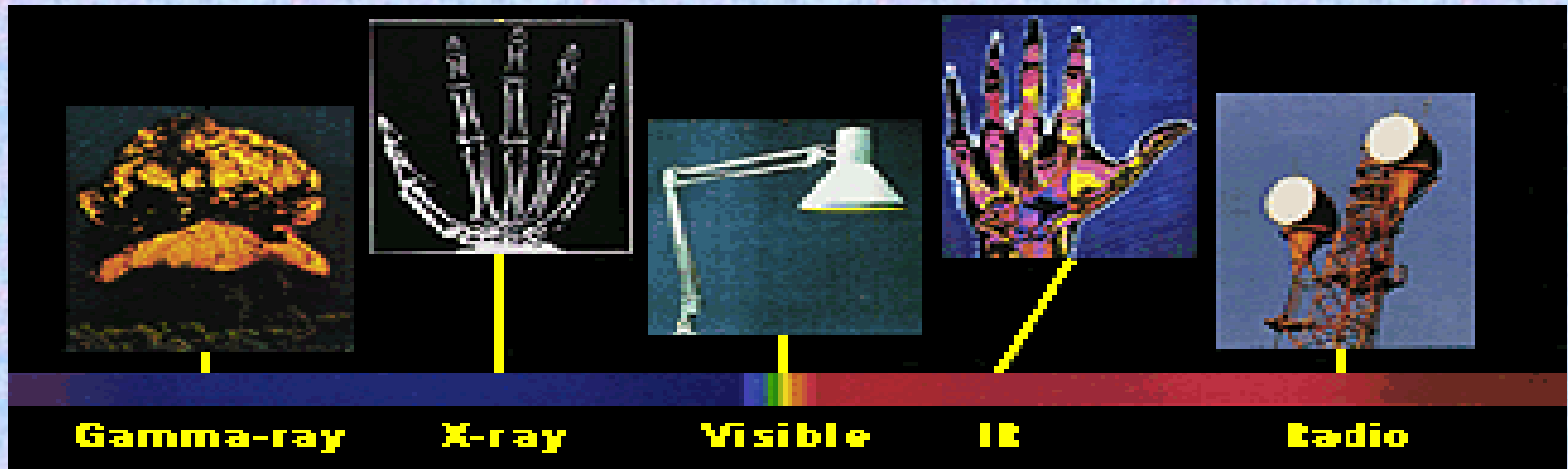
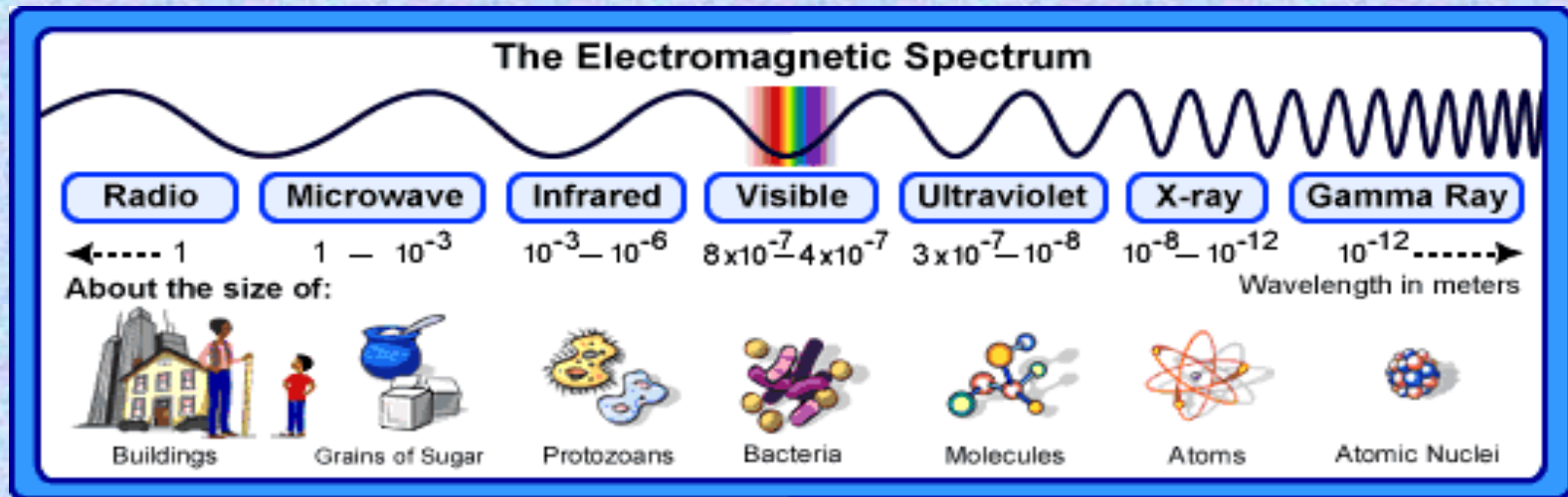


Tabella 1.1 - *Spettro elettromagnetico*

Radiazione	Lung. D'onda	Frequenza (Hz)	Energia (J)	Temp. (K)
Radio	30m - 1mm	$10^7 - 3 \times 10^{11}$	$7 \times 10^{-27} - 2 \times 10^{-22}$	$5 \times 10^{-4} - 10$
Microonde	3cm - 1mm	$10^{10} - 3 \times 10^{11}$	$7 \times 10^{-24} - 2 \times 10^{-22}$	0.5 - 10
Infrarosso	1mm - 1micro	$3 \times 10^{11} - 3 \times 10^{14}$	$7 \times 10^{-22} - 2 \times 10^{-19}$	10 - 10^4
Ottico	1micro - 300nm	$3 \times 10^{14} - 10^{15}$	$2 \times 10^{-19} - 7 \times 10^{-19}$	$10^4 - 5 \times 10^4$
UV	300nm - 10nm	$10^{15} - 3 \times 10^{16}$	$7 \times 10^{-19} - 2 \times 10^{-7}$	$5 \times 10^4 - 10^6$
Raggi X	100A - 0.1A	$3 \times 10^{16} - 3 \times 10^{19}$	$2 \times 10^{-17} - 2 \times 10^{-14}$	$10^6 - 10^9$
Raggi gamma	< 0.1A	$> 3 \times 10^{19}$	$> 2 \times 10^{-14}$	$> 10^9$

- Relazioni utili

$$\lambda = c / \nu$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$E = h\nu$$

$$h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$T \approx h\nu / k$$

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

- Trasformazioni utili

$$1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-8} \text{ cm} = 1 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} \Rightarrow 1 \text{ \AA} = 10^{-1} \text{ nm}$$

$$1 \text{ keV} = 1,602 \times 10^{-16} \text{ J}$$

$$E_{\text{keV}} = 4,134 \times 10^{-18} \nu_{\text{Hz}}$$

$$1 \text{ nm} = 10 \text{ \AA}$$

$$E_{\text{keV}} = 12,3 \lambda_{\text{\AA}}$$

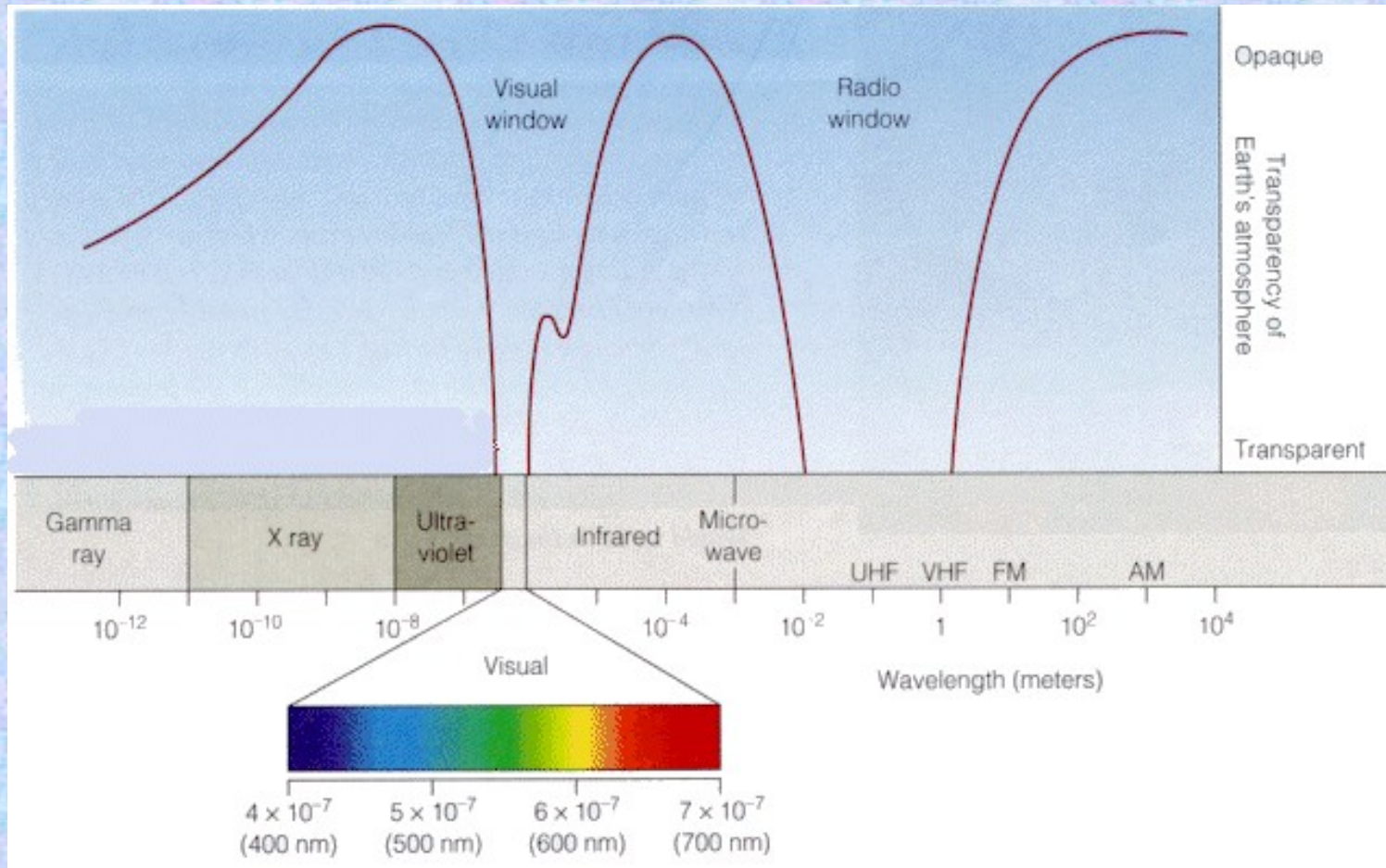
$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

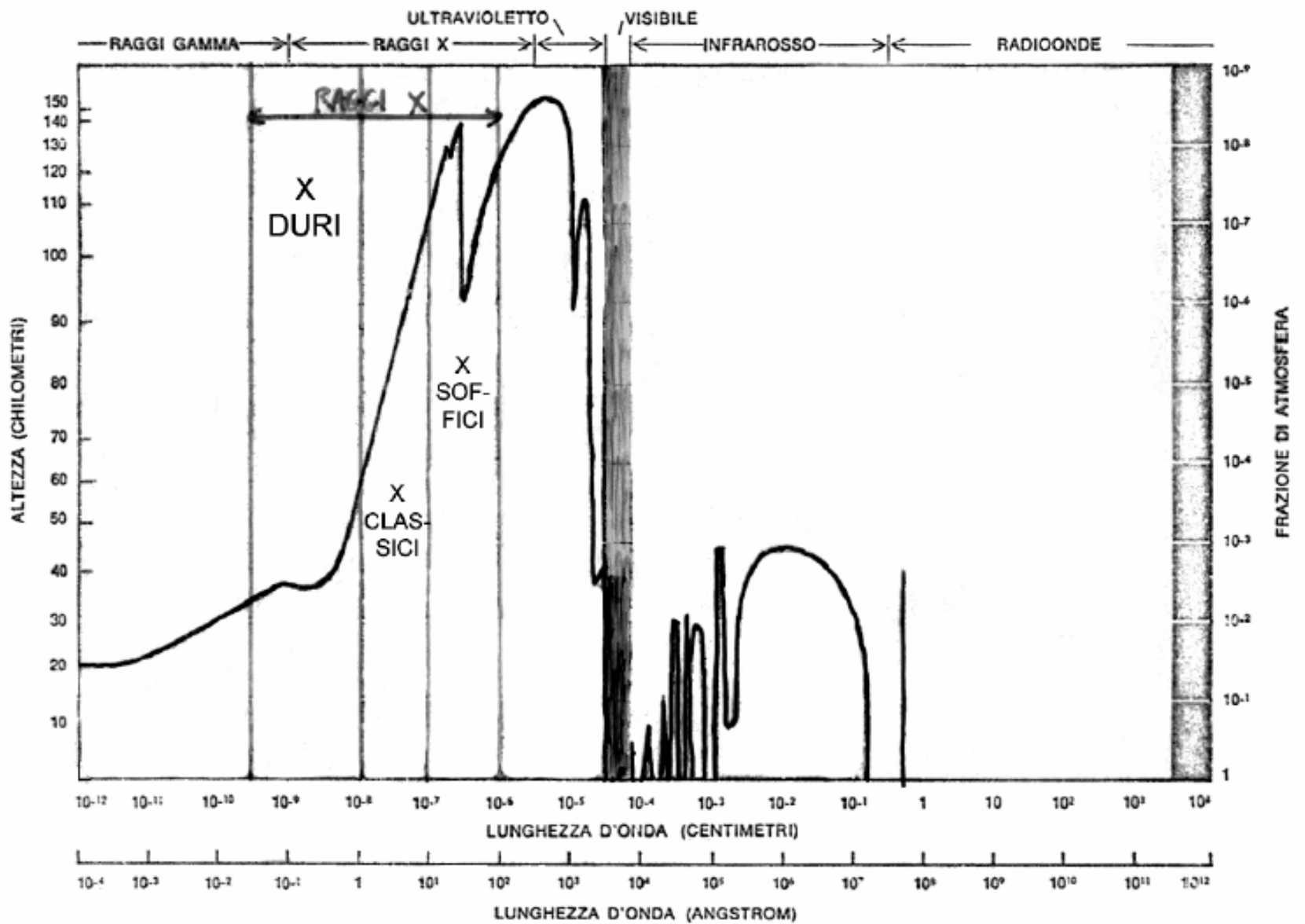
$$1 \text{ J} = 10^7 \text{ erg}$$

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

in cui eV sta per elettron-volt, J per Joule, 1 keV = 1000 eV.

Assorbimento atmosferico della radiazione

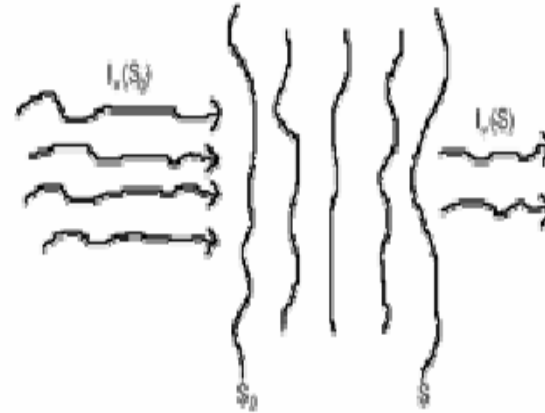




Alcune formule

Nell'ipotesi che il gas assorbente la radiazione non produce a sua volta, per effetto dell'energia assorbita, una sua emissione, si può dimostrare che

$$I_\nu(S) = I_\nu(S_0)e^{-\tau_\nu} \quad (2)$$



Perciò

$$\tau_\nu = \ln \frac{I_\nu(S_0)}{I_\nu(S)} \quad (3)$$

Alcune formule

Se σ_v è la sezione d'urto atomica del materiale, se n è la densità in numero di atomi del materiale (cm^{-3}), è intuitivo che

$$\mu_v = \sigma_v n$$

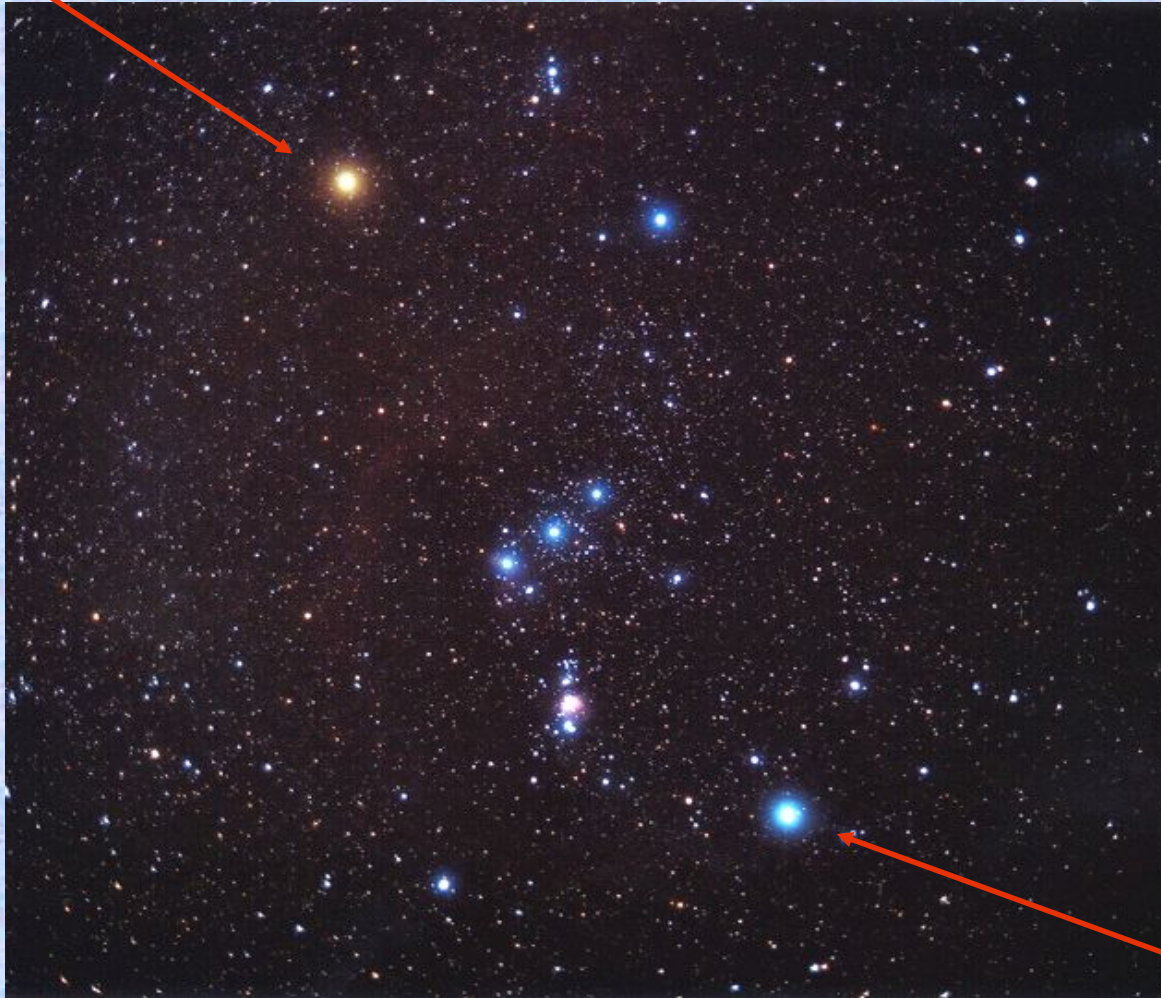
e quindi τ è dato da:

$$\tau_v = \sigma_v n \cdot l$$

(assumendo densità uniforme)

Il cielo a noi visibile

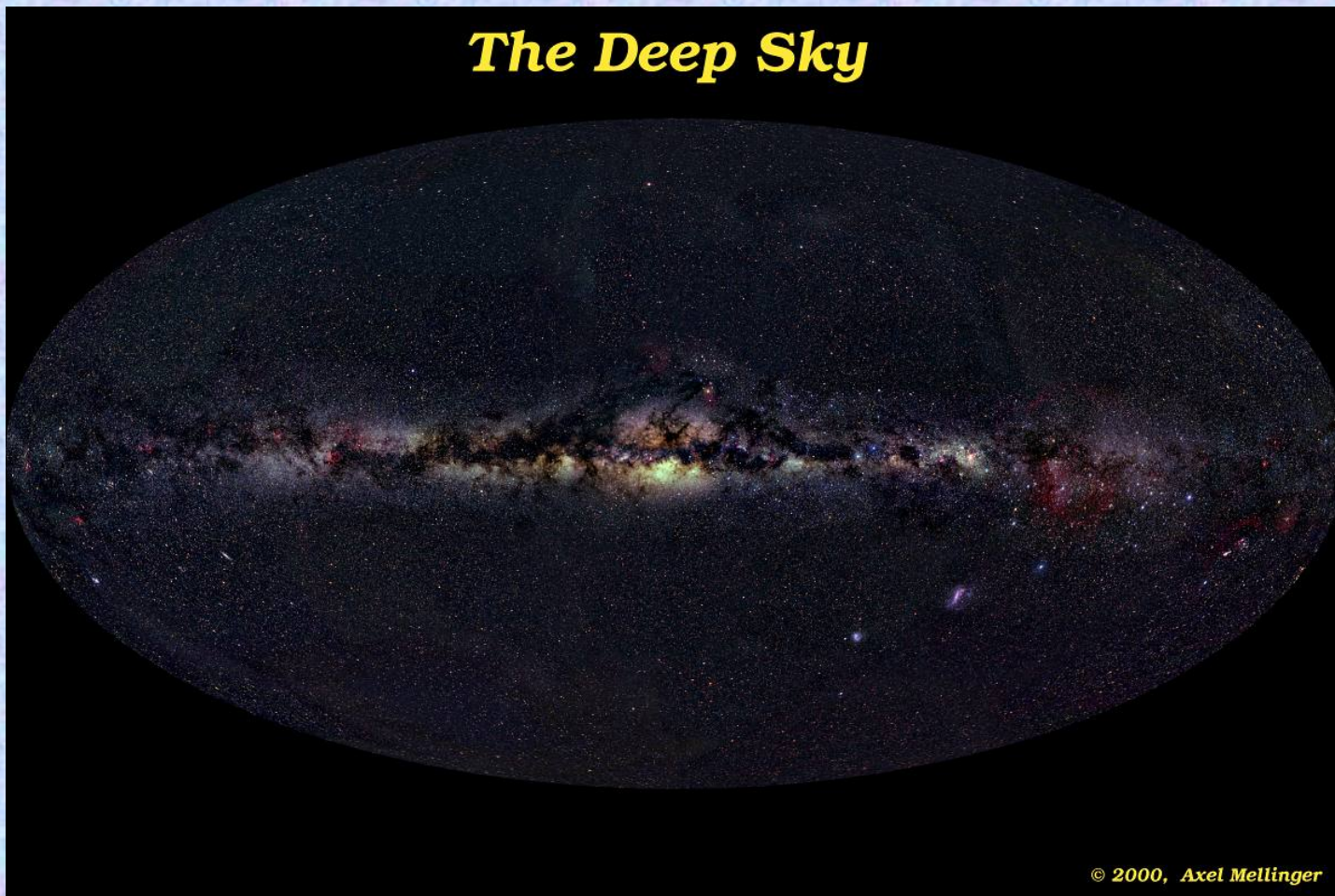
Betelgeuse



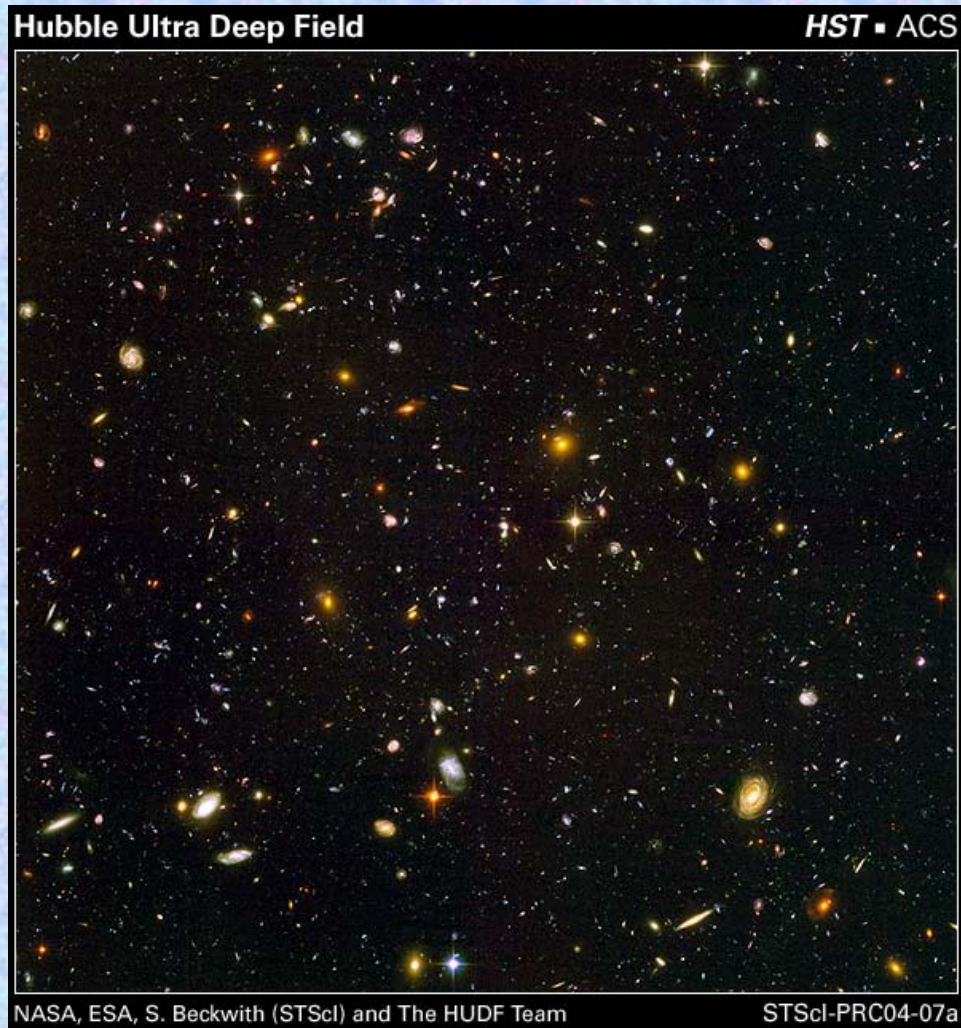
Costellazione
di Orione

Rigel

Il profondo cielo nel visibile



Zoom nel profondo cielo



L'astronomia X: una scienza giovane

PHYSICAL REVIEW LETTERS

VOLUME 9

DECEMBER 1, 1962

NUMBER 11

EVIDENCE FOR X RAYS FROM SOURCES OUTSIDE THE SOLAR SYSTEM*

Riccardo Giacconi, Herbert Gursky, and Frank R. Paolini
American Science and Engineering, Inc., Cambridge, Massachusetts

and

Bruno B. Rossi
Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts
(Received October 12, 1962)

Data from an Aerobee rocket carrying a payload consisting of three large area Geiger counters have revealed a considerable flux of radiation in the night sky that has been identified as consisting of soft x rays.

The entrance aperture of each Geiger counter consisted of seven individual mica windows comprising 20 cm² of area placed into one face of the counter. Two of the counters had windows of about 0.2-mil mica, and one counter had windows of 1.0-mil mica. The sensitivity of these detectors for x rays was between 2 and 8 Å, falling sharply at the extremes due to the transmission of the filling gas and the opacity of the windows, respectively. The mica was coated with lamp-black to prevent ultraviolet light transmission. The three detectors were disposed symmetrically around the longitudinal axis of the rocket, the normal to each detector making an angle of 55° to that axis. Thus, during flight, the normal to the detectors swept through the sky, at a rate determined by the rotation of the rocket, forming a cone of 55° with respect to the longitudinal axis. No mechanical collimation was used to limit the field of view of the detectors. Also included in the payload was an optical aspect system similar to one developed by Kupperian and Kreplin.¹ The axes of the optical sensors were normal to the longitudinal axis of the rocket. Each Geiger coun-

ter was placed in a well formed by an anticoincidence scintillation counter designed to reduce the cosmic-ray background. The experiment was intended to study fluorescence x rays produced on the lunar surface by x rays from the sun and to explore the night sky for other possible sources. On the basis of the known flux of solar x rays, we had estimated a flux from the moon of about 0.1 to 1 photon cm⁻² sec⁻¹ in the region of sensitivity of the counter.

The rocket launching took place at the White Sands Missile Range, New Mexico, at 2359 MST on June 18, 1962. The moon was one day past full and was in the sky about 20° east of south and 35° above the horizon. The rocket reached a maximum altitude of 225 km and was above 80 km for a total of 350 seconds. The vehicle traveled almost due north for a distance of 120 km. Two of the Geiger counters functioned properly during the flight; the third counter apparently arced sporadically and was disregarded in the analysis. The optical aspect system functioned correctly. The rocket was spinning at 2.0 rps around the longitudinal axis. From the optical sensor data it is known that the spin axis of the rocket did not deviate from the vertical by more than 3°; for purposes of analysis, the spin axis is taken as pointing to zenith. The angle of rotation of the rocket corresponds with the azimuth

Perché osservare il cielo in raggi X?

- Gas a temperature di milioni di gradi;
- Meccanismi di produzione di energia molto efficienti (più efficienti perfino della fusione);
- Fine ultimo delle stelle;
- Le proprietà degli oggetti più esotici:
 - Gli oggetti compatti in sistemi binari (nane bianche, stelle di neutroni, buchi neri);
 - Le magnetar;
 - I nuclei attivi di galassie,
 - lampi di raggi gamma (Gamma Ray Bursts);
- Campi magnetici miliardi di volte più intensi di quello terrestre.

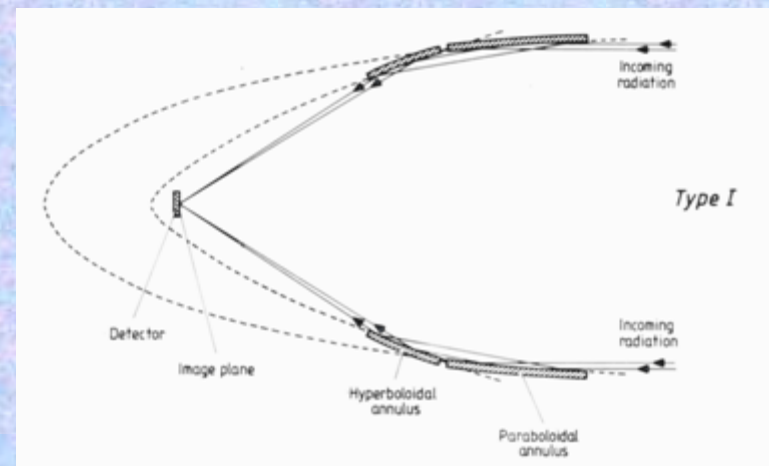
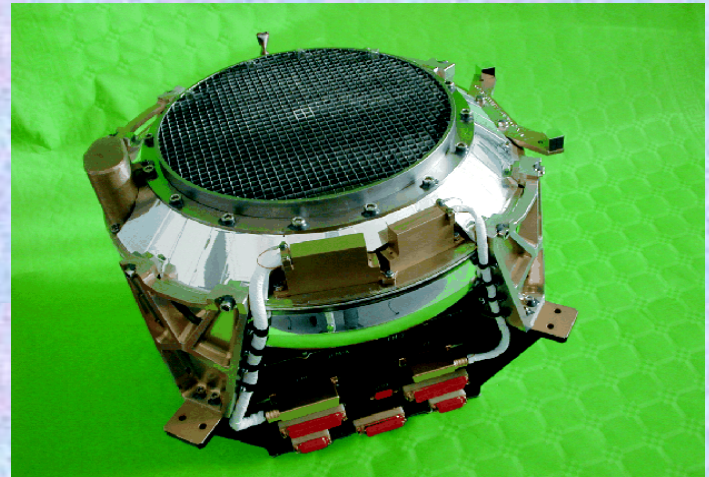
Da dove osservare l'universo in raggi X

- Dato che la radiazione X è assorbita dall'atmosfera della Terra, è obbligatorio fare le osservazioni al disopra dall'atmosfera

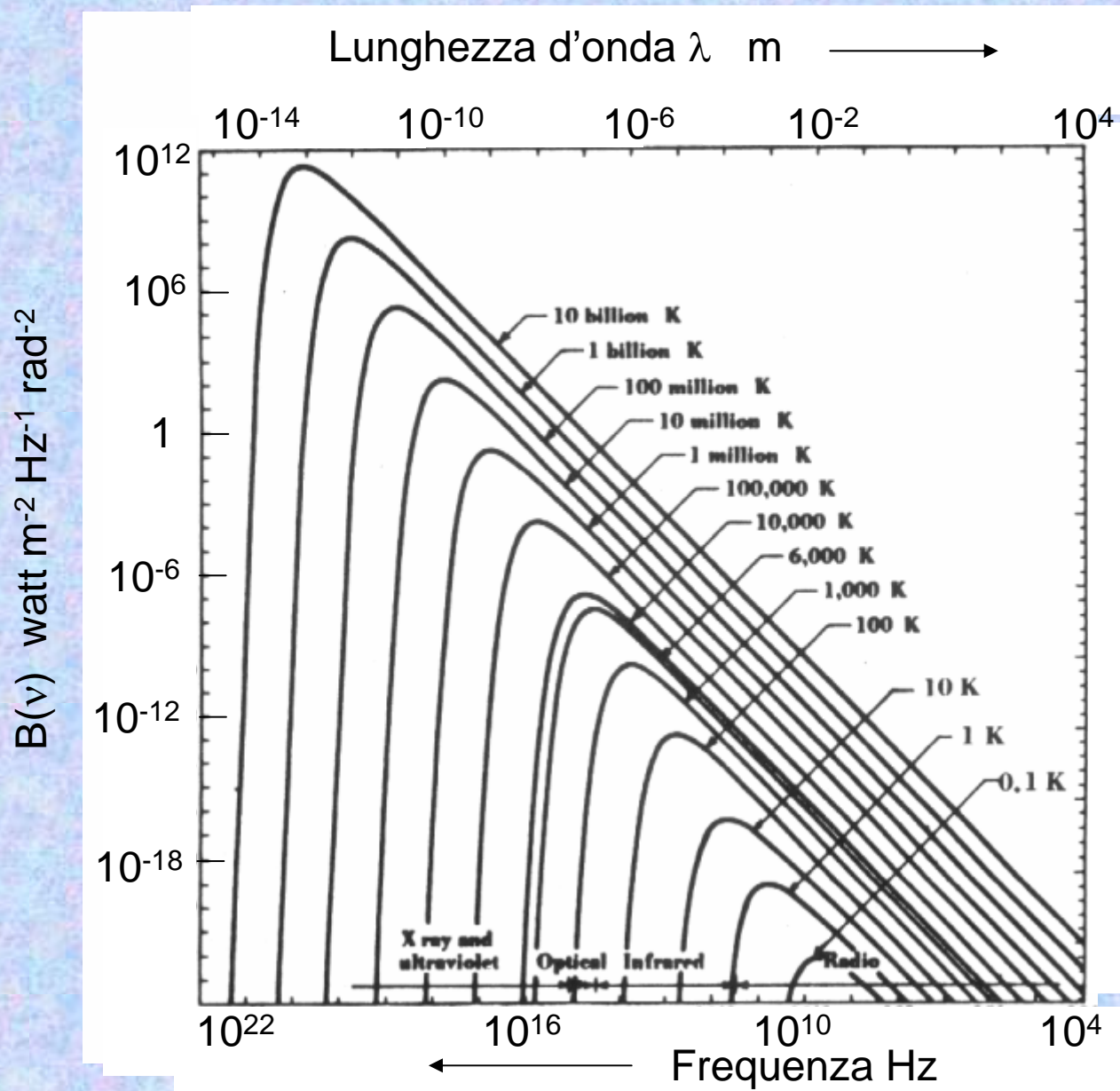


Come rivelare i raggi X

- Si sfrutta l'interazione dei raggi X con la materia (gas, solidi).
- I raggi X assorbiti causano delle modifiche chimiche nel materiale o producono un segnale (luminoso/elettrico) da elaborare.
- I raggi X possono essere anche focalizzati (finora quelli di bassa energia).

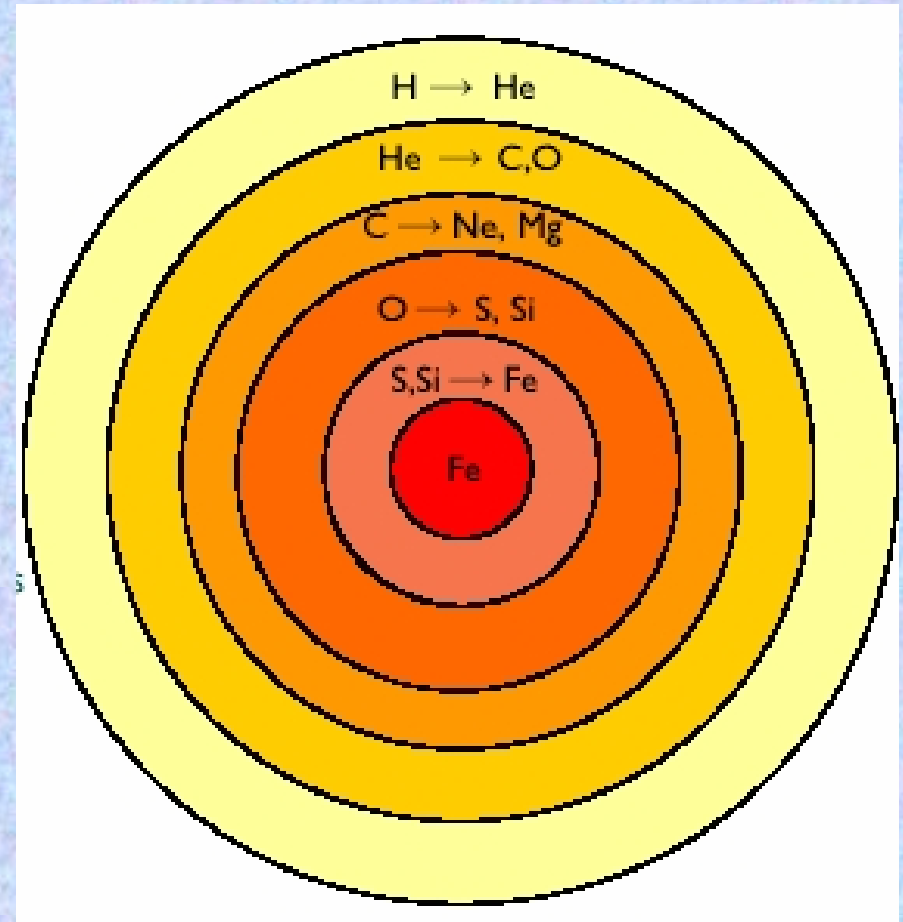


La legge di radiazione di Corpo nero

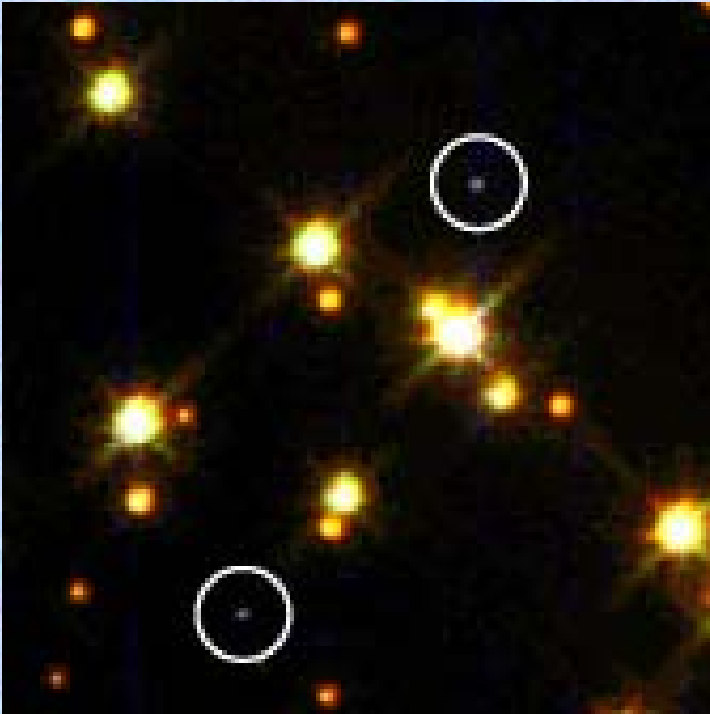


Le stelle e loro fine ultimo

- **Processo di fusione continuo** per autosostenersi;
- **Sintesi degli elementi** di cui siamo fatti e di cui abbiamo bisogno;
- Esaurite le reazioni di fusione: **spegnimento o esplosione**;
- **Fine ultimo: dipendente dalla Massa della Stella.**
- **Per $M < 8-9 M_{\odot}$: Nana Bianca + Nebulosa Planetaria**



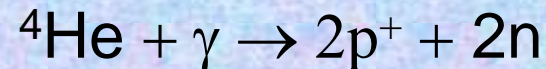
WD + Nebulosa Planetaria



Esplosione stelle con $M > 8-9 M_{\odot}$

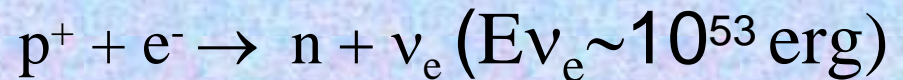
- Reazioni di bruciamento dall'H fino al Fe.
- Contrazione del Nucleo di Fe $\rightarrow T \sim 10^9 - 10^{10} \text{ }^{\circ}\text{K}$
- Fotodisintegrazione del Fe:

Crab in raggi X



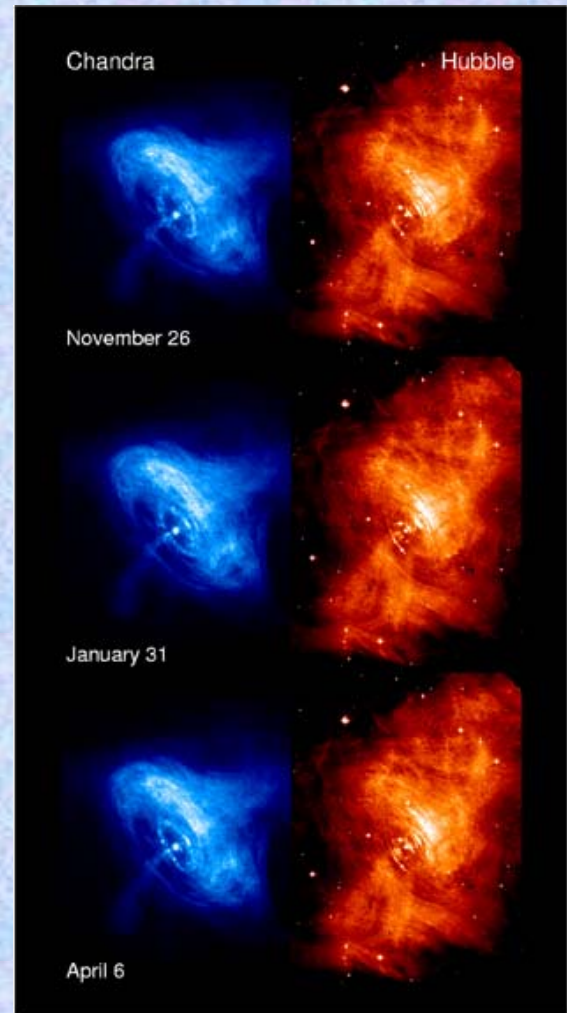
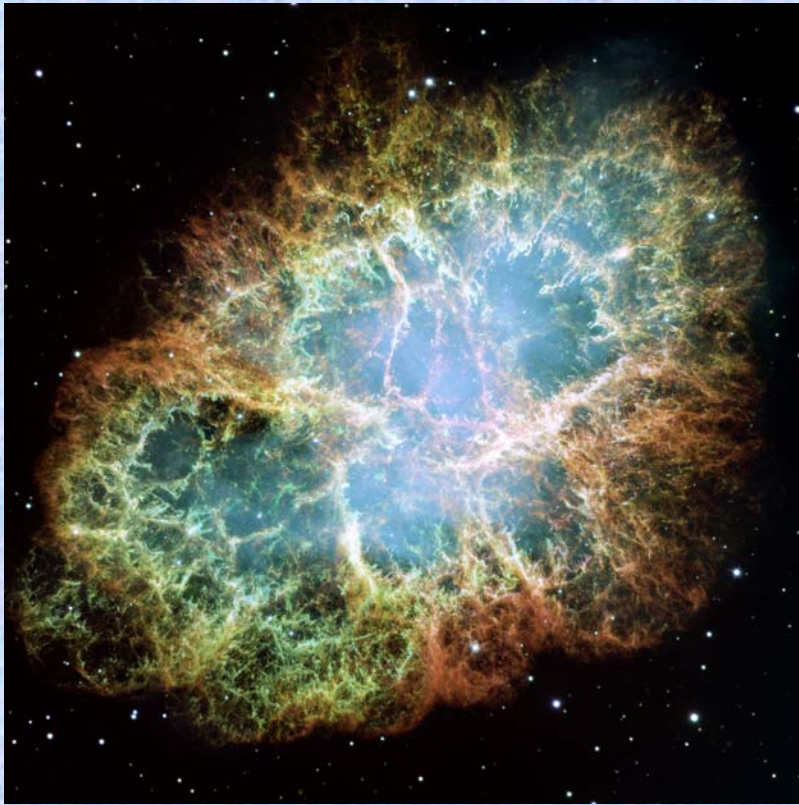
- Produzione di neutrini

$$(T_c : 10^{10} \text{ K}; \rho_c : 10^{10} \text{ g/cm}^3)$$

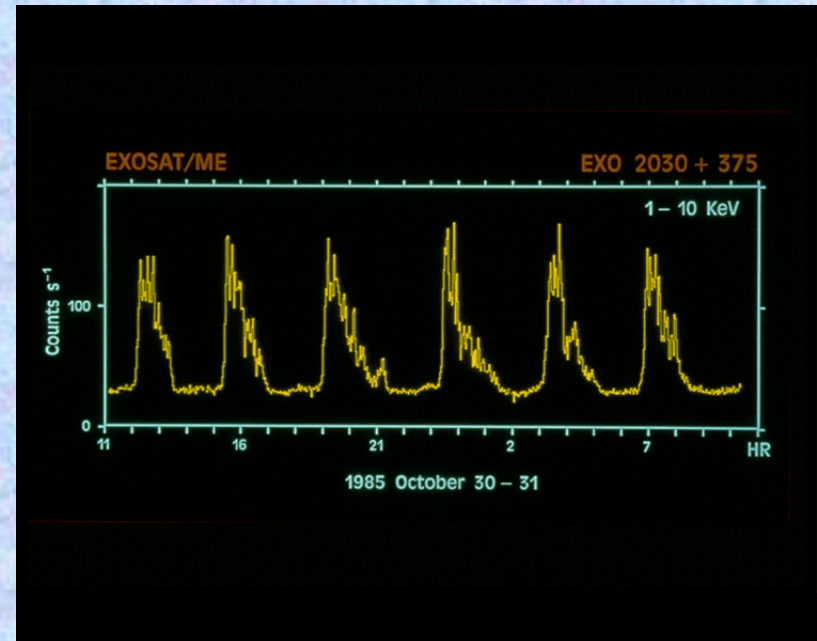
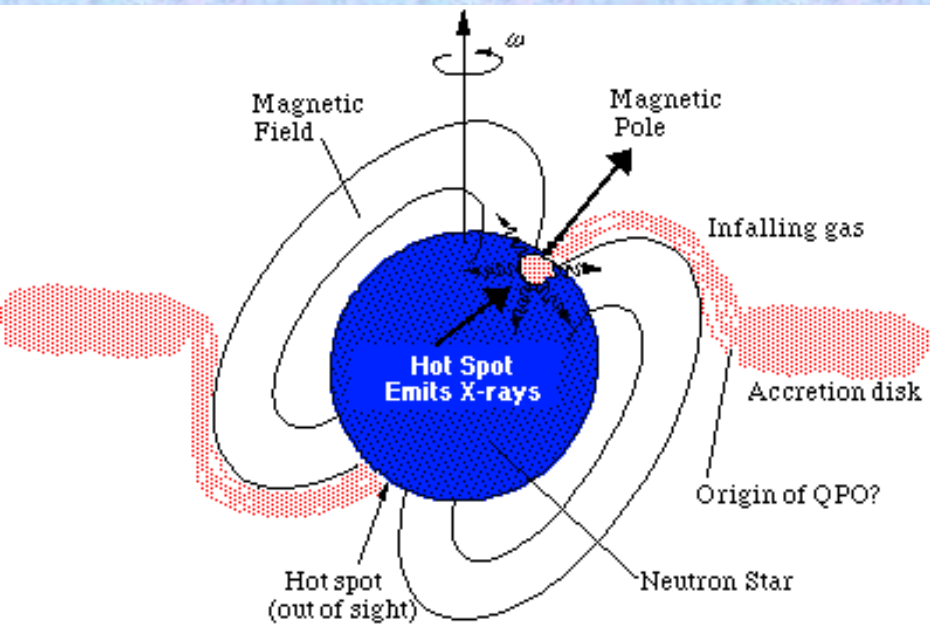


- Stella di neutroni o buco Nero
- 1% $E_{\nu_e} \rightarrow$ **Esplosione SN**

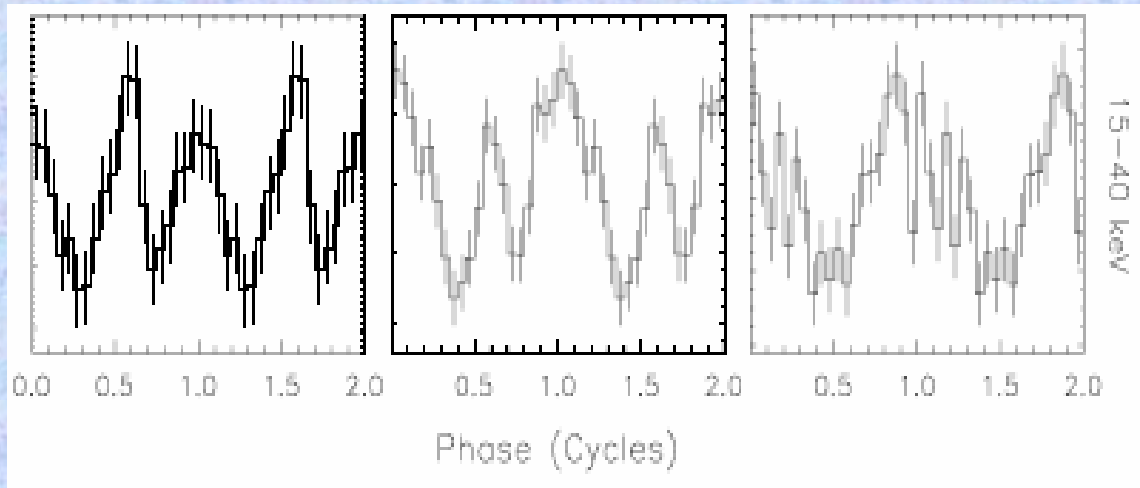
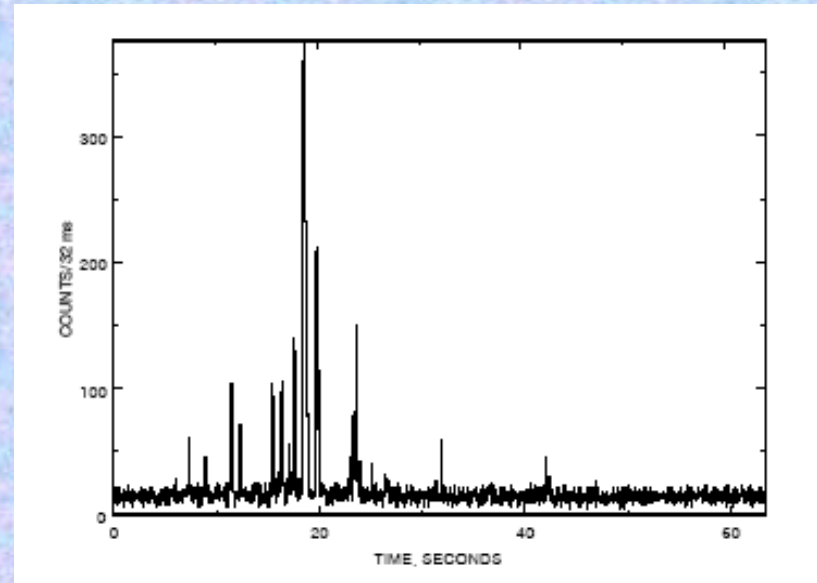
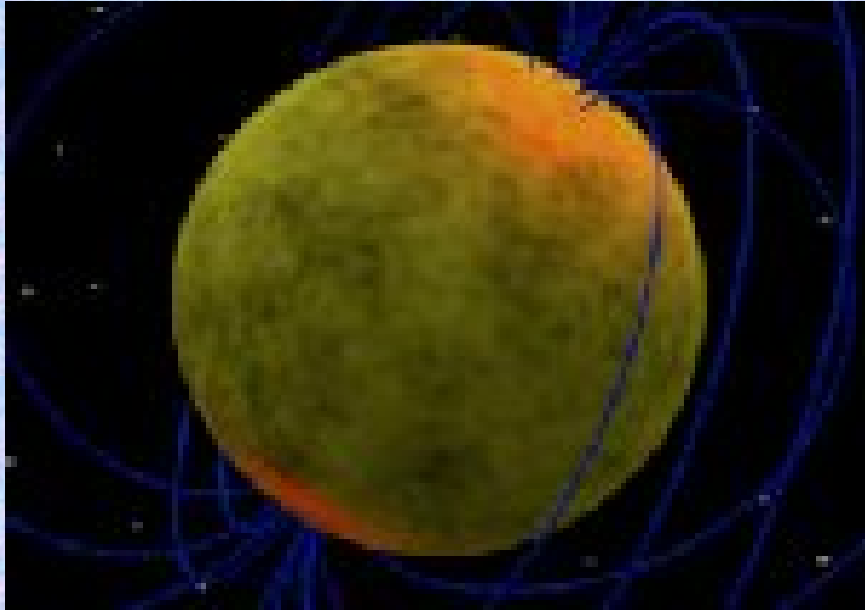
Resti di supernovae



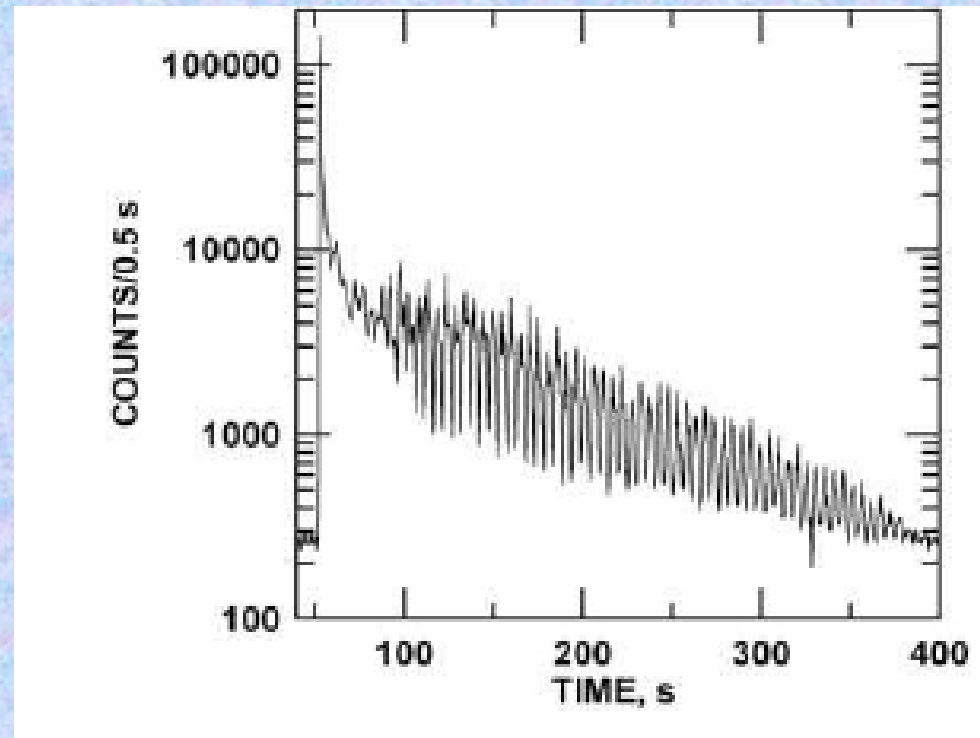
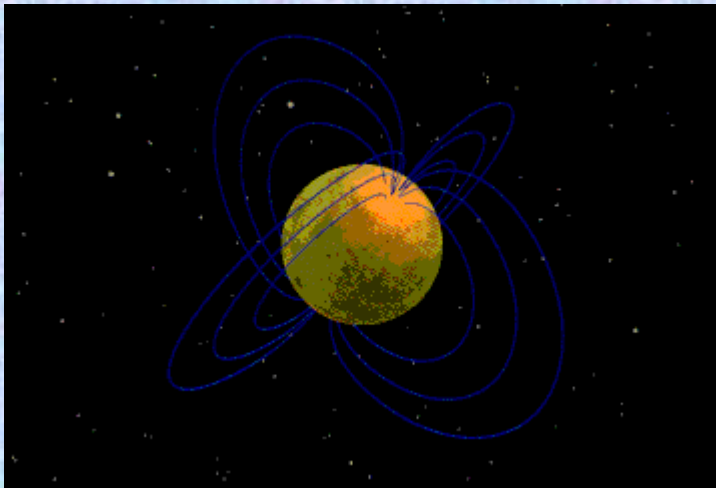
Emissione X da stelle di neutroni



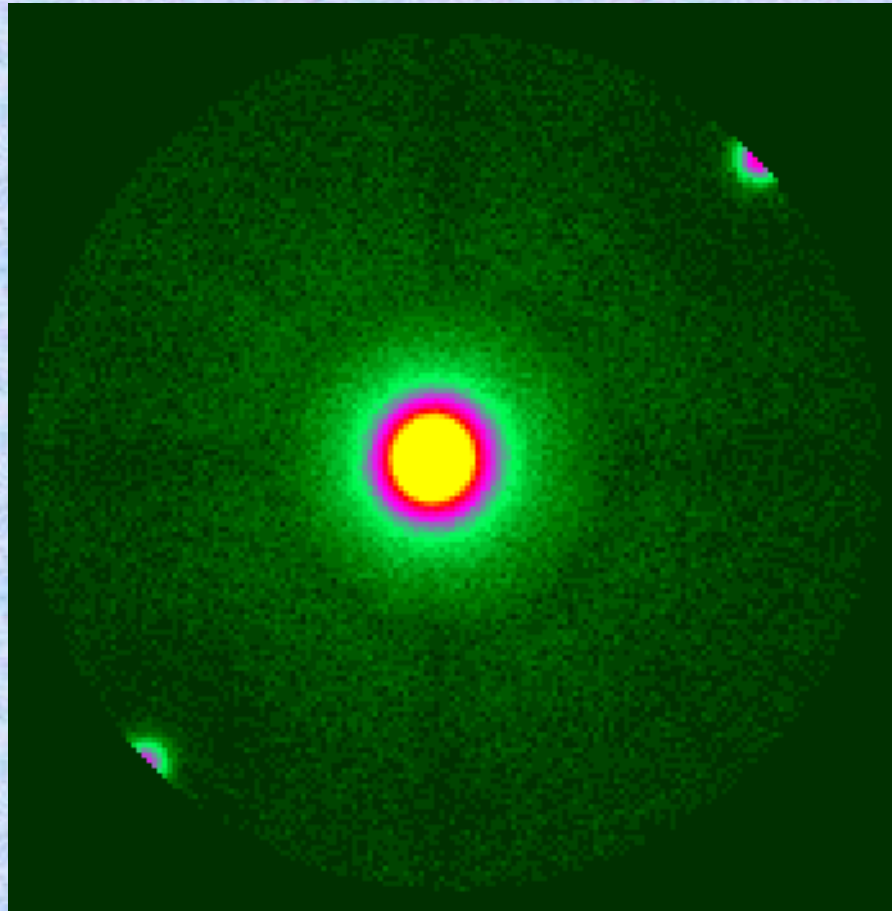
Magnetar: stella di neutroni con il più intenso campo magnetico mai osservato



Terremoti su una magnetar con produzione di raggi X



I buchi neri della nostra galassia



Cygnus X-1

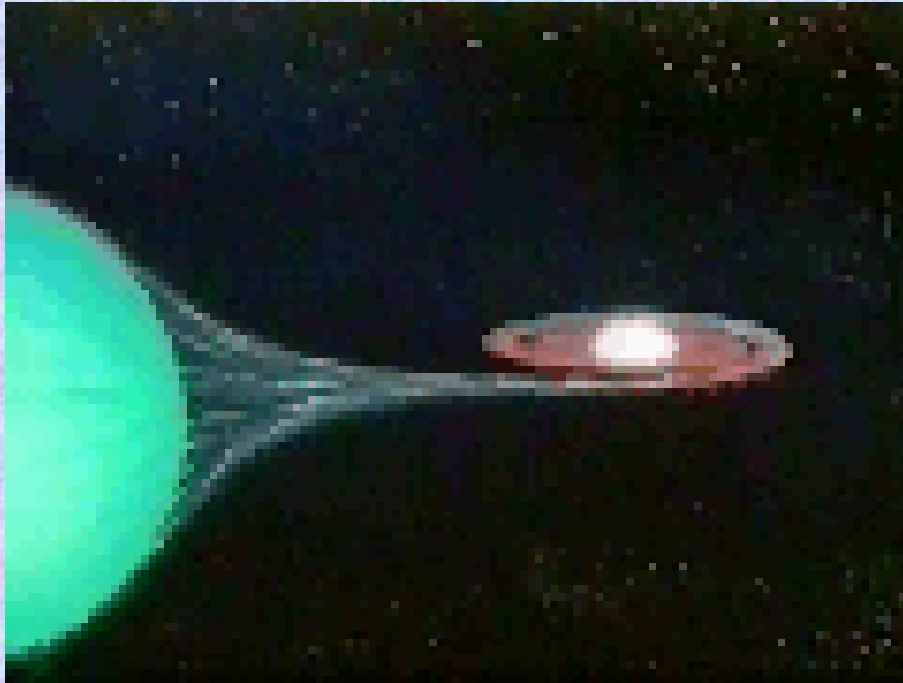
visto con

BeppoSAX

Accrescimento di massa su un oggetto compatto (NS o BH)

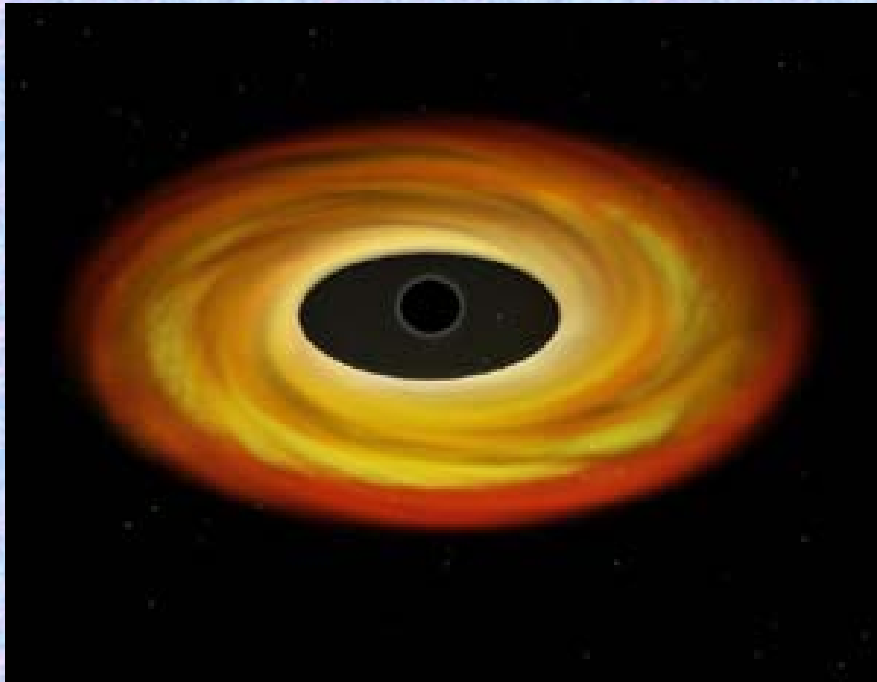


Moto orbitale con accrescimento di massa

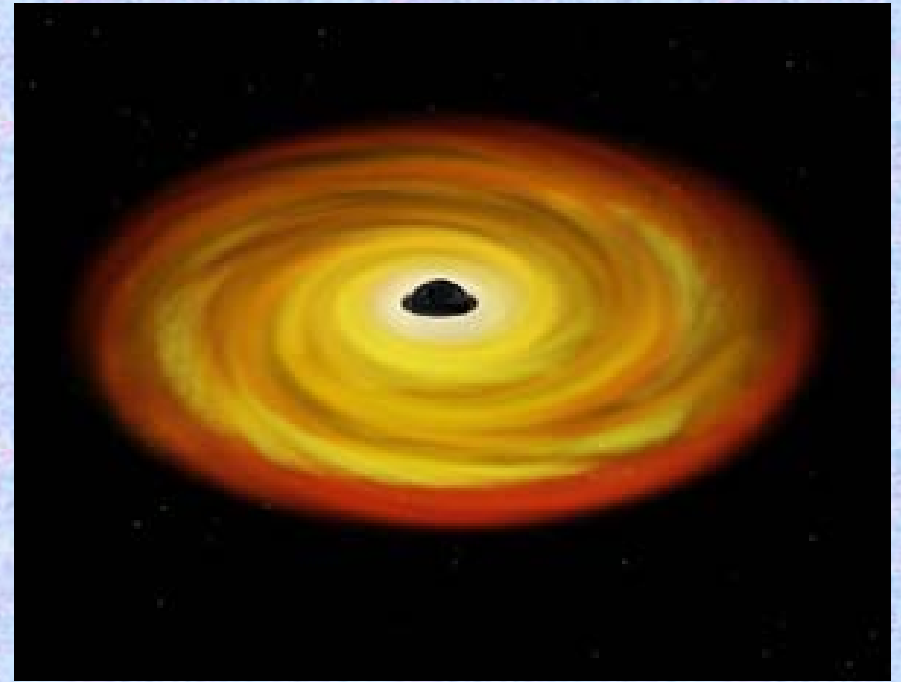


Buchi neri in accrescimento di massa

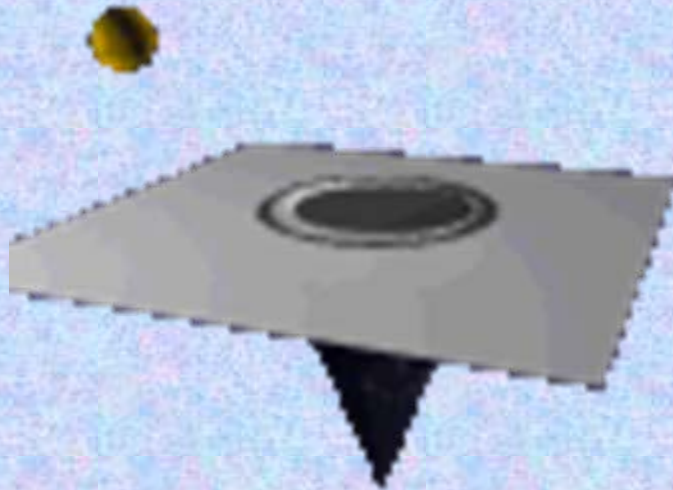
BH non ruotante



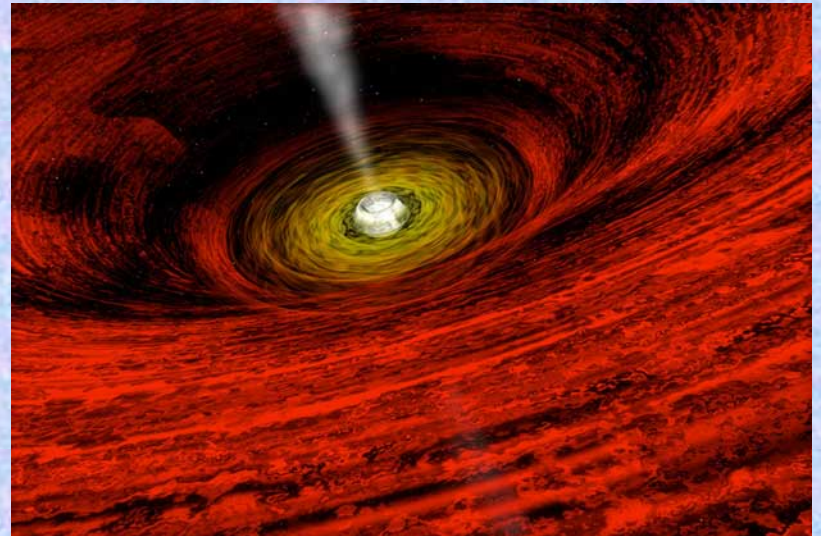
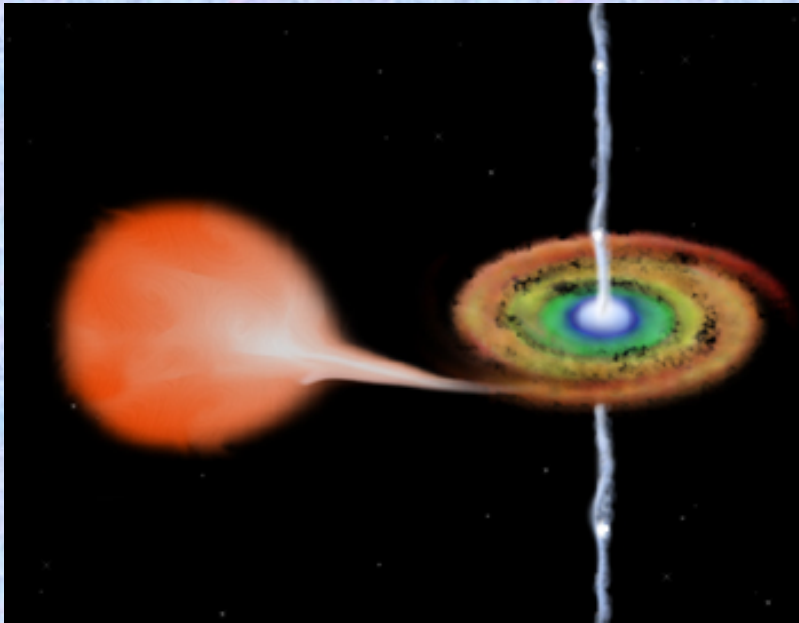
BH ruotante



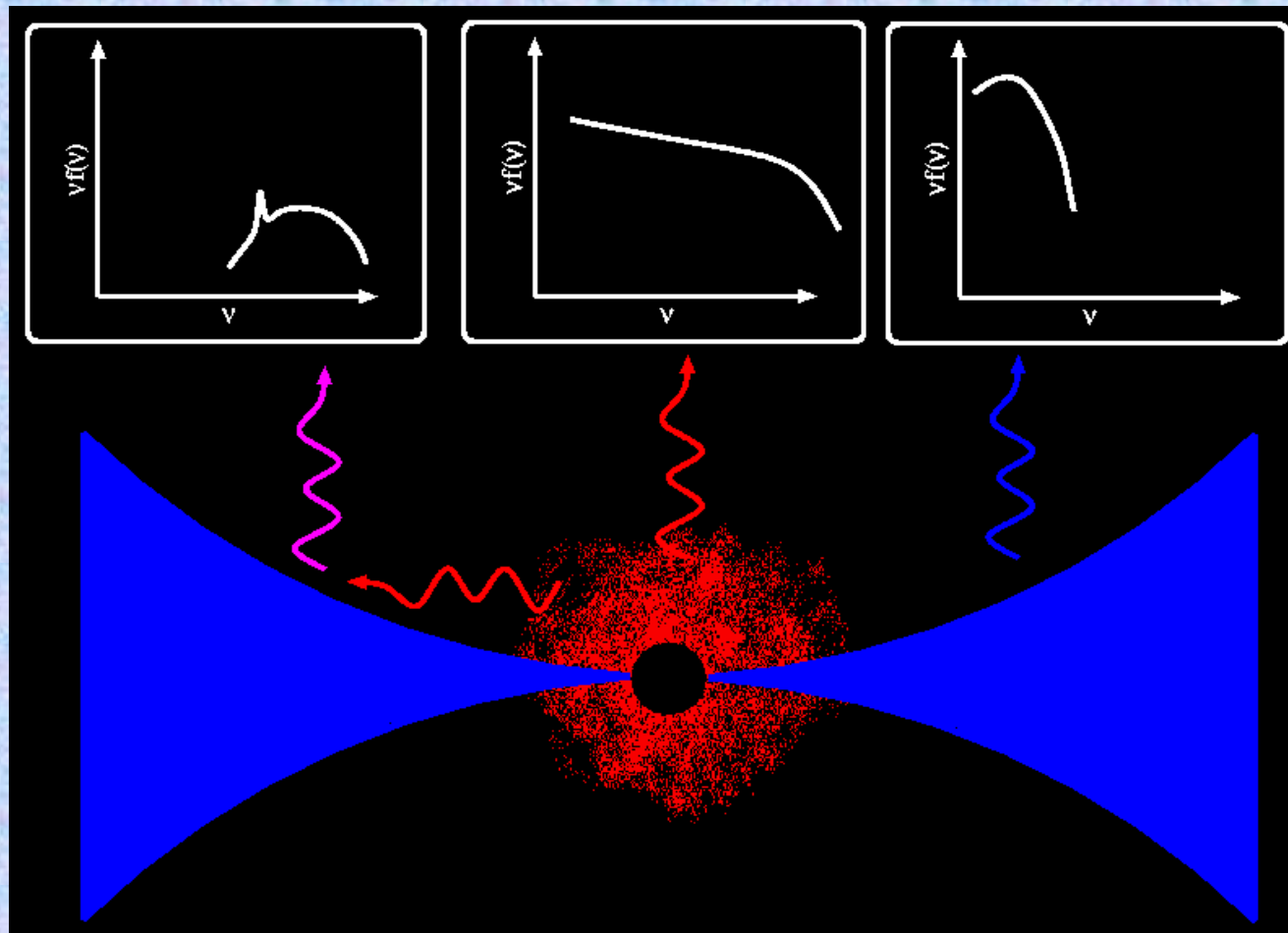
Moto della materia vicino a Buco Nero



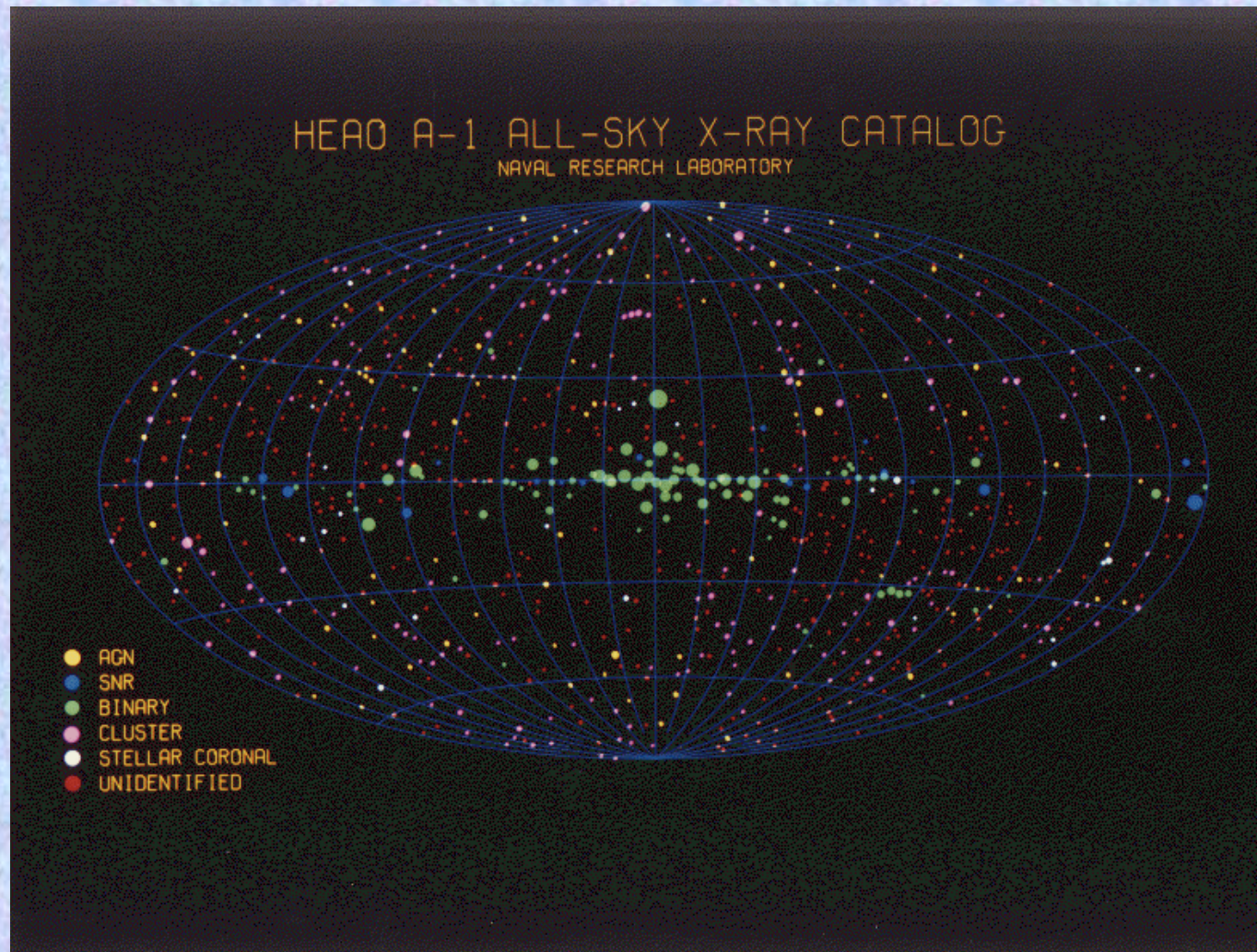
Getti di materia da un Buco Nero



Regioni di emissione di raggi X da un buco nero



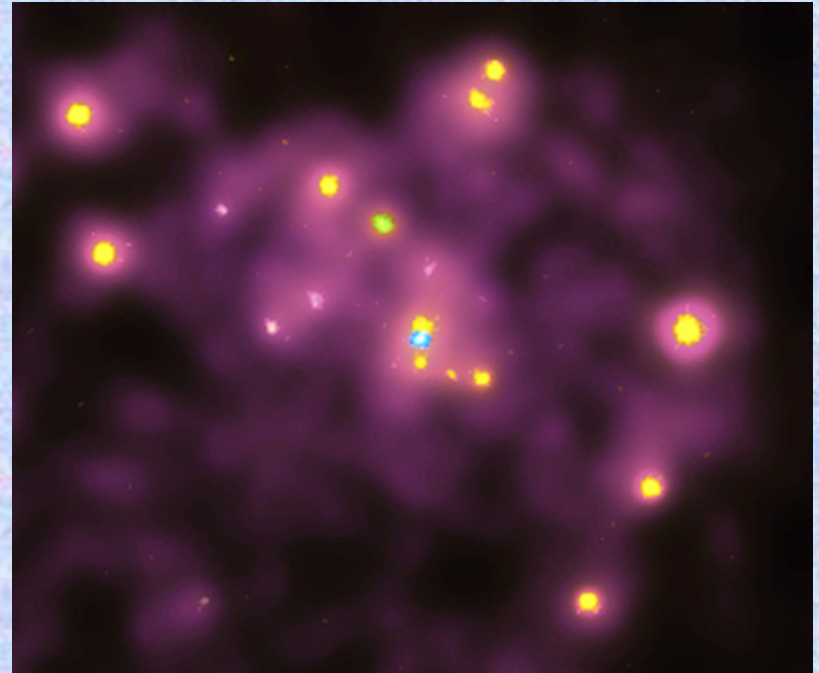
Il cielo in raggi X



Galassie in ottico vs. X



M31 in ottico

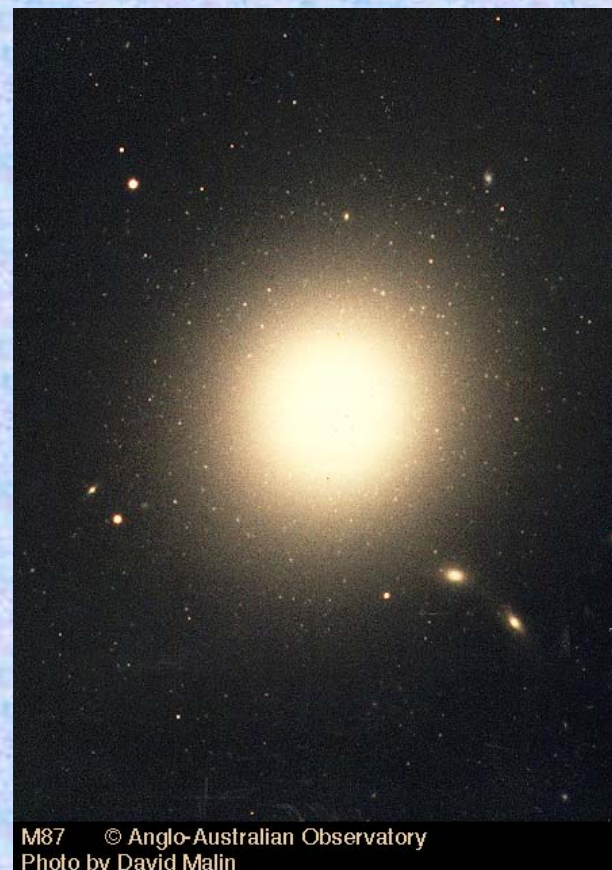


M31 in raggi X

Emissione X da nuclei attivi di galassie (AGN) 1/2

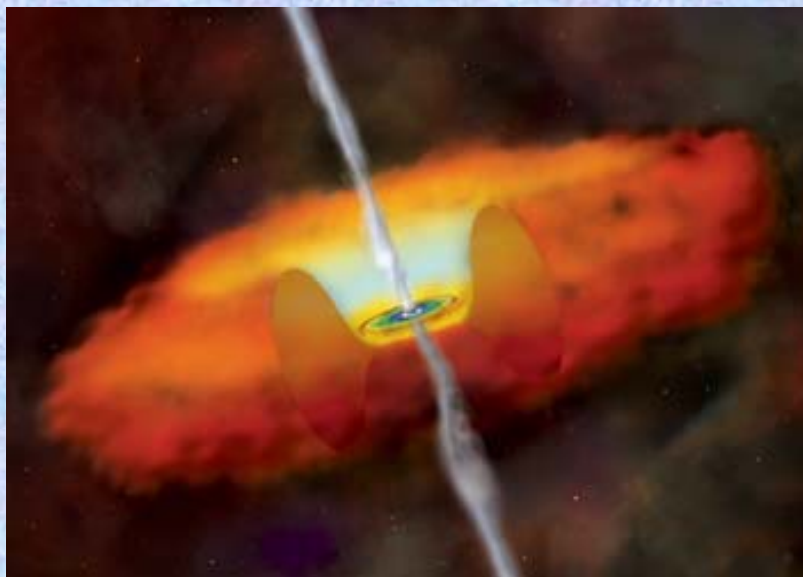


M51 in Canes Venatici

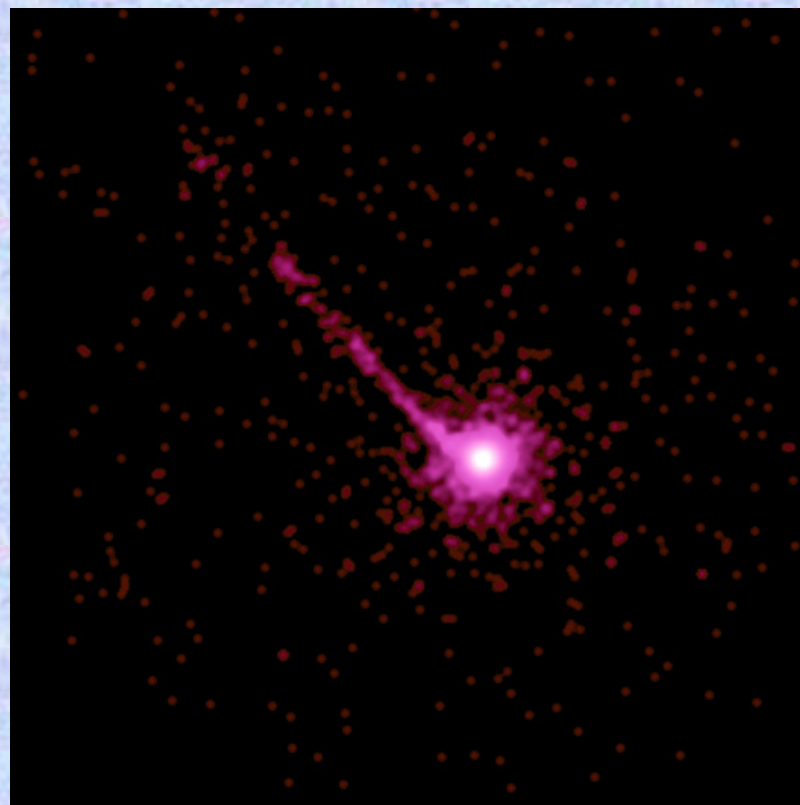


M87 © Anglo-Australian Observatory
Photo by David Malin

Emissione X da nuclei attivi di galassie (AGN) 2/2

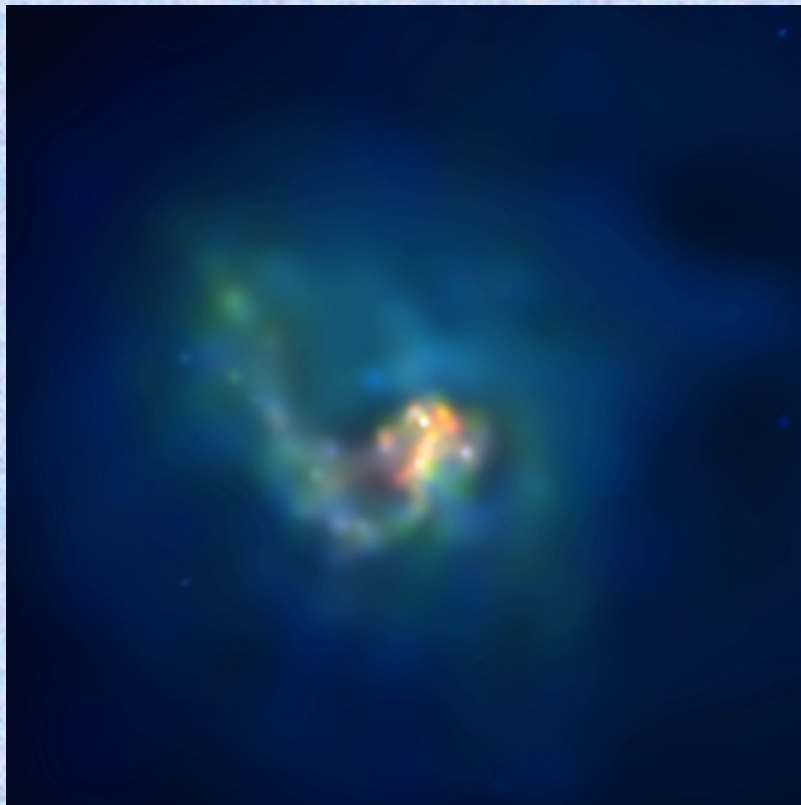


AGN schematics

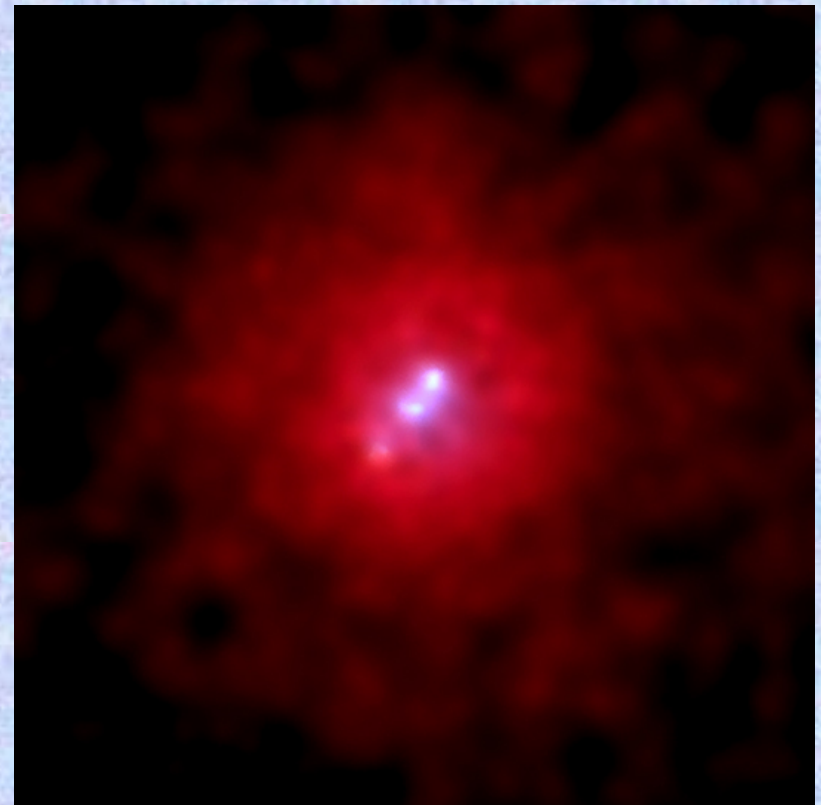


Quasar PKS 1127-145

Emissione X da ammassi di galassie



Coma Cluster

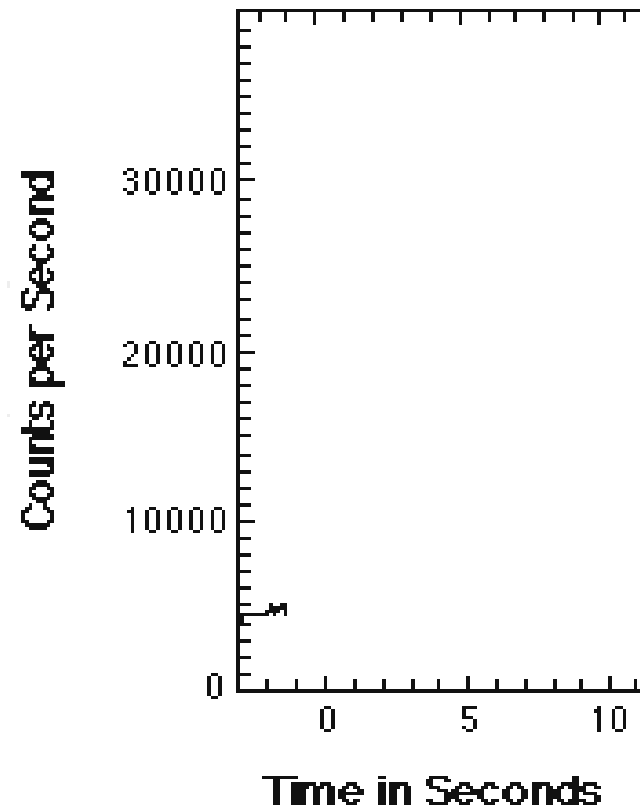
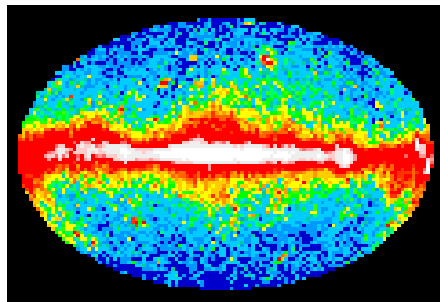


GC 3C195

Un satellite italiano dedicato all'astronomia X: BeppoSAX

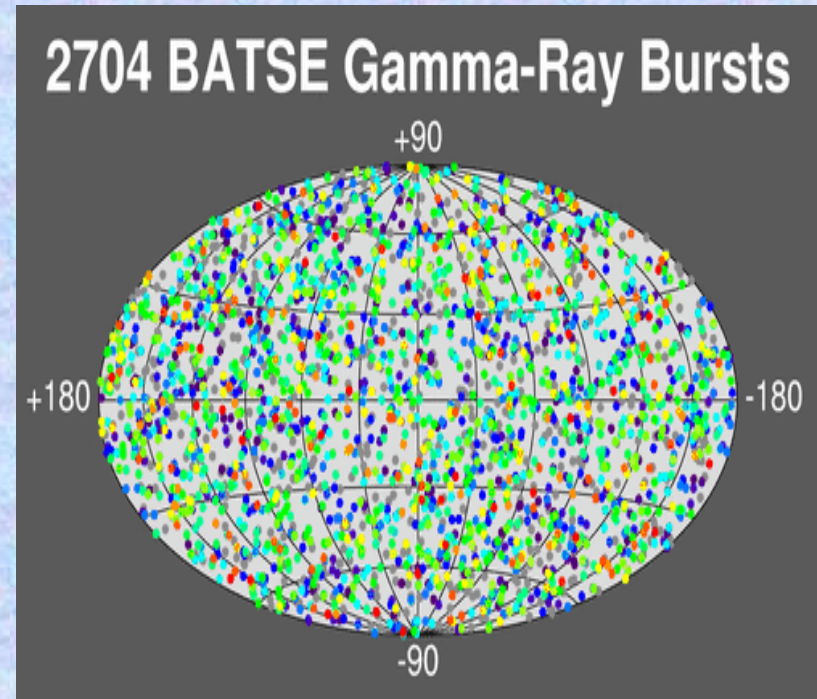


Lampi di raggi gamma

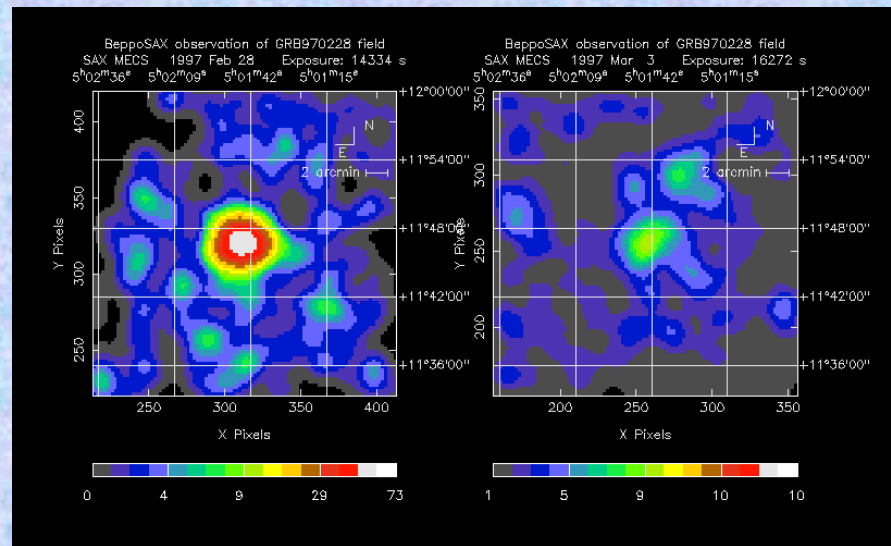


Il mistero dell'origine dei lampi gamma

- Scoperti per caso dai satelliti spia americani.
- Qual'è il sito di produzione?
- Origine rimasta misteriosa per 30 anni.
- Il satellite italiano BeppoSAX ha risolto il mistero.



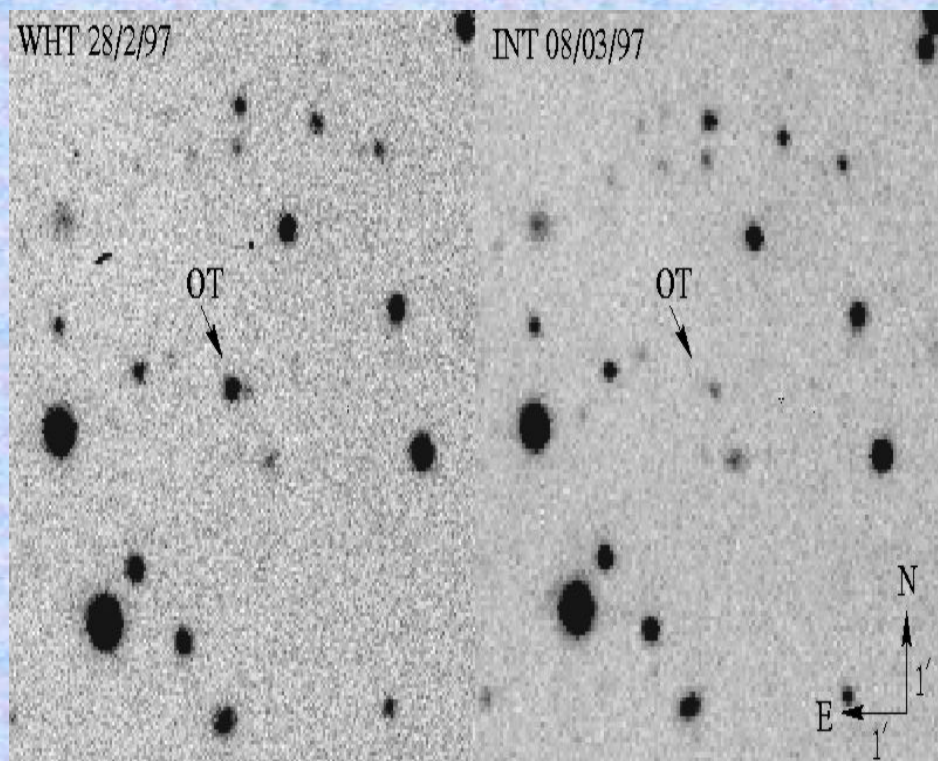
La rivoluzione BeppoSAX



- Il 28 febbraio 1997 il primo lampo viene individuato e subito localizzato;
- I telescopi a campo stretto vengono puntati rapidamente in direzione del lampo;
- Una sorgente X in rapido spegnimento (riverbero X) viene scoperta.

La rivoluzione BeppoSAX

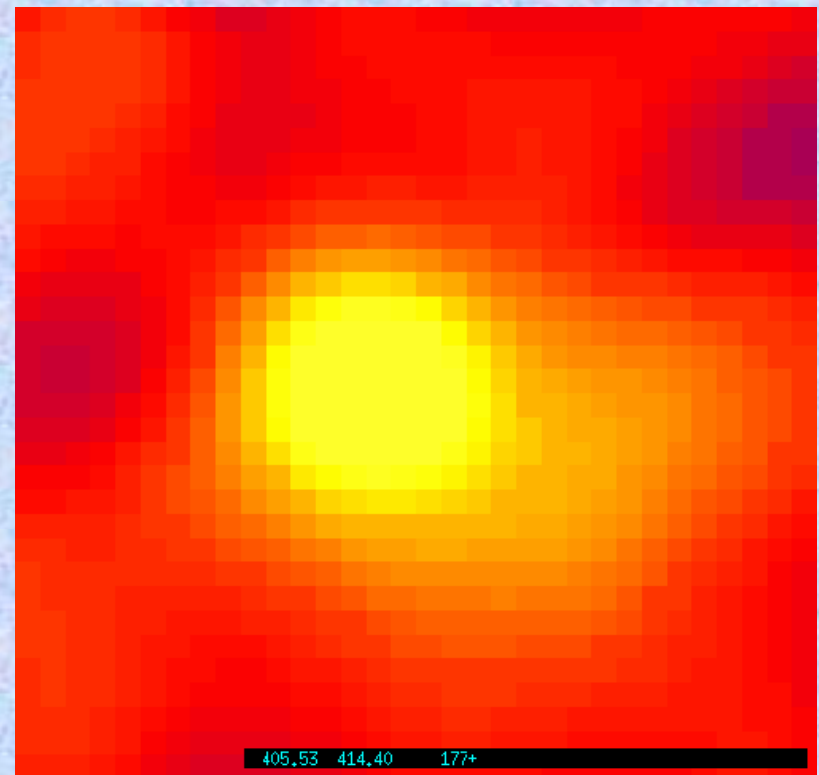
- **Le coordinate del lampo** vengono subito **trasmesse** a telescopi ottici di terra.
- **Il telescopio W. Hershel (Canarie)** è il primo a scoprire le controparte ottica del lampo gamma.



Dove si e' verificato il lampo

- **Il telescopio spaziale Hubble** mostra che il **lampo** è occorso all'interno di una nebulosità, probabilmente **in una galassia lontana**.
- Ma la **risposta definitiva** si ha **due mesi dopo ...**

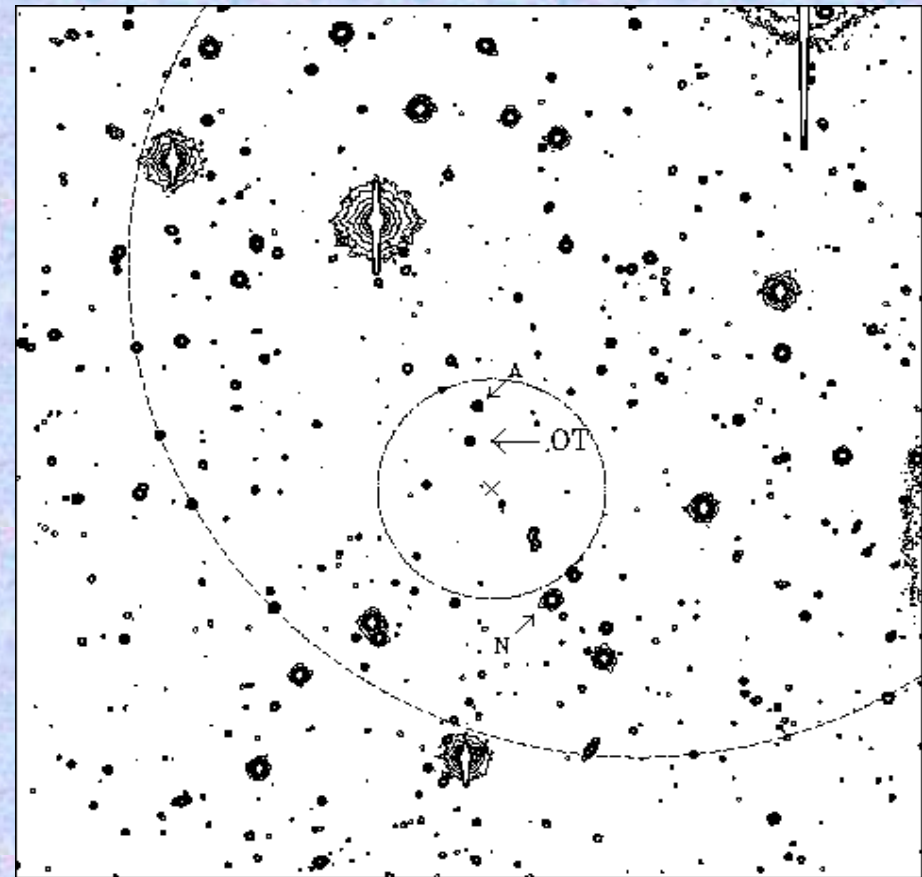
GRB970228



HST image

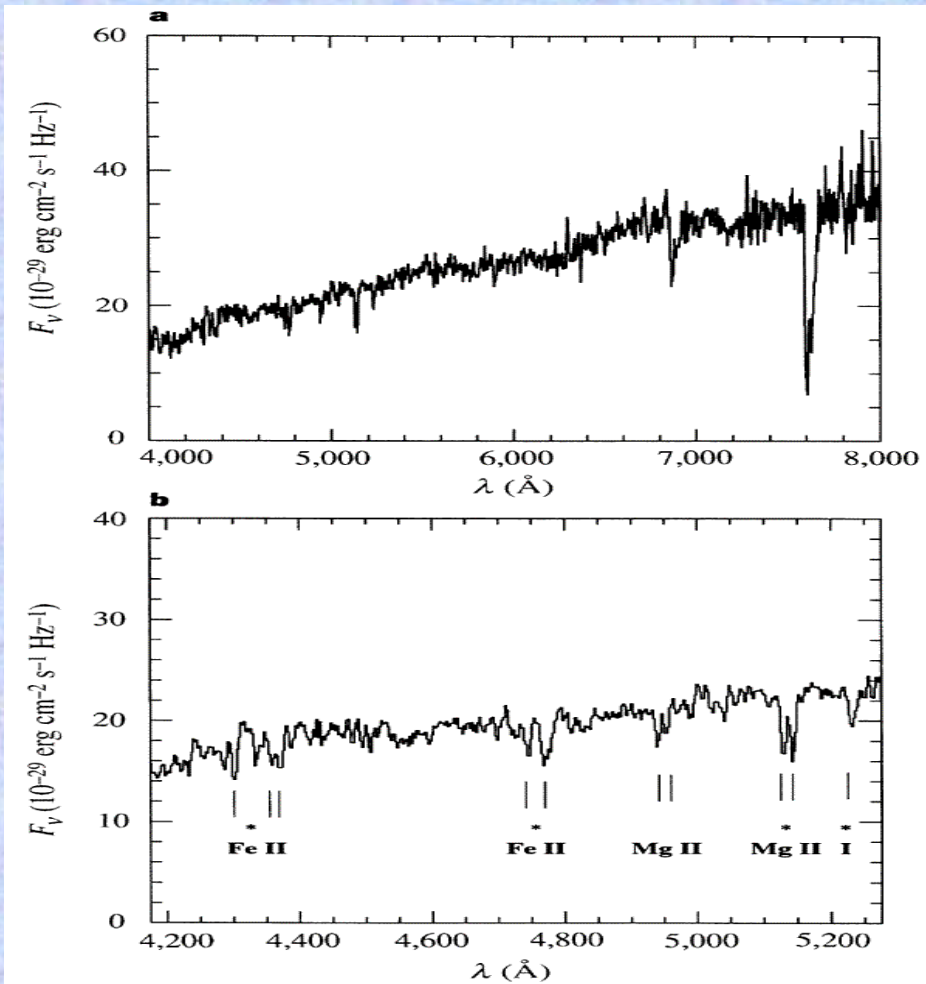
La rivoluzione BeppoSAX

- **Due mesi dopo, un altro evento e la sua controparte X vengono scoperti con BeppoSAX.**
- **Anche la luce ottica viene vista, che fortunatamente è molto più intensa.**



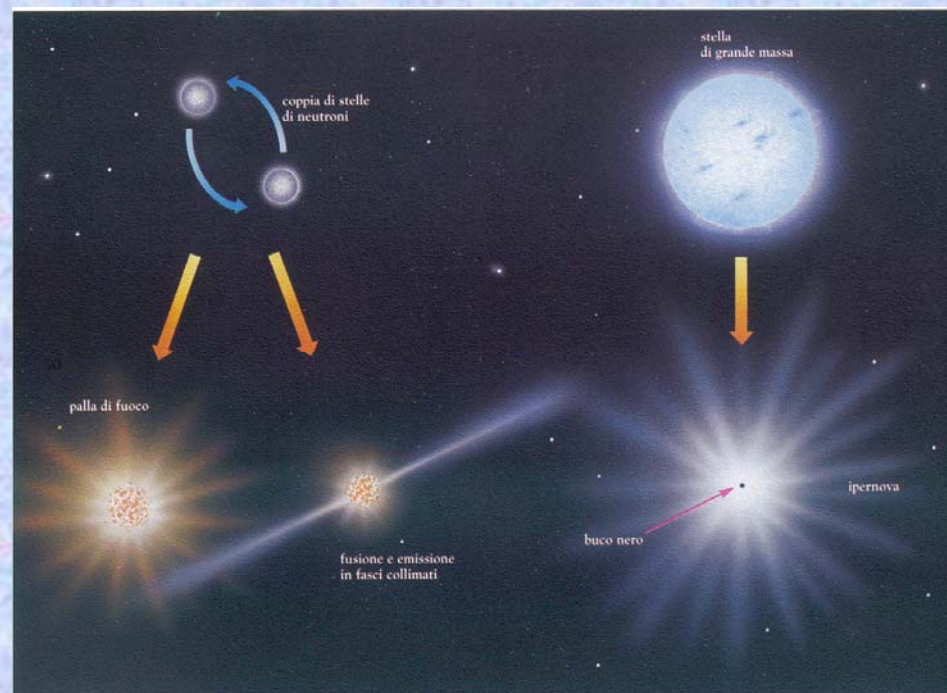
- **Col grande telescopio Keck** da 8 m (Hawaii), è possibile misurare lo **spettro della luce**.
- Esso mostra **righe di assorbimento spostate verso il rosso** per effetto dell'**espansione cosmologica** dell'Universo.
- Viene così **misurata la distanza**: miliardi di anni luce.
- Il **mistero della distanza** dei GRB viene finalmente **risolto** dopo circa 30 anni

GRB 970508



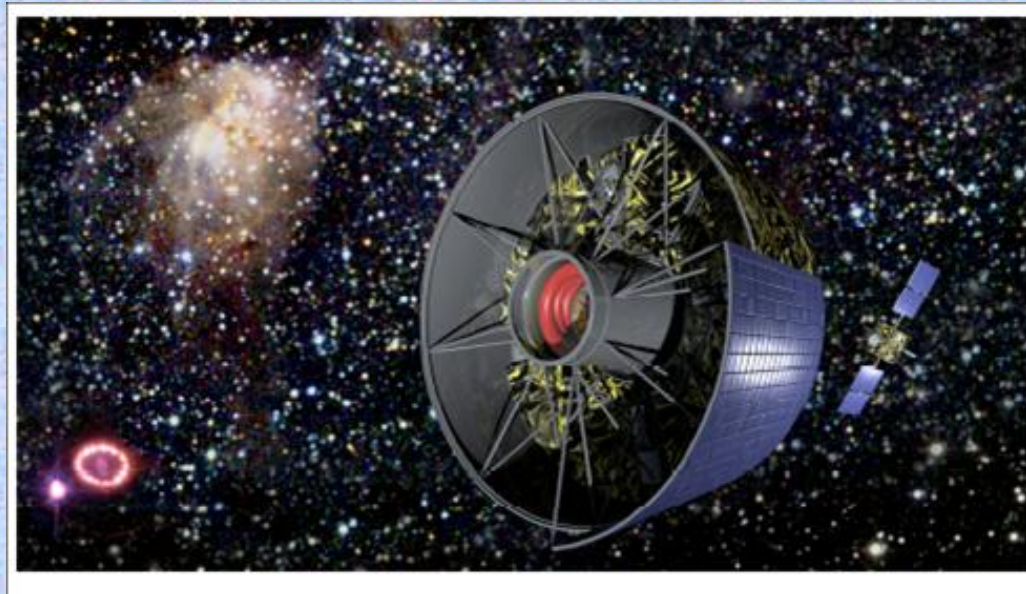
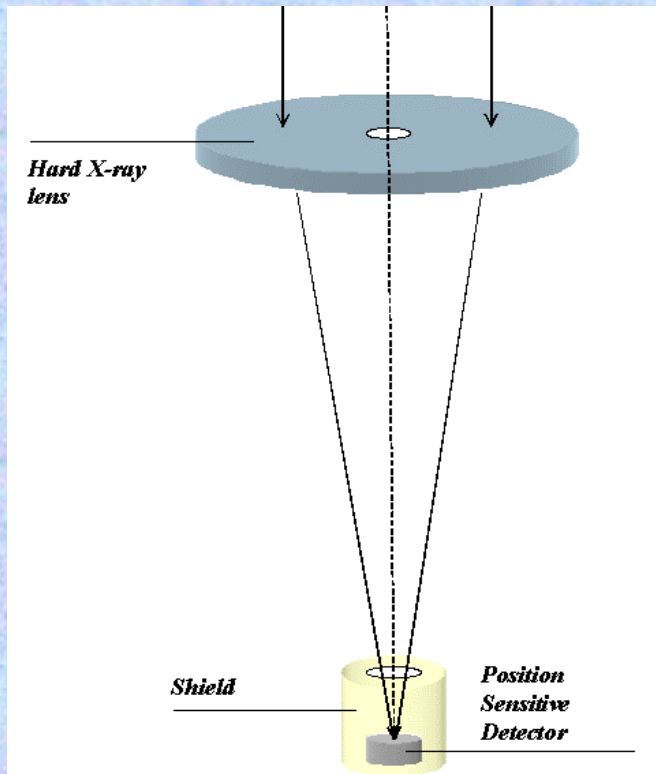
La rivoluzione BeppoSAX

- Dalla distanza e dal flusso si può misurare **l'energia elettromagnetica liberata nell'evento**.
- Essa è risultata enorme ($\sim 10^{52}$ erg), seconda solo all'energia liberata nel **BIG BANG**, che ha dato origine al nostro Universo.
- **Origine:** ancora in corso di studio.



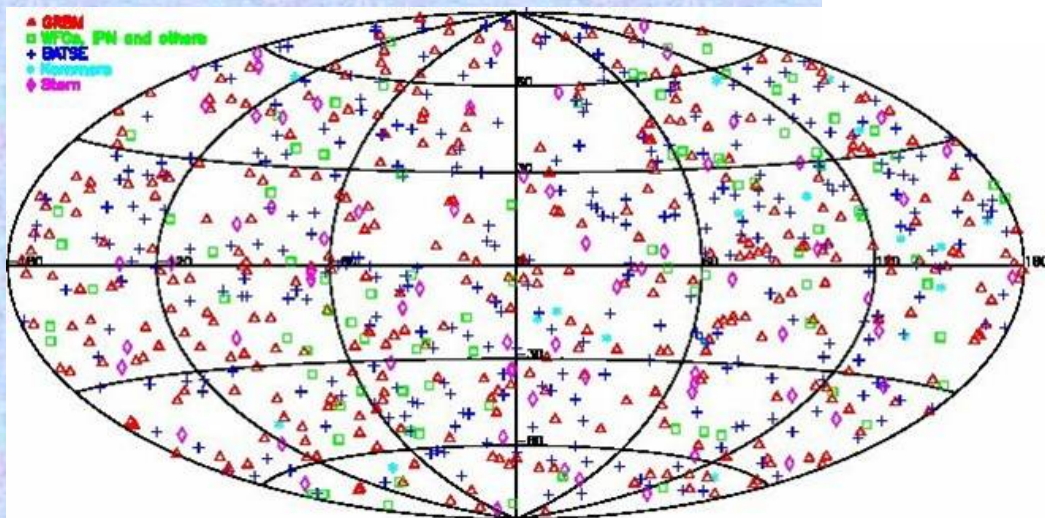
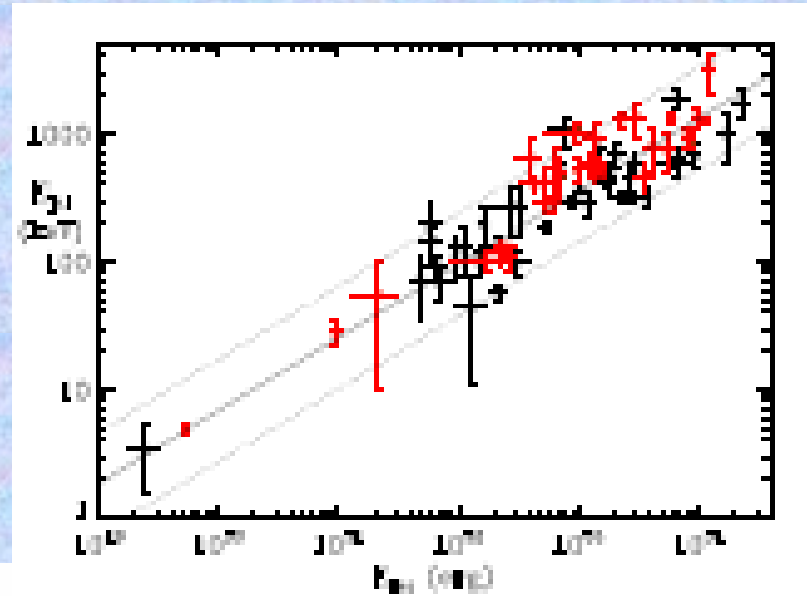
Astrofisica spaziale a Ferrara 1/4

- **Progetto HAXTEL:** sviluppo di lenti di Laue



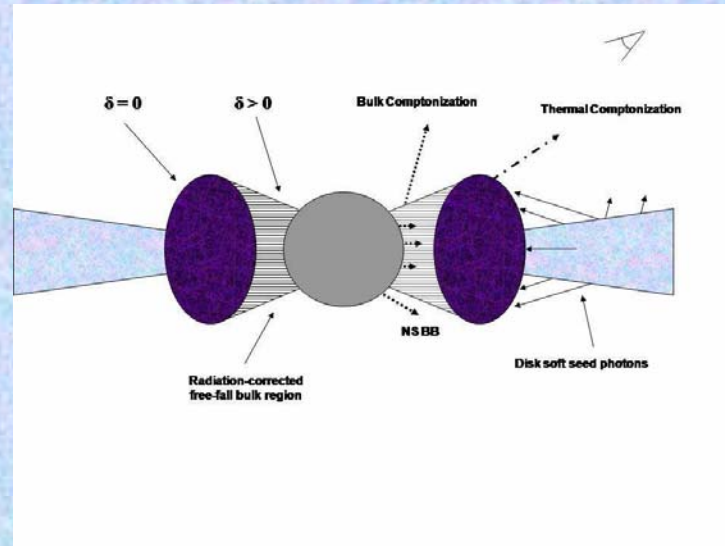
Astrofisica spaziale a Ferrara 2/4

- **Attività osservativa:**
 - GRB;
 - Oggetti compatti in sistemi binari



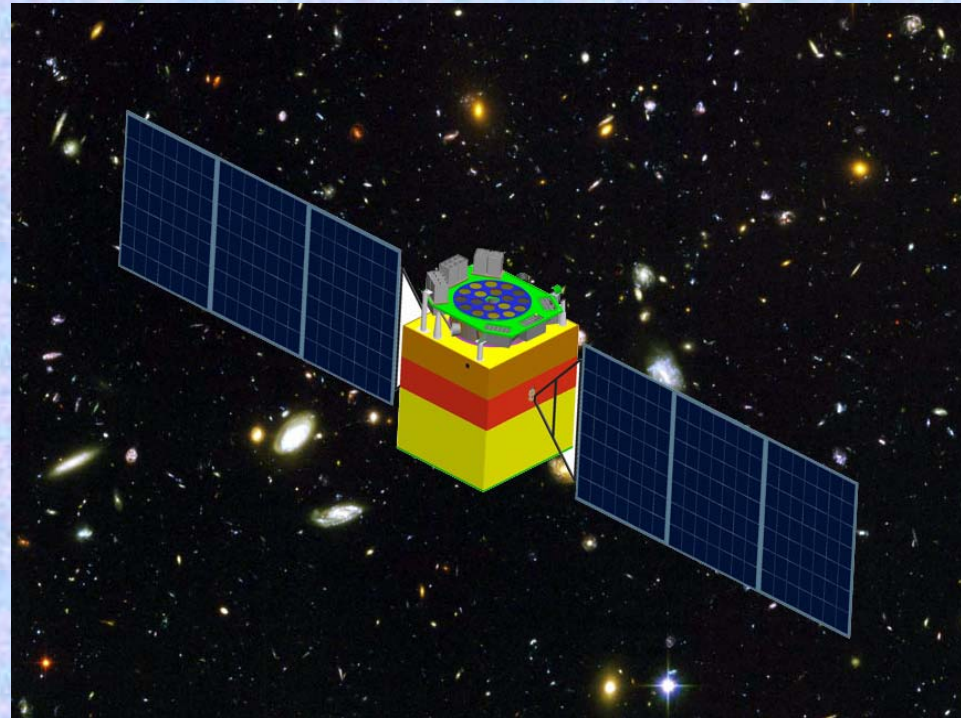
Astrofisica spaziale a Ferrara 3/4

- **Attività teorica**



Astrofisica spaziale a Ferrara 4/4

- **Studio di missioni**



HXMT

La **luna** vista dal Dipartimento di Fisica

