

# Pierre Massimo Pizzochero (1959-2023)

**2002 – 2023** Professore Associato (Università degli Studi di Milano)

Didattica: Astrofisica Nucleare e Relativistica 1&2 (corso magistrale, 12 CFU)

Fisica Generale per il corso di laurea in biotecnologie (6 CFU)

Ricerca: stelle di neutroni fredde (pulsar glitches e relativi aspetti di fisica nucleare)

**1993 – 2002** Ricercatore all'Università dell'Insubria

1992 Visiting Fellow INT, Seattle

1991 Visiting scientist CalTech, Pasadena

**1990 – 1993** Ricercatore INFN, sezione di Milano

**1989 – 1990** Postdoctoral Fellow (State University of New York, Stony Brook)

**1989** PhD in Fisica, Stony Brook (*Analytical Studies in Nuclear Astrophysics*)

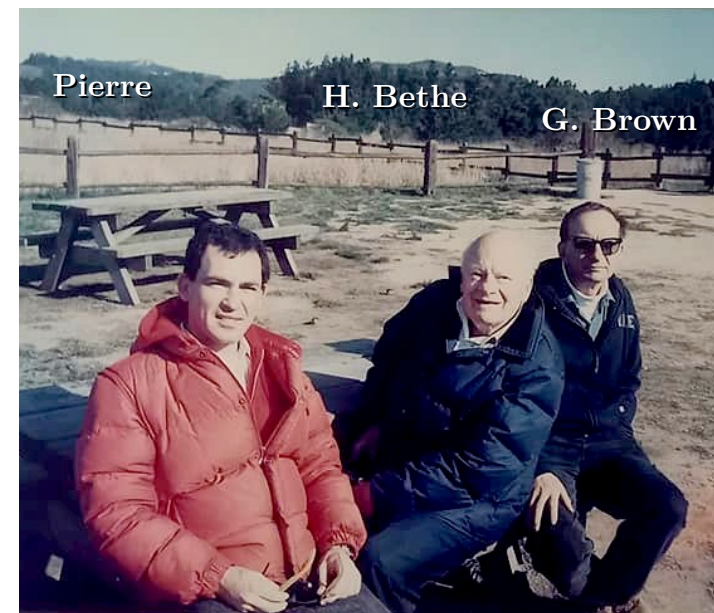
Mentors: Gerald E. Brown, Hans Bethe

All'inizio studia le anomalie di gauge con P. van Nieuwenhuizen

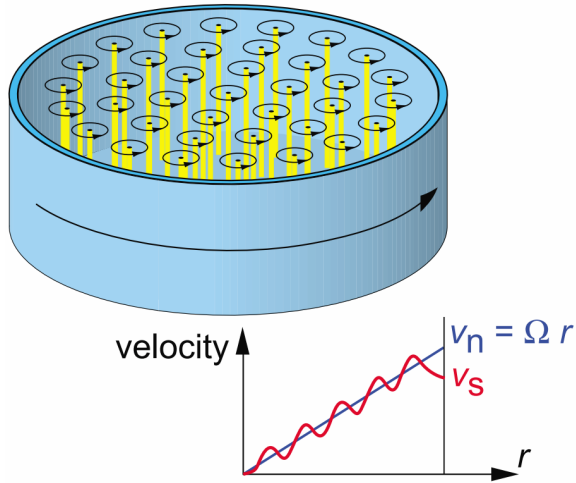
Studia il raffreddamento delle stelle di neutroni e supernovae con H. Bethe

1986 M.A. in Fisica, Stony Brook

**1985** Laurea in Fisica, Università degli Studi di Milano (*Anomalie in teorie di gauge*)



# La ricerca @UniMi: dinamica delle stelle di neutroni fredde



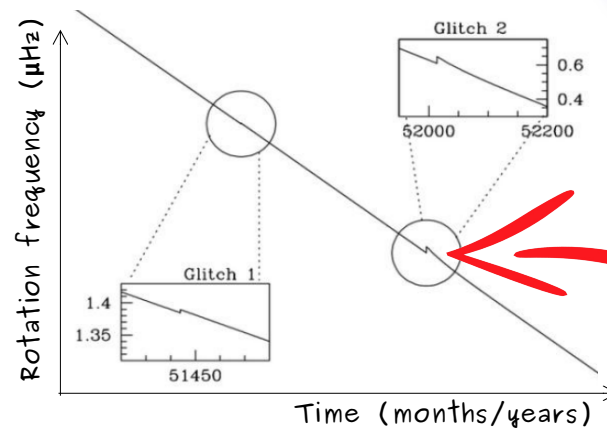
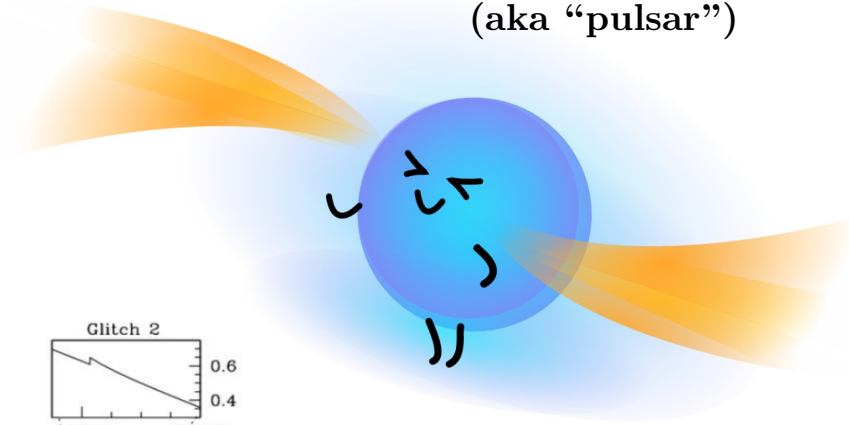
A rotating superfluid does not develop rigid-body rotation. It contains a certain number of **vortices with quantized circulation**. Their number per unit area is proportional to the macroscopic angular velocity.

This is observed in laboratory superfluids and is also expected in cold neutron stars. The presence of these vortices is probably related to observable phenomena (timing noise and **pulsar glitches**).

**Pulsar glitches are direct manifestations of superfluidity**

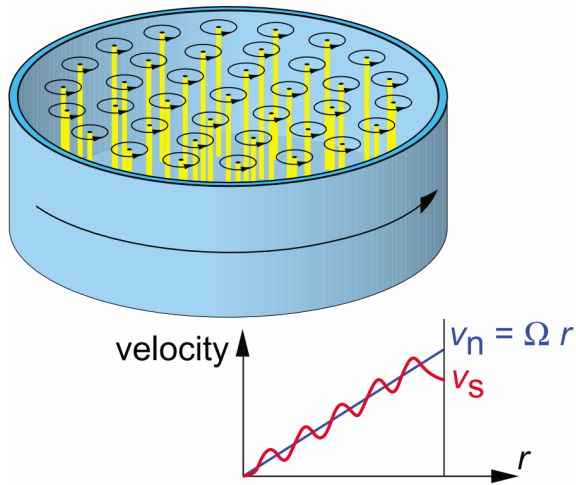
Pulsars are **isolated** → they can spin up only if there is an internal superfluid that rotates **faster** than the observed component

**Real picture of a rotating neutron star (aka “pulsar”)**



The **slow & steady spin-down** of a pulsar could be interrupted by tiny and **fast spin-ups** (pulsar glitches)

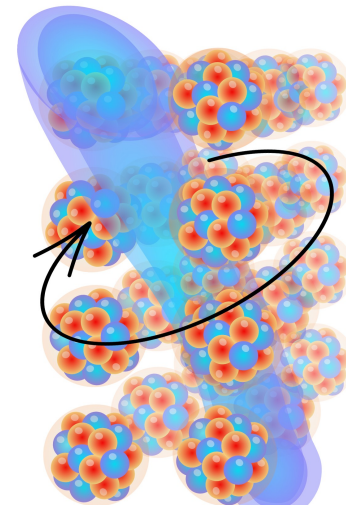
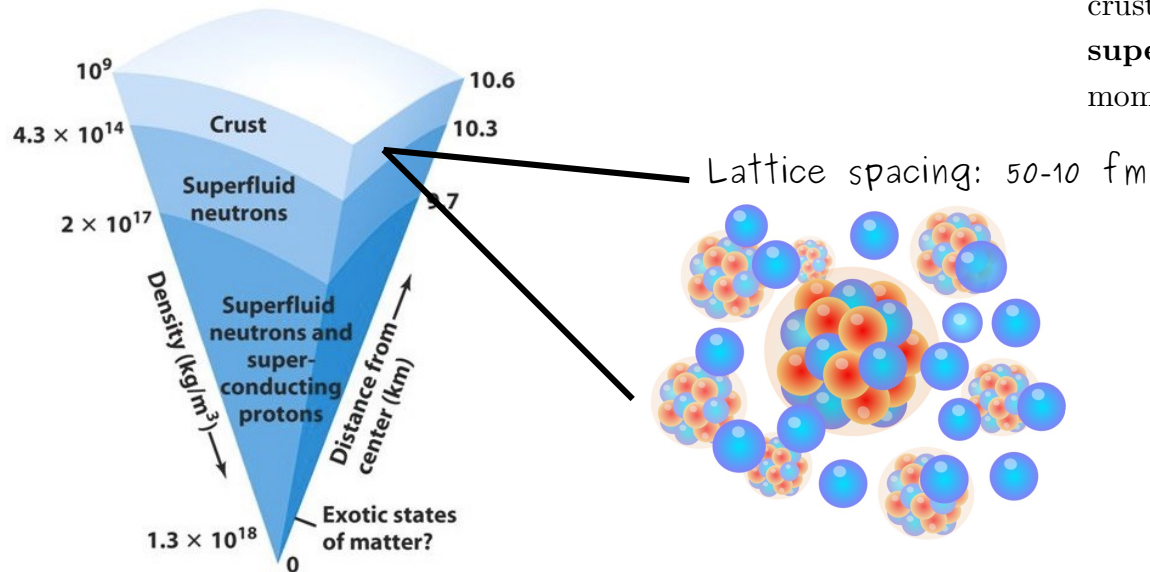
# La ricerca @UniMi: dinamica delle stelle di neutroni fredde



A rotating superfluid does not develop rigid-body rotation. It contains a certain number of **vortices with quantized circulation**. Their number per unit area is proportional to the macroscopic angular velocity.

This is observed in laboratory superfluids and is also expected in cold neutron stars. The presence of these vortices is probably related to observable phenomena (timing noise and **pulsar glitches**).

If vortices “**pin**” to the nuclei, the superfluid can not follow the crustal lattice during the pulsar spin-down. This creates a **superfluid current in the inner crust**, which is the momentum reservoir to explain pulsar glitches.

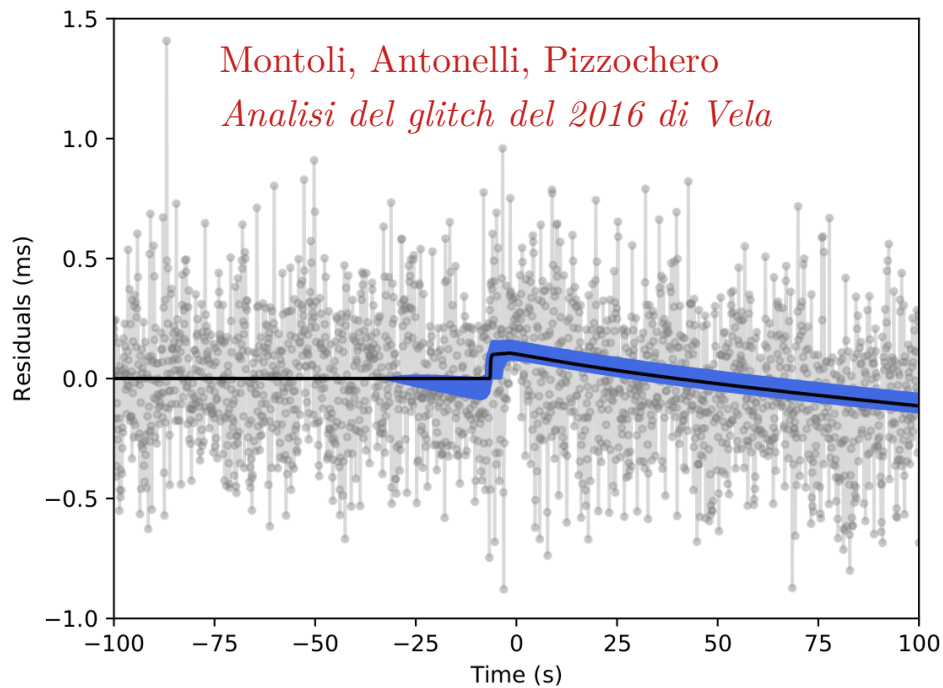


$$\xi \sim 10-100 \text{ fm}$$

$$E_{\text{pin}} \sim 3-0.02 \text{ Mev}$$

**Inner crust:** solid of exotic nuclei immersed in “dripped” superfluid neutrons (similar to a metal, but with a sea of relativistic electrons and superfluid neutrons)

# La ricerca @UniMi: dinamica delle stelle di neutroni fredde



Osservazione di un grosso glitch nella pulsar Vela: l'analisi dello spin-up permette di stimare la frazione di neutroni superfluidi nella pulsar.

*Bayesian estimate of the superfluid moments of inertia from the 2016 glitch in the Vela pulsar*

Astronomy & Astrophysics, 2020

Circa 60 articoli su svariati temi. Pubblicazioni sulle stelle di neutroni fredde: 28 articoli dal 1997 su: vortex-pinning (in collaborazione con il gruppo “nucleare” di Milano), rigidità della crosta delle stelle di neutroni, fenomenologia e modelli dei glitches, “montagne” magnetiche nelle stelle di neutroni (principali collaboratori: B. Haskell, M. Antonelli)

Nello stesso periodo: supernovae e stelle calde (con A. Fantina), cooling delle stelle di neutroni

Una **review** recente sui pulsar glitches: cosa possiamo imparare sulla materia nucleare osservando i glitches?

Antonelli, Montoli, Pizzochero (2022)  
*Insights into the Physics of Neutron Star Interiors from Pulsar Glitches*

...e tanta didattica @UniMi di qualità altissima!

**L'ultimo lavoro:** stima migliorata dell'energia di pinning tra nuclei e vortici

*Microscopic calculation of the pinning energy of a vortex in the inner crust of a neutron star*

Klausner, Barranco, Pizzochero, Roca-Maza, Vigezzi, Physical Review C (2023)

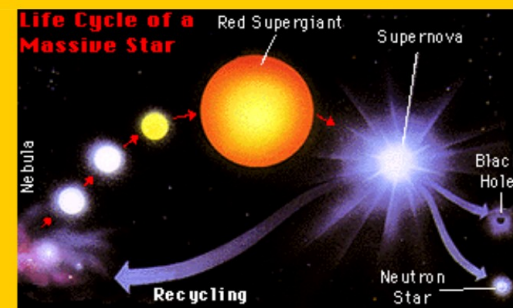
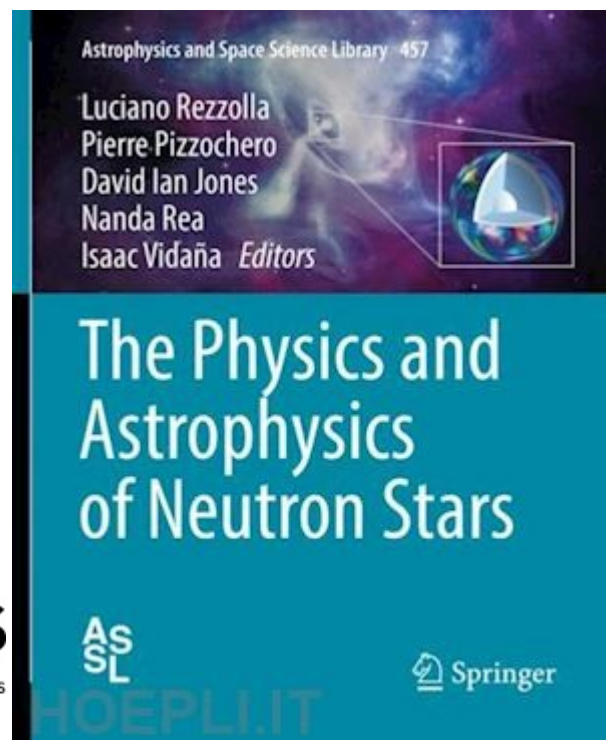
## *Oltre il lavoro di ricerca: azioni “COST” e didattica*

Pierre è stato uno dei fondatori della rete europea **CompStar**, che oggi collega la maggior parte degli scienziati europei che lavorano sulla fisica delle stelle di neutroni. Lo scopo di **CompStar** è quello di unire le tre anime della fisica degli oggetti compatti: **Astrofisica delle alte energie**, **Fisica nucleare&subnucleare**, e **Relatività Generale**.

Pierre è stato co-presidente di **CompStar** (2008-2012) e vicepresidente di **NewCompStar** (2013-2018). Queste due azioni COST hanno il fine di esplorare la fisica fondamentale tramite gli oggetti compatti. Pierre ha contribuito tantissimo a costruire una solida rete di astrofisici e fisici nucleari in Europa e di organizzare molte scuole specialistiche e workshop.

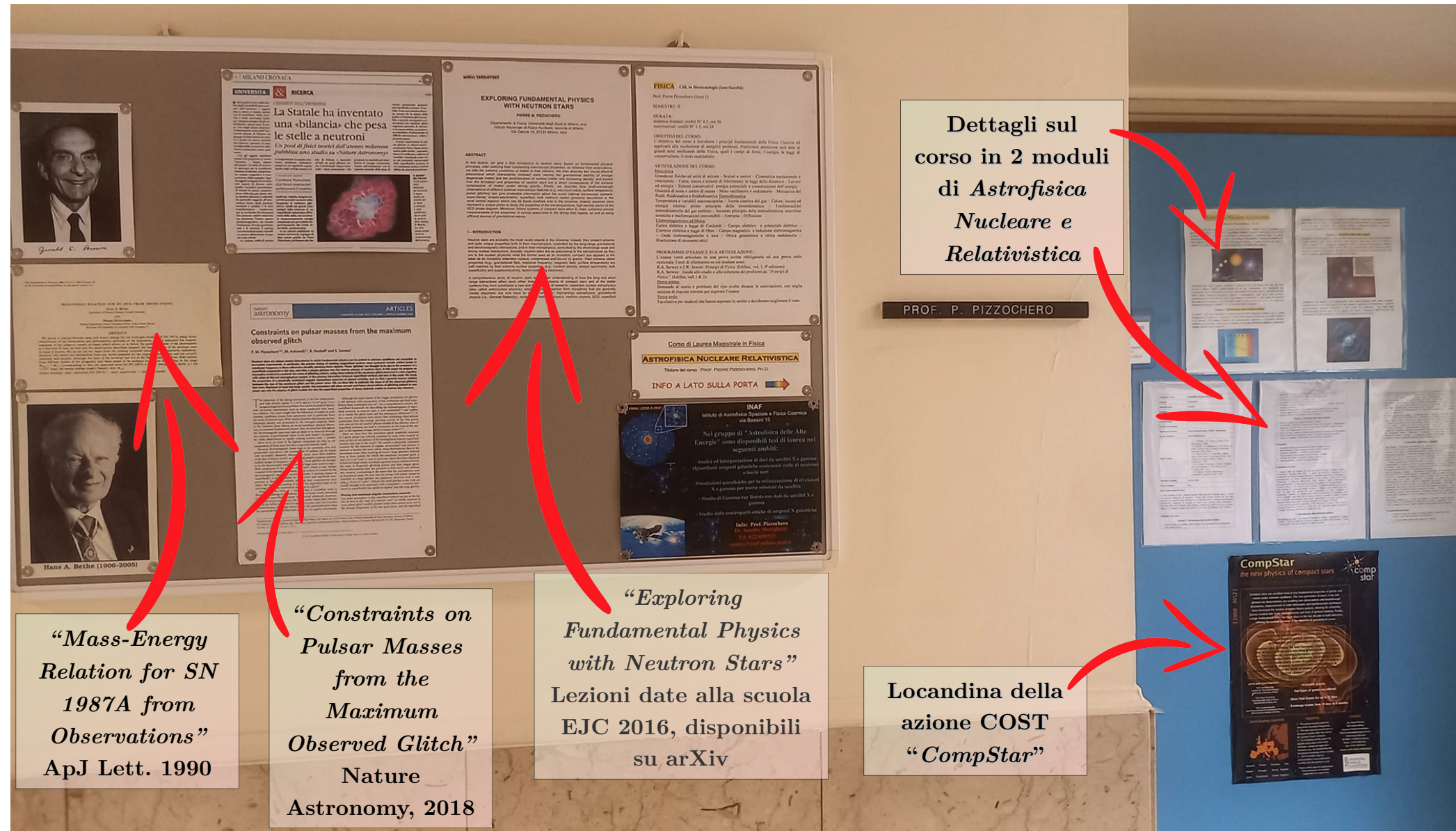
Dal 2019 ha fatto parte del Core Group e del Management Committee di **PHAROS** “*The multi-messenger physics and astrophysics of neutron stars*”, una azione COST dedicata all' astronomia multimessaggero delle stelle di neutroni.

Molti studenti, attirati dalla bellezza del suo corso di astrofisica, sono poi riusciti a continuare nella ricerca, sia in Italia che all'estero, grazie alla supervisione di Pierre e alla rete europea che aveva contribuito a creare grazie a queste azioni COST.



# La “bacheca” di Pierre (dipartimento di Fisica, Milano)

Alcuni professori ci tengono particolarmente a cosa appendere fuori dal proprio ufficio. Pierre era uno di questi. Era sempre disponibile per una chiaccherata con i suoi studenti, che lo interpellavano sia con domande di fisica che per consigli sul percorso di studi.



Dettagli sul corso in 2 moduli di **Astrofisica Nucleare e Relativistica**

PROF. P. PIZZOCHERO

Corso di Laurea Magistrale in Fisica  
**ASTROFISICA NUCLEARE RELATIVISTICA**

Titolare del corso: PROF. PIERRE PIZZOCHERO, PILO

INFO A LATO SULLA PORTA

INAF Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica via Bassini 15  
Nel gruppo di "Astrofisica delle Alte Energie" sono disponibili tesi di laurea nei seguenti ambiti:  
Analisi ed interpretazione di dati da satelliti X e gamma riguardanti sorgenti galattiche (ammassamenti stellari di nebulose a buchi neri)  
Simulazioni numeriche per la caratterizzazione di rivelatori X e gamma per nuove missioni da satellite  
Studio di Compton e Ray-Bremsstrahlung dall'alta energia a X e gamma  
Studio delle controparte ottiche di sorgenti X galattiche  
Info: Prof. Pizzochero  
Tel. 02 23838323  
www.astrofisica.inaf.it

“Mass-Energy Relation for SN 1987A from Observations”  
ApJ Lett. 1990

“Constraints on Pulsar Masses from the Maximum Observed Glitch”  
Nature Astronomy, 2018

“Exploring Fundamental Physics with Neutron Stars”  
Lezioni date alla scuola EJC 2016, disponibili su arXiv

Locandina della azione COST “CompStar”

## Qualche istantanea di Pierre

*“Rollino” lo ha aiutato molto dopo la morte improvvisa di Roland a luglio 2019*



*Matrimonio con Roland  
Agosto 2015, Villeneuve-Loubet (FR)*



*Discussione di tesi di una sua studentessa: la citazione di Einstein e' stata non intenzionale, voleva solo essere buffo nella foto*



*Forse un cliché, ma gli anni '80 sono stati gli anni della passione per l'aerobica*

Ma soprattutto, Pierre è stato per molti un modello di comportamento e di dedizione guidata dall'amore per la fisica. Ai numerosi studenti che ha formato, ai fortunati colleghi con cui ha collaborato, e a tutti coloro che hanno avuto il piacere di interagire con lui, *Pierre ha insegnato la passione per la scienza e l'integrità di inseguire un' idea semplicemente per la sua bellezza.* Mancherà enormemente a tanti colleghi, studenti e amici.

*Estratto della email di cordoglio girata sulla mailing-list di PHAROS*

*L. Rezzolla, B. Haskell, M. Antonelli*