

# ASTROFISICA ASTRICOLLASSATI

**Argomento fondamentale  
nell'astrofisica moderna**

**Franco Pacini**

# 4 Premi Nobel

- Hewish e Ryle (1974)  
Scoperta pulsar
- Chandrasekhar (1983)  
Teoria nane bianche
- Hulse e Taylor (1993)  
Emissione onde gravitazionali da pulsars binarie
- Giacconi (2002)  
Scoperta sorgenti X compatte

# Preistoria

- Come interpretare l'equilibrio delle nane bianche?
- Come le stelle trovano la pace eterna?
- La risposta presuppone la teoria quantistica dei gas e la statistica di Fermi.

# Nane bianche

Le nane bianche sono astri ( $M \sim 1 M_{\odot}$ ;  $R \sim 10^9$  cm)  
la cui gravità è bilanciata dalla pressione di un gas  
elettronico degenere.

**Massa limite:** combinazione di costanti fondamentali  
(Fowler 1926, Chandrasekhar 1931, Landau 1932)

$$M_{\text{ch}} = 0.197 [(hc/G)^3 1/m_p^2] 1/\mu_e^2 = 1.4 M_{\odot}$$

Oggi sappiamo che le nane bianche sono il resto di stelle  
con massa iniziale  $1 - 8 M_{\odot}$

## Quante ce ne sono?

Dalla funzione di Salpeter (numero di stelle formate ogni anno per parsec cubico con massa fra M e M + dM)

$$\psi_s (M, M + dM) = 2 \times 10^{-12} M^{-2.35} dM$$

Si ricava che il 98% delle stelle diventano nane bianche.

Il loro numero nella galassia è intorno a  $10^{10}$

# Cosa succede se $M > M_{\text{ch}}$ ?

## Stelle di neutroni

Speculazione negli anni '30 (Baade e Zwicky 1934; Landau 1938): neutronizzazione della materia a seguito del collasso e liberazione di energia gravitazionale.

Baade e Zwicky (1934): *“We advance the view that Supernovae represent the transition from ordinary stars into neutron stars which in their final stages consist of extremely closely packed neutrons”*.

Per un gas ideale di neutroni la massa critica è data da  $M_{\text{ns}} \sim 0.7 M_{\text{O}}$  (Oppenheimer e Volkoff, 1939) .

Le stelle di neutroni esistono solo se

$$M_{\text{ns}} > M_{\text{ch}}$$

Oggi si ritiene che  $M_{\text{ns}} \sim 3 M_{\text{O}}$  e che le stelle di neutroni derivino dal collasso delle parti centrali di stelle con massa fra 8 e circa 35 masse solari.

Il loro numero nella galassia si aggira intorno a  $10^9$

Il tema “stelle di neutroni” non desta molto interesse fino alla fine degli anni '50 quando iniziarono una serie di studi sull'equazione di stato ad altissima densità.

(Harrison 1958, Cameron 1959, Salpeter 1955, Gratton-Szamosi 1963). Inoltre Ambartusmian e Saakian, 1960, con motivazione cosmogonica.

# Cosa succede se $M > M_{ns}$ ?

## Buchi neri

Se  $M > M_{ns}$  si forma un “buco nero”

Massa iniziale della stella  $> 35 M_{\odot}$

Buchi neri nella Galassia  $\sim 10^6 - 10^7$



# Come scoprire le stelle di neutroni?

- Osservazione ottica diretta

Praticamente impossibile causa bassa luminosità.  
Tipicamente  $m \sim 28$ .

- Evidenze indirette

La luminosità della Nebulosa del Granchio ( $10^{38}$  ergs  $s^{-1}$ )  
è dovuta a radiazione di sincrotrone.

Accelerazione continua di particelle relativistiche e  
produzione di un campo magnetico organizzato su  
grande scala.

Speculazione che questi fenomeni siano riconducibili alla presenza di una stella di neutroni centrale attraverso:

1. Dipolo magnetico oscillante (Hoyle et al. 1964).  
Obiezione: frenamento per emissione onde gravitazionali
2. Campo magnetico fortissimo ( $10^{10}$  -  $10^{15}$ ) per compressione flusso durante il collasso, flares (Woltjer 1964) cf. MAGNETARS.
3. Rotazione veloce di un dipolo magnetico obliquo (Pacini 1967; impossibile secondo Cameron-Tsuruta 1966).

# Scoperta pulsars

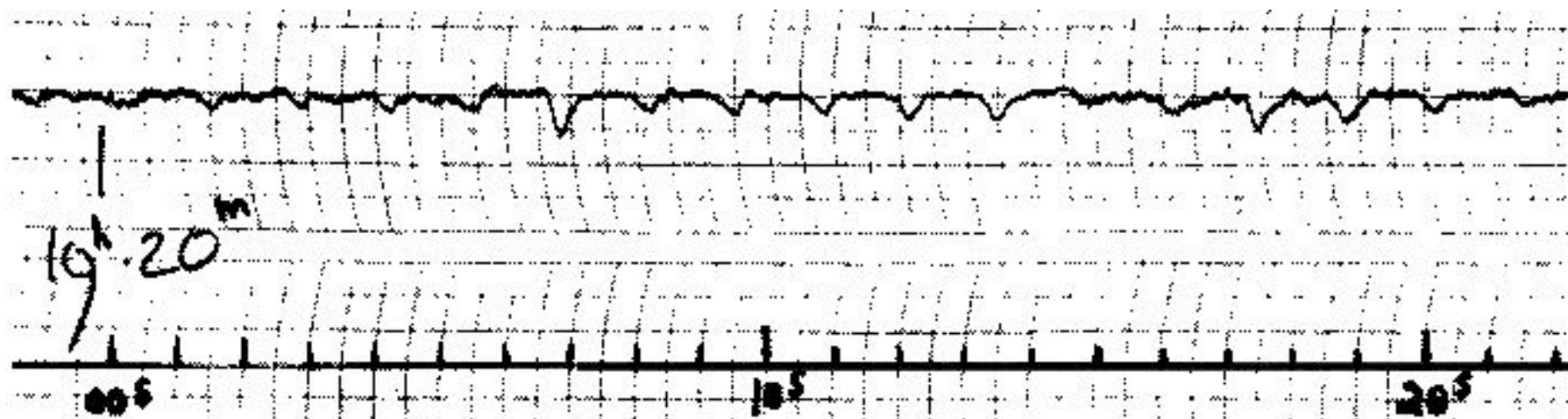
(Hewish et al. 1968)

Nell'arco del 1968, pulsars identificate con stelle di neutroni rotanti, fortemente magnetizzate.

Una di esse, con periodo 33ms, è nella Nebulosa del Granchio.

Dal rallentamento si deduce una perdita di energia di rotazione pari a  $10^{38}$  ergs s<sup>-1</sup>

Coincidenza fra perdita energia rotazionale e luminosità



First observation of pulses  
from GP 1919  
28 November 1967

Crab Nebula mostra che le pulsars sono in grado di convertire la loro rotazione in particelle relativistiche.

Scoperta pulsars stimola in Italia interesse teorico fisici plasma (Bertotti, Cavaliere, Coppi) e “giovani allievi” (Ferrari, Treves...).

Scarsa la partecipazione italiana alle attività osservative radio per vicende varie.

**Convegno Lincei 1969**

# Sorgenti X

Sorgenti compatte (tipo Scox-1) scoperte da Friedman, Giacconi, Rossi et al.

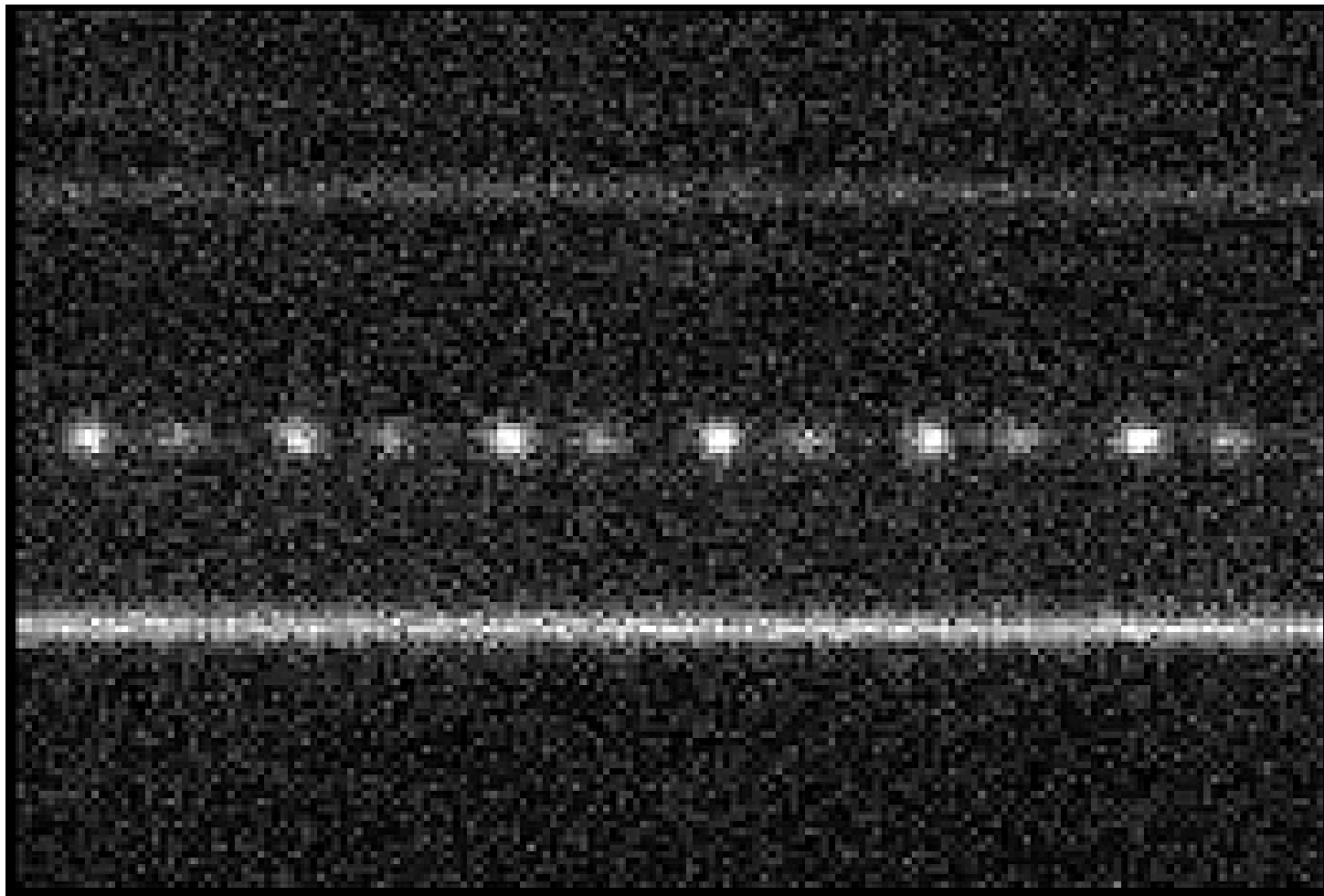
Emissione termica da gas molto caldi ( $T \sim 10^7$  K; 1 KeV)

Confinamento e rapido tempo di raffreddamento  $\sim$  ms richiedono presenza astro centrale collassato (stella neutroni o buco nero) su cui “cade” continuamente materia (“accrescimento”).

Stimolo allo sviluppo dell’astronomia X in Italia (Milano, Bologna, Frascati) e relative ricerche teoriche.

# La Nebulosa del Granchio vista da LBT





Time Sequence of Crab Pulsar (VLT KUEYEN + FORS2 + FIERA)





# Quadro astrofisico generale

- **Prima vita:** evoluzione stelle massicce seguita da collasso. Termica!
- **Seconda vita:** pulsars. Non termica!
- **Terza vita:** sorgenti X in sistemi binari. Termica!
- **Quarta vita:** pulsars binarie al millisecondo. Non termica!
- **Ultimo tango:** fusione sistema binario (lampi gamma, onde gravitazionali)

# Temi legati allo studio delle stelle collassate

1. Evoluzione stellare
2. Fisica del plasma
3. Fisica nucleare ad altissima intensità
4. Fisica della gravitazione e onde gravitazionali
5. Fisica della materia degenere (superconduttività, superfluidità)
6. Campi elettromagnetici fortissimi (processi di irraggiamento coerenti e incoerenti)
7. Accelerazione di particelle e origine dei raggi cosmici
8. ....

La scoperta delle pulsars, e altre manifestazioni degli astri collassati, ha stimolato in Italia importanti studi osservativi e teorici quali:

1. Elettrodinamica delle pulsars e evoluzione dei resti di supernova
2. Scoperta di varie pulsars con periodo  $P \sim$  millisecc.
3. Scoperta della sorgente Geminga e sua identificazione con stella di neutroni (Premio Rossi della A.A.S.)
4. Studi teorici osservativi sulla luminosità ottica, X e gamma delle pulsars e loro evoluzione
5. Scoperta di un sistema binario con due pulsars e magnetosfere interagenti (premio Europeo Descartes)

6. Processi fisici in sorgenti di accrescimento.
7. Localizzazione attraverso il satellite SAX dei lampi di luce gamma e loro identificazione con sorgenti extragalattiche (Premio Rossi della A.A.S.). Studi sulla connessione lampi gamma e SN.
8. Studio teorico dei lampi di luce gamma e elaborazione di modelli relativistici.
9. Effetti di relatività generale nelle stelle collassate e ricerca onde gravitazionali.