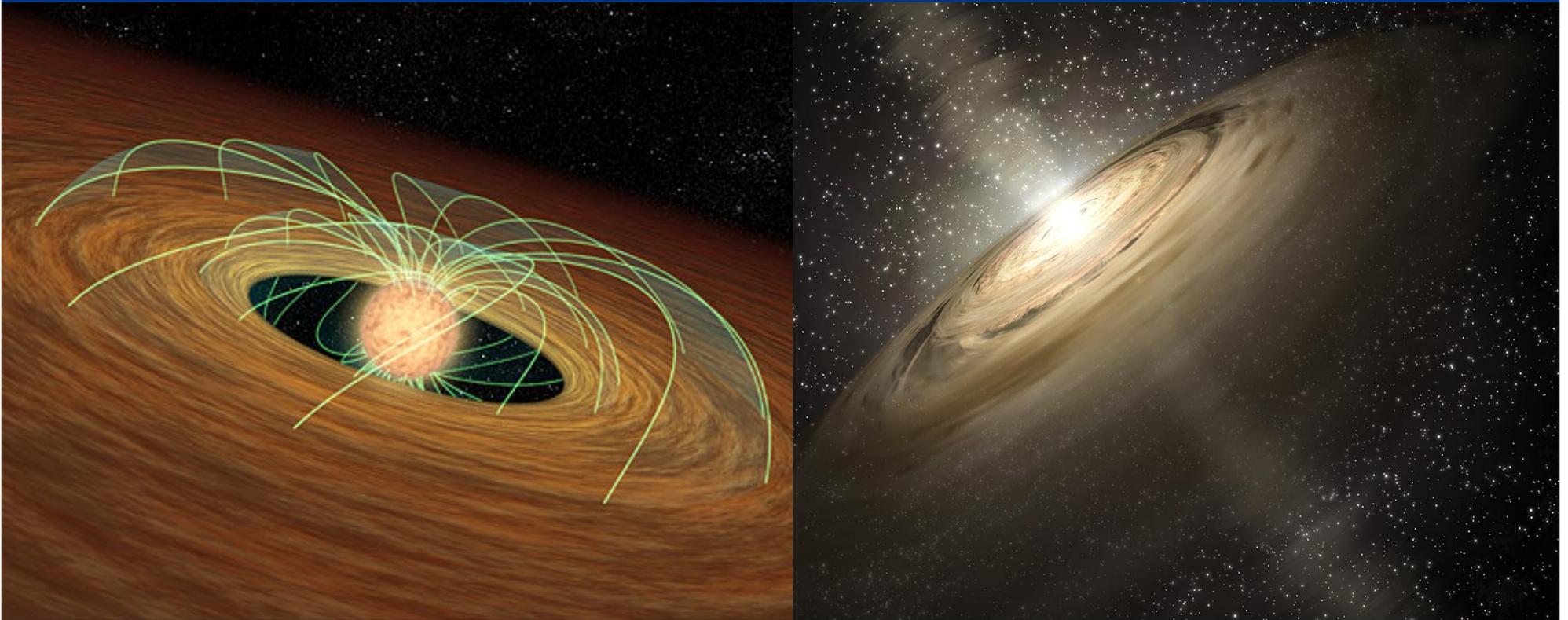


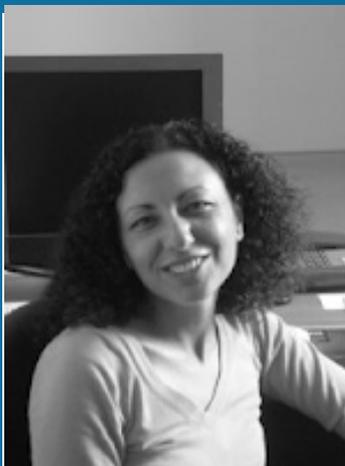
# Stelle di Neutroni e Buchi Neri: Gli Orologi più Precisi dell'Universo ed il Cannibalismo Galattico



*Tiziana Di Salvo e Rosario Iaria  
Gruppo di Astrofisica delle Alte Energie  
dell' Università di Palermo*

*Seminario per Studenti  
4 Aprile 2016*

# Composizione del gruppo



**Prof. Tiziana Di Salvo**

Professore Associato

Corsi:

Laboratorio di  
Fisica I (L. Triennale);  
Interazione Radiazione  
Materia (L. Magistrale)



**Prof. Rosario Iaria**

Professore Associato

Corsi (L. Magistrale):  
Astrofisica delle Alte  
Energie;  
Fisica dell'Universo

Dottorandi:

Gioele Galiano (XXIV, tutor: Iaria),

Marco Matranga (XXIX Ciclo, tutor: Di Salvo),

Angelo Gambino (XXX Ciclo, tutor: Iaria)

# Composizione del gruppo



## **Prof. Luciano Burderi**

Professore Associato  
presso il Dipartimento  
di Fisica dell'Università  
di Cagliari



## **SRT (San Basilio, Cagliari): Radio Telescopio della Sardegna**

Lo specchio primario dello  
strumento è costituito da 1008  
pannelli d'alluminio comandati  
da 1116 elettroattuatori e uniti a  
formare una superficie attiva,  
una parabola del diametro  
complessivo di 64 m



# Collaborazioni, skills, facilities

-Gruppo di Astrofisica dell' **Università di Cagliari**

(Prof. L. Burderi, Dr. A. Riggio, Dr. A Sanna,)

-**INAF-Osservatorio Astronomico di Cagliari**

(Prof. N. D'Amico – Direttore SRT, Dr. A. Possenti – Direttore OAC, Dr. M. Burgay)

- **INAF – IASF Palermo** (Dr. M. Del Santo, Dr. P. Romano, Dr. T. Mineo, Dr. A. D'Ai)

- **INAF e Univ. Roma** (L. Stella, G. Israel, M.T. Menna, V. Testa, A. Tornambè)

- **INAF e Univ. Milano** (T. Belloni, S. Mereghetti, M. Colpi, R. Turolla)

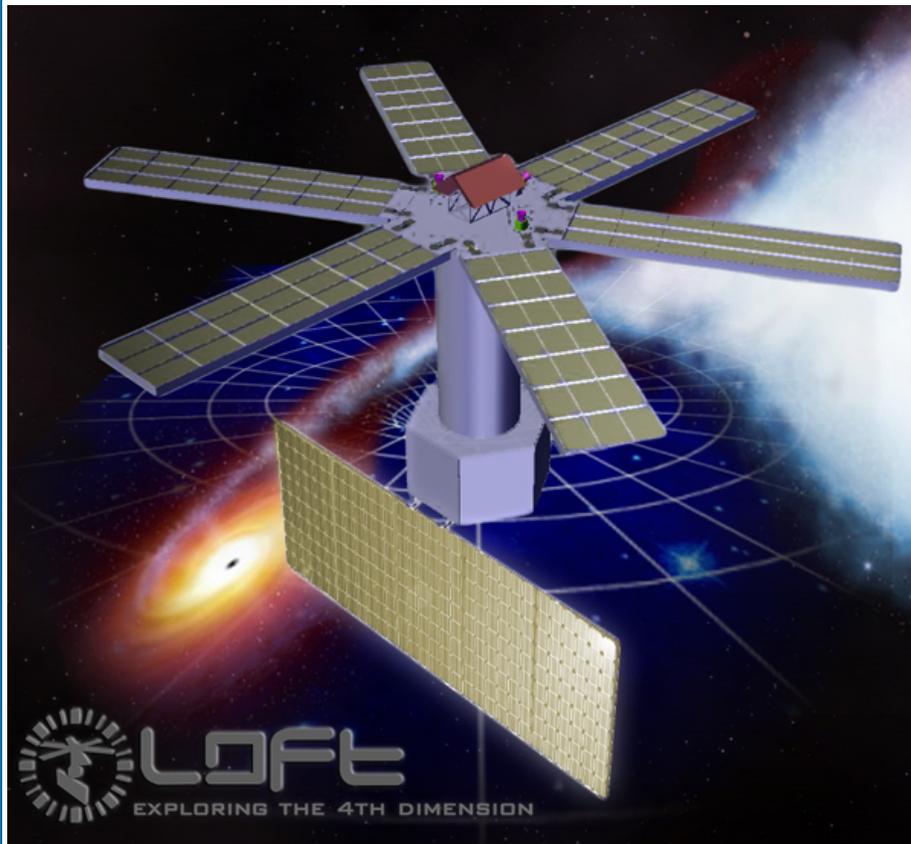
- **Spain** (N. Rea, A. Papitto, D. Torres)

- **Switzerland** (E. Bozzo, C. Ferrigno, M. Falanga)

- **Germany** (J. Wilms, A. Santangelo, S. Piraino)

- **USA** (J. Miller, E. Cackett, J. Garcia, D. Ballantyne, P. Kaaret, etc.)

# Collaborazioni, skills, facilities

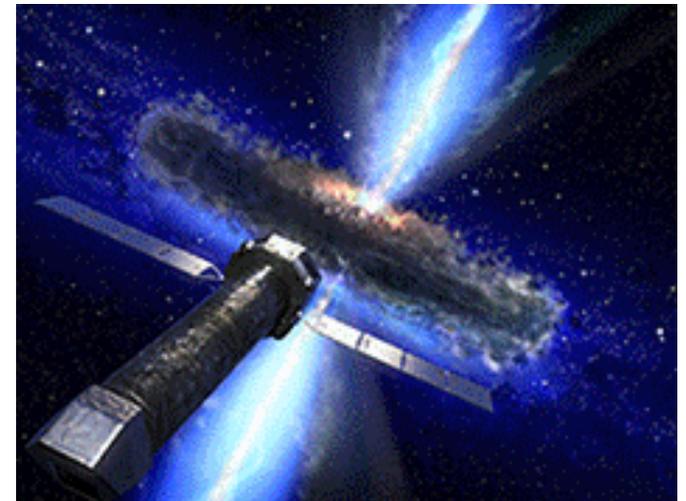


The Large Observatory For X-ray Timing (LOFT).

Facciamo parte dei gruppi di lavoro internazionali per i seguenti argomenti:

- Strong Gravity
- Observatory Science

ATHENA+ is an X-ray observatory accepted as a large mission for the ESA science program.



# Progetti in atto

**Prin 2015** (in fase di valutazione):

Coordinatore Nazionale: T. Di Salvo (UNIPA)

Coordinatore Locale: L. Burderi (UNICA)

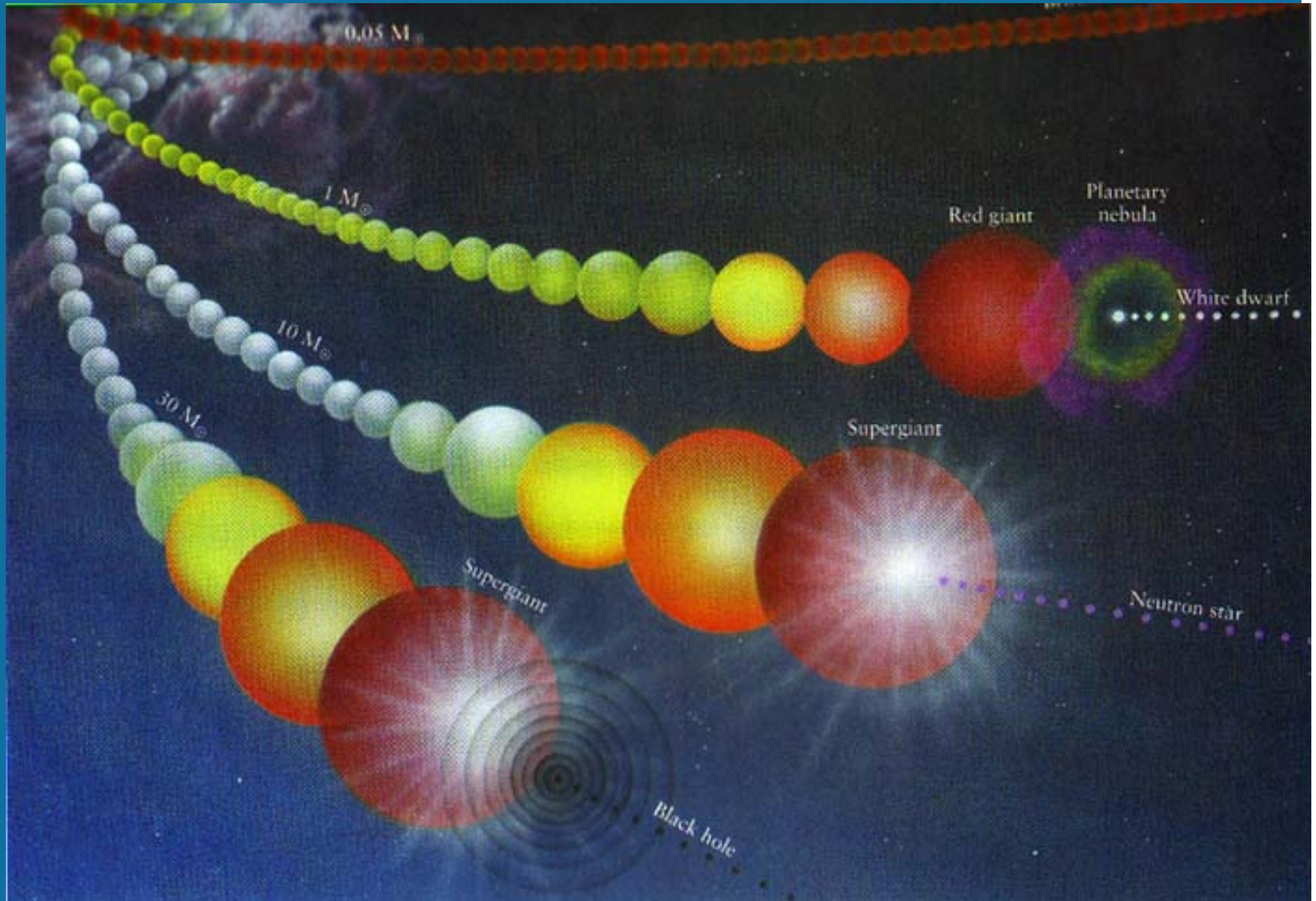
Coordinatore Locale: G.L. Israel (INAF-OAR, Roma)

Abbiamo avuto più volte accesso all'uso del super-computer dell'INAF-OAC (Mangusta) e abbiamo ottenuto tempo di calcolo al **super-computer FERMI del Cineca** (attualmente tra i primi nella classifica mondiale).

Abbiamo ricevuto fondi (nel 2015 e 2016) per lo sfruttamento scientifico dei dati di **NuSTAR** (osservatorio in banda X della NASA).

Stiamo lavorando ad un progetto per la realizzazione di un detector Gamma di grandissima area (**HERMES**, posizionato sulla Stazione Spaziale Internazionale) per lo studio della Lorentz Invariance Violation (LIV), prevista per i fotoni di altissima energia dai modelli di spazio-tempo quantizzato.

# Evoluzione Stellare



# Principali tematiche della ricerca

Il gruppo di Astrofisica delle Alte Energie principalmente si occupa dello studio dei **sistemi binari X contenenti stelle di neutroni o buchi neri**. I sistemi binari X sono oggetti celesti che emettono prevalentemente ai raggi X e hanno una elevata luminosità (fino a 100,000 Soli).

La materia nelle vicinanze subisce gli effetti di **intensi campi gravitazionali e magnetici**, i più intensi dell'Universo. Attraverso lo studio di questi sistemi si cerca quindi di investigare la fisica di base in condizioni estreme.



# Principali tematiche della ricerca

Il lavoro di ricerca del gruppo si articola sull'aspetto osservativo ed interpretativo. Il lavoro osservativo è basato sull'analisi di osservazioni fatte dai più importanti satelliti internazionali per X-Astronomia **BeppoSAX, Rossi-XTE, Chandra, XMM-Newton, SUZAKU, NuSTAR, Integral e Swift**. Satelliti che per le loro caratteristiche complementari permettono di ottenere un vasto numero di informazioni consentendo lo sviluppo di modelli atti a descrivere la fisica di questi corpi celesti.

Il satellite per l'astronomia X  
XMM-Newton in orbita  
intorno alla Terra.



# Principali tematiche della ricerca

Per avere una visione più ampia della fenomenologia dei sistemi binari X contenenti stelle di neutroni affrontiamo il loro studio anche nella banda di energia radio (**Radiotelescopio di Parkes, Australia, Sardinia Radio Telescope, Italia**), **ottica (VLT, Chile)**, e **Gamma (Fermi Telescope, Agile)** in modo da ricercare possibili correlazioni tra le emissioni a diverse lunghezze d'onda.

VLT, Cile



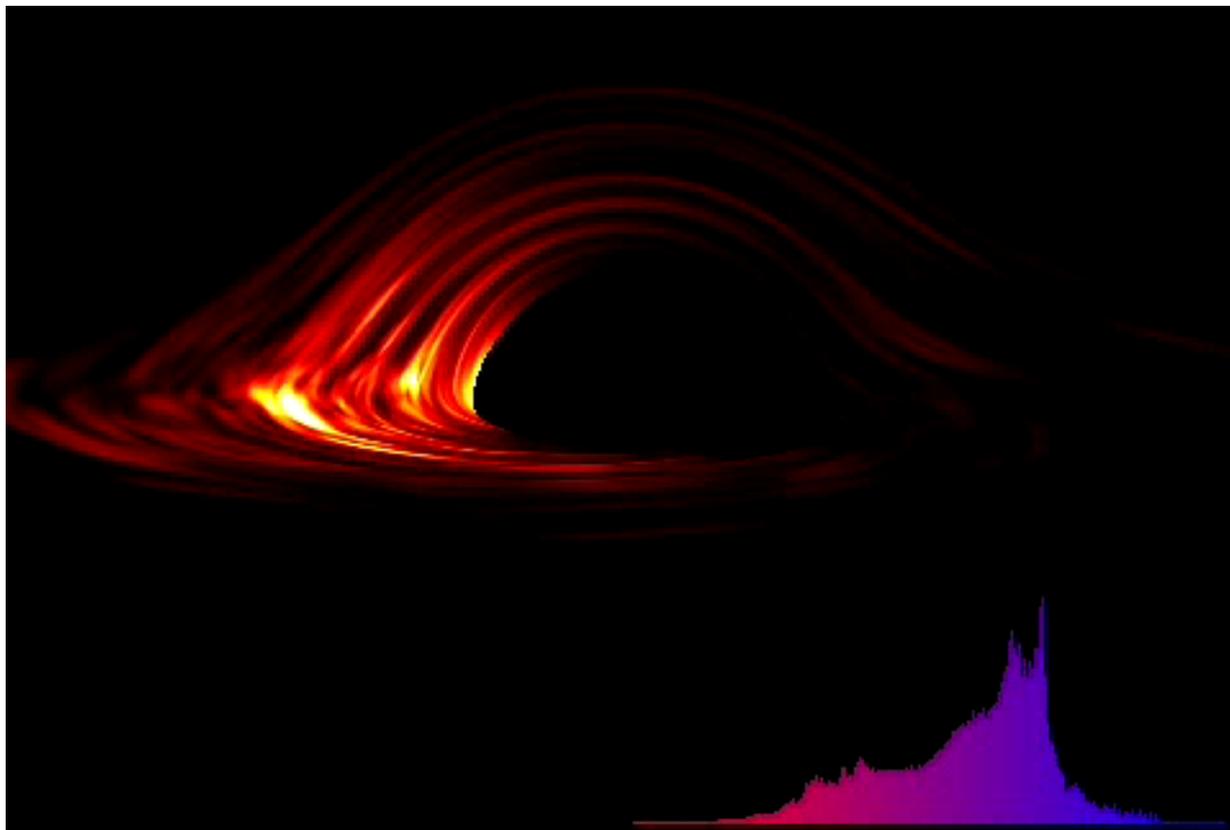
VLA, Socorro, New Mexico



# Highlights della Ricerca: Spettroscopia scoperta e studio dei profili relativistici della riga del Fe

Dallo studio del profilo di riga ricaviamo informazioni dettagliate sulla regione di emissione a pochi km dalla superficie della NS.

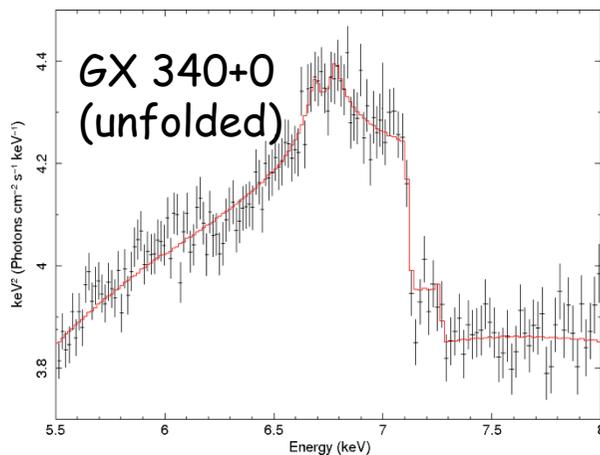
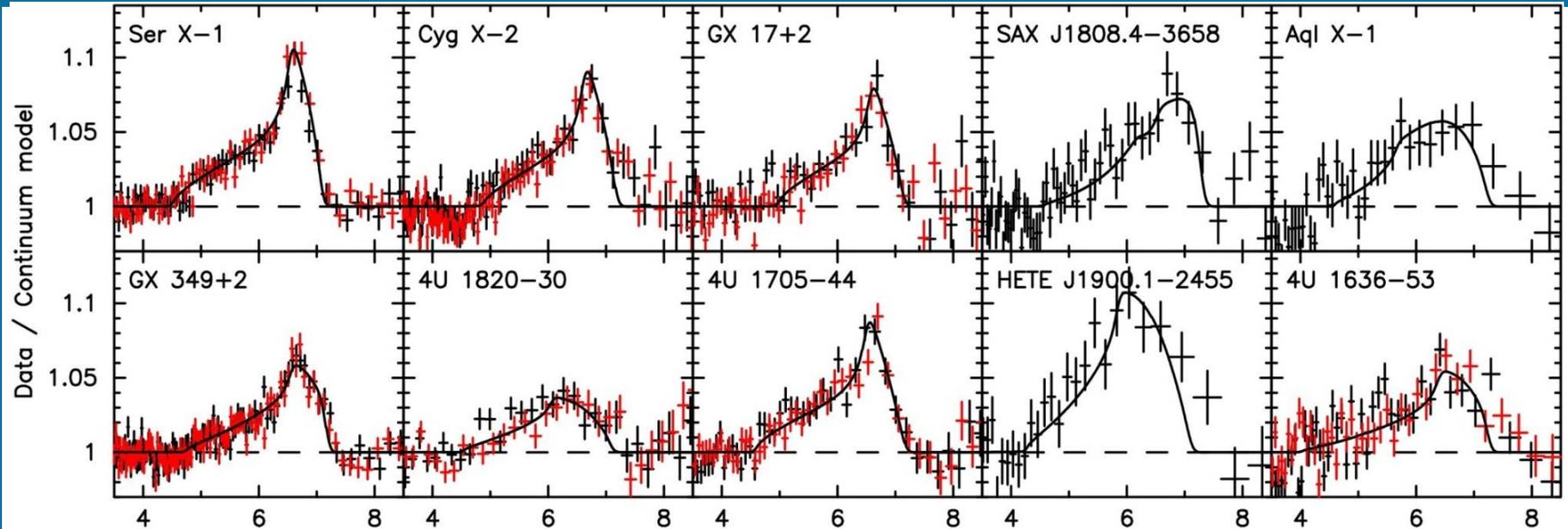
In prospettiva tale studio potrebbe portare alla determinazione della massa e raggio della NS (e quindi alla Equazione di Stato della Materia Ultra-densa)



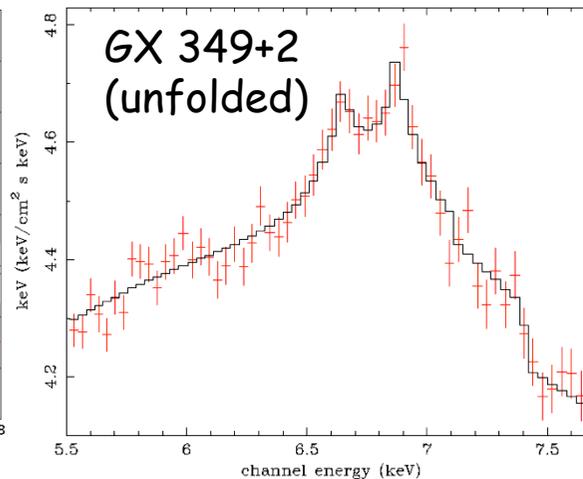
La luce emessa dal retro del disco viene distorta e risulta visibile all' osservatore

# Line profiles in Neutron Star Binaries

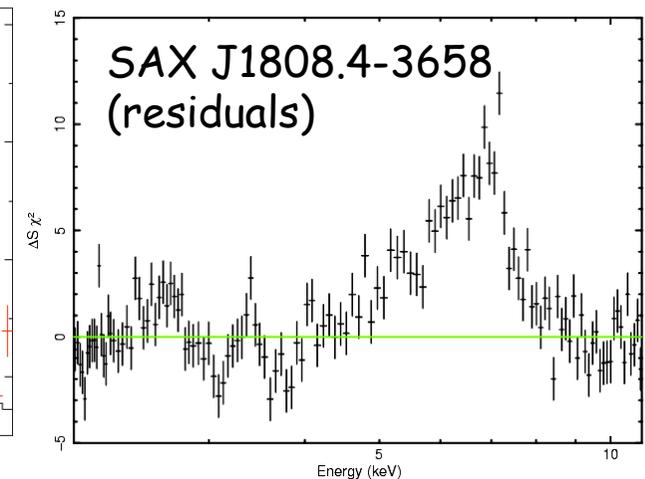
Cackett et al. 2009



D'Ai et al. (2009)

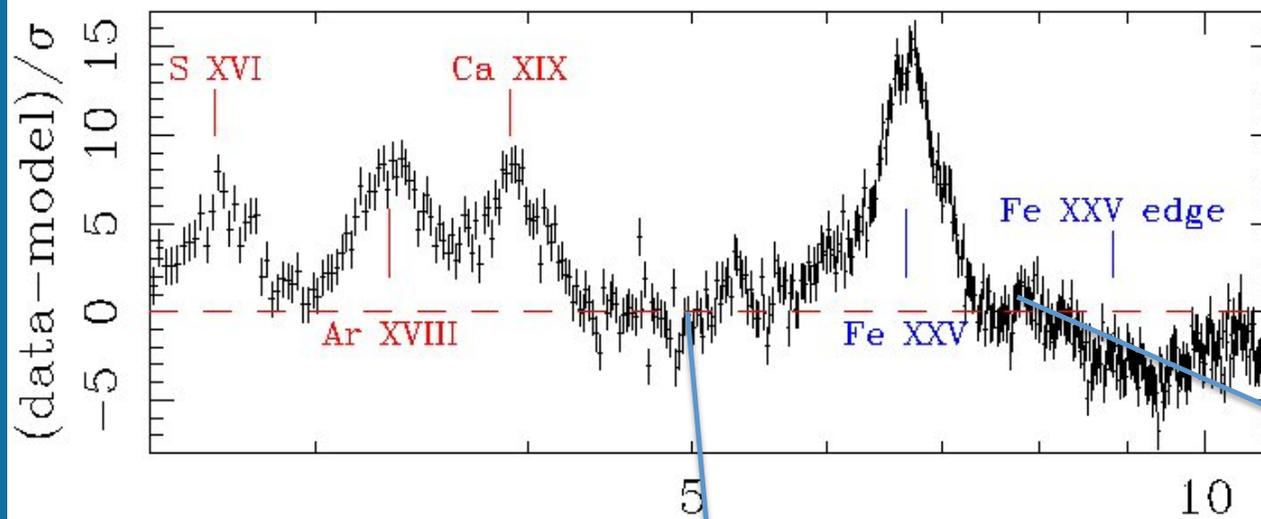


Iaria et al. (2009)



Papitto et al. (2009)

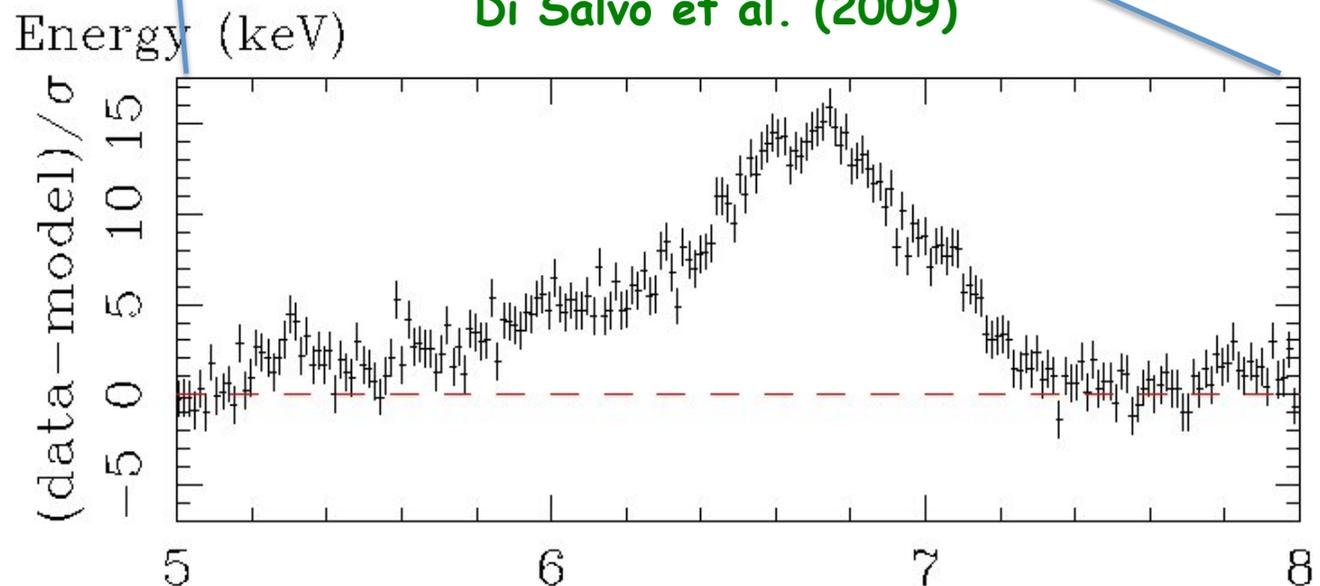
# The XMM-Newton spectrum of 4U 1705-44 during a soft state



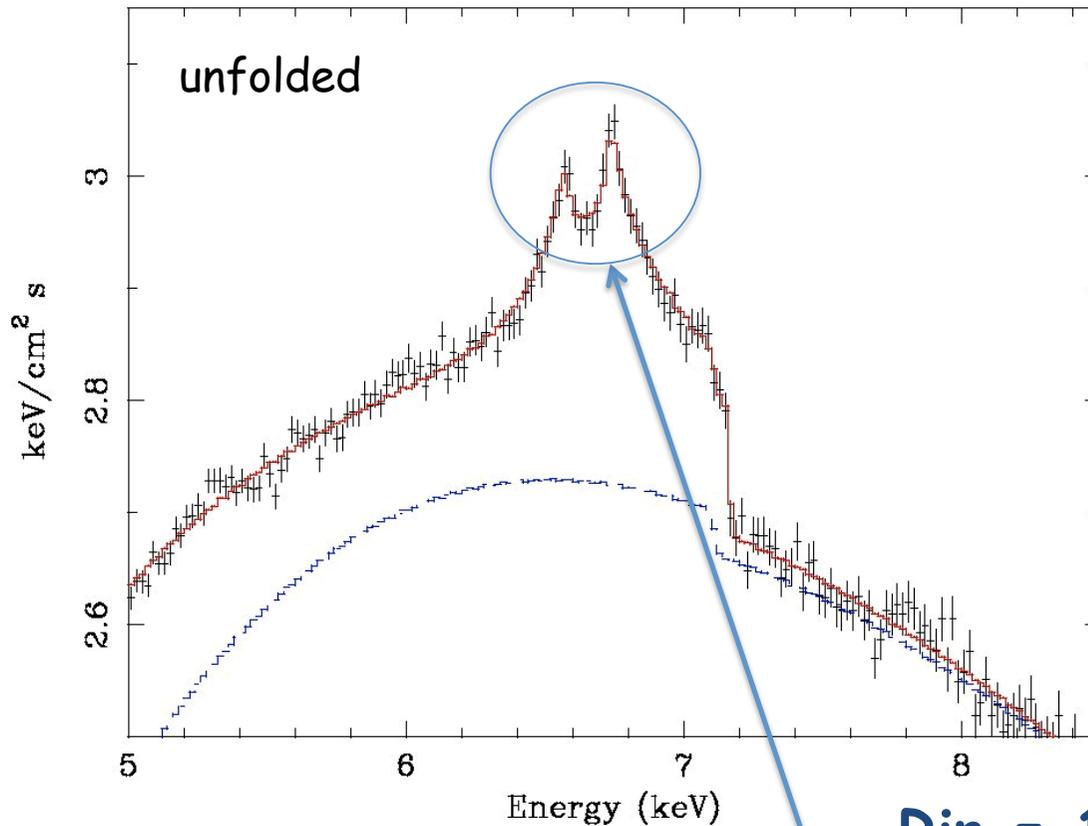
Residuals with respect to the continuum model

Di Salvo et al. (2009)

The iron line at 6.7 keV is perfectly fitted by a diskline with very well determined parameters



# The relativistic line of 4U 1705-44



Di Salvo et al. (2009)

F-test with respect to a simple Gaussian model gives a prob of chance improvement of  $3 \times 10^{-11}$  !

$E_{\text{Fe}} = 6.66 \pm 0.01 \text{ keV}$   
 $\text{Log } x = 2.7 - 3$   
 $E_{\text{qW}} = 56 \pm 2 \text{ eV}$

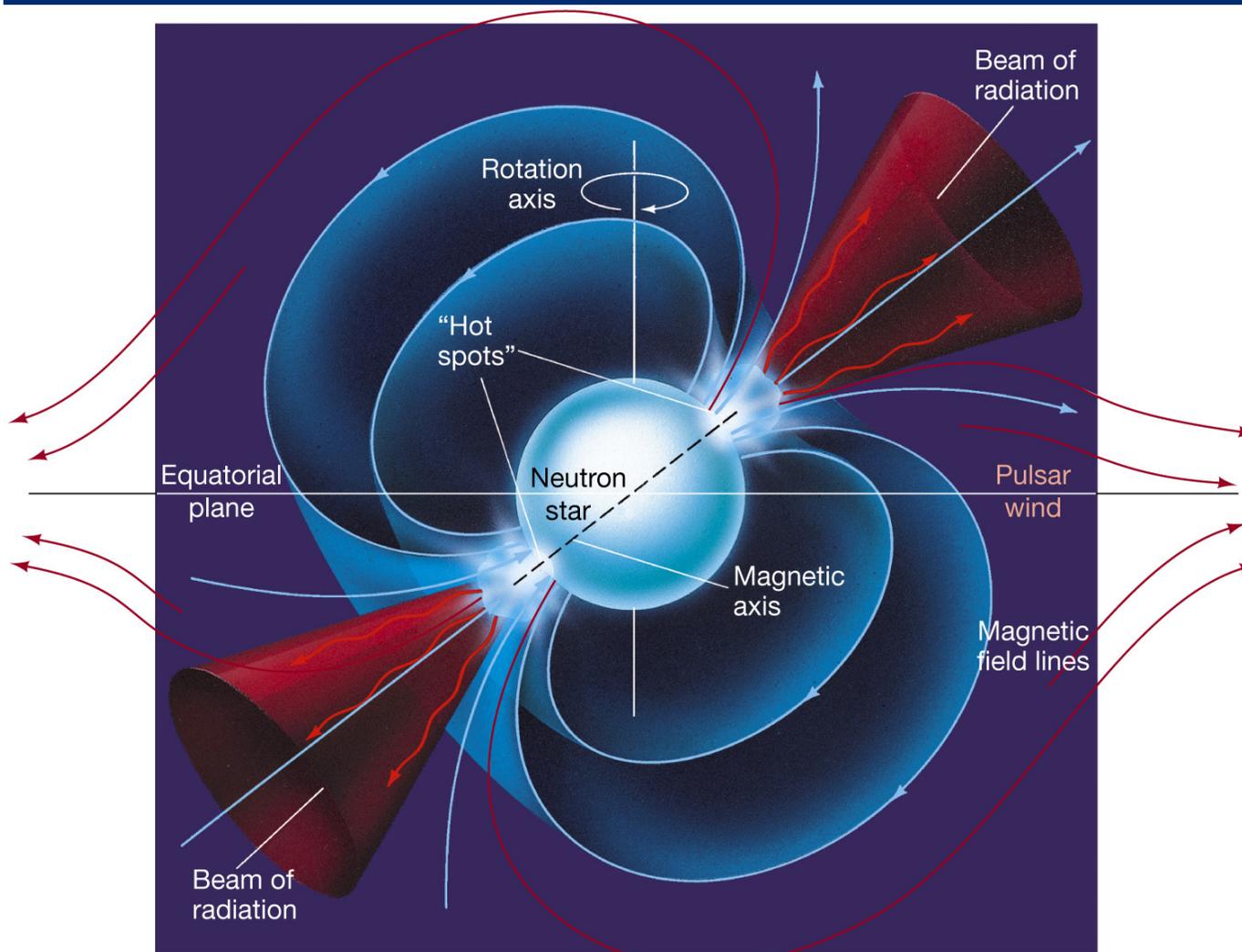
$R_{\text{in}} = 14 \pm 2 R_{\text{g}}$

$i = 39 \pm 1 \text{ degrees}$

Em index  $\sim -2.2$

$R_{\text{out}} = 3500 \pm 1000 R_{\text{g}}$

# Le Pulsar: Stelle di Neutroni con Intensi Campi Magnetici



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Le Stelle di Neutroni hanno masse dell'ordine di 1 Msun e raggi di 10 km circa. Possono essere rapidamente ruotanti:

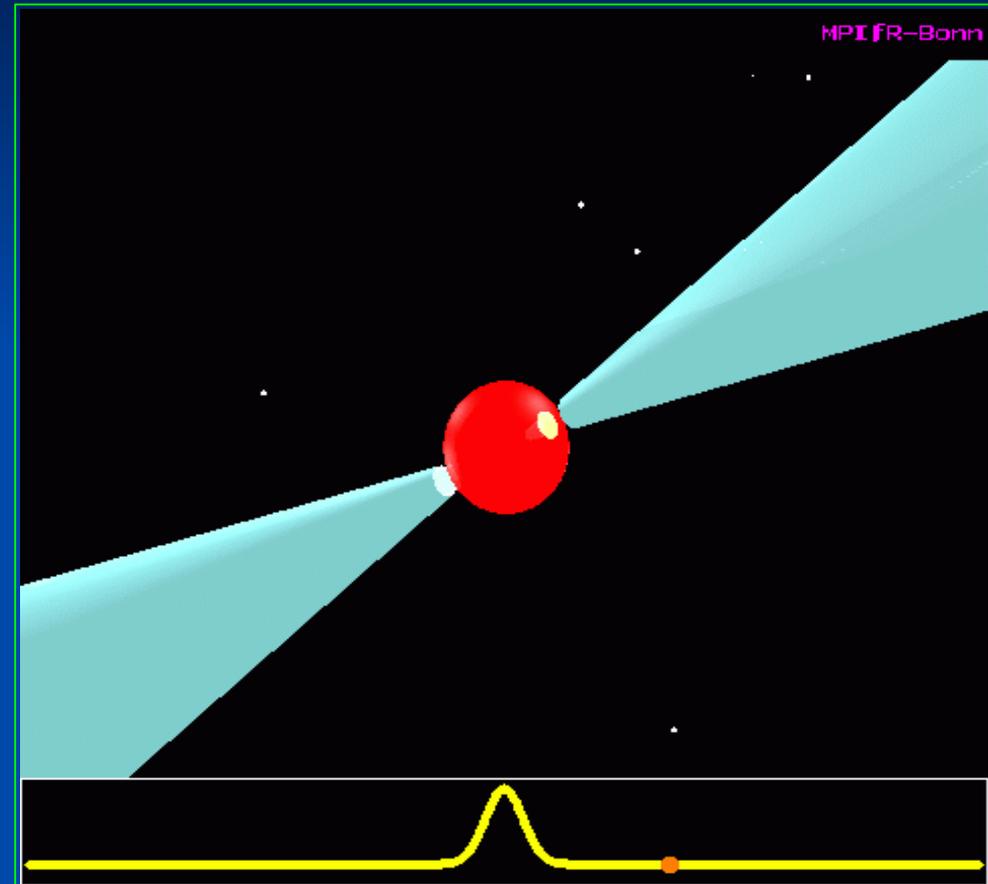
$$P = 1 \text{ ms} - 10 \text{ s}$$

# Pulsar

## Emissione collimata ed effetto faro

Emissione collimata +  
rotazione = effetto  
faro (pulsazioni)

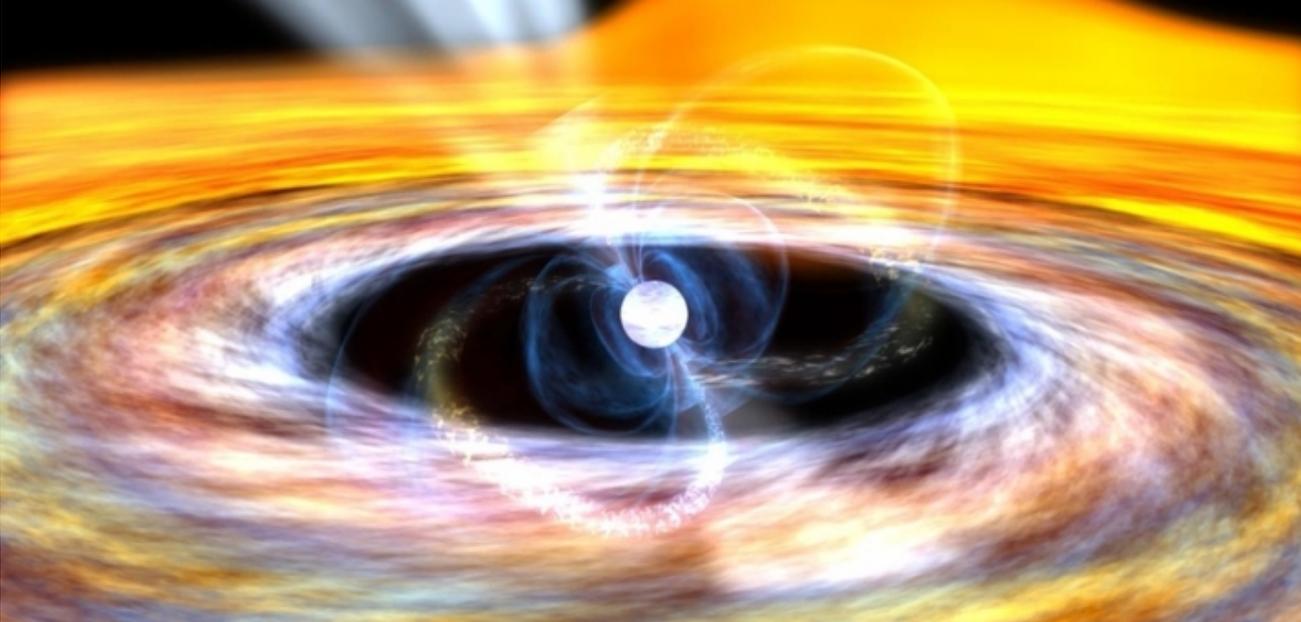
Le pulsazioni  
estremamente  
regolari le rendono  
gli orologi più  
precisi dell'Universo



Suono da una pulsar al millisecondo (periodo di rotazione 1.67 msec; in 1 s la pulsar gira circa 600 volte su se stessa)



# Highlights della Ricerca: Timing



Il nostro gruppo è leader mondiale per il **timing di alta precisione dello spin delle millisecond pulsar** in accrescimento.

Ciò ci permette di studiare lo scambio di momento angolare tra la materia in accrescimento e la NS.

Effettuiamo anche il **timing del periodo orbitale** al fine di studiare l'evoluzione secolare di questi sistemi e verificare il modello del “**radio ejection**” (Burderi et al. 2001, 2003), una particolare fase evolutiva da noi introdotta, durante la quale la pressione di radiazione del dipolo magnetico velocemente rotante è in grado di fermare l'accrescimento di materia sulla stella.

# Highlights della ricerca

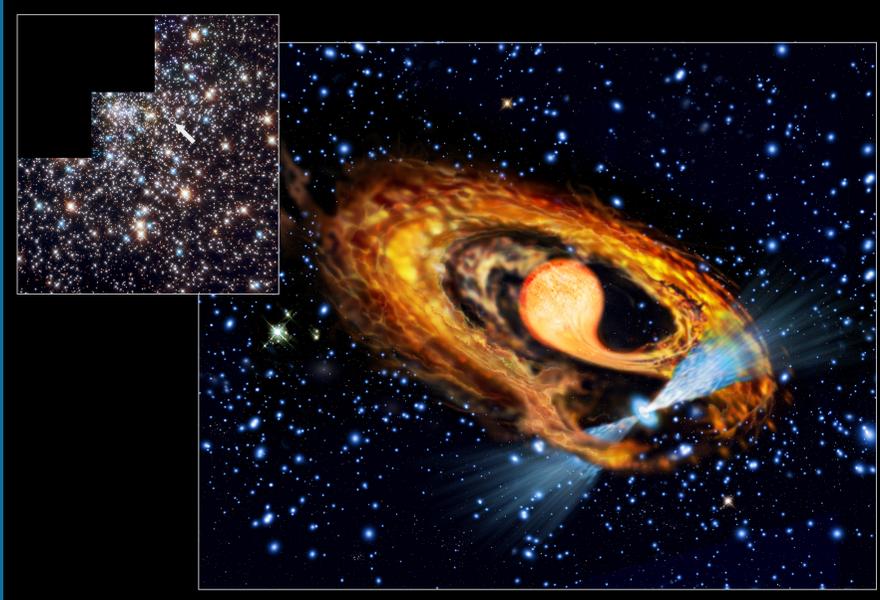


Illustrazione di una sorgente durante la fase di Radio ejection. (Courtesy of NASA)

Il modello del radio-ejection ha avuto importanti conferme (e.g. PSR J1740-5340 qui raffigurata). La più recente conferma nell'articolo qui sotto.

## Swinging between rotation and accretion power in a millisecond binary pulsar

A. Papitto<sup>1</sup>, C. Ferrigno<sup>2</sup>, E. Bozzo<sup>2</sup>, N. Rea<sup>1</sup>, L. Pavan<sup>2</sup>, S. Campana<sup>3</sup>, P. Romano<sup>4</sup>, L. Burderi<sup>5</sup>,

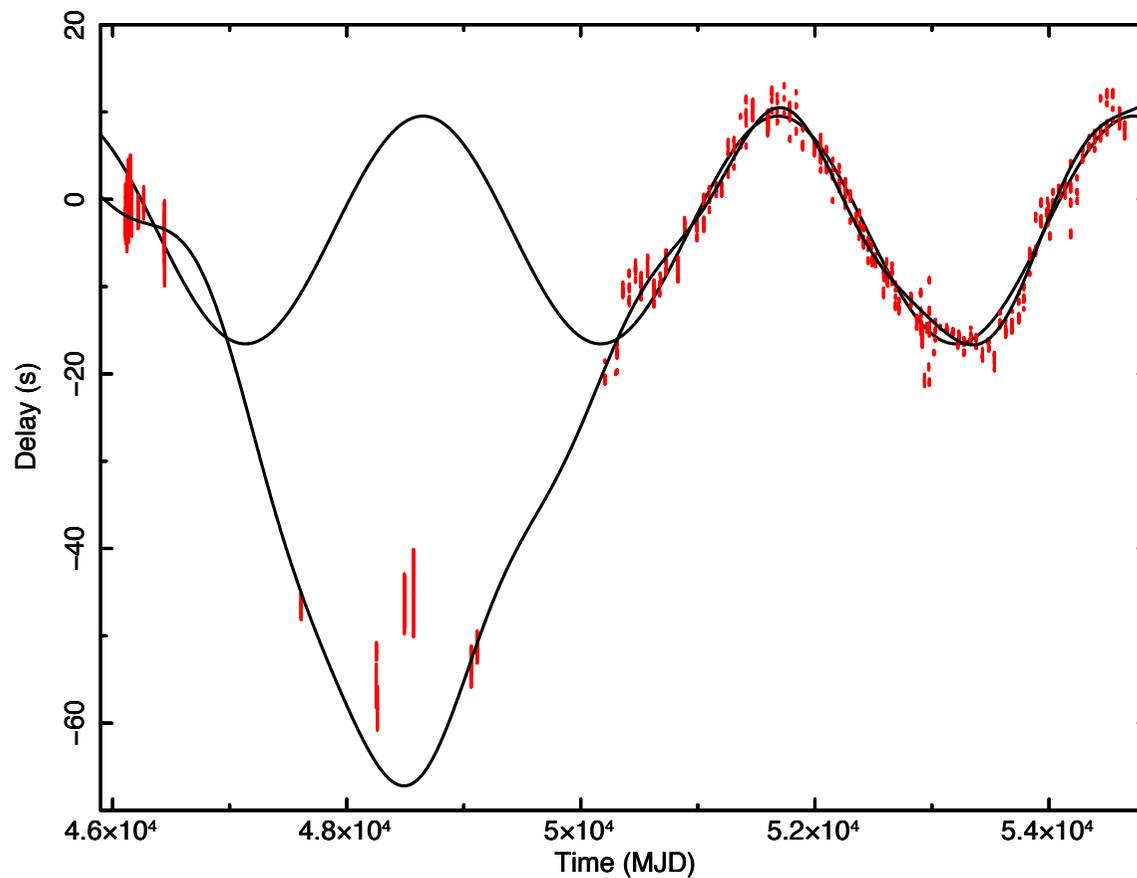
T. Di Salvo<sup>6</sup>, A. Riggio<sup>5</sup>, D. F. Torres<sup>1,7</sup>, M. Falanga<sup>8</sup>, J. W. T. Hessels<sup>9,10</sup>, M. Burgay<sup>11</sup>, J. M. Sarkissian<sup>12</sup>,

M. H. Wieringa<sup>13</sup>, M. D. Filipović<sup>14</sup>, G. F. Wong<sup>14</sup>

2013, published on Nature

# Eclipse Timing for EXO 0748

Di Salvo, Iaria et al. (2016, submitted)



Si veda anche Iaria, Di Salvo, et al. (2015, A&A)

# Eclipse Timing for EXO 0748

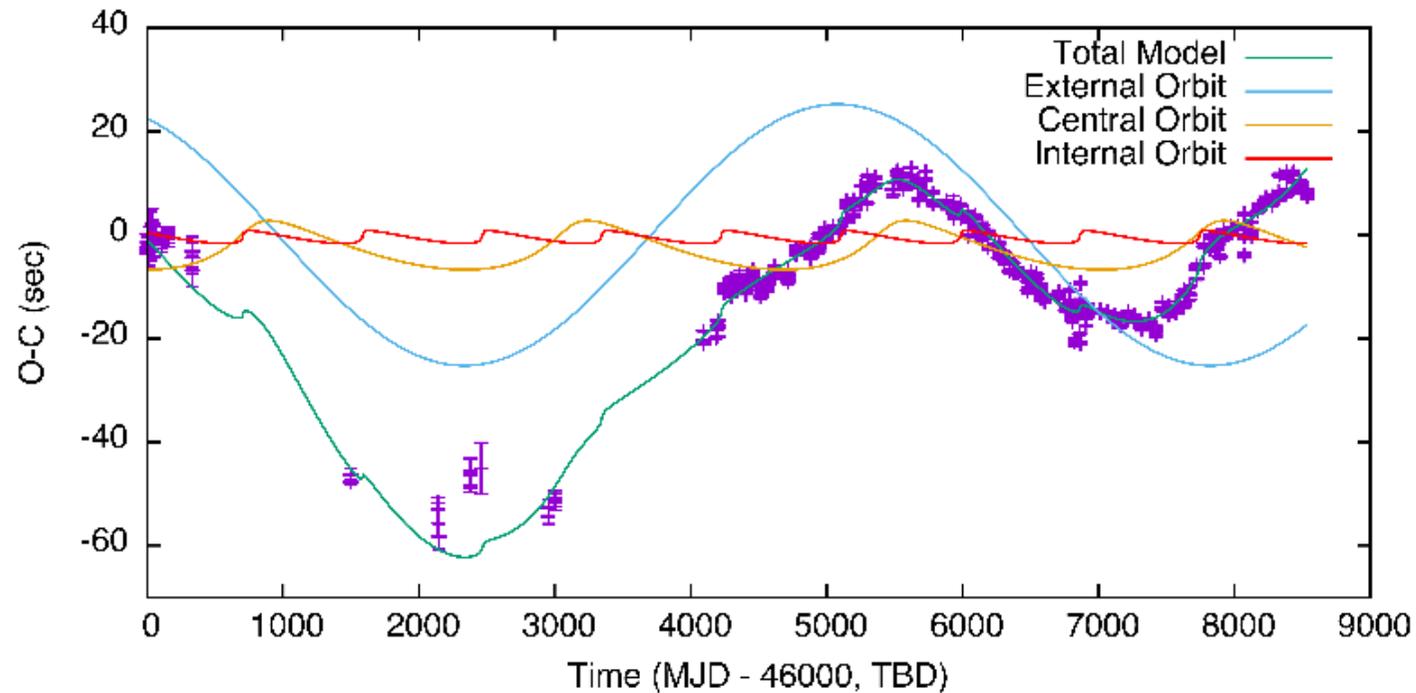


Table 2: Parameters of the three objects orbiting around the binary system EXO 0748-676.

	Mass ( $M_J$ )	Semi-major axis (AU)	Semi-minor axis (AU)
Internal Planet	$7.2 \pm 3.8$	$2.1 \pm 1.1$	$0.51 \pm 0.27$
Central Planet	$4.50 \pm 0.20$	$4.04 \pm 0.18$	$3.19 \pm 0.14$
External Planet	$12.45 \pm 0.50$	$7.17 \pm 0.27$	-

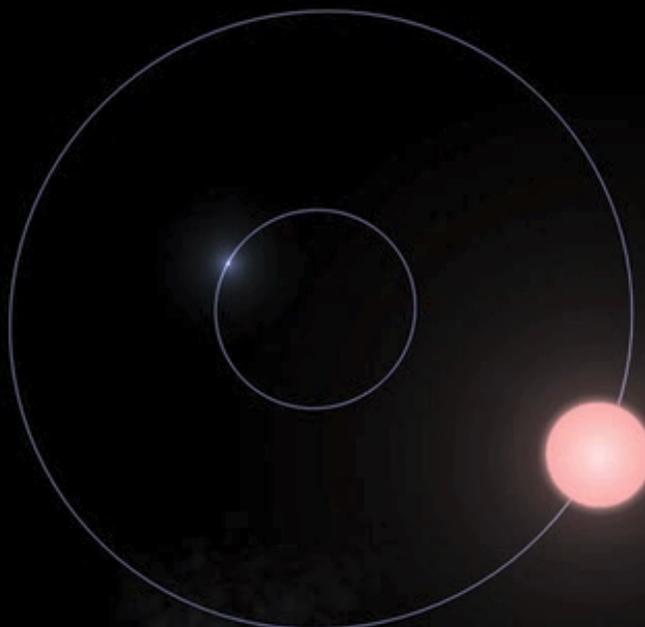
Di Salvo, Iaria et al.  
(2016, submitted)

# Eclipse Timing for EXO 0748

Di Salvo, Iaria et al. (2016, submitted)

EXO 0748-676  
Distancia: 4836.000 km  
El centro del sistema estelar

2011 Nov 16 20:18:40 UTC  
Tempo reale (in Pause)



Velocità: 0,00000 m/s

Segui EXO 0748-676  
FOV: 36° 29' 54.9" (1,00x)

# Fisica Teorica

## Quantum clock: A critical discussion on space-time

Luciano Burderi, Tiziana Di Salvo, and Rosario Iaria  
(2016, Physical Review D, Volume 93, Issue 6)

Relazione di indeterminazione spazio-tempo:

$$\Delta r \Delta t > G \hbar / c^4$$

da cui si deriva naturalmente che lo spazio ed il tempo sono quantizzati, con unità minime pari alla lunghezza ed al tempo di Planck.

### Quantum clock: A critical discussion on space-time

Luciano Burderi,<sup>1</sup> Tiziana Di Salvo,<sup>2</sup> and Rosario Iaria<sup>2</sup>

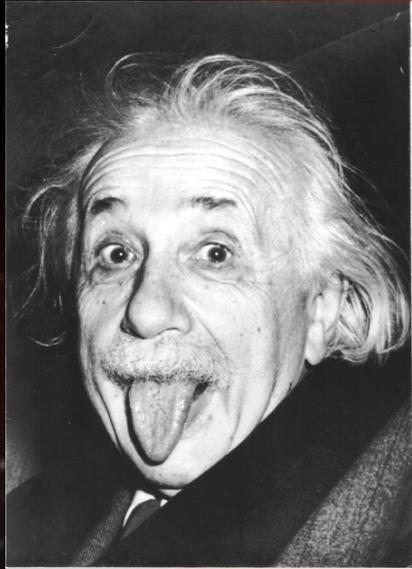
<sup>1</sup>*Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Cagliari, SP Monserrato-Sestu, KM 0.7, 09042 Monserrato, Italy*

<sup>2</sup>*Dipartimento di Fisica e Chimica, Università degli Studi di Palermo, via Archirafi 36, 90123 Palermo, Italy*

We critically discuss the measure of very short time intervals. By means of a *Gedankenexperiment*, we describe an ideal clock based on the occurrence of completely random events. Many previous thought experiments have suggested fundamental Planck-scale limits on measurements of distance and time. Here we present a new type of thought experiment, based on a different type of clock, that provide further support for the existence of such limits. We show that the minimum time interval  $\Delta t$  that this clock can measure scales as the inverse of its size  $\Delta r$ . This implies an uncertainty relation between space and time:

$$\Delta r \Delta t > G \hbar / c^4,$$

where  $G$ ,  $\hbar$ , and  $c$  are the gravitational constant, the reduced Planck constant, and the speed of light, respectively. We outline and briefly discuss the implications of this uncertainty conjecture.



Grazie per la vostra  
attenzione!

A cura del gruppo di astrofisica delle alte energie

Tiziana Di Salvo

Rosario Iaria

Dipartimento di Fisica e Chimica

Università degli Studi di Palermo