

Marco Salvati

INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica)

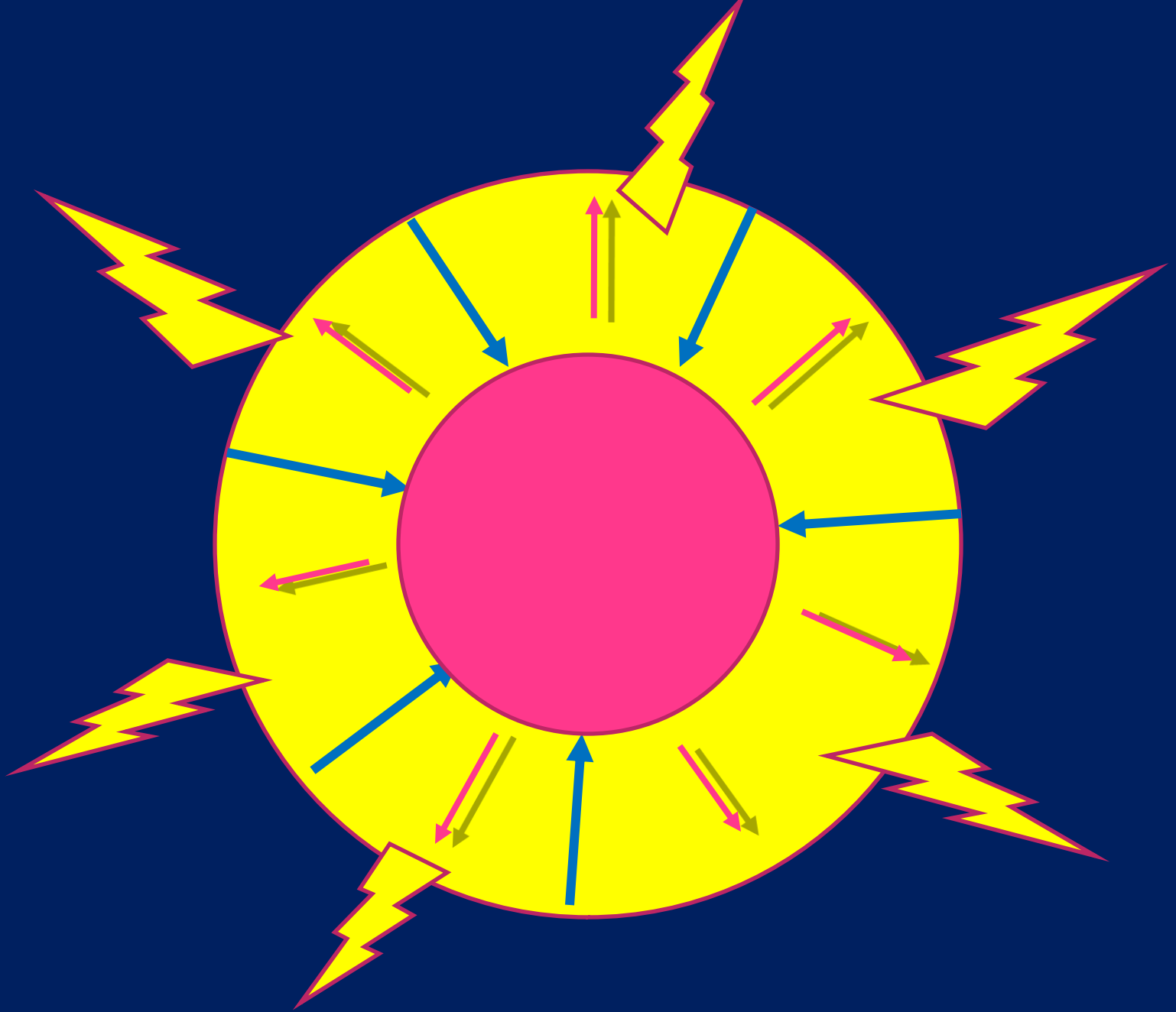
Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Vita, morte e
resurrezione delle
stelle

Come fa una stella a restare
in equilibrio contro la gravita' ?

La stella deve avere sufficiente
energia termica per bilanciare il
suo stesso peso

Una stella calda irraggia e tende a
raffreddarsi: le reazioni nucleari
mantengono l'equilibrio

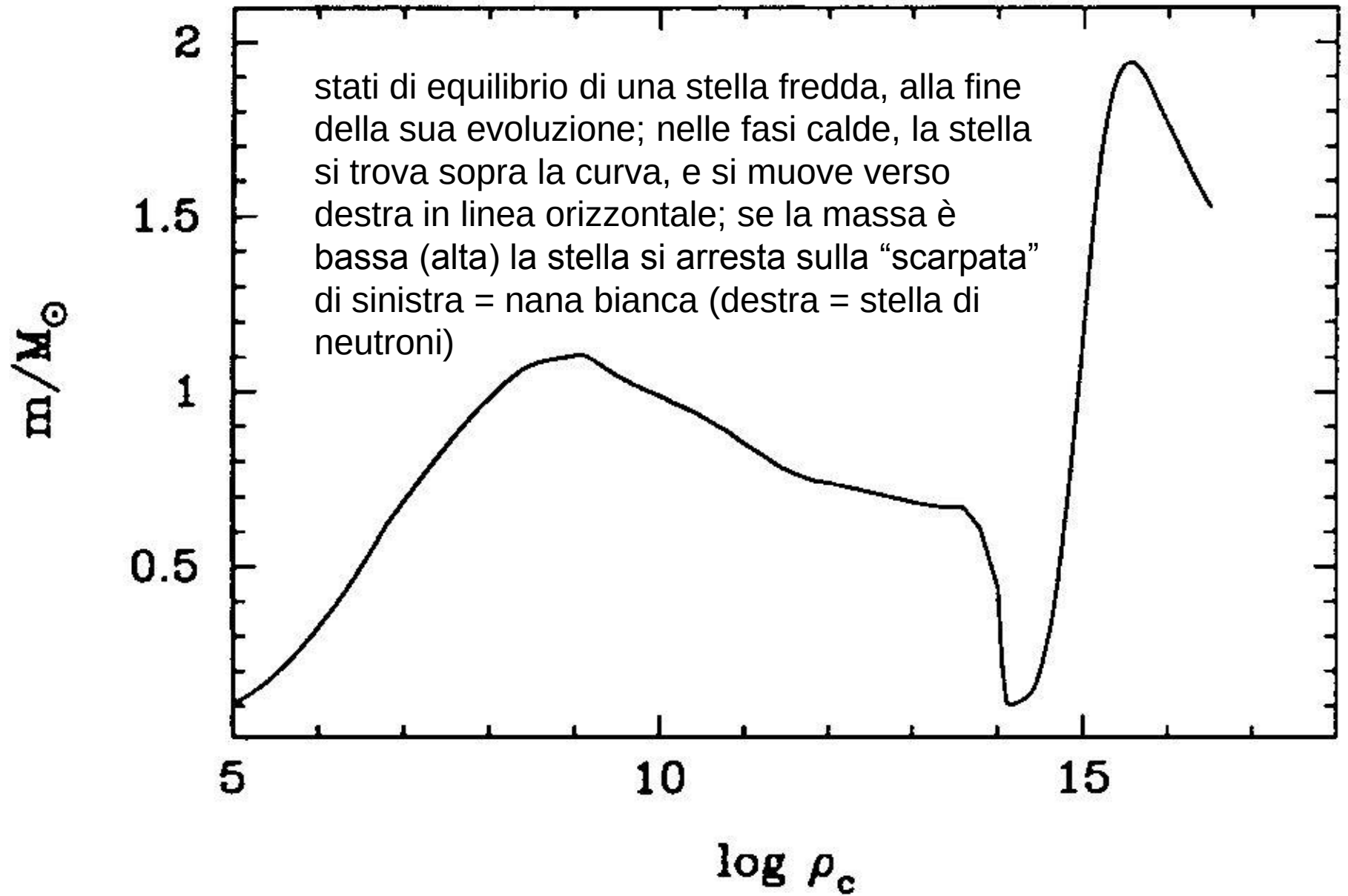


Quando il combustibile nucleare
si esaurisce, la stella diventa
fredda

Se fosse fredda e priva di energia
termica, allora collasserebbe fino
a diventare un "buco nero"

E' possibile una stella fredda con
energia termica maggiore di zero ?

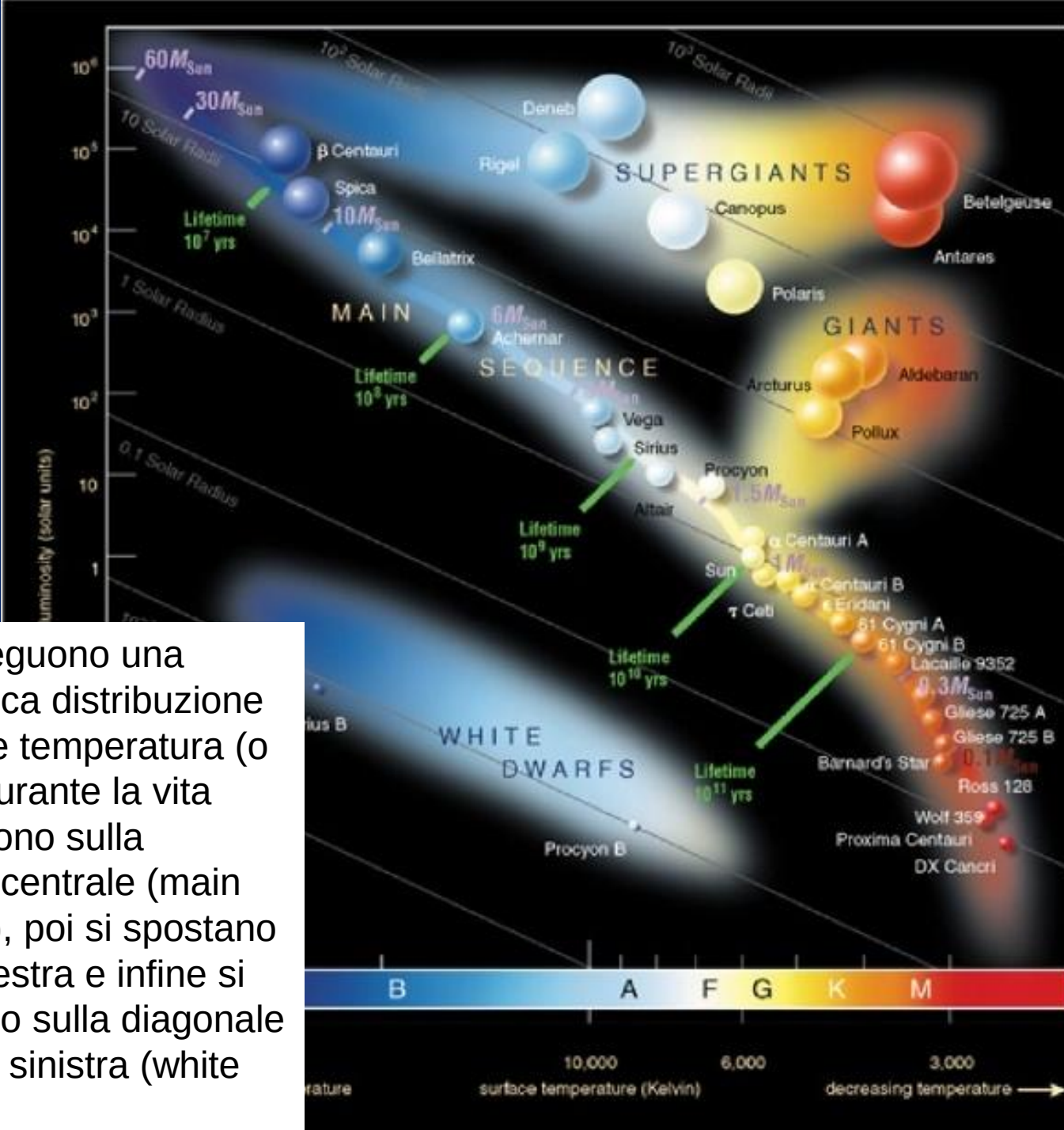
Il principio di indeterminazione richiede che velocità (v) e posizione (x) siano "incomprimibili" oltre un certo limite: $m \Delta v \Delta x > h$. Il principio di esclusione di Pauli proibisce che nello stesso $\Delta v \Delta x$ ci sia più di una particella. Quindi tante particelle in poco spazio debbono avere un minimo di energia (energia di Fermi) anche a temperatura zero.



Come arriva una stella allo stato finale ?

Bruciamenti nucleari successivi (struttura a "cipolla"), perdita di massa, nebulose planetarie

Come e' possibile osservare le nane bianche ?



le stelle seguono una caratteristica distribuzione in massa e temperatura (o colore): durante la vita normale sono sulla diagonale centrale (main sequence), poi si spostano in alto a destra e infine si dispongono sulla diagonale in basso a sinistra (white dwarfs)

durante lo spostamento, la stella
perde gli strati esterni e appare come
una nebulosa planetaria





il puntino appena sopra
l'angolo in alto a sinistra è
la nana bianca Sirio B, in
orbita attorno alla ben
nota stella brillante Sirio

Le nane bianche sono destinate a diventare nane "nere"

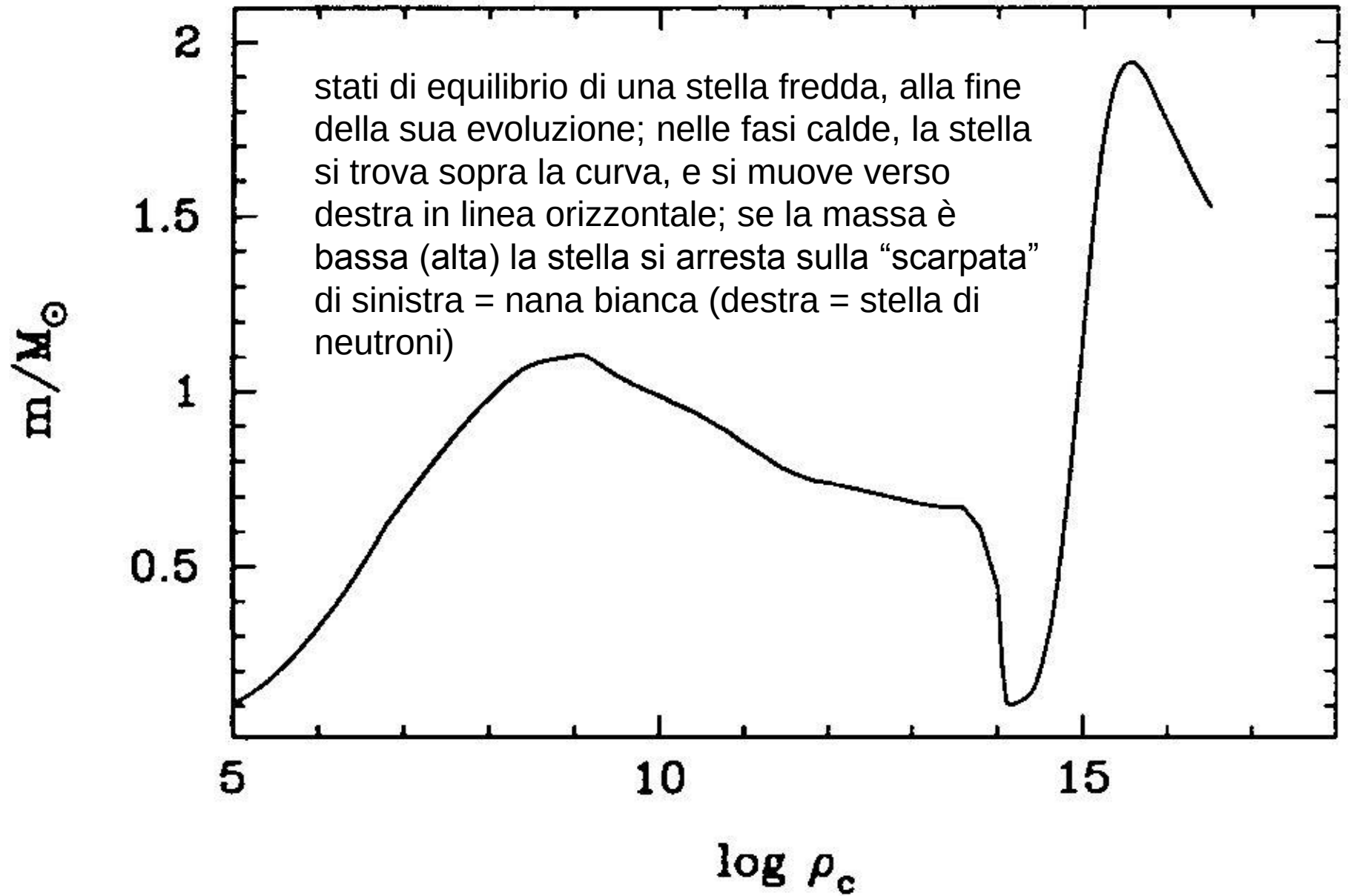
Tuttavia, anche una stella del tutto spenta può ritornare attiva se riesce a catturare materia dall'ambiente circostante

Stelle Novae



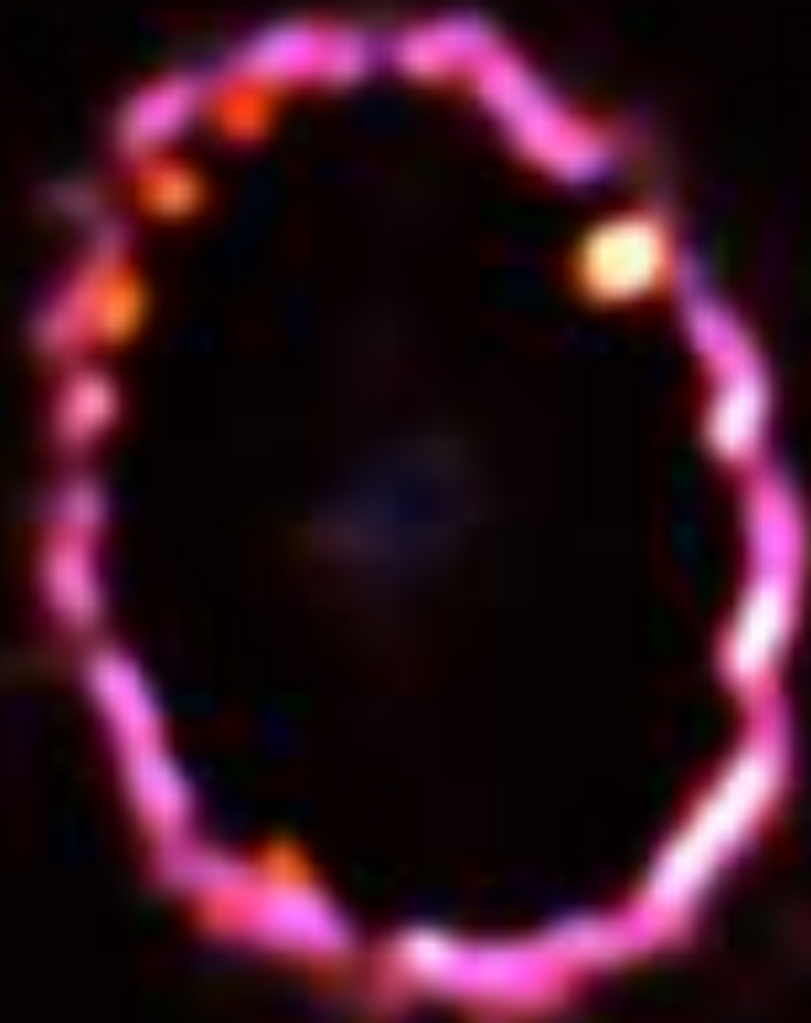
Se la massa finale della stella è troppo grande, invece di una nana bianca si forma una stella di neutroni; se è ancora più grande, si forma un buco nero

In questi casi la formazione è un processo molto violento, visibile come una Supernova

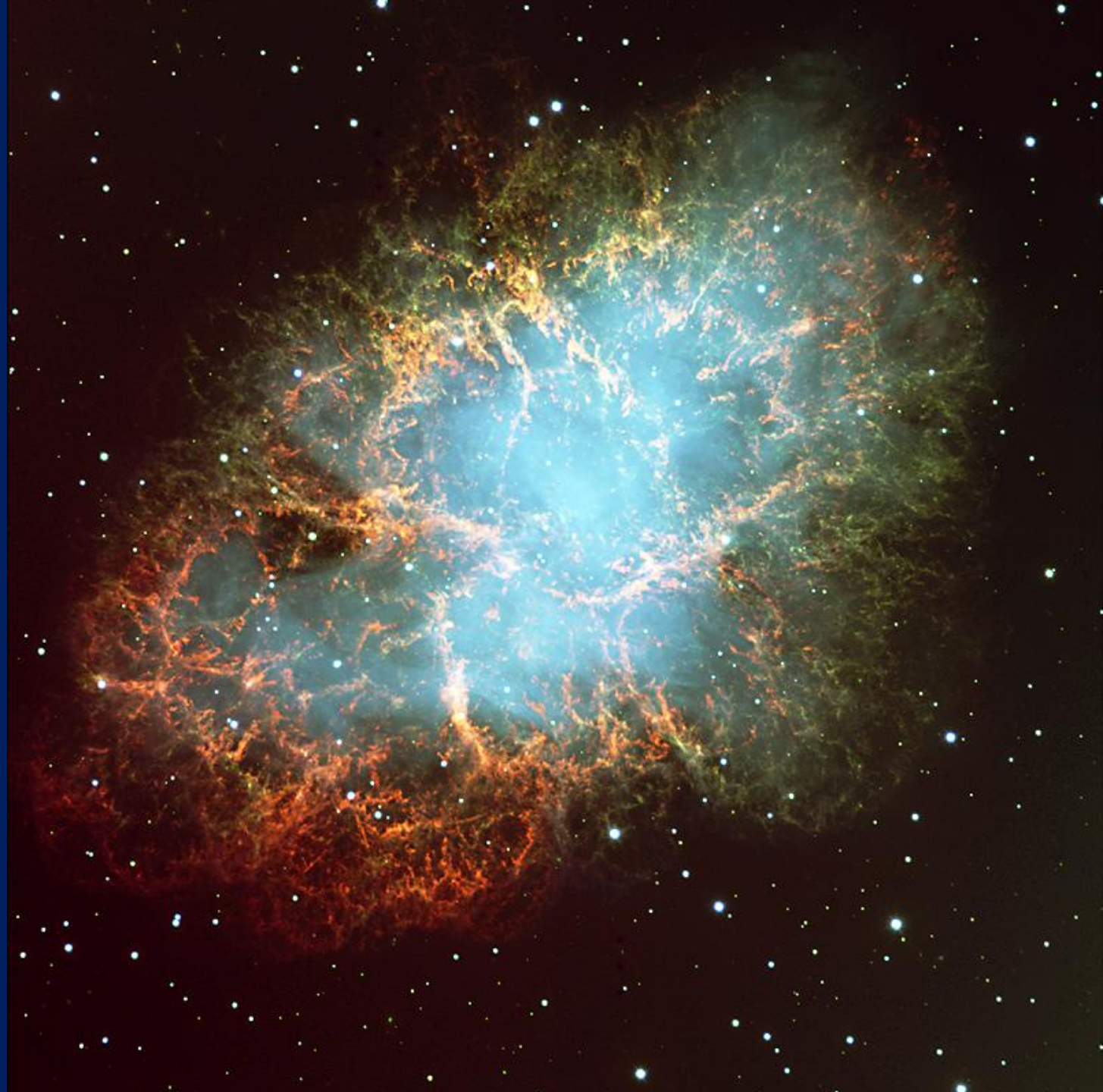


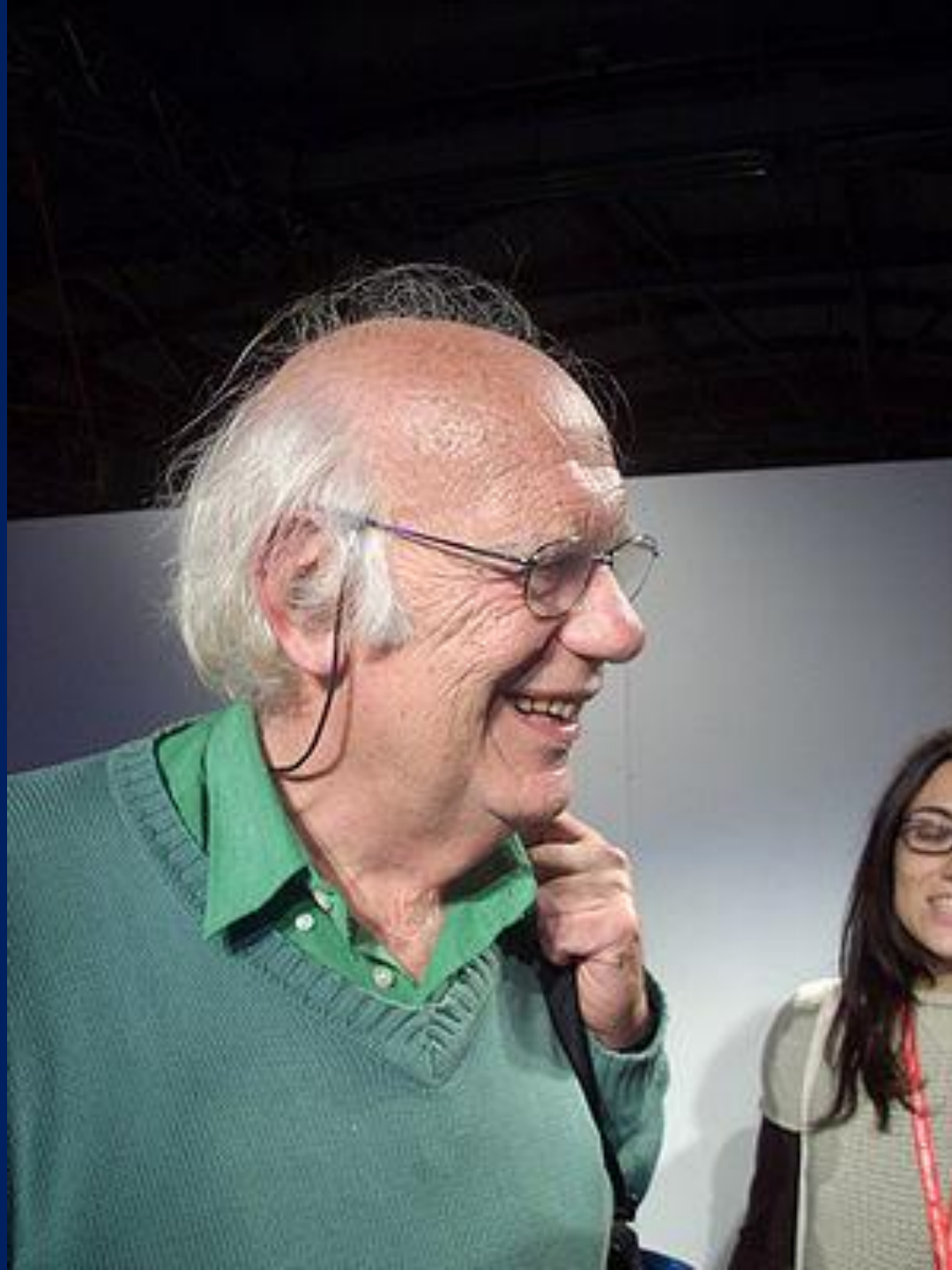


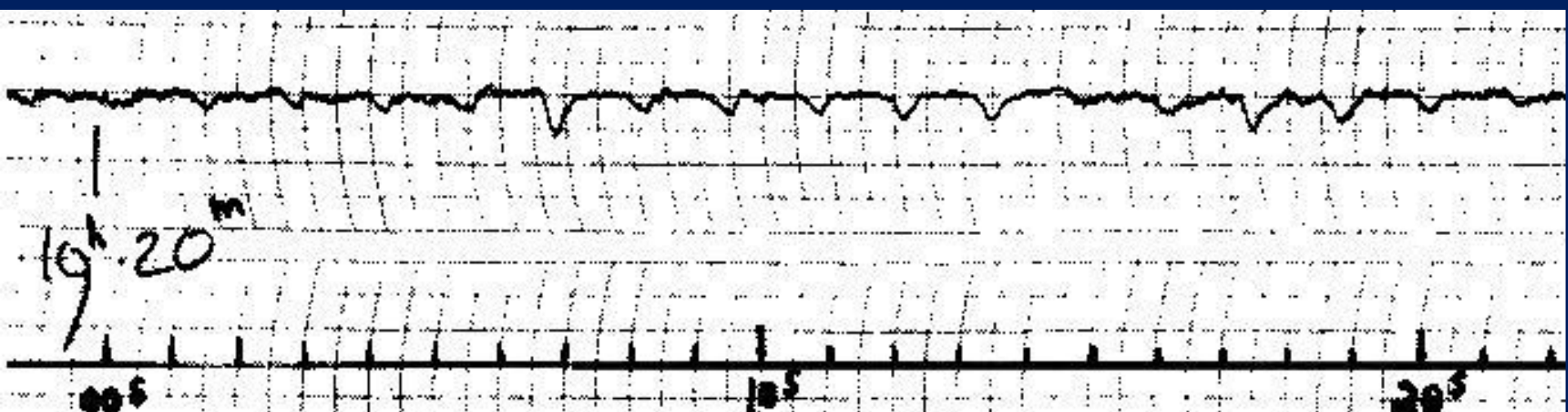
L'immagine a destra mostra la situazione precedente alla esplosione di una Supernova (a sinistra)











First observation of pulses

from CP 1919

28 November 1967

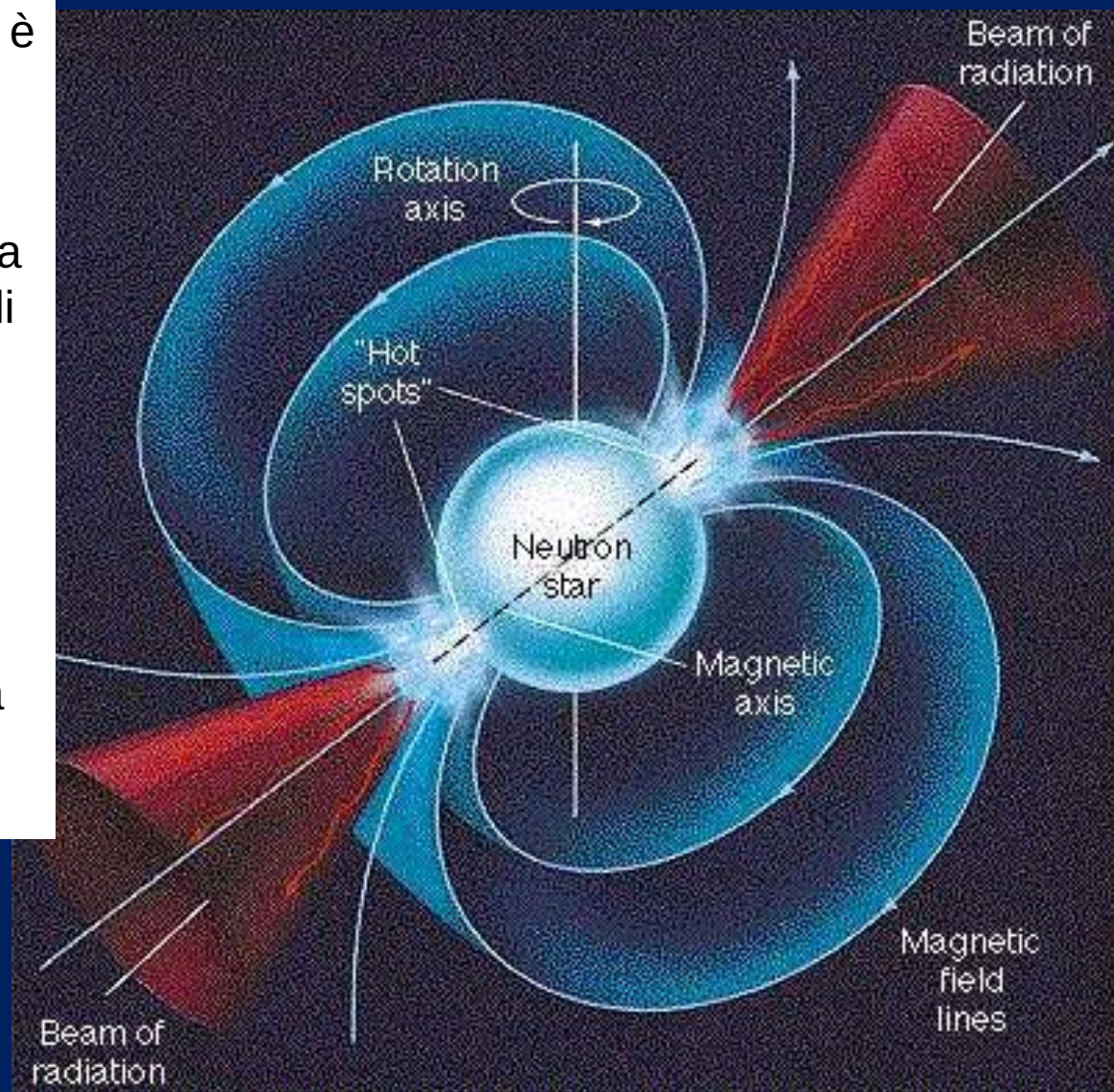


istantanee prese a intervalli di frazioni di secondo: la stella indicata dalla freccia a destra è invisibile a sinistra, si tratta di una pulsar (la Crab) che si accende e si spegne 30 volte ogni secondo

Puo' accadere che la stella di neutroni risultante dall'esplosione di una Supernova rimanga visibile per milioni di anni come "pulsar"

Questo richiede un forte campo magnetico e una rotazione molto veloce

una pulsar è una “trottola” cosmica, che irraggia un fascio di radiazione mentre ruota; ogni volta che il fascio ci colpisce vediamo la pulsar “accesa”



I processi violenti tipici delle stelle compatte ("collassate") si manifestano con la emissione di radiazione anche fuori della banda visibile, cioe' nella banda radio, X o gamma; vengono emesse anche particelle esotiche (raggi cosmici, neutrini), e onde gravitazionali

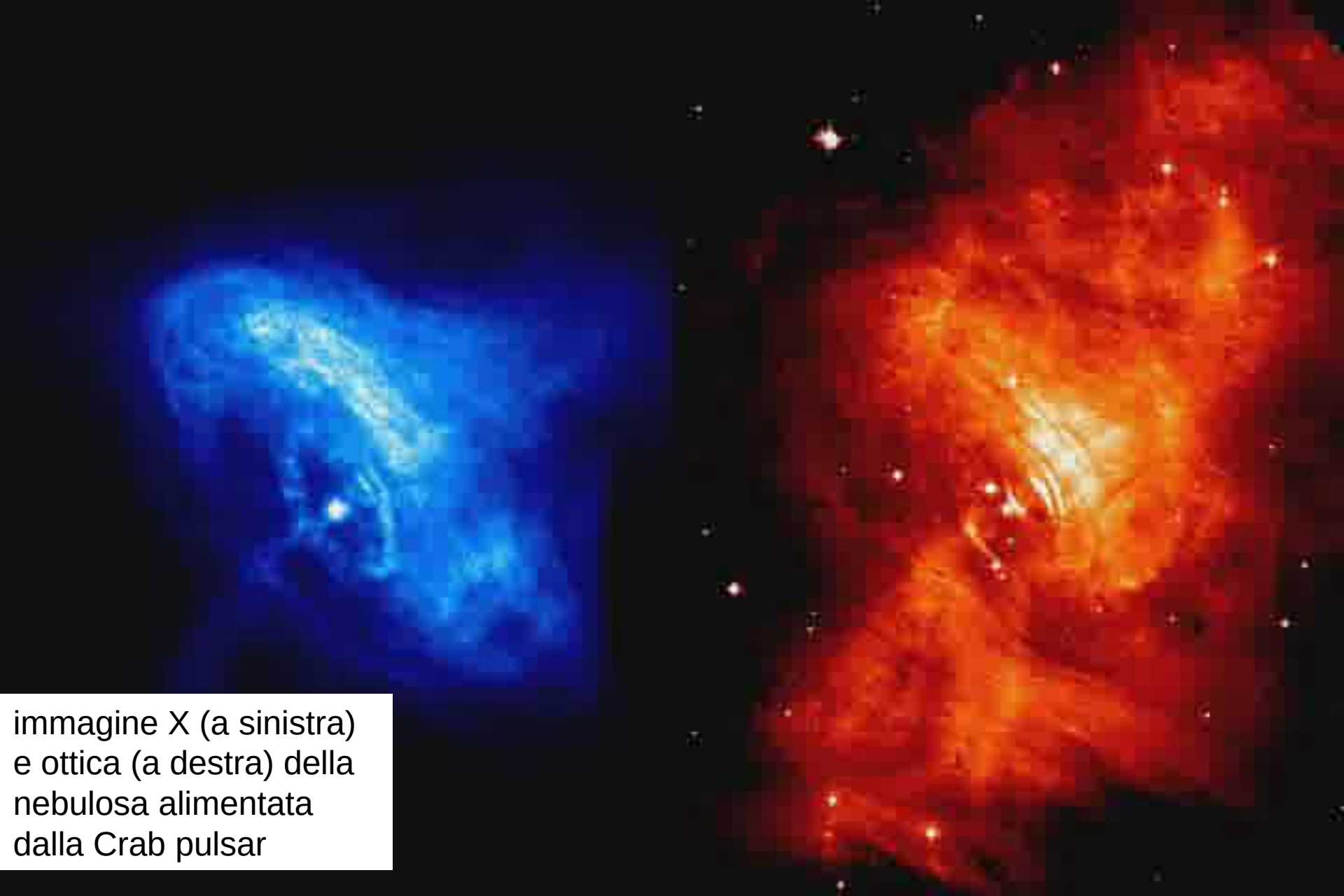
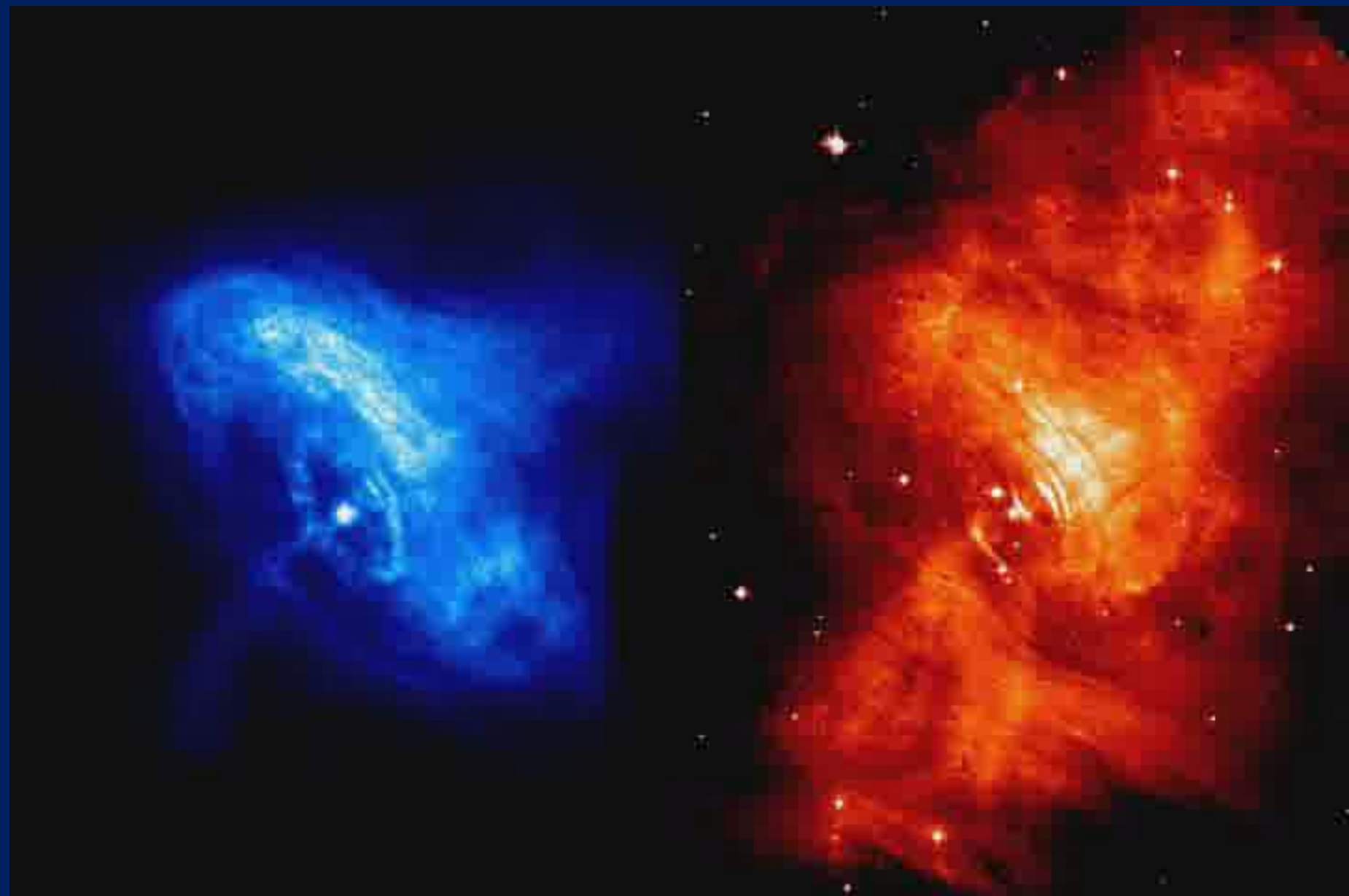
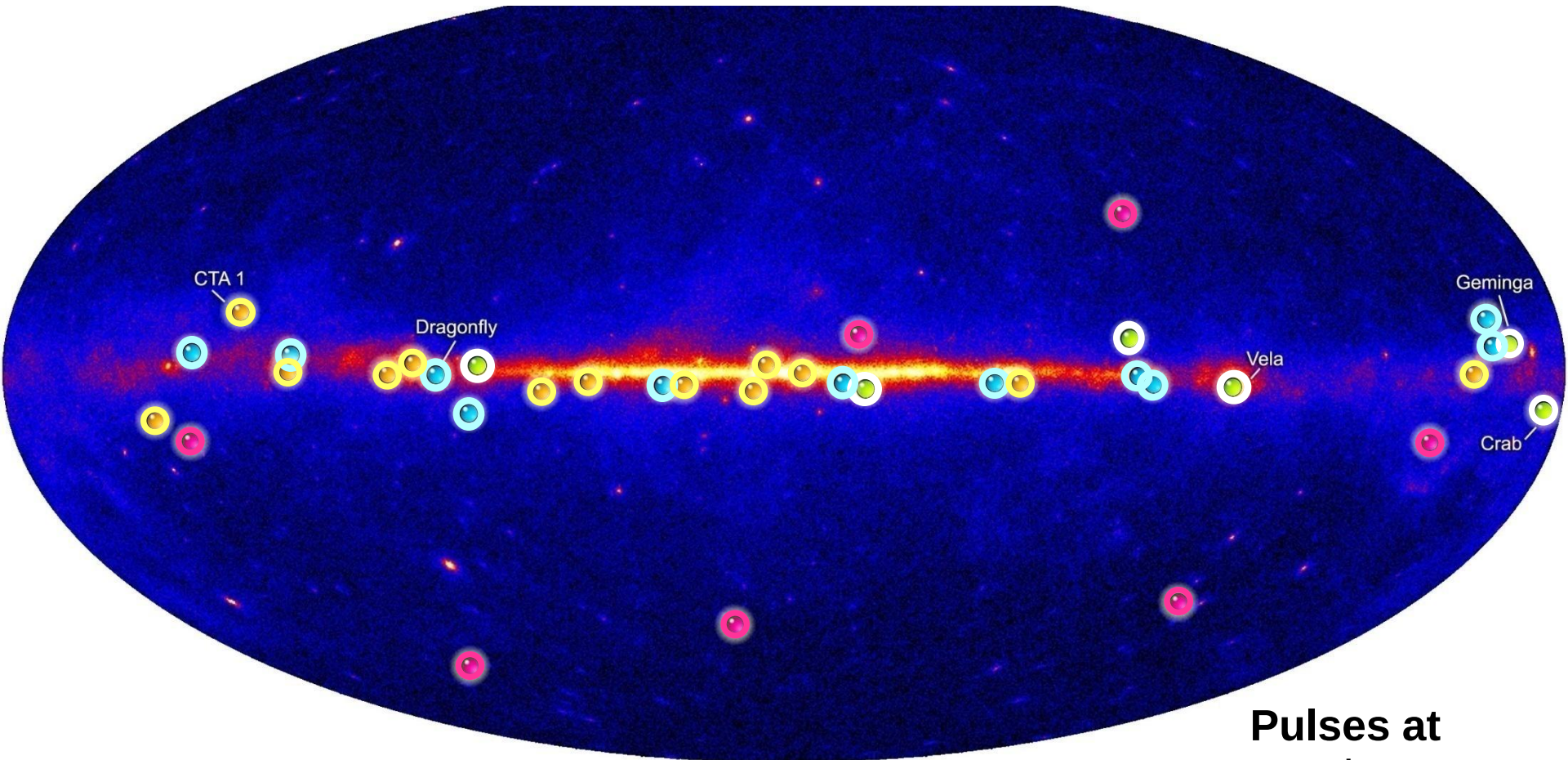


immagine X (a sinistra)
e ottica (a destra) della
nebulosa alimentata
dalla Crab pulsar



Una, dieci, cento Geminghe

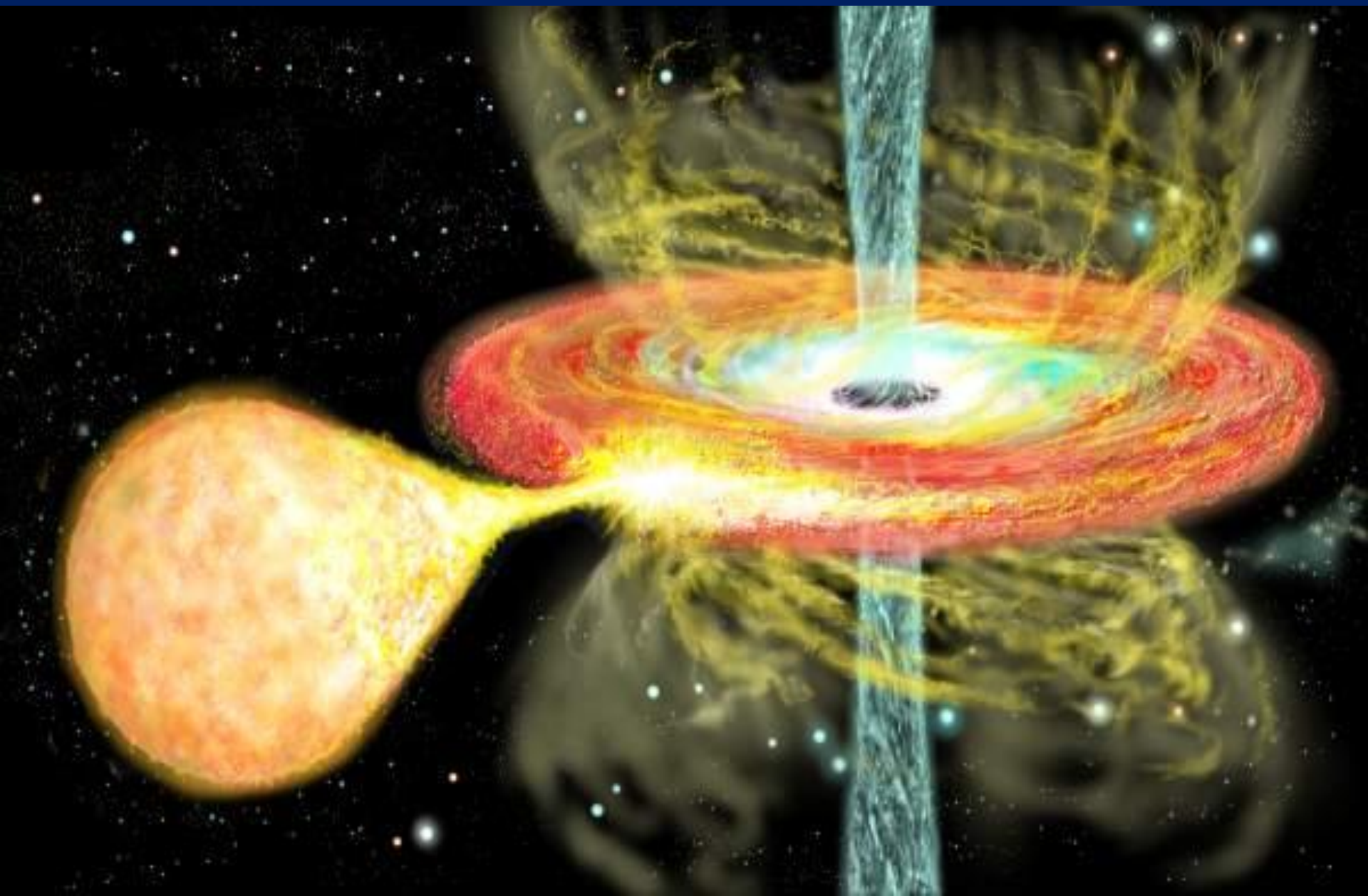


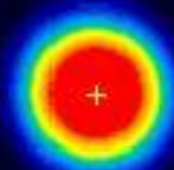
Fermi Pulsar Detections

- New pulsars discovered in a blind search
- Millisecond radio pulsars
- Young radio pulsars
- Pulsars seen by Compton Observatory EGRET instrument

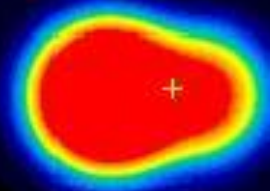
Pulses at
 $1/10^{\text{th}}$ true rate

In ogni caso, come si e' gia' visto per le nane bianche, anche le stelle di neutroni (e anche i buchi neri) possono essere la sede di importanti fenomeni di accrescimento, con l'emissione di varie forme di radiazione e altri fenomeni secondari (onde d'urto, getti)

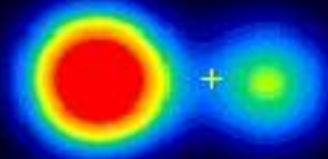




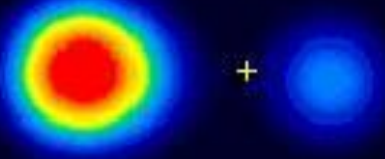
18-III-1994



27-III-1994



03-IV-1994



09-IV-1994

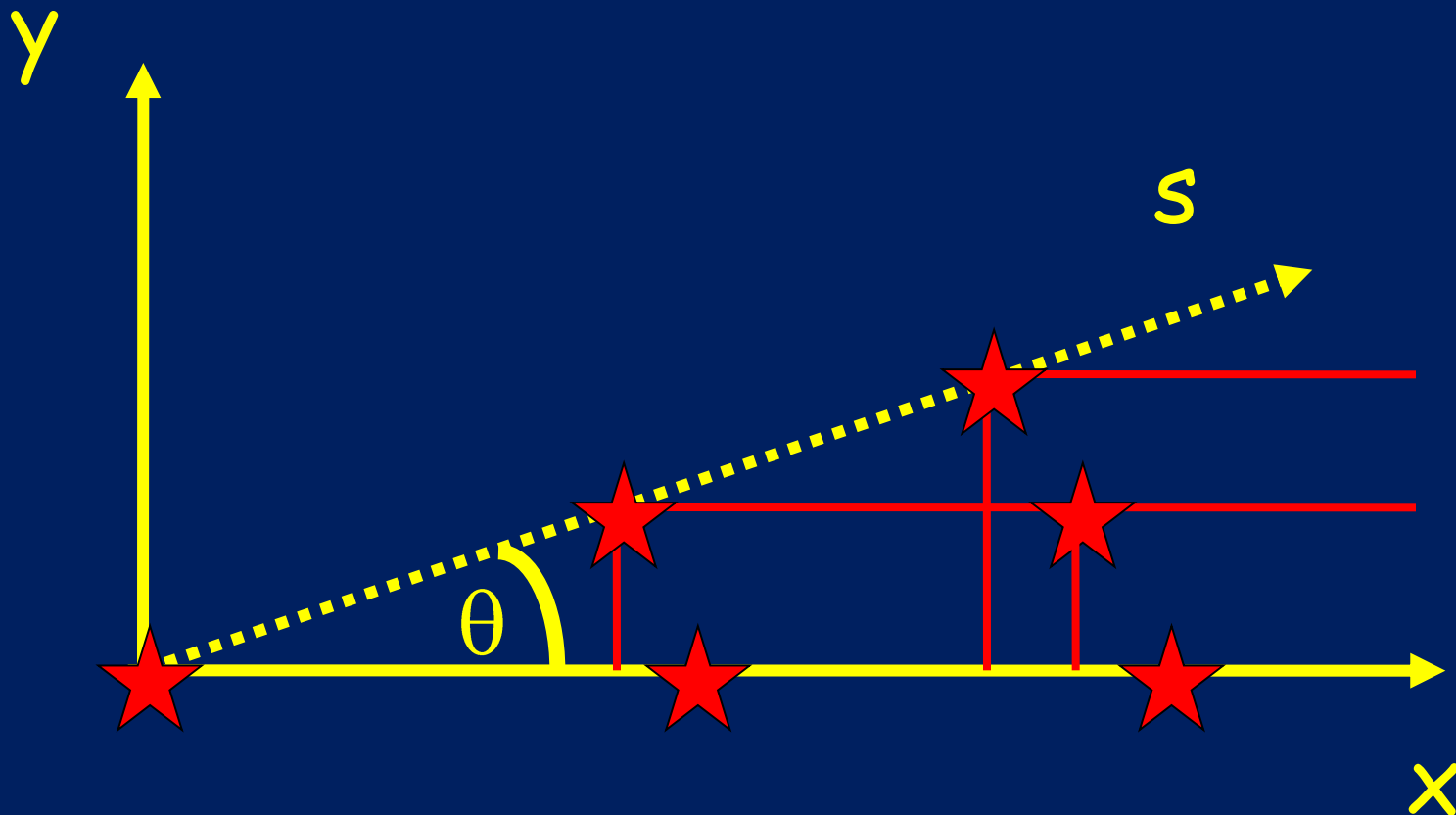


16-IV-1994



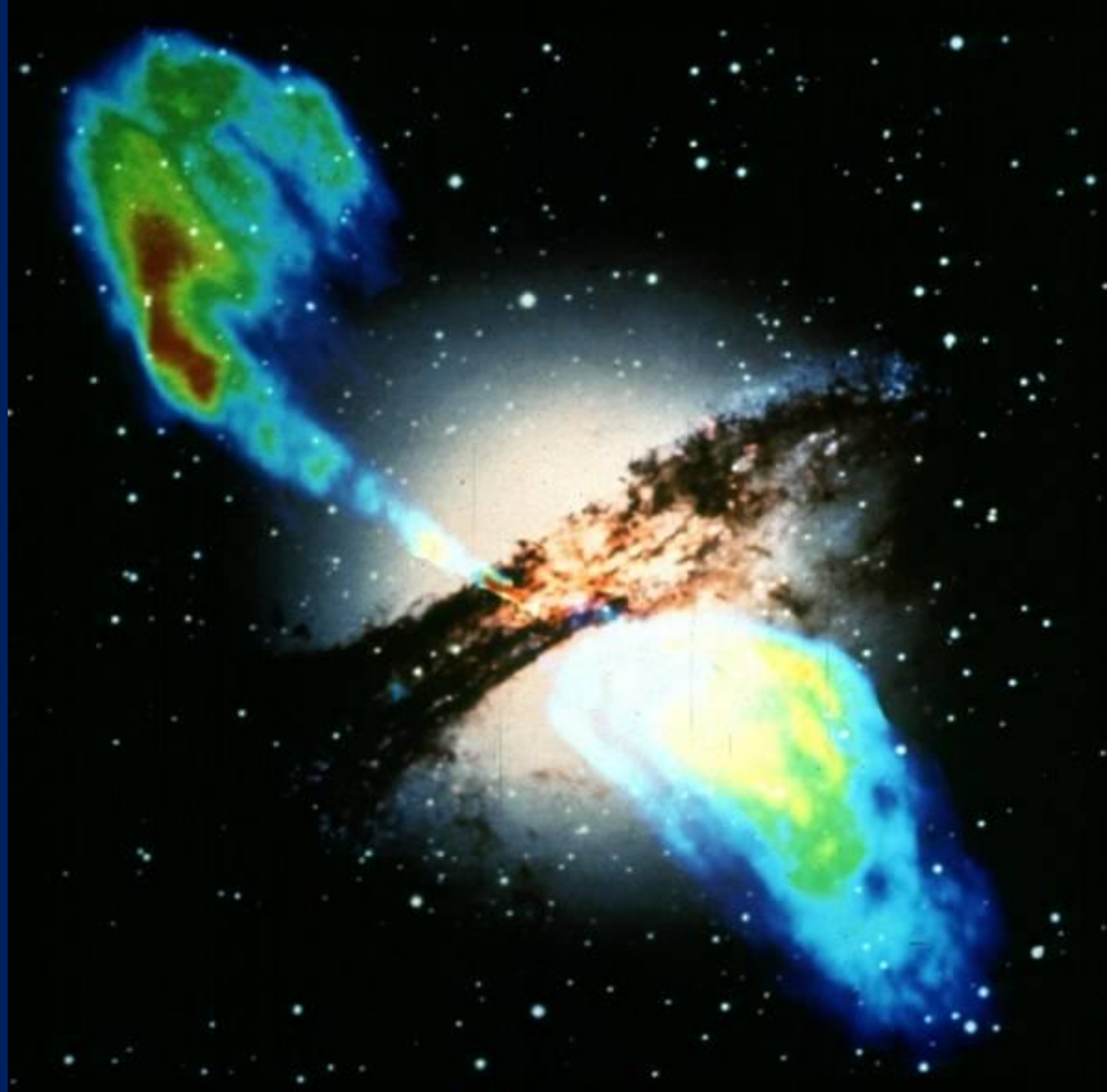
10,000 AU

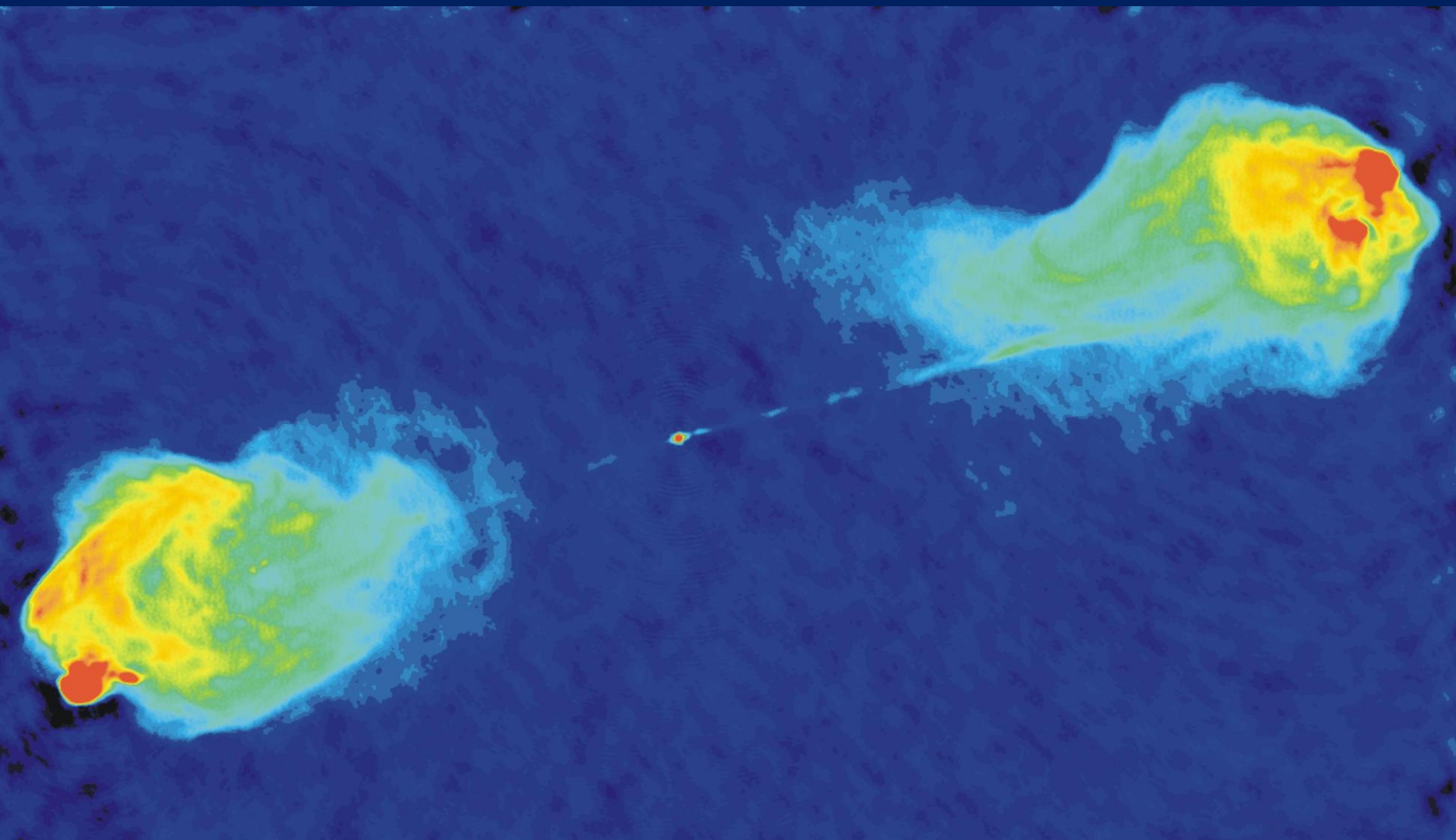
Come è possibile che un oggetto si muova a velocità superiore a c ?



Le nane bianche e le stelle di neutroni sono limitate a poche masse stellari.

I buchi neri possono crescere fino a milioni o miliardi di masse stellari, e dare origine ai quasar.





Fine

$$2T+W=0, \quad E=T+W=-\frac{W}{2}=-T$$

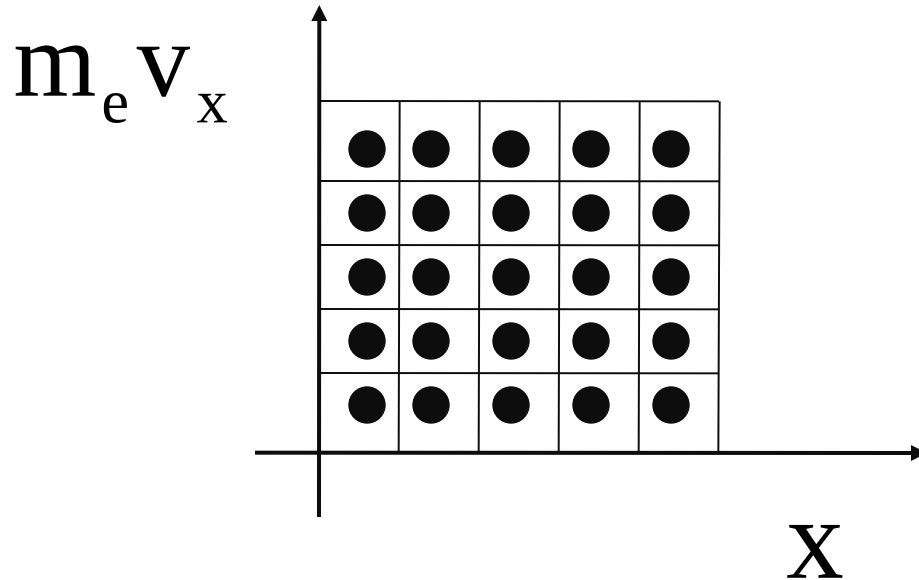
$$T=\frac{3}{10} \frac{GM^2}{R}$$

$$pR^2 \approx \frac{T}{R^3} R^2 \approx \frac{GM^2}{R^2}, \quad T \approx \frac{GM^2}{R}$$

T = energia termica, W = energia gravitazionale, E = energia totale, G = costante della gravitazione, R e M = raggio e massa della stella, p = pressione del gas stellare

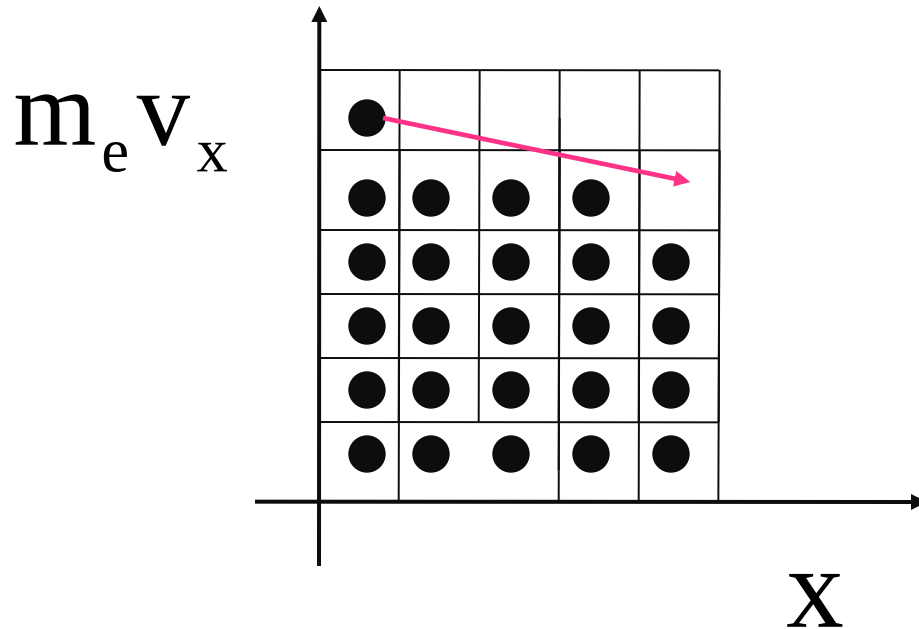
Il principio di indeterminazione richiede che impulso (mv) e posizione (x) "riempiano" un volume non zero (le celle quadrate della figura), il principio di esclusione di Pauli proibisce che in una cella ci sia più di una particella. C'è quindi un valore minimo dell'energia (energia di Fermi) anche a temperatura zero.

~~$$\frac{1}{2} m_e v_x^2$$~~



m_e e m_p = massa dell'elettrone e del protone, v = velocità, V = velocità massima (di Fermi), M e R = massa e raggio della stella, h = costante di Planck

~~$$\frac{3}{5} \frac{M^2}{R^3} \approx \frac{3}{5} \frac{M^2}{R^3} \approx \frac{3}{5} \frac{M^2}{R^3}$$~~



se la stella è ancora calda, qualche particella si trova a energie maggiori dell'energia di Fermi, e può occupare uno stato di energia minore emettendo un fotone; quando la stella è fredda, tutti gli stati fino all'energia di Fermi sono occupati, e nessun irraggiamento è più possibile (stella nera)

$$s = vt, \quad x = vt \cos \theta, \quad y = vt \sin \theta$$

$$T = t - \frac{x}{c} = t \left(1 - \frac{v}{c} \cos \theta \right)$$

$$\frac{y}{T} = \frac{v \sin \theta}{1 - \frac{v}{c} \cos \theta} \xrightarrow{\cos \theta = \frac{v}{c}} = v \Gamma$$

$$\Gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} \gg 1$$