

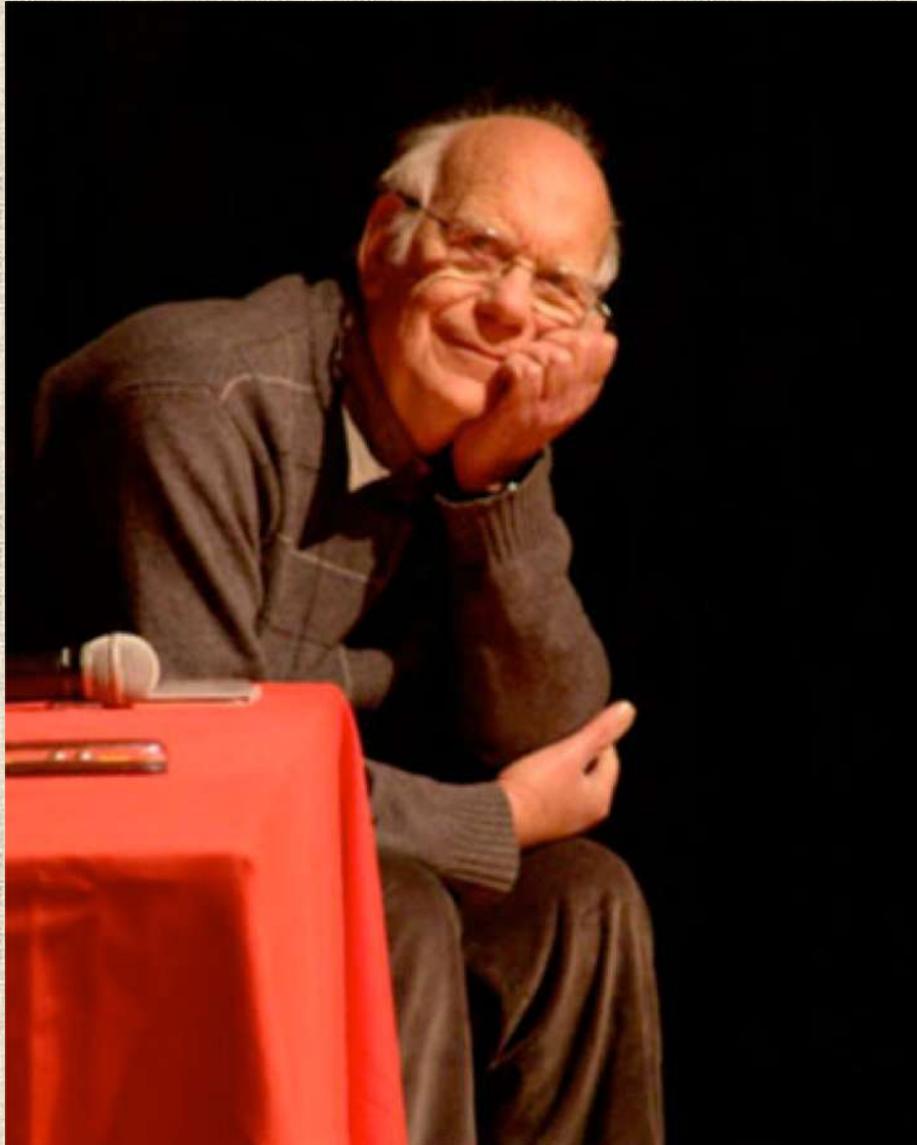
Magnetars

Sandro Mereghetti

IASF-Milano

Audit INAF RSN4 - 25 maggio 2021

Studio delle stelle di neutroni in Italia



Linea di ricerca presente da
decenni nei nostri istituti

Stretta connessione con nostra partecipazione a missioni spaziali



Studio delle stelle di neutroni in Italia

- **Linea di ricerca presente da decenni nei nostri istituti**
 - osservazioni multi-banda di NS isolate
 - accrescimento in binarie X
 - sia teoria che osservazioni
- **Stretta connessione con nostra partecipazione a missioni spaziali**
- **Fitta rete di collaborazioni**
 - vedi schede Possenti / Belloni / Mignani / De Luca / ...
- **Gruppi INAF di leadership e/o rilevanza internazionale riconosciuta**
- **Stelle di neutroni come laboratori per condizioni fisiche estreme**

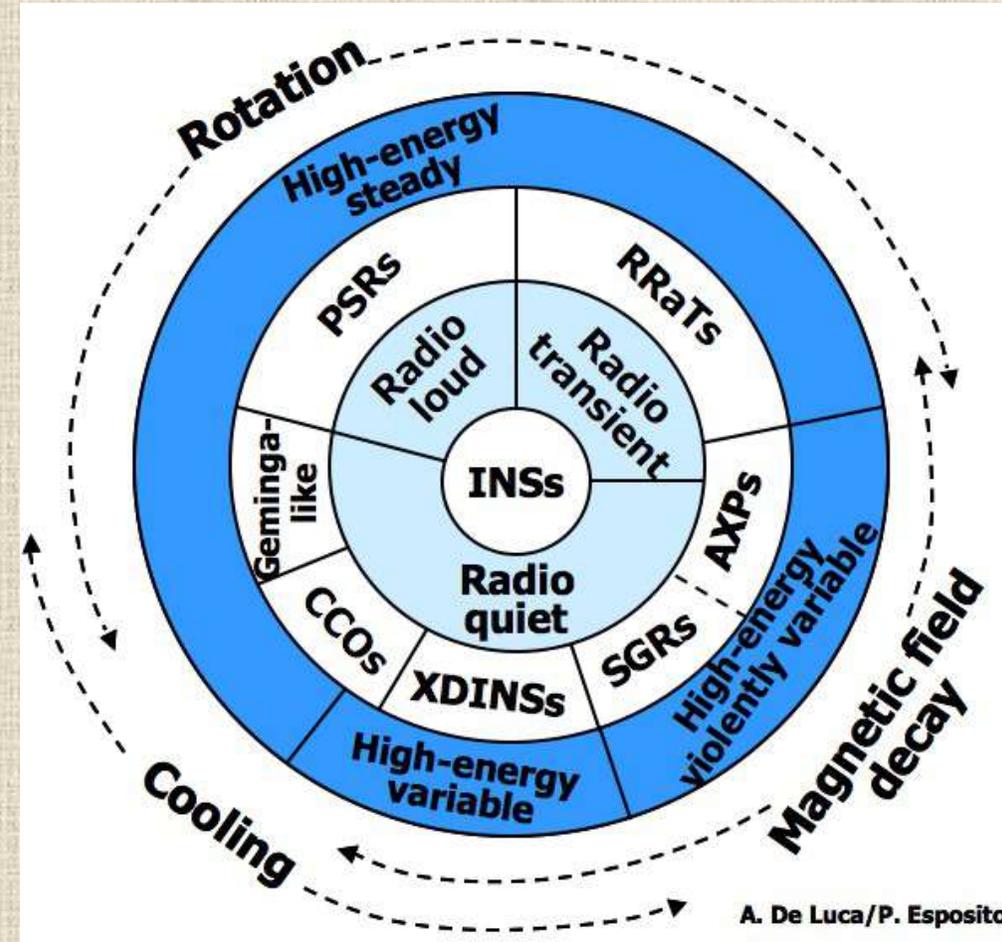
Magnetars: le NS piu' "estreme"

- Come si inseriscono nella "zoologia" delle stelle di neutroni ?

nature or nurture ? / evoluzione magneto-termica / GUNS

- Rilevanza in relazione ad altre sorgenti/fenomeni astrofisici

GRB / SNe / UHECR / neutrini / FRB / ...



Sviluppi recenti **con leadership INAF**

a) Non tutte le ULX sono BH

Pulsazioni → NS → accrescimento super-Eddington
propeller / beaming / magnetars

b) Importanza di campi magnetici non- dipolari

righe spettrali / mappe termiche / pulsed profiles → importanza di componenti multipolari e topologie magnetiche complesse

c) Non solo le magnetar emettono bursts

Attività di burst "magnetically-powered" osservata anche in altre classi di NS sia isolate che in sistemi binari

Unifying Isolated and Accreting Magnetars

Mereghetti (INAF)

Timing of ULX

Israel, De Luca,
Tiengo, Stella, Marelli,
Pintore, Miraval

Search for
pulsations

Systematic
characterization
of variability

Physics of strongly magnetized NS

Turolla, Taverna, Rigoselli,
Zampieri, Stella, Soffitta,
Salvatterra

Thermal emission
from isolated NS
including polarization

Emission from super-
Eddington accretion
columns

Search/analysis of magnetar-like features

Tiengo, De Luca, Rigoselli,
Salvatterra, Topinka, Marelli

Systematic search/
analysis spectral
features

Systematic search/
analysis of bursts

Multi-wavelength observations

Esposito, Israel, De Luca
Mignani, Zampieri, Pilia,
Burgay, Pintore, Perrodin,
Ridolfi, Possenti

Rapid reaction to
transient events
discoveries
(“triggerators team”)

Implementation of
(coordinated)
follow-up campaigns

Risultati

- **>15 pubblicazioni nel 2020/21**
- **Diverse press releases (INAF / ESA / ASI) e articoli Media Inaf**
- **Partecipazione congressi** (ridotta causa COVID)
- **Qualche highlight nelle prossime slides**

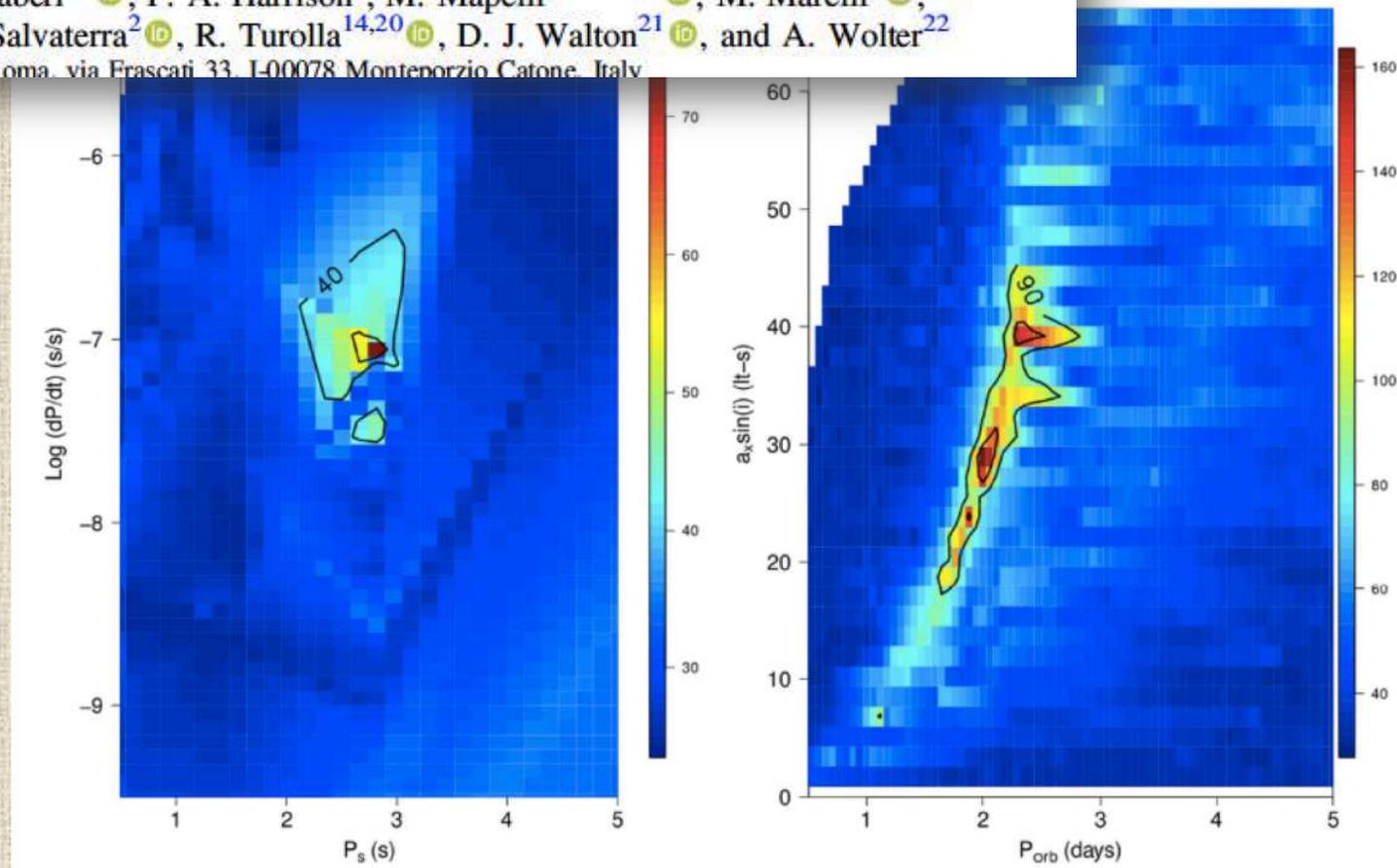


Discovery of a 2.8 s Pulsar in a **2 Day Orbit** High-mass X-Ray Binary Powering the Ultraluminous X-Ray Source ULX-7 in M51

G. A. Rodríguez Castillo¹ , G. L. Israel¹ , A. Belfiore² , F. Bernardini^{1,3,4} , P. Esposito^{2,5} , F. Pintore² , A. De Luca^{2,6},
 A. Papitto¹ , L. Stella¹ , A. Tiengo^{2,5,6} , L. Zampieri⁷ , M. Bachetti⁸ , M. Brightman⁹, P. Casella¹, D. D'Agostino¹⁰ ,
 S. Dall'Osso¹¹, H. P. Earnshaw⁹ , F. Fürst¹², F. Haberl¹³ , F. A. Harrison⁹, M. Mapelli^{7,14,15,16} , M. Marelli² ,
 M. Middleton¹⁷ , C. Pinto¹⁸, T. P. Roberts¹⁹ , R. Salvaterra² , R. Turolla^{14,20} , D. J. Walton²¹ , and A. Wolter²²

¹ INAF—Osservatorio Astronomico di Roma, via Frascati 33, I-00078 Monteporzio Catone, Italy

- Periodo orbitale ~ 2 giorni
- Ottimo candidato per studiare l'evoluzione di P_{orb} → informazioni su perdita di massa → constraints su accrescimento

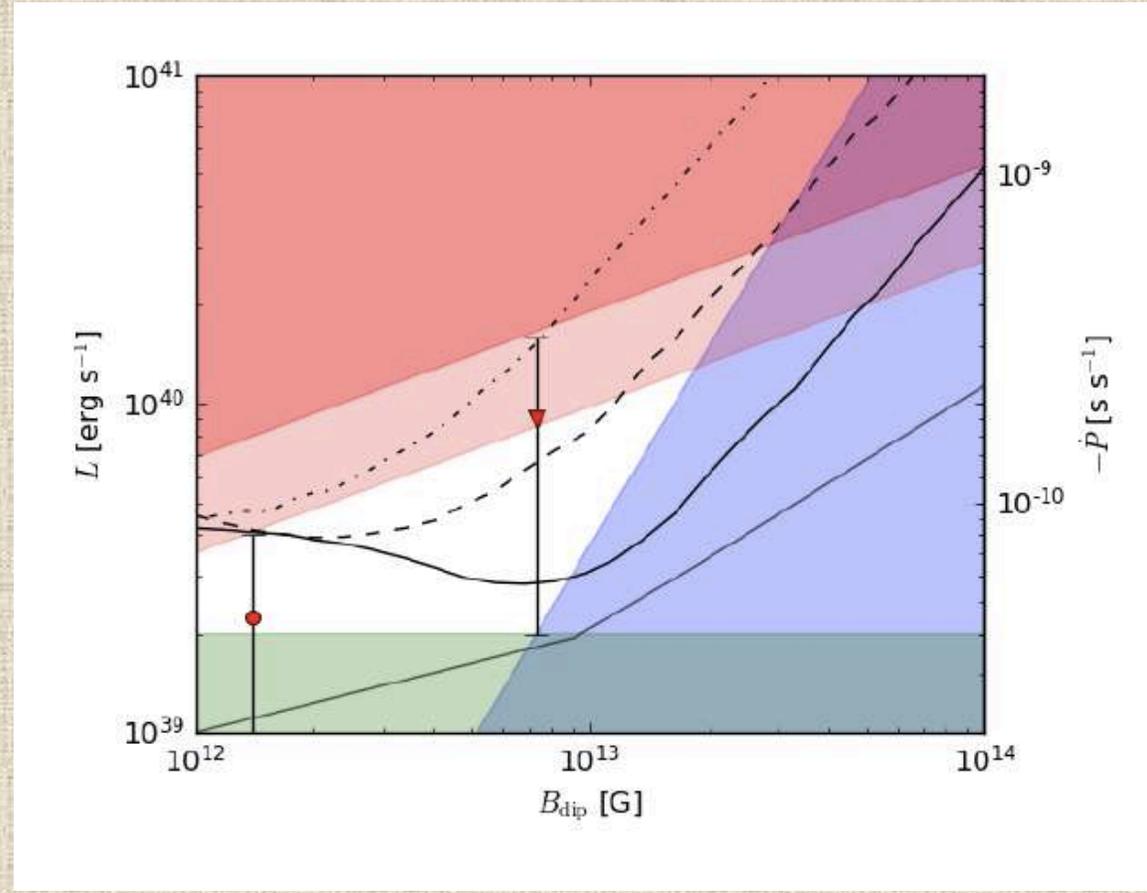
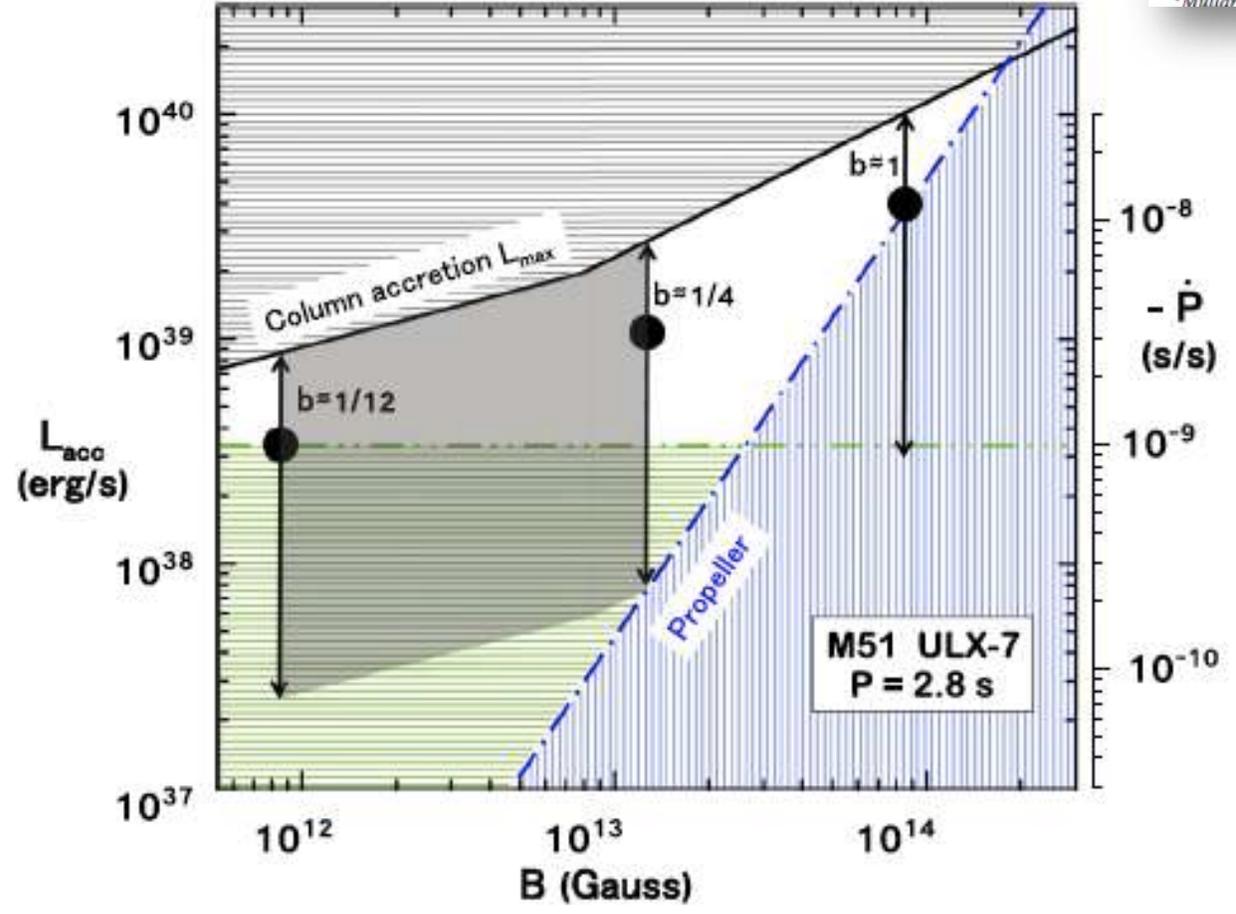


Constraints sulle proprietà delle NS in ULX

Super-*eddington* emission from accreting, highly magnetized neutron stars with a **multipolar magnetic field**

Nabil Brice^{1,*}, Silvia Zane¹, Roberto Turolla^{1,2} and Kinwah Wu¹

¹Mullard Space Science Laboratory, University College London, Holmbury St Marys, Dorking, Surrey RH5 6NT, UK



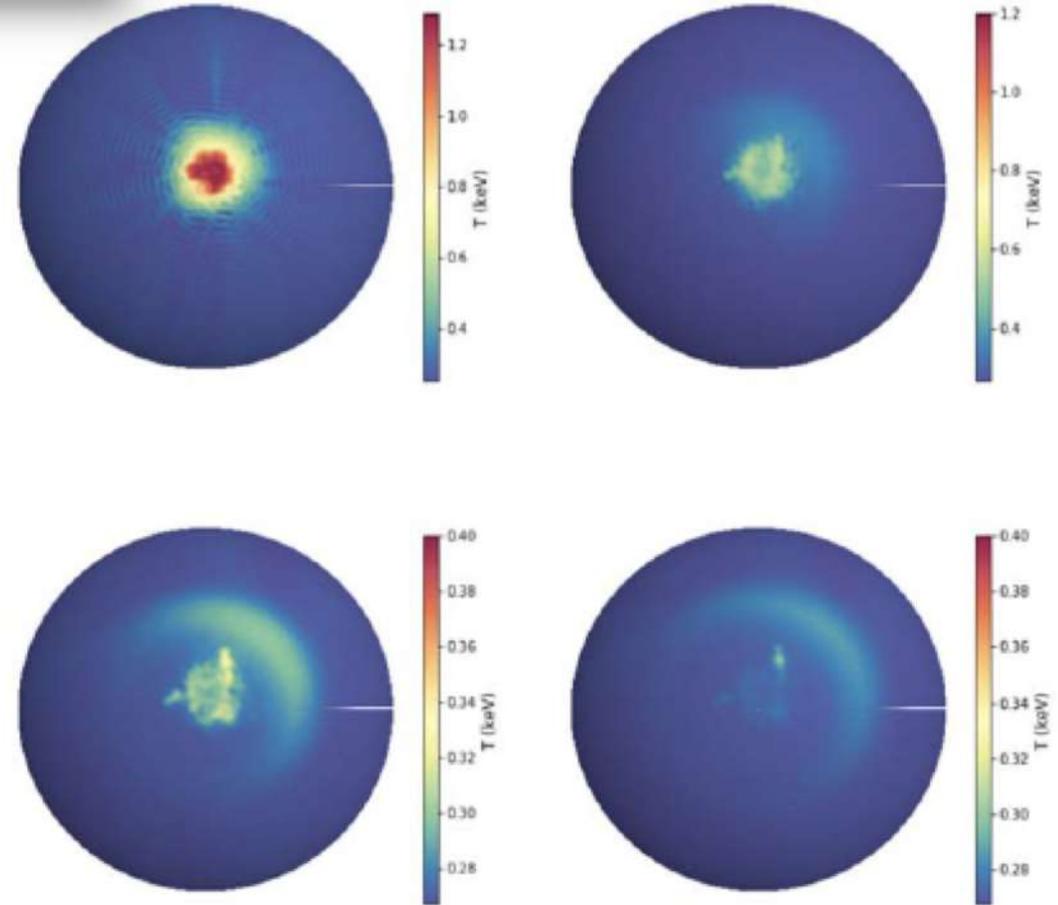


Three-dimensional Modeling of the Magnetothermal Evolution of Neutron Stars: Method and Test Cases

Davide De Grandis^{1,2}, Roberto Turolla^{1,2}, Toby S. Wood³, Silvia Zane², Roberto Tavema^{1,4}, and Konstantinos N. Gourgouliatos^{5,6}

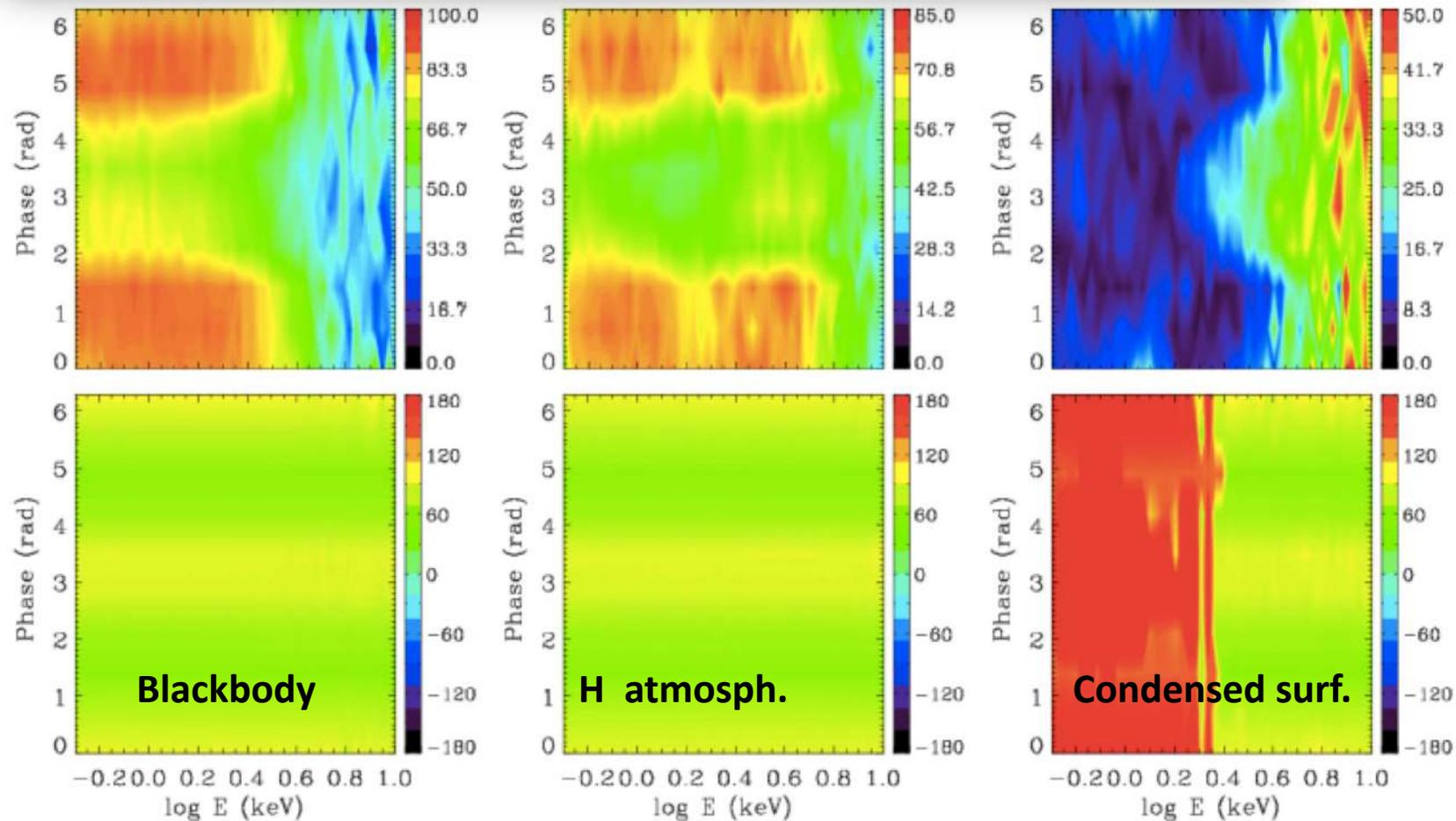
¹Department of Physics and Astronomy, University of Padova, via Marzolo 8, I-35131 Padova, Italy; davide.degrandis@phd.unipd.it

- Prime simulazioni 3-D di evoluzione magnetotermica nella crosta della NS
- Formazione di “hot spots” con forme simili a quelle trovate recentemente con NICER in ms PSRs



X-ray spectra and **polarization** from magnetar candidates

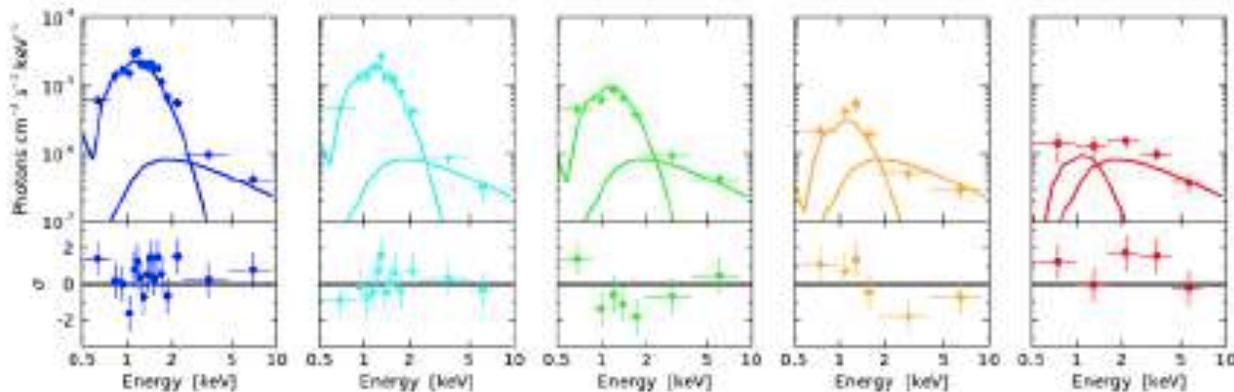
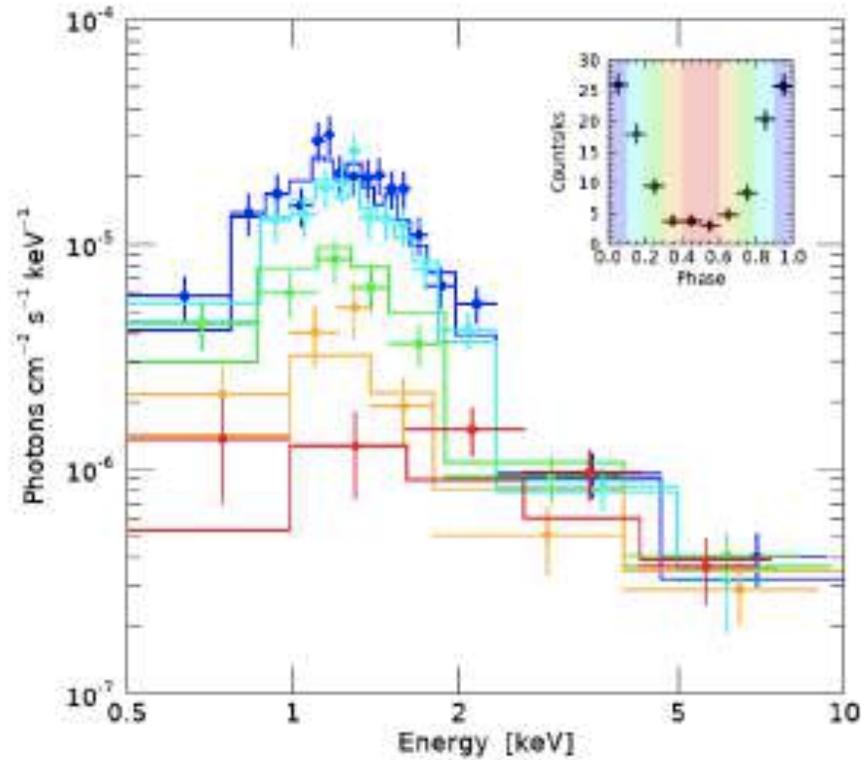
R. Taverna,^{1,2★} R. Turolla,^{2,3★} V. Suleimanov,^{4,5,6} A. Y. Potekhin⁷ and S. Zane^{3★}



- Risolve degenerazione modelli spettrali
- IXPE
(→ scheda Soffitta)

Strongly pulsed thermal X-rays from a **single extended hot spot** on PSR J2021+4026

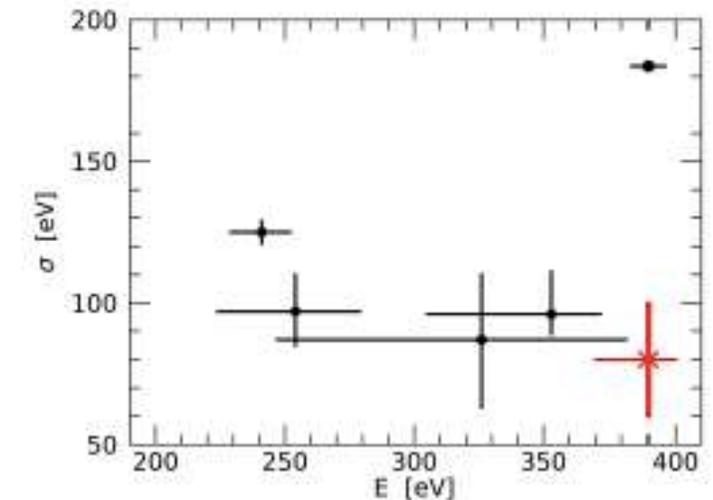
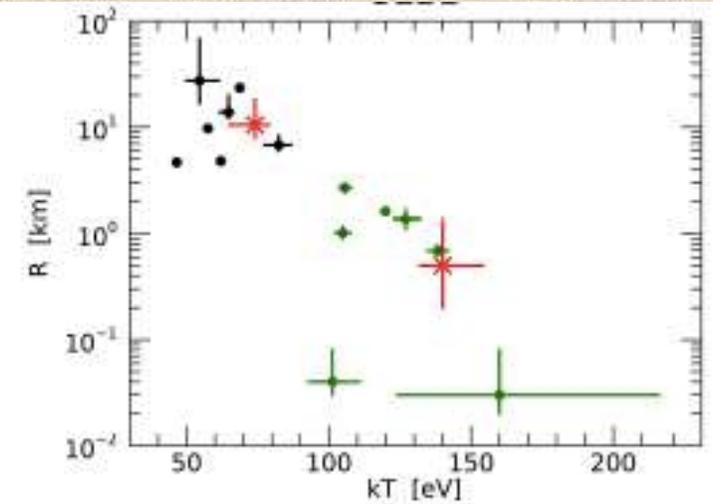
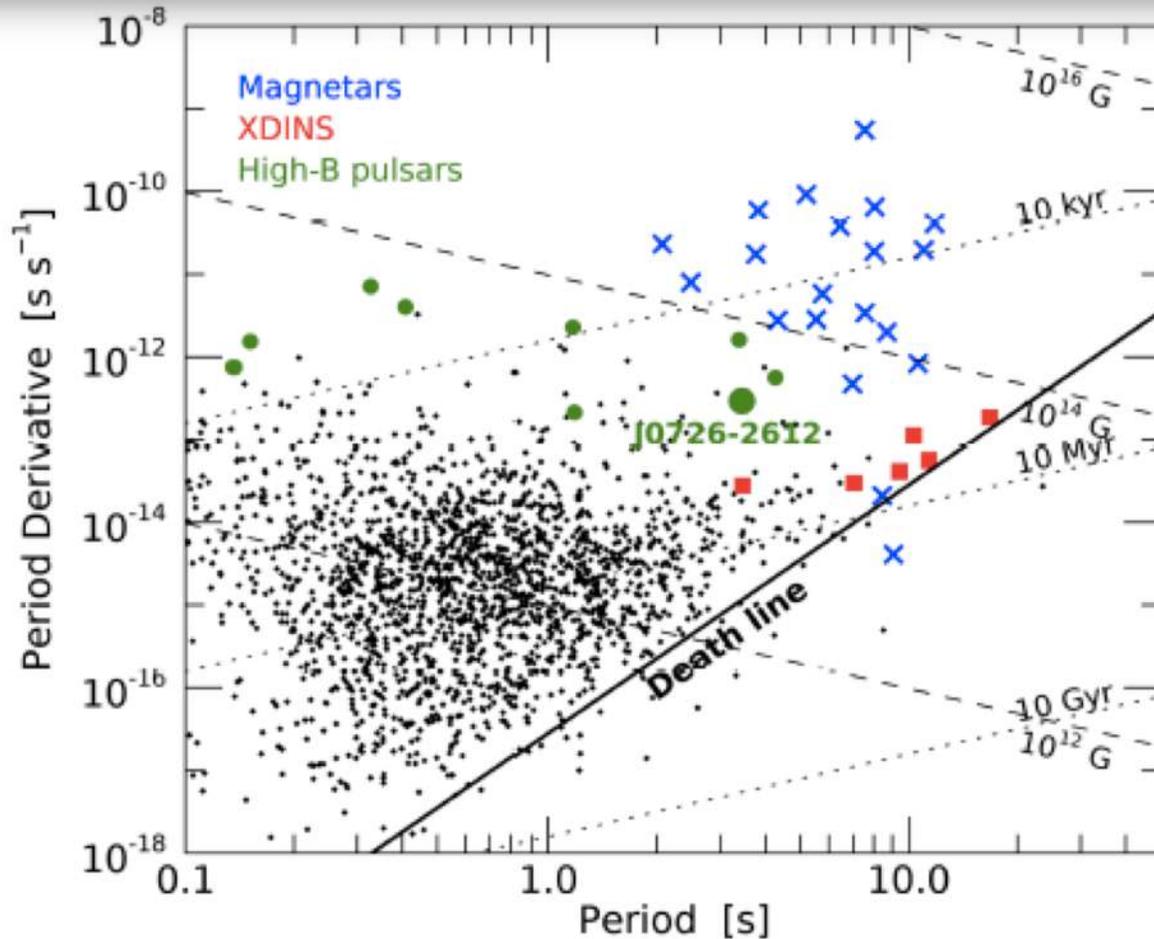
Michela Rigoselli¹, Sandro Mereghetti¹, Roberto Taverna^{2,3}, Roberto Turolla^{3,4}, and Davide De Grandis³



- Variabilità in banda gamma
- ML fits
- 90% pf → beaming magnetico da **una sola** polar cap estesa

XMM-Newton observations of PSR J0726–2612, a radio-loud XDINS

Michela Rigoselli^{1,2}, Sandro Mereghetti¹, Valery Suleimanov^{3,4,5}, Alexander Y. Potekhin⁶, Roberto Turolla^{7,8}, Roberto Taverna^{7,9}, and Fabio Pintore¹



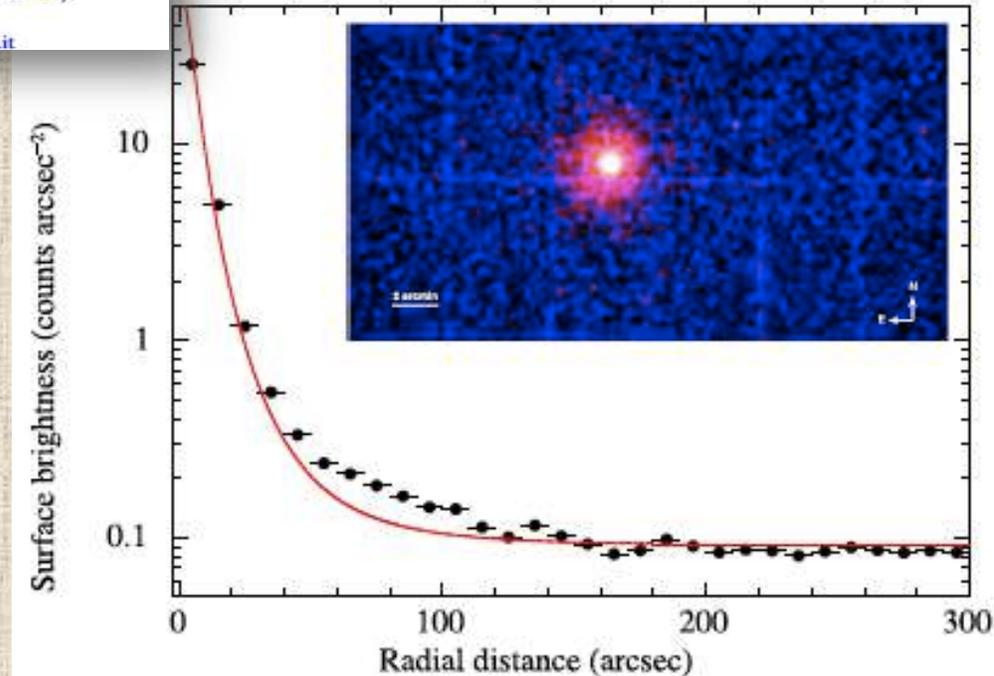
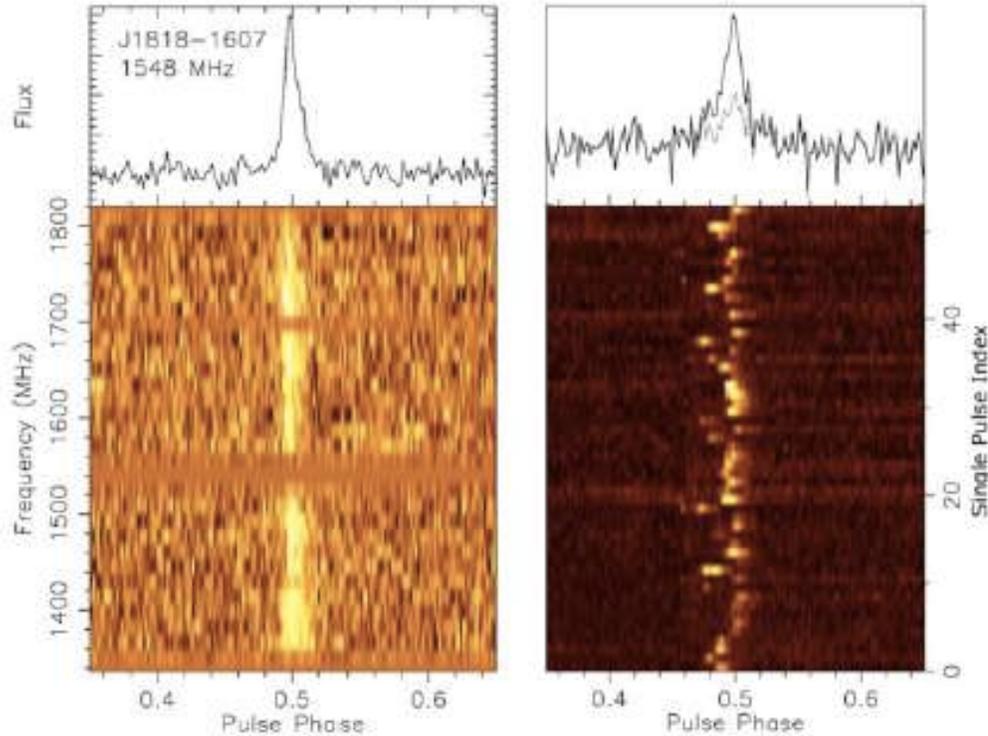
- link tra XDINS e RP-PSR
- vincoli su geometria



A **Very Young** Radio-loud Magnetar

P. Esposito^{1,2}, N. Rea^{3,4}, A. Borghese^{3,4}, F. Coti Zelati^{3,4}, D. Viganò^{3,4}, G. L. Israel⁵, A. Tiengo^{1,2,6},
A. Ridolfi^{7,8}, A. Possenti^{7,9}, M. Burgay⁷, D. Götz¹⁰, F. Pintore², L. Stella⁵, C. Dehman^{3,4}, M. Ronchi^{3,4},
S. Campana¹¹, A. Garcia-Garcia^{3,4}, V. Graber^{3,4}, S. Mereghetti², R. Perna^{12,13}, G. A. Rodríguez Castillo⁵,
R. Turolla^{14,15}, and S. Zane¹⁵

¹ Scuola Universitaria Superiore IUSS Pavia, Palazzo del Broletto, piazza della Vittoria 15, I-27100 Pavia, Italy; paolo.esposito@iusspavia.it



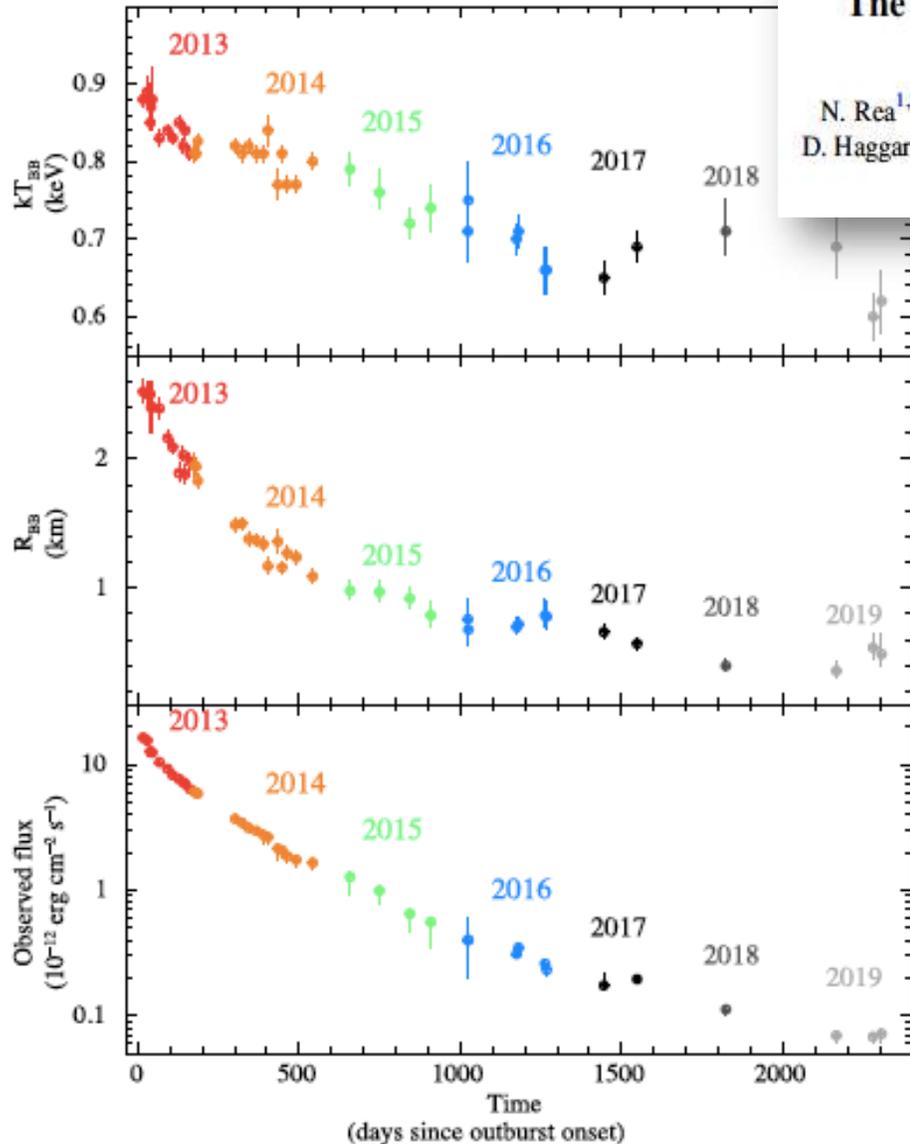
- $P = 1.4 \text{ s}$
- Eta' caratteristica ~ 240 anni
- "Single pulses" con SRT a 1.5 GHz



The X-Ray Outburst of the Galactic Center Magnetar over Six Years of Chandra Observations

N. Rea^{1,2}, F. Coti Zelati^{1,2}, D. Viganò^{1,2}, A. Papitto³, F. Baganoff⁴, A. Borghese^{1,2}, S. Campana⁵, P. Esposito^{6,7},
 D. Haggard^{8,9}, G. L. Israel³, S. Mereghetti⁷, R. P. Mignani^{7,10}, R. Perna¹¹, J. A. Pons¹², G. Ponti^{5,13}, L. Stella³,
 D. F. Torres^{12,14}, R. Turolla^{15,16}, and S. Zane¹⁶

¹Institute of Space Sciences (ICE, CSIC), Campus UAB, Carrer de Can Magrans s/n, E-08193 Barcelona, Spain; rea@ice.csic.es



- La pulsar piu' vicina a un BH che si conosca 2.4'' (~0.1 pc) from SgrA*
- Radio magnetar
- Evoluzione delle proprieta' X difficile da interpretare coi modelli attuali



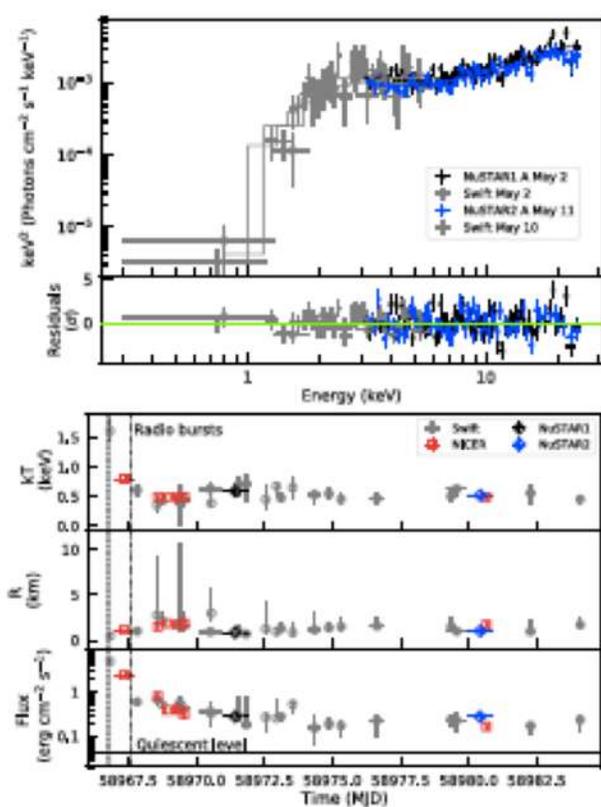
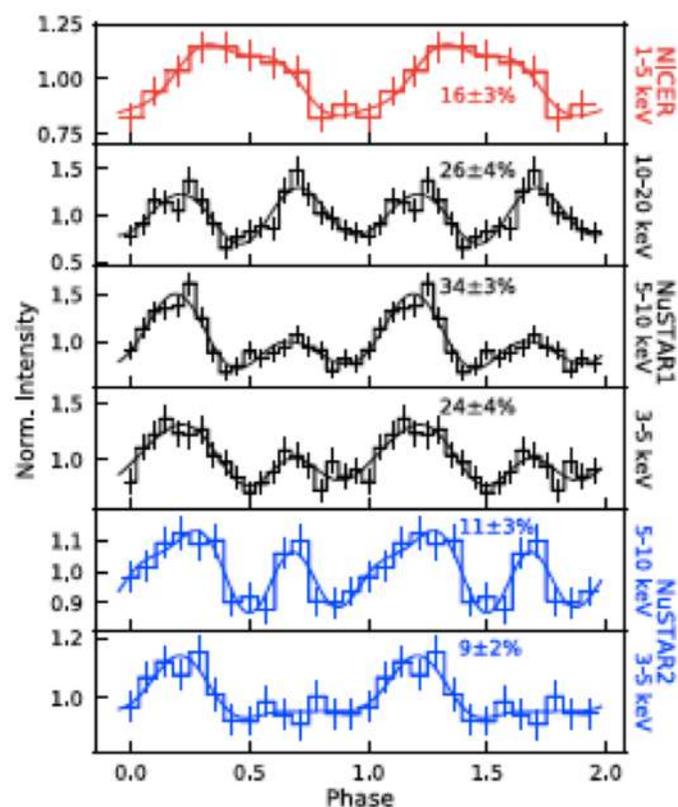
CrossMark

The X-Ray Reactivation of the Radio Bursting Magnetar SGR J1935+2154

A. Borghese^{1,2}, F. Coti Zelati^{1,2}, N. Rea^{1,2}, P. Esposito^{3,4}, G. L. Israel⁵, S. Mereghetti⁴, and A. Tiengo^{3,4,6}

¹Institute of Space Sciences (ICE, CSIC), Campus UAB, Carrer de Can Magrans s/n, E-08193, Barcelona, Spain; borghese@ice.csic.es

²Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC), Campus de Coenig 2, 4, E-08024 Barcelona, Spain

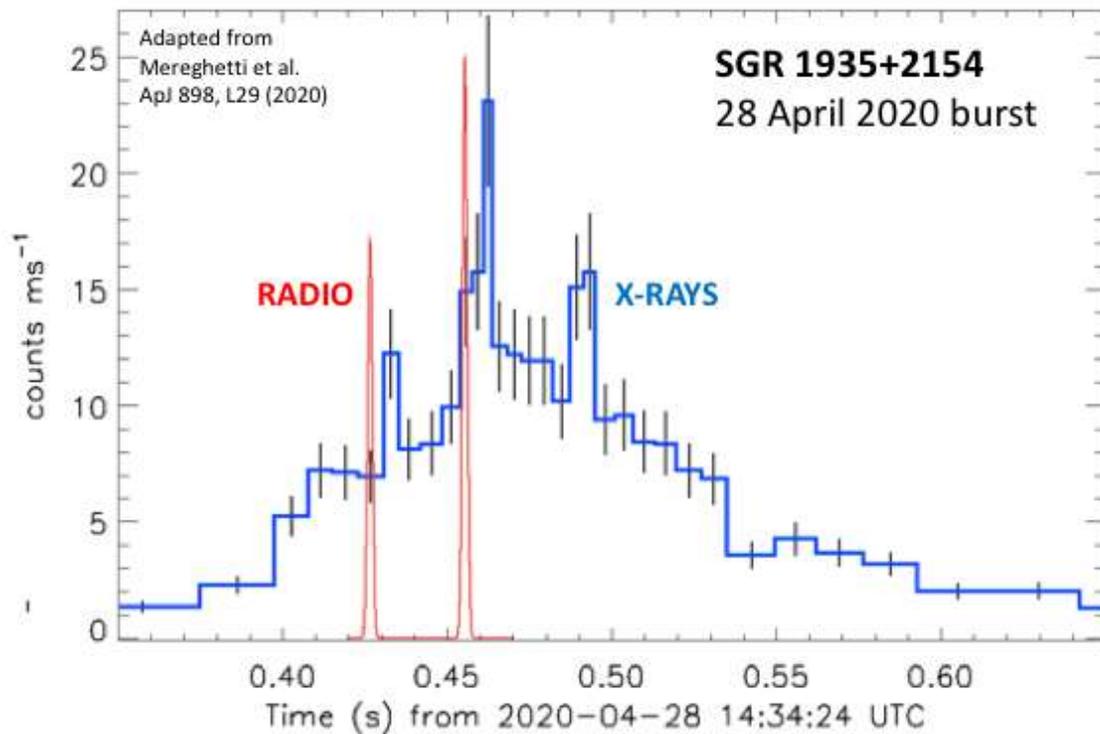
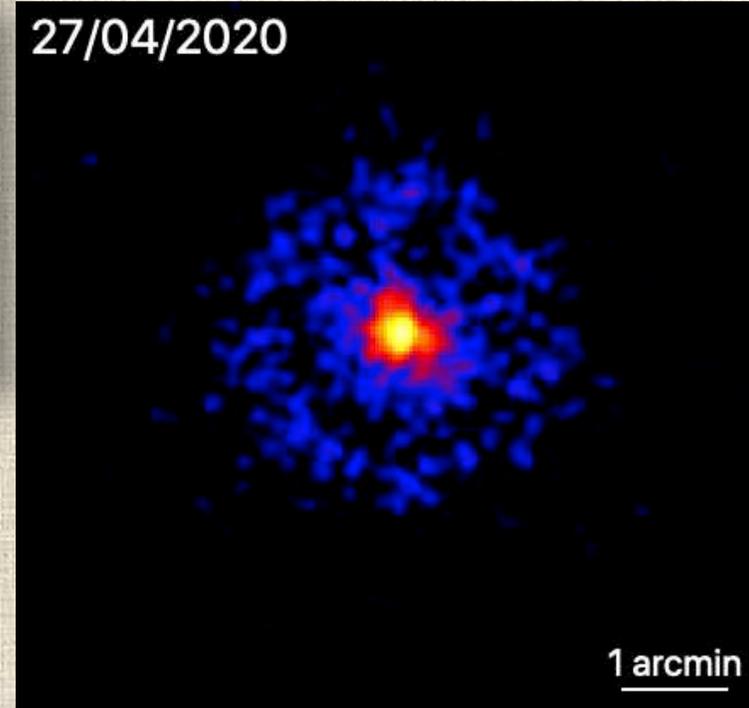




INTEGRAL Discovery of a Burst with Associated Radio Emission from the Magnetar SGR 1935+2154

S. Mereghetti¹, V. Savchenko², C. Ferrigno², D. Götz³, M. Rigoselli¹, A. Tiengo⁴, A. Bazzano⁵, E. Bozzo², A. Coleiro⁶, T. J.-L. Courvoisier², M. Doyle⁷, A. Goldwurm⁶, L. Hanlon⁷, E. Jourdain^{8,9}, A. von Kienlin¹⁰, A. Lutovinov¹¹, A. Martín-Carrillo⁷, S. Molkov¹¹, L. Natalucci⁵, F. Onori⁵, F. Panessa⁵, J. Rodi⁵, J. Rodríguez³, C. Sánchez-Fernández¹², R. Sunyaev^{11,13}, and P. Ubertini⁵

¹INAF, Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica, Via A. Corti 12, I-20133 Milano, Italy; andrea.mereghetti@inaf.it

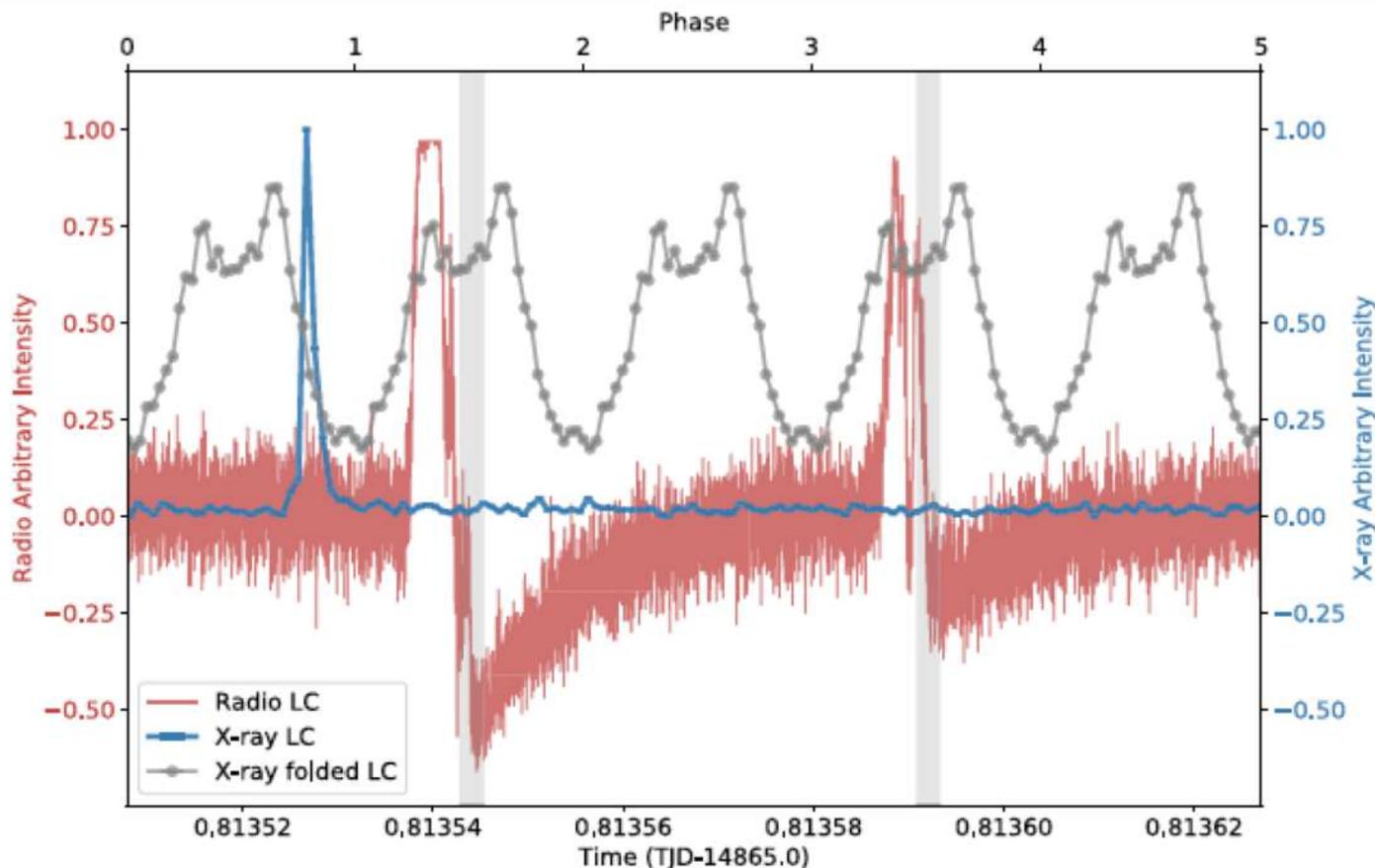


- Prima conferma osservativa dell'ipotizzato legame tra FRB e magnetars
- Ritardo ~ 6 ms tra X e radio
- Distanza da dust halo ~ 4.4 kpc



X-Ray and Radio Bursts from the Magnetar 1E 1547.0–5408

G. L. Israel¹, M. Burgay², N. Rea^{3,4}, P. Esposito^{5,6}, A. Possenti², S. Dall’Osso^{7,8}, L. Stella¹, M. Pilia²,
A. Tiengo^{5,6,9}, A. Ridnaia¹⁰, A. Y. Lien^{11,12}, D. D. Frederiks¹⁰, and F. Bernardini^{1,13,14}
¹INAF—Osservatorio Astronomico di Roma, via Frascati 33, I-00078 Monteporzio Catone, Italy; gianluca.israel@inaf.it



- $F_R/F_X \sim 10^{-9}$
cfr $\sim 10^{-5}$ di SGR1935
- No pulsazioni radio

Team

18 INAF + 4 associati

(di cui 17 TI ric./prof. , 1 ric. TD , 4 AdR)

6 Strutture INAF (IASF-MI, OAR, OAC, OAPd, IAPS, IASF-Pa)

2 Università' (Padova, IUSS-Pavia)

| FTE | 2021 | 2022 | 2023 |
|-----------|------|------|------|
| INAF | 4.3 | 2.5 | 1.5 |
| ASSOCIATI | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| TOTALE | 5 | 3.2 | 2.2 |

Finanziamenti

- ~ **2010-2020** → Vari PRIN INAF + contratti analisi dati ASI-INAF
- ~ **2019-2023** : Principalmente PRIN MIUR 2107

| | | 2021/2 k€ |
|---------------------------|--|-----------|
| PRIN MIUR 2017 | UnIAM - UNifying Isolated and Accreting Magnetars (ref. Mereghetti - tot 442 k€) | 133 |
| PRIN INAF 2016 CTA/SKA | Opening a new era in pulsars and compact objects science with MeerKat (ref. Possenti) | 18 |
| MAECI Italia-SudAfrica | RADIO SKY 2020 (ref. Venturi) | 5 |

- **> 2023** ?

Conclusioni / Criticità

- **Programma di ricerca di base a lungo termine con ottimi risultati**

“Terreno di coltura” per la generazione e lo sfruttamento scientifico dei “grandi progetti strumentali”

Contributo importante a prodotti VQR

- **Finanziamenti, in linea di massima, finora adeguati, ma discontinui e difficili da programmare**
- **Politica (?) delle assunzioni nell'ente generalmente dominata dalle esigenze dei grandi progetti e sfavorisce la ricerca di base**