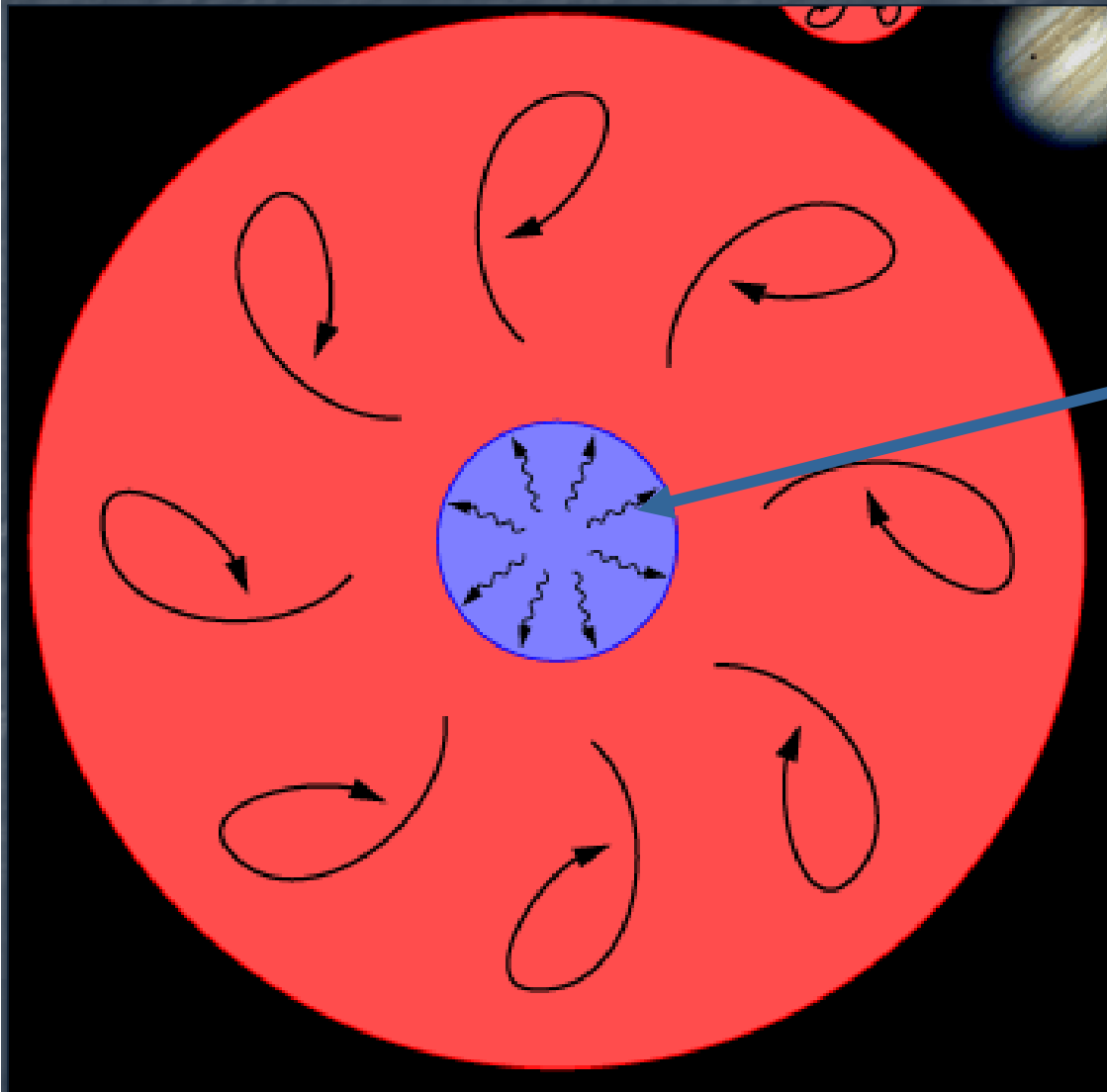


anche le stelle...
vivono in coppia
o in comunità

Francesca D'Antona

6/4/2010 - La Fisica incontra la città

RICORDIAMO COME "FUNZIONA" LA STELLA SOLE



"core":
Densità $\sim 10^2 \text{gcm}^{-3}$
 $T \sim 10^7 \text{K}$ $R \sim 20\%$
del totale

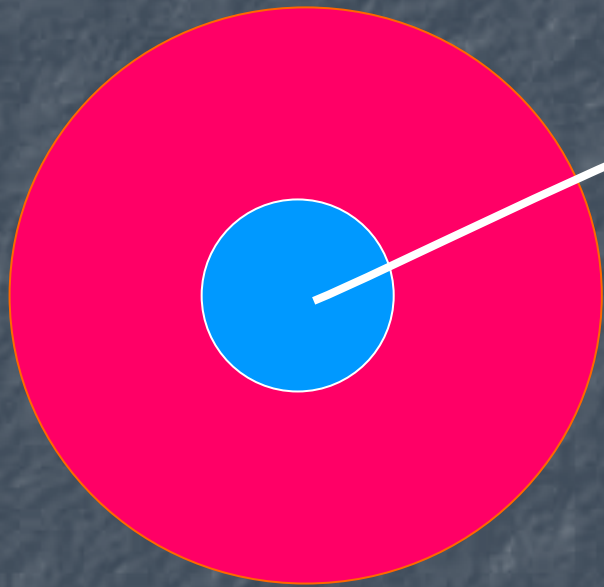
superficie: $T \sim 5700 \text{K}$
raggio totale
 $\sim 700000 \text{Km}$

stelle simili al
Sole:

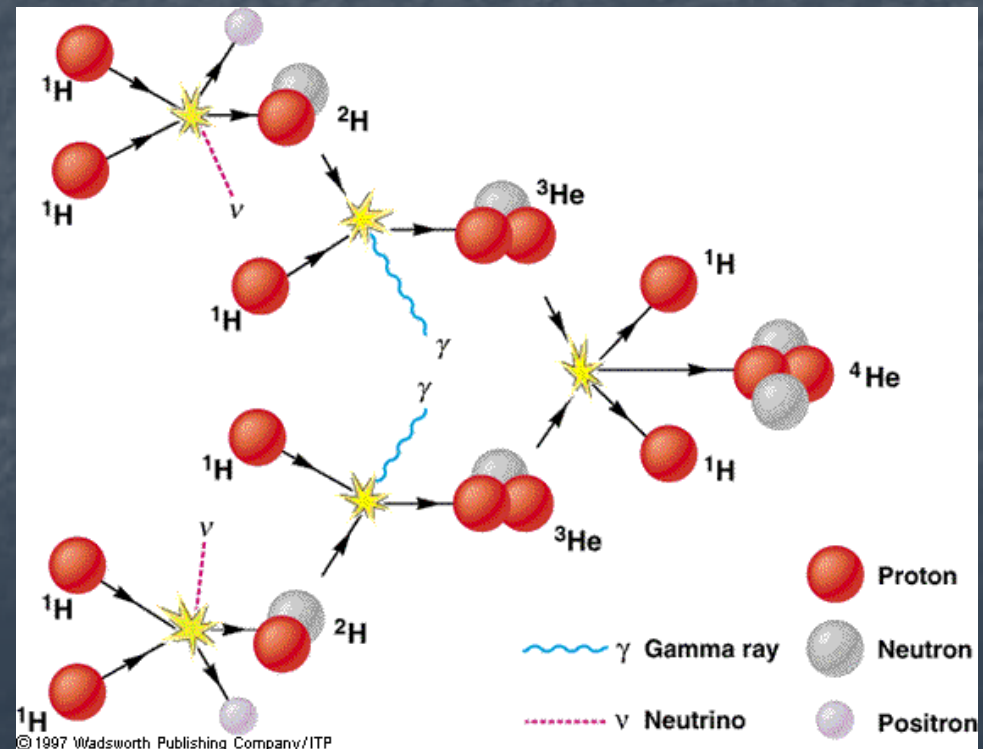
MASSE: DA 0.1 A 50
VOLTE IL SOLE

LA SORGENTE DI ENERGIA DELLE STELLE COME IL SOLE

reazioni nucleari al
centro!



idrogeno \rightarrow elio



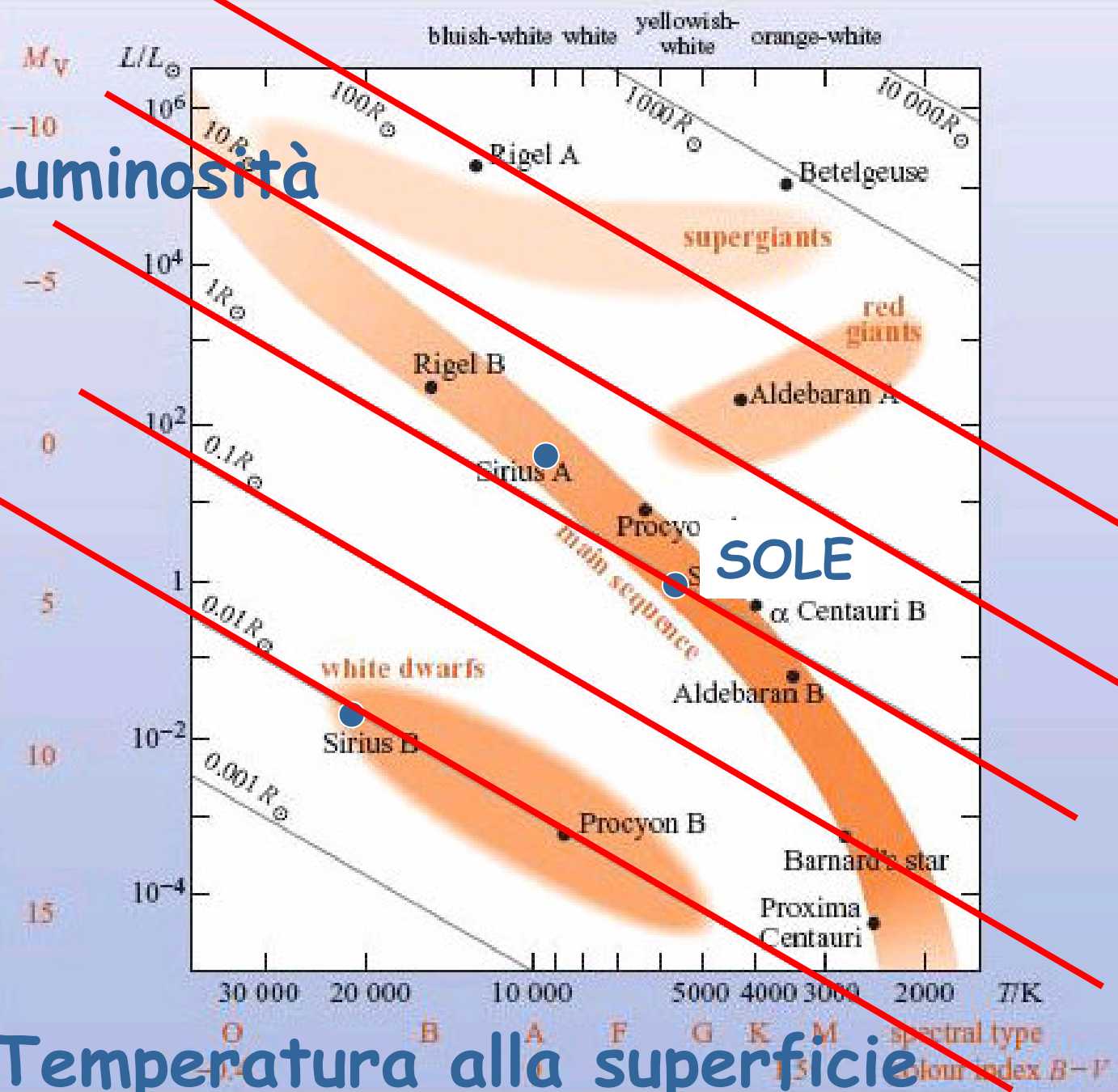
STASERA LA NOSTRA ATTENZIONE E' FOCALIZZATA SU QUANTO SONO GRANDI LE STELLE

1) ci sono stelle piccole e stelle grandi... per le stelle "normali", come per le persone, la massa della stella e le sue dimensioni sono correlate

però...

2) le dimensioni della stella variano - e molto! - nel corso della sua vita

Luminosità



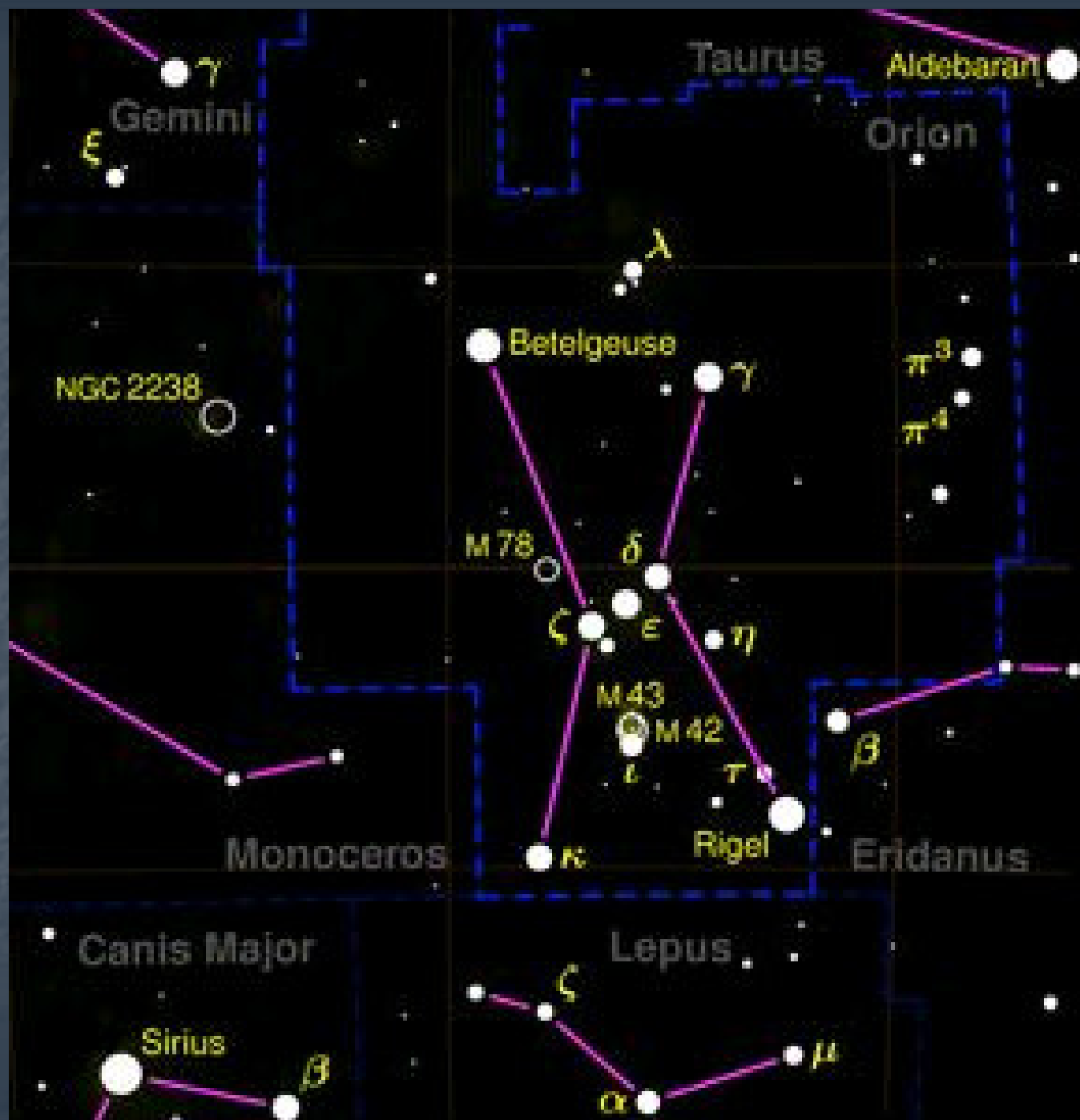
SOLE

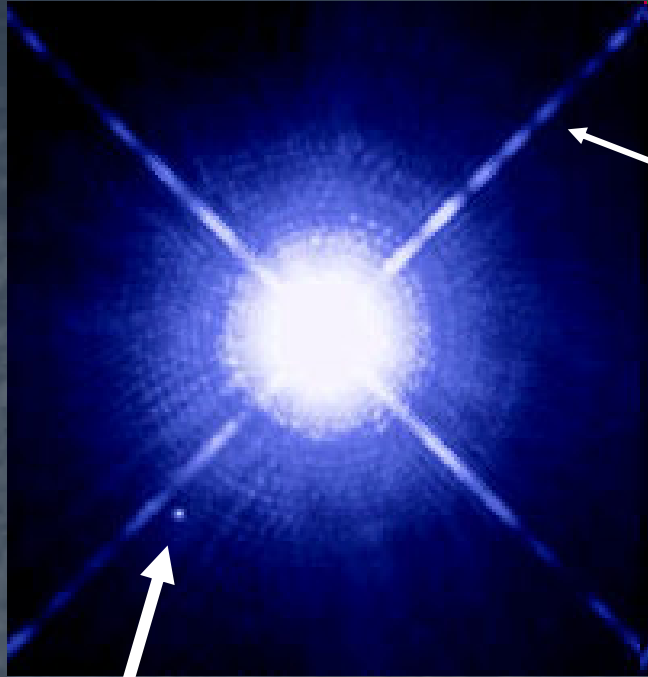
Temperatura alla superficie



www.skylook.net

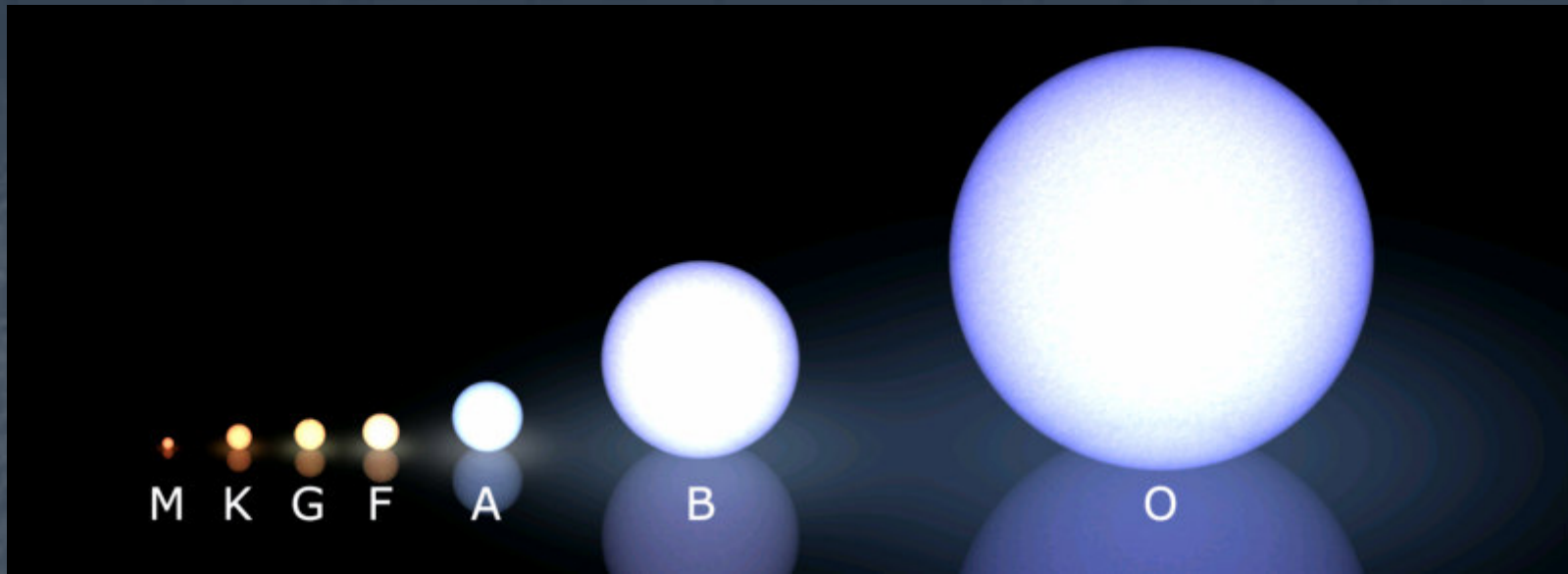
©2002 J. C. Casado





questi raggi (ed anche le 'dimensioni') sono un artefatto della foto

SIRIO A (stella di 2 masse solari, raggio di 1,7 raggi solari, cioè circa 1.200.000 km, e luminosità 25 volte il Sole). La compagna SIRIO B è una nana bianca di 1 massa solare e un raggio di appena 5.700 Km ... una Terra!



nelle stelle "normali" il raggio non varia moltissimo: da 1/10 a circa 30 volte il raggio del Sole!

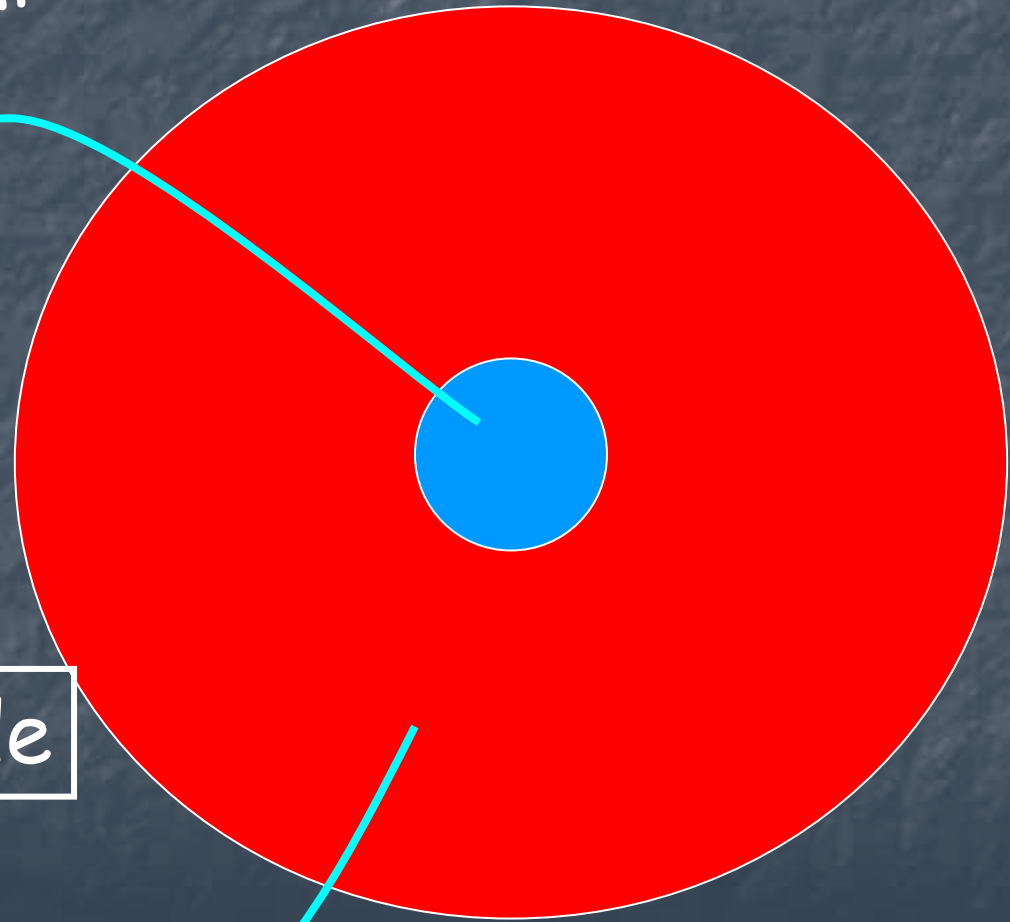
Però, ci sono stelle molto più piccole e molto più grandi...

L'AUMENTO E DIMINUIZIONE DEL RAGGIO E' LEGATA ALL'EVOLUZIONE STELLARE

a causa delle reazioni
nucleari, al centro
l'idrogeno si
esaurisce

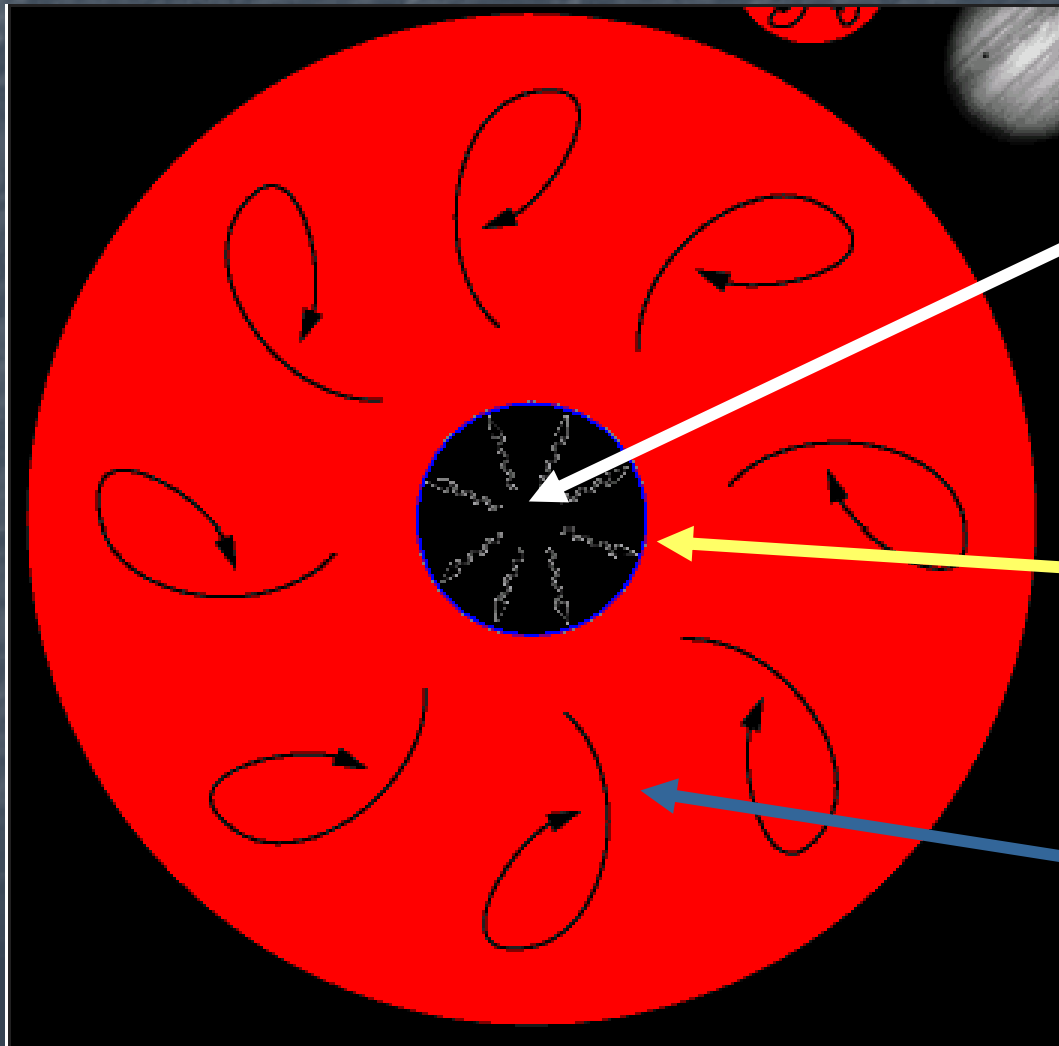
il "core" di elio
contrae

l'involuppo si espande



La stella è divisa in due dalla shell: il core (inerte) diventa sempre più denso e caldo, l'involuppo sempre più tenue

si accende
la "shell"



"core":

Densità $\rightarrow 10^4 - 10^5 \text{gcm}^{-3}$
 $T \rightarrow 10^8 \text{K}$ $R < 0.1 R_{\text{sole}}$

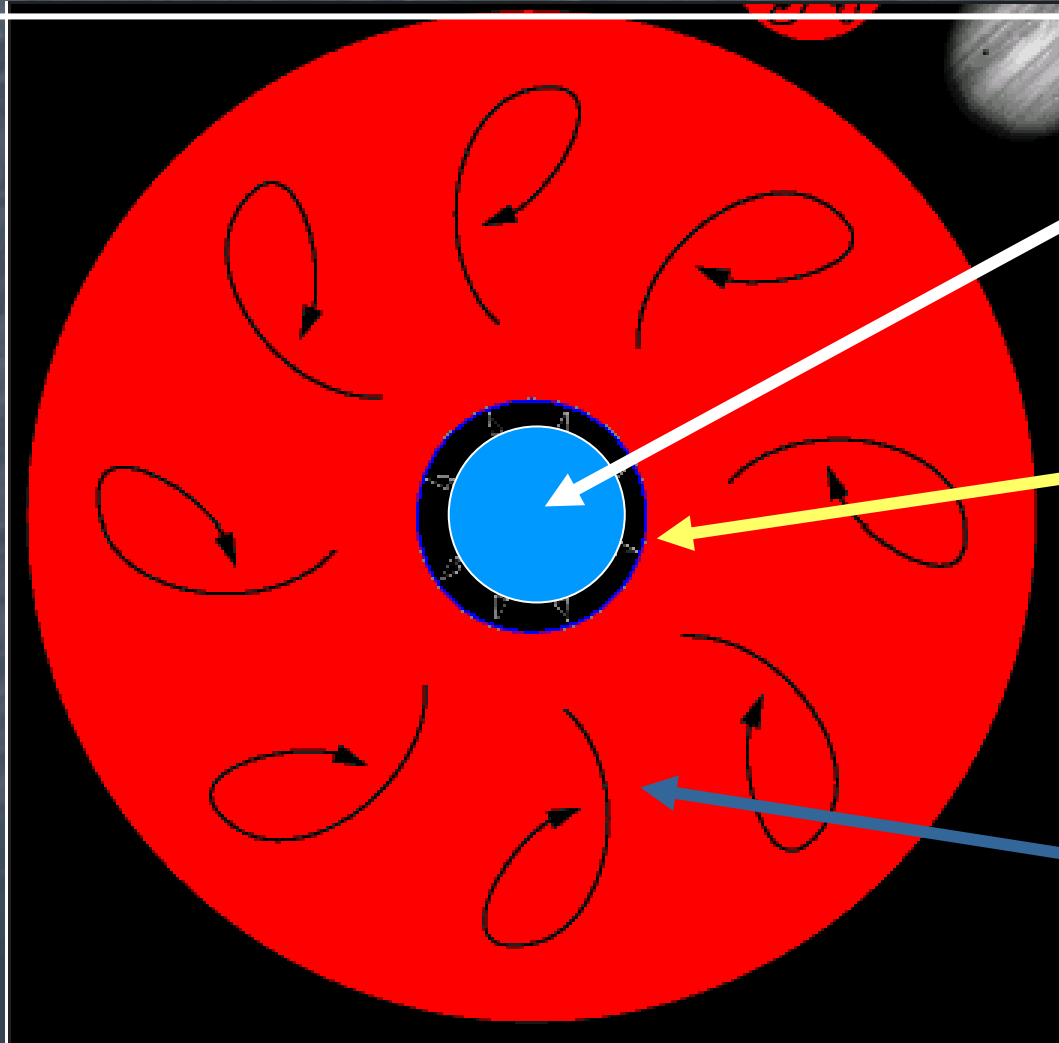
"shell" di fusione

Densità e temperatura scendono rapidamente in una piccolissima frazione di raggio

Involuppo esterno:

Densità $\rightarrow 10^2 - 10^{-10} \text{gcm}^{-3}$
 $T \rightarrow 10^4 \text{K}$ $R > 10 - 10^3 R_{\text{sole}}$

a circa 100milioni di K si accende l'elio nel core



"core":

$3\text{He} \rightarrow \text{C}; \text{C} + \text{He} \rightarrow \text{O}$

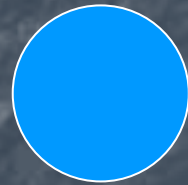
"shell" : continua a fondere l'idrogeno:
DUE sorgenti di energia nucleare

Involuppo esterno:

Densità $\rightarrow 10^2 - 10^{-10} \text{gcm}^{-3}$

$T \rightarrow 10^4 \text{K}$ $R > 10 - 10^3 R_{\text{sole}}$

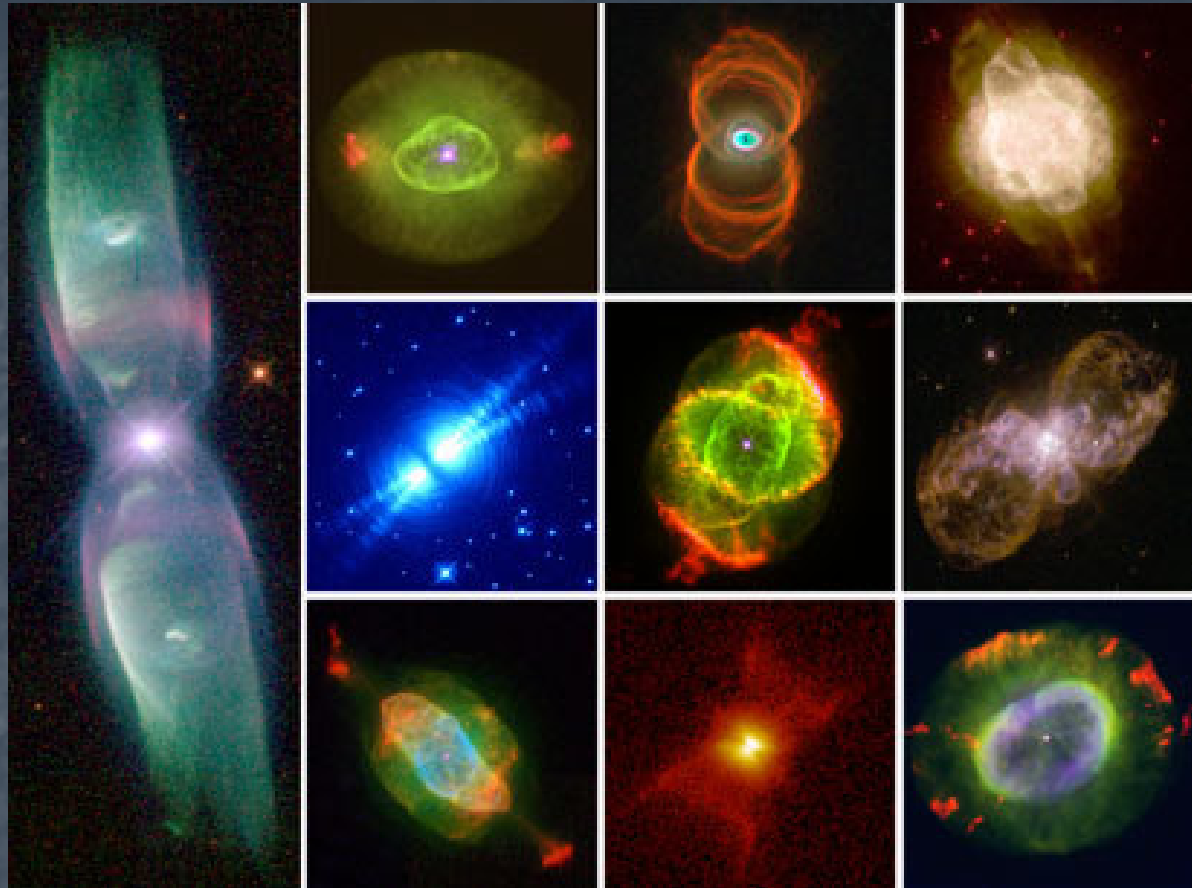
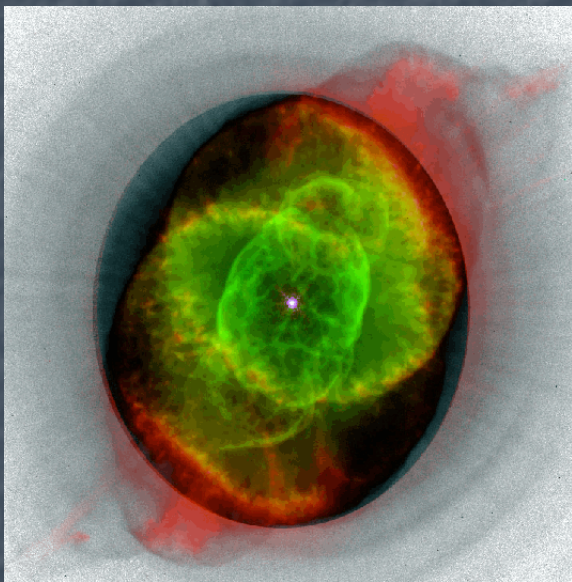
IL CORE DIVENTA TUTTO CARBONIO + OSSIGENO,
CIRCONDATO DA UN PICCOLO STRATO DI ELIO E DA
UN INVILUPPO ESTESO DI IDROGENO



L'INVILUPPO E'
MODERATAMENTE
LEGATO AL CORE, E
PARTE VIENE PERSO
NELLO SPAZIO COME
'VENTO'...

...FINCHE' TUTTO ALL'IMPROVVISI ESSO
VIENE EIETTATO, COME 'NEBULOSA
PLANETARIA' LASCIANDO IL CORE 'NUDO' E
PRIVO DI SORGENTI DI ENERGIA: SI E'
FORMATO UNA NANA BIANCA... COME SIRIO

<http://www.astro.washington.edu/balick/WFPC2/>

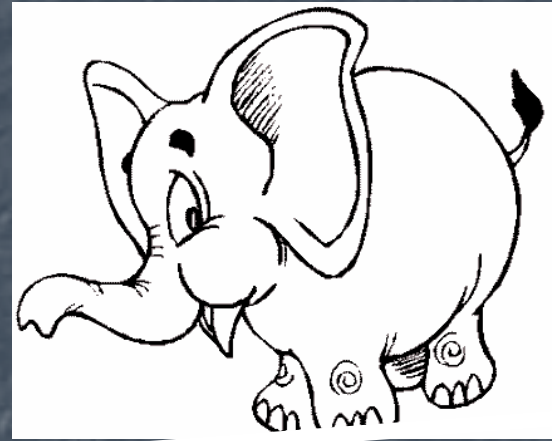


le "nebulose planetarie" espulse dalla stella sono tra i più begli oggetti del cielo! Alcune hanno segreti che vedremo in seguito...



IL RAGGIO DELLA TERRA...
LA MASSA DEL SOLE!

→ 1000Kg/cm³

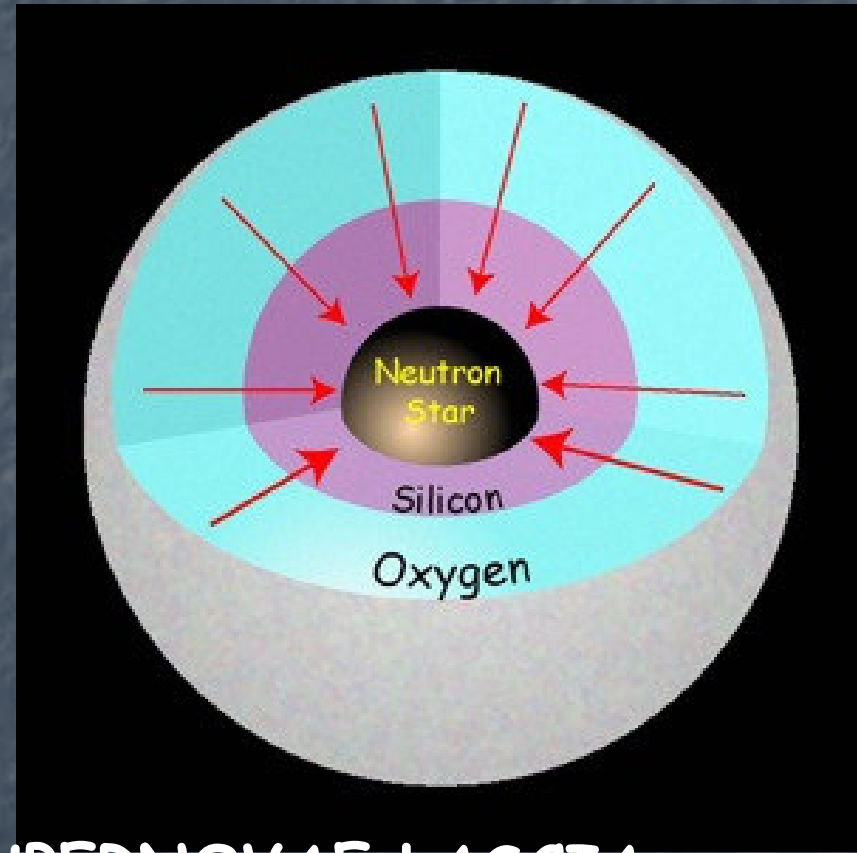
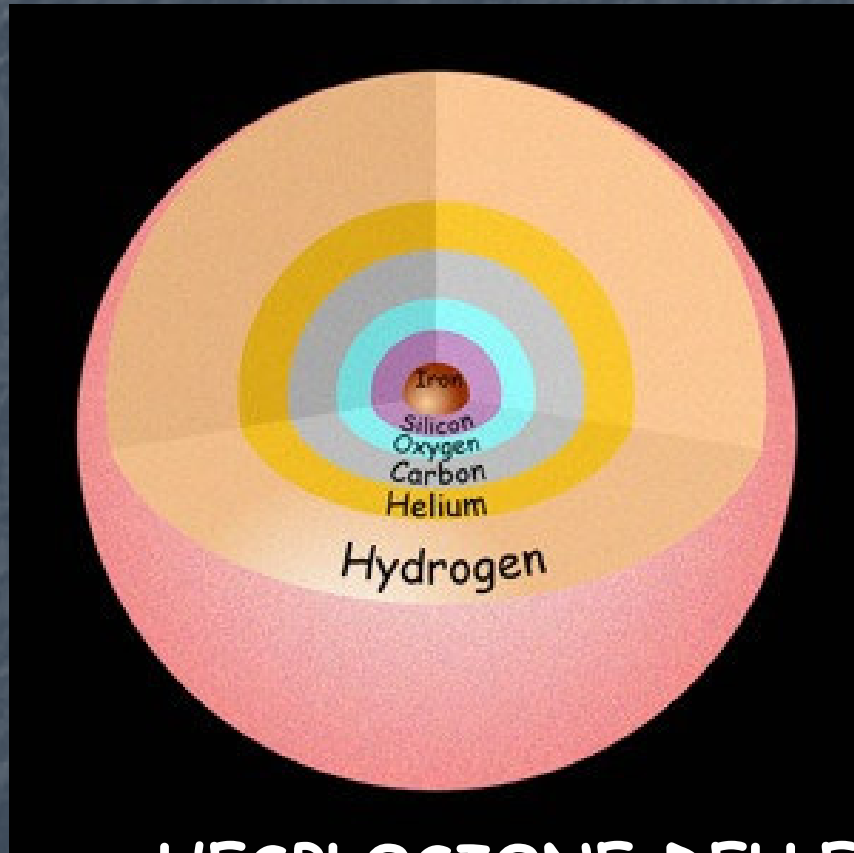


in equilibrio sulla bilancia:

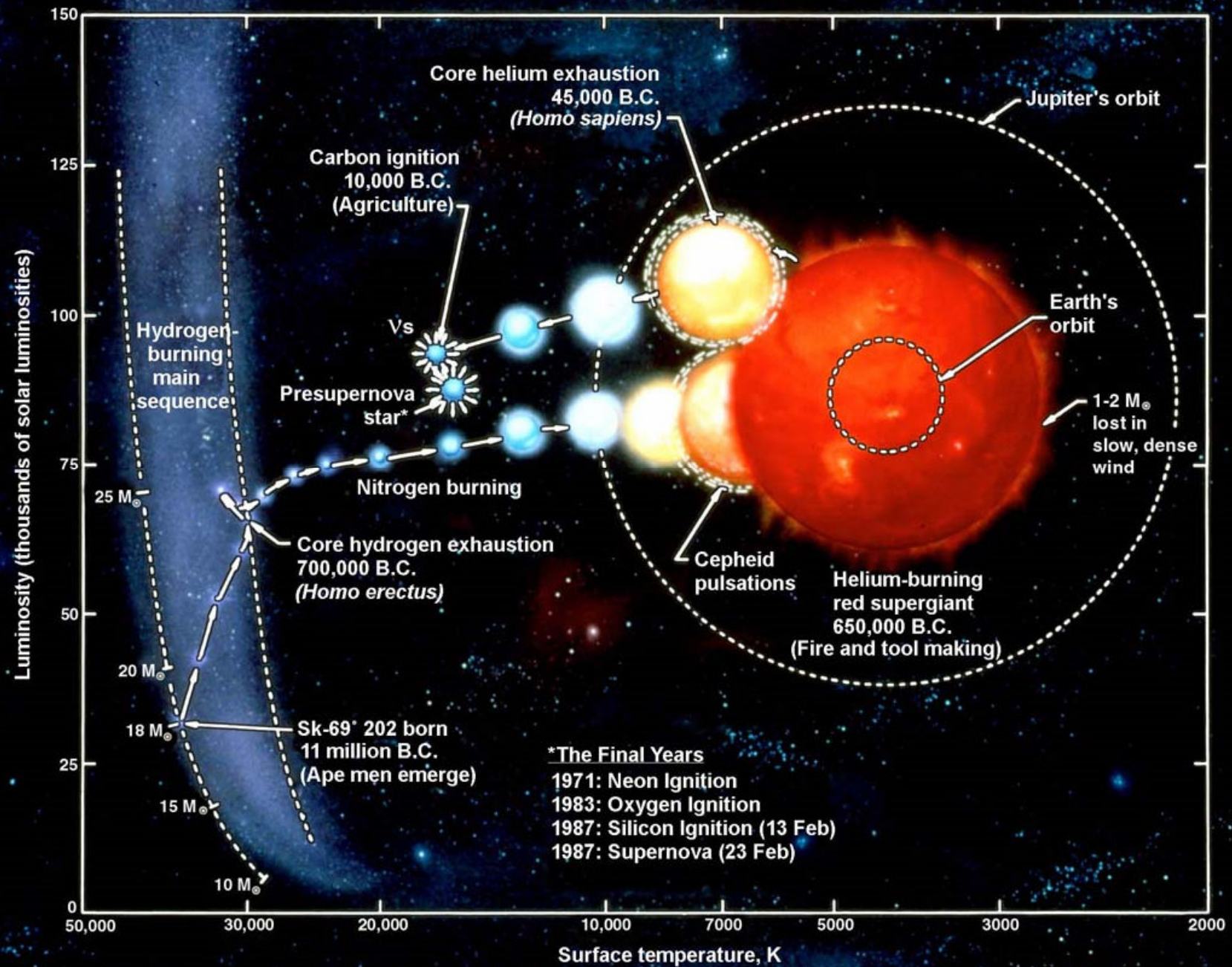
una tazzina di materia di nana bianca

↔ 24 elefanti

le stelle più massicce proseguono l'evoluzione!

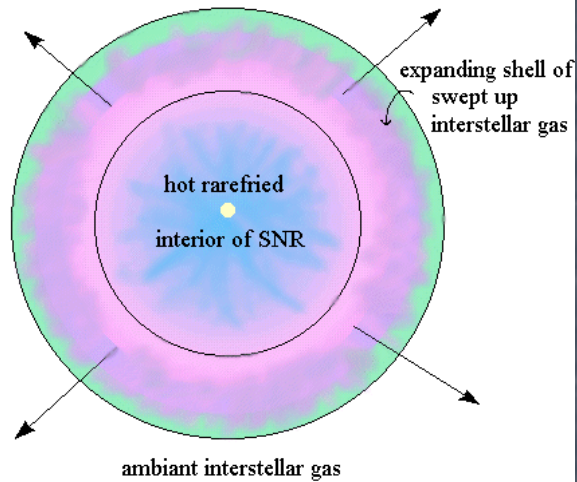


L'ESPLOSIONE DELLE SUPERNOVAE LASCIA
UNA STELLA PIU' ESOTICA: FATTA DI
NEUTRONI! OPPURE UN BUCO NERO...



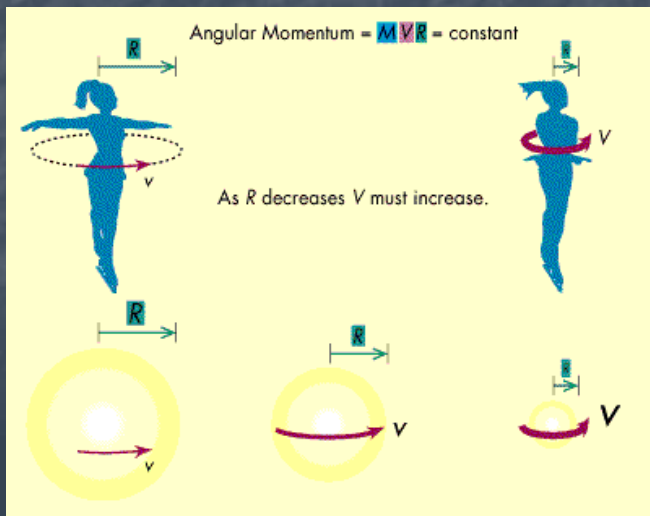
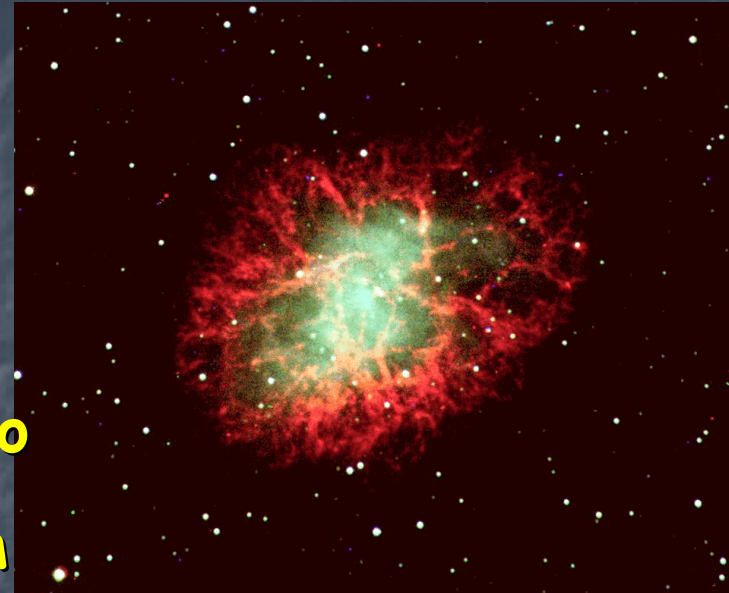
Formazione di una stella di neutroni

Supernova Remnant (SNR) - Snowplow



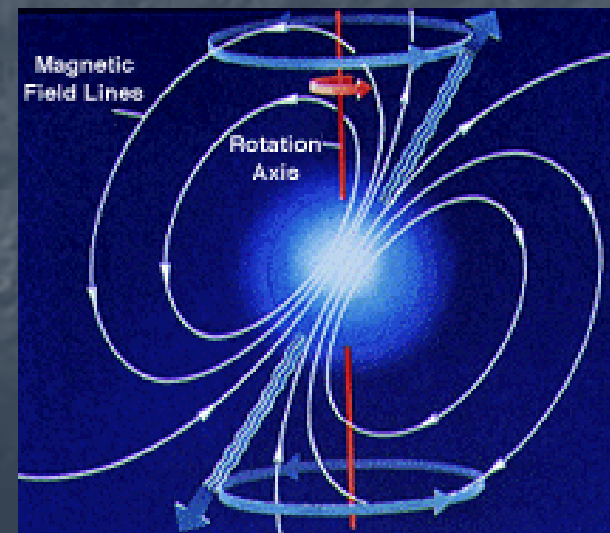
$M = 1.4 M_{\odot}$

$R = 10 \text{ km}$



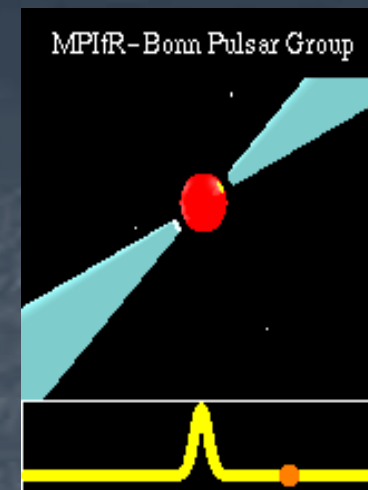
$P = 0.01 \text{ s}$

$B = 10^{13} \text{ G}$

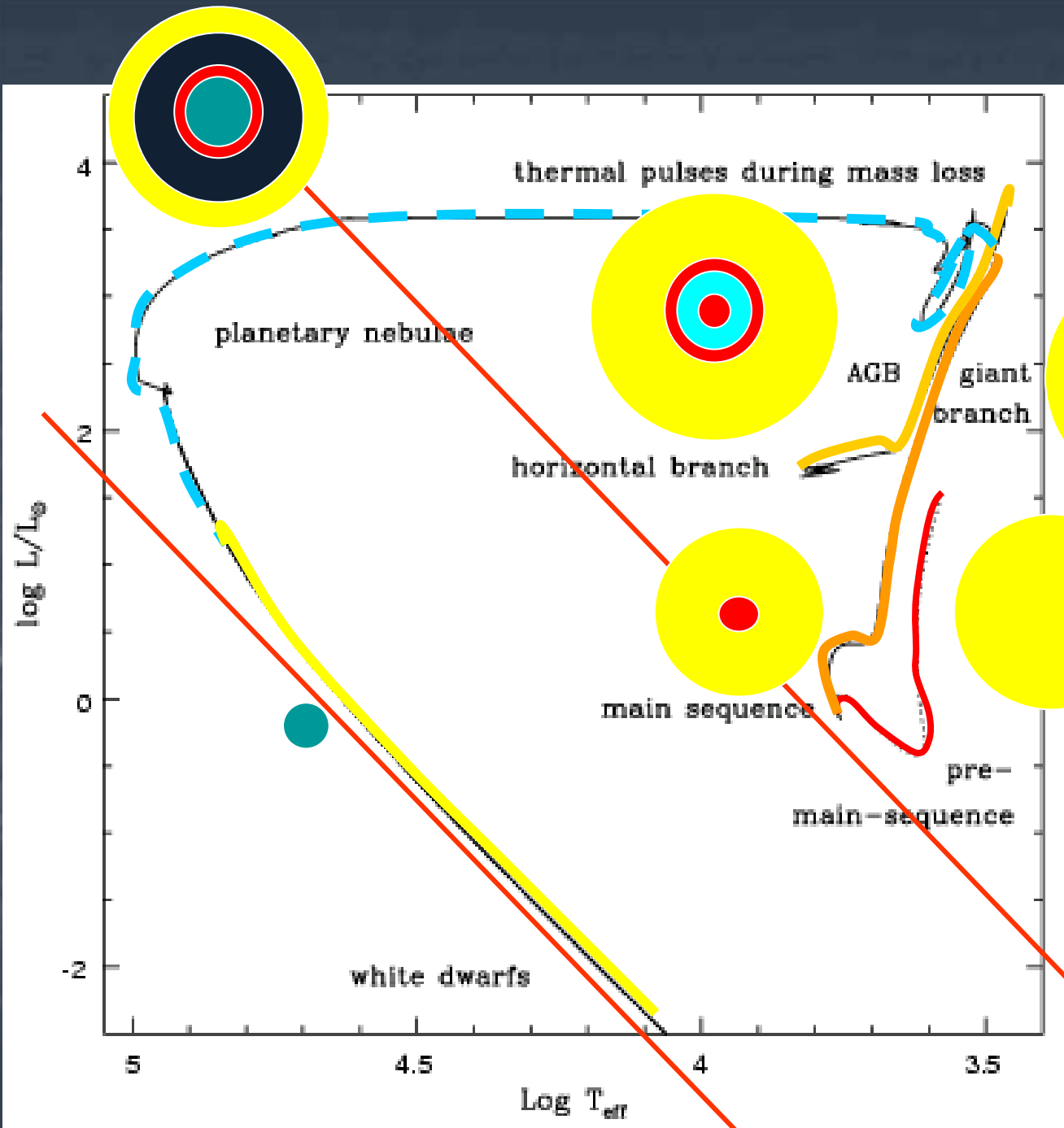


Cosa è una Pulsar?

Una PULSAR è una stella di neutroni rapidamente ruotante ed altamente magnetizzata, che emette un segnale radio pulsato a seguito di un effetto-faro

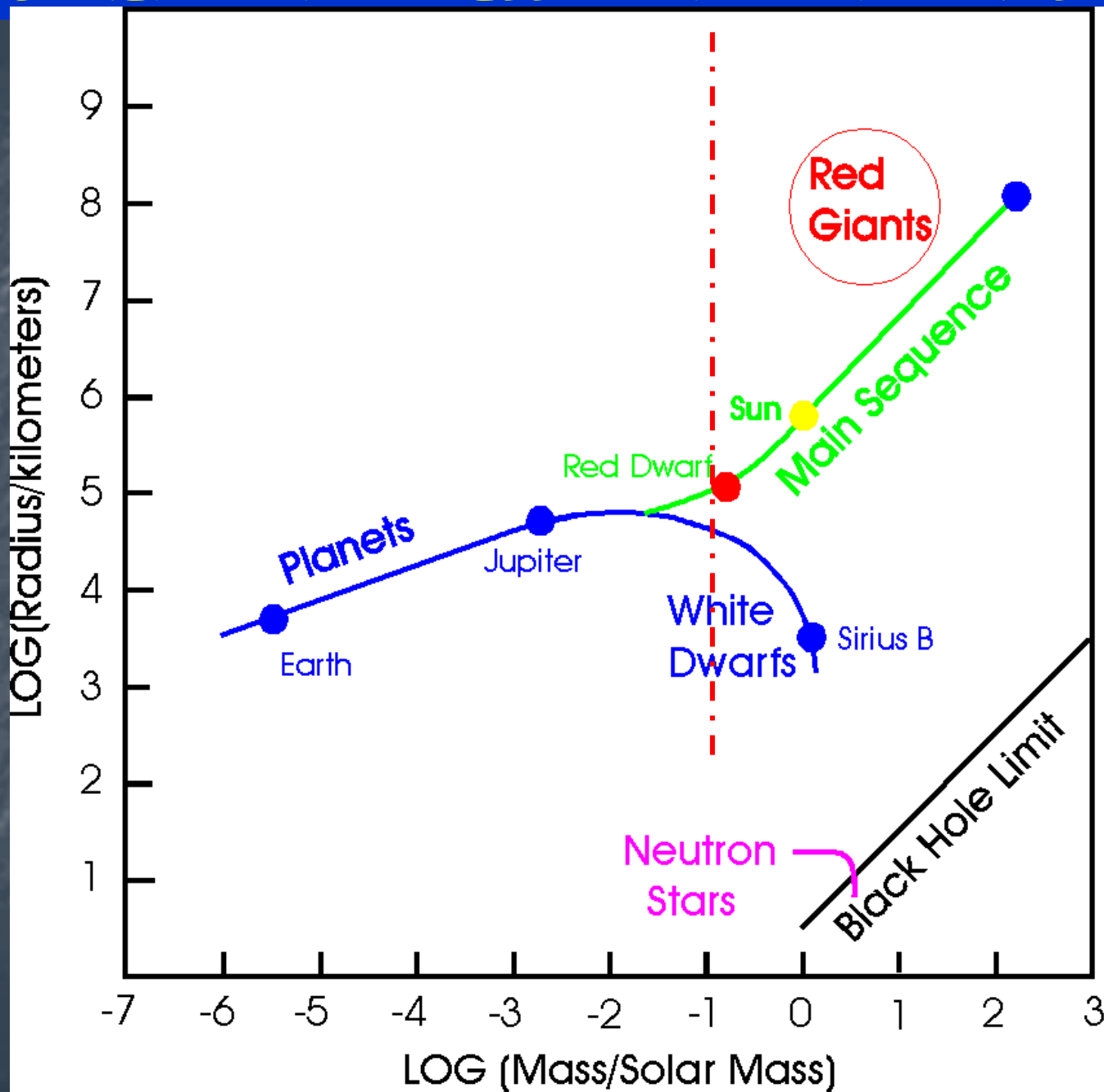


Per la scoperta della prima PULSAR nel 1967, nella Nebulosa Granchio (resto di un'esplosione di supernova) è stato conferito ad Antony Hewish (ma non alla sua scopritrice, la studentessa Jocelyn Bell) il premio Nobel nel 1974



- zone di fusione nucleare
- idrogeno
- elio
- carbonio e ossigeno

LE DIMENSIONI STELLARI VARIANO MOLTISSIMO

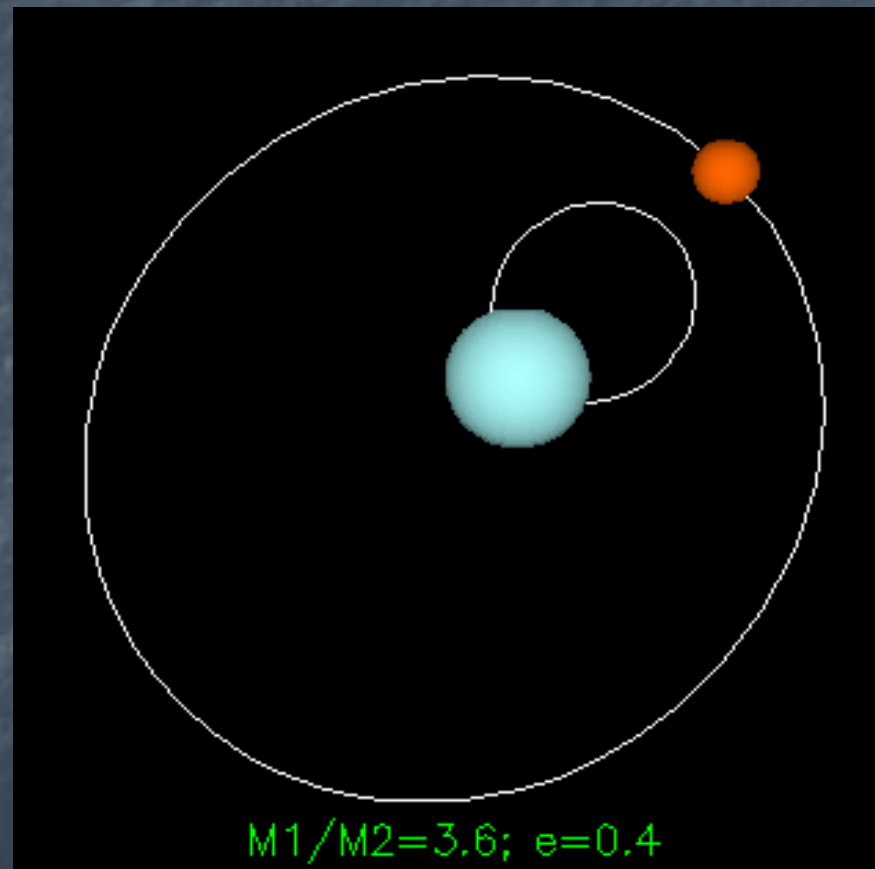


SE UNA STELLA VIVE DA SOLA, IL SUO
VOLUME DIMINUISCE , RIAUMENTA,
RIDIMINUISCE... E LA STELLA SEGUE IL
DESTINO SCRITTO NELLA SUA MASSA
INIZIALE

MA MOLTE STELLE NON
VIVONO DA SOLE!

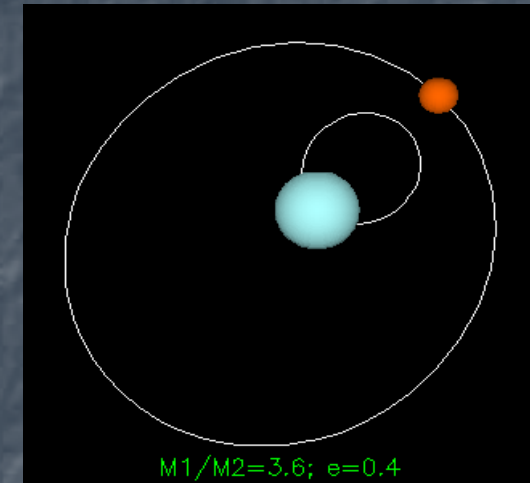
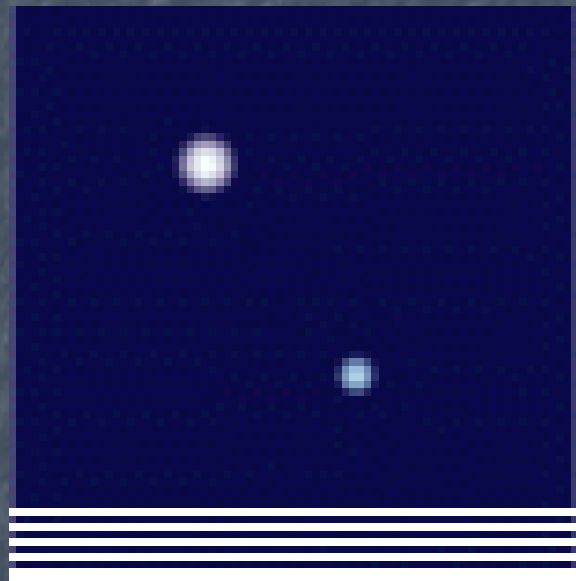
E LA LORO VITA PUO' ESSERE
MODIFICATA RADICALMENTE

QUANDO DUE STELLE SONO VICINE,
L'UNA SENTE IL CAMPO GRAVITAZIONALE
DELL'ALTRA, ED ORBITANO INTORNO AL
LORO CENTRO DI GRAVITA'



COME SI RICONOSCONO IN CIELO LE STELLE 'BINARIE'?

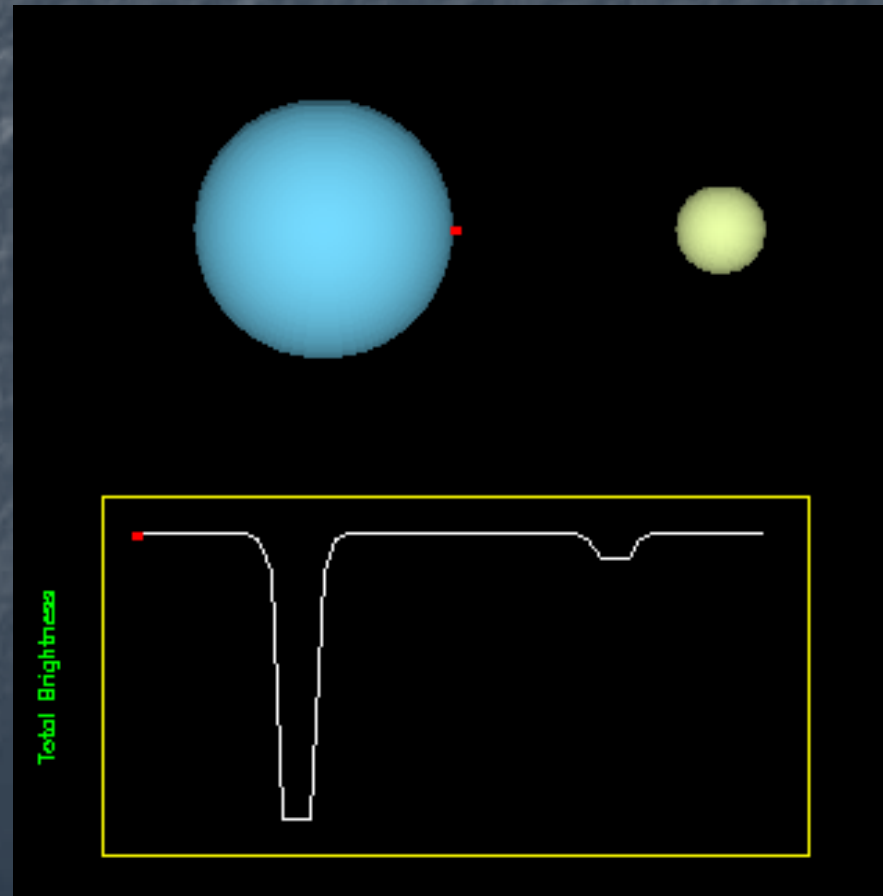
SIRIO:
binaria 'visuale'



Here are Sirius A and B orbiting each other, from 1900 through 1970 (images from *The Essential Cosmic Perspective*, Bennett et al., animated by G. Rieke)

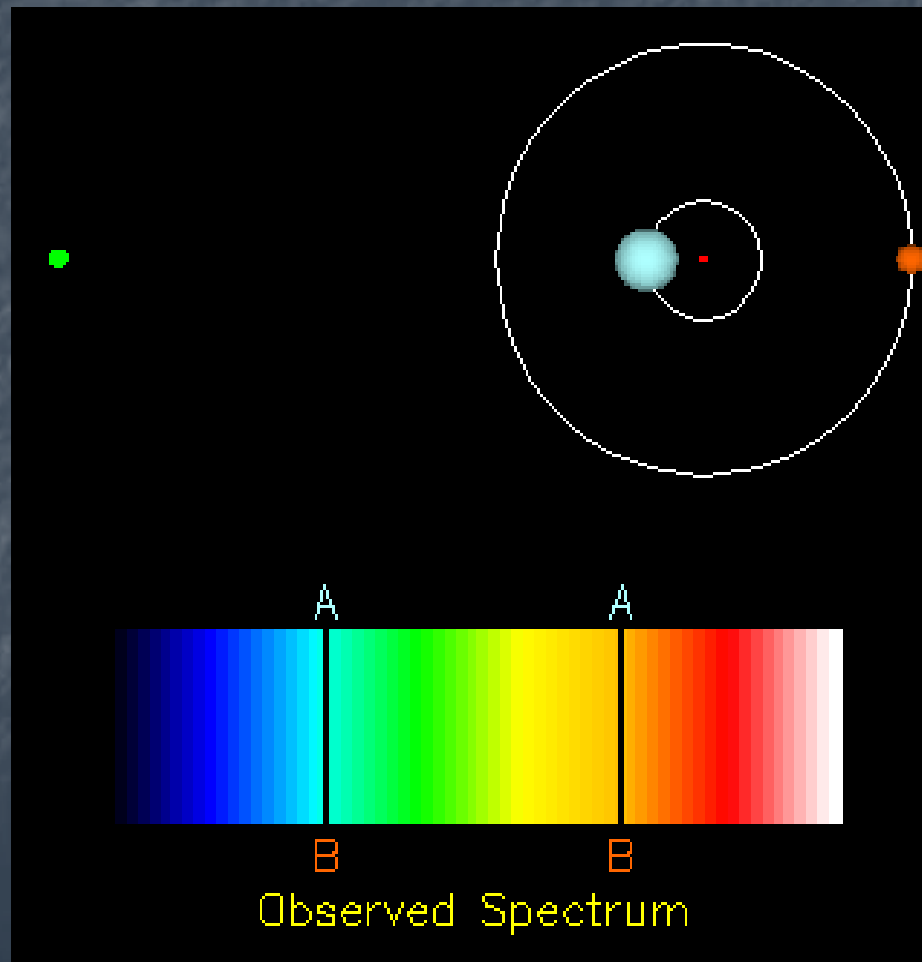
BINARIE AD ECLISSE

la loro luce mostra variazioni periodiche,
con due eclissi

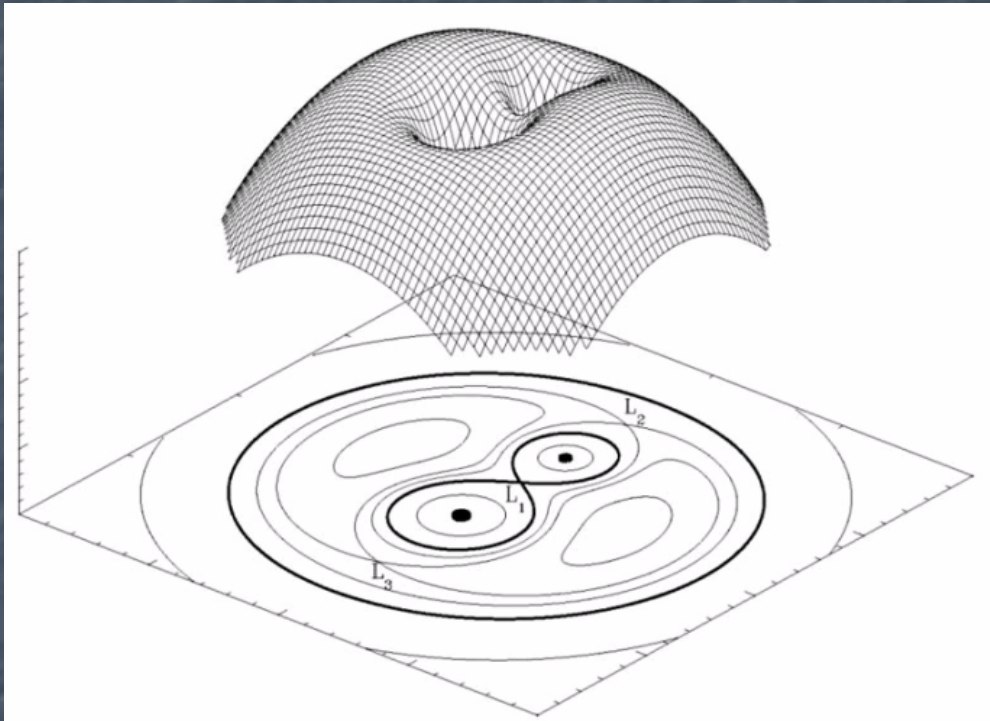


BINARIE SPETTROSCOPICHE

sono troppo vicine... ma le loro righe spettrali variano periodicamente per effetto Doppler



COME E' FATTO IL CAMPO GRAVITAZIONALE INTORNO A DUE STELLE VICINE?

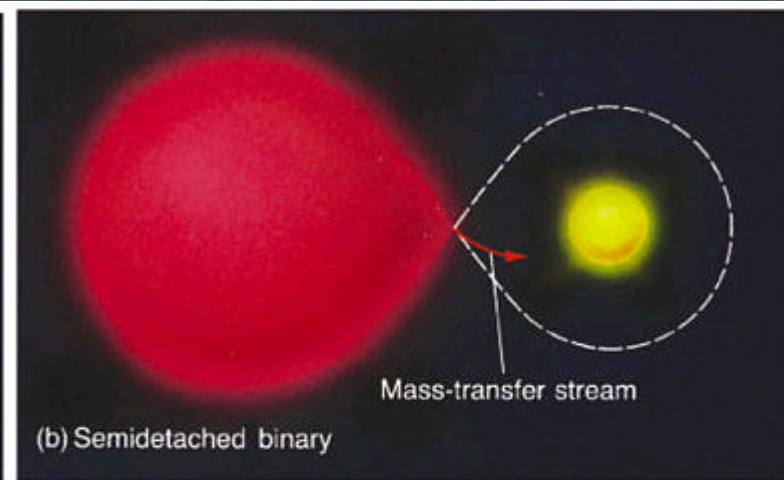
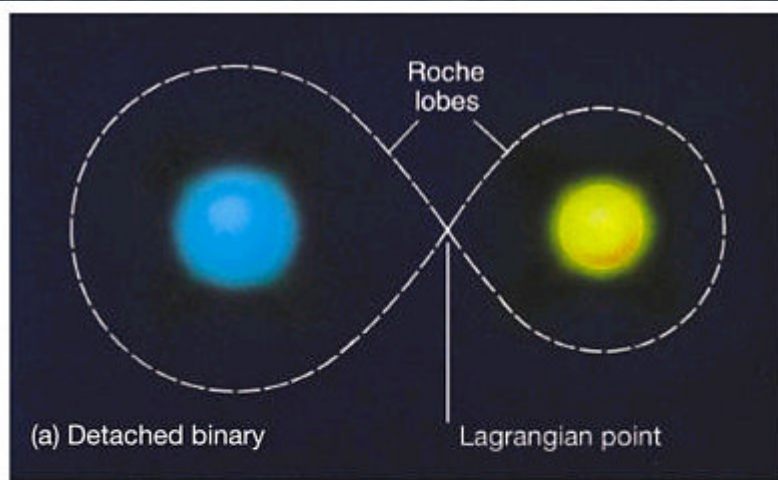


le superfici
equipotenziali
intorno a
ciascuna stella
sono deformate
per la presenza
della compagna

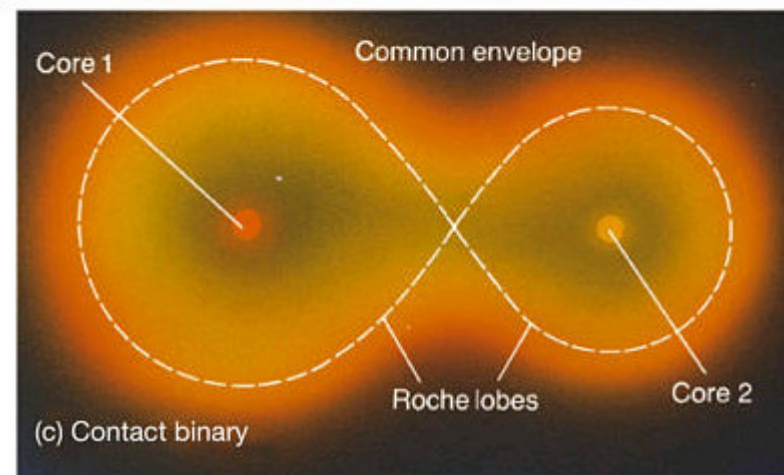
'lobi di Roche' sono la
superficie critica oltre la quale
la materia non è più legata...

...a una sola stella

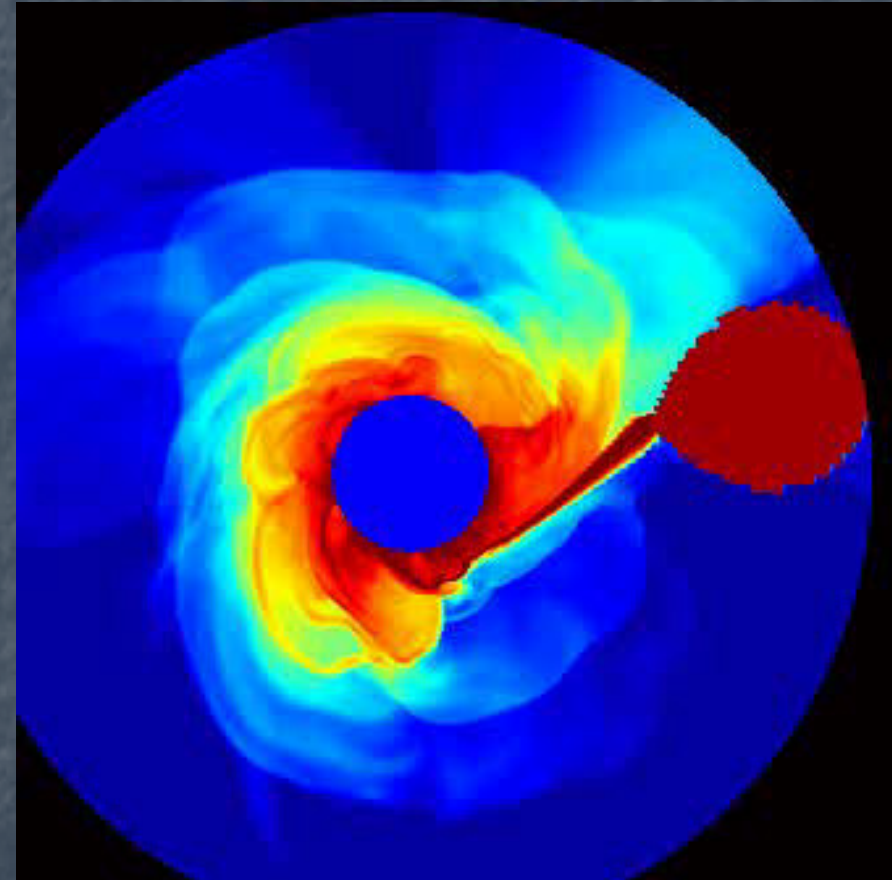
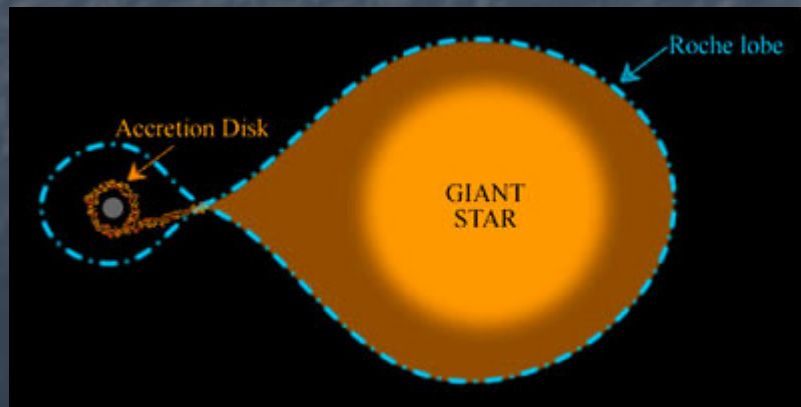
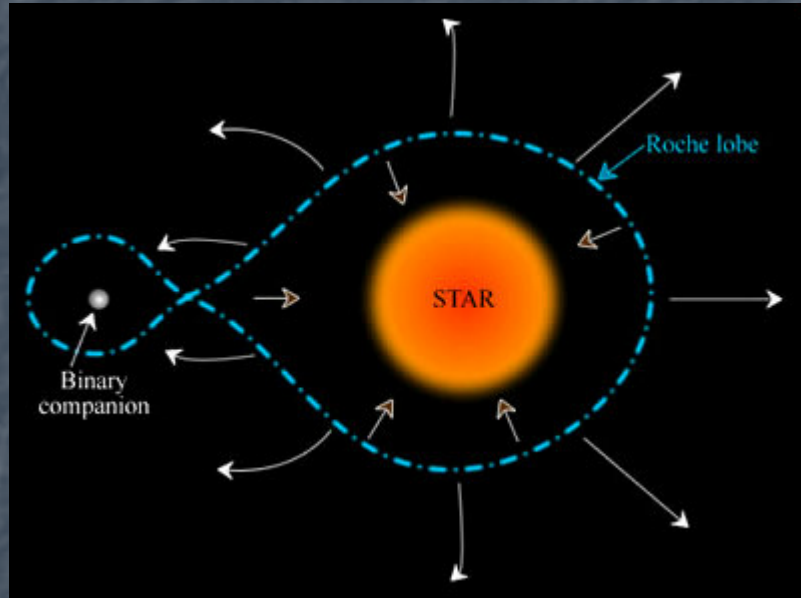
FINCHE' CIASCUNA STELLA RIMANE DENTRO IL SUO LOBO DI ROCHE, LE STELLE DANZANO UNA INTORNO ALL'ALTRA, MA SONO 'INDIPENDENTI'. PERO'...



... NOI SAPPIAMO CHE DURANTE L'EVOLUZIONE LE DIMENSIONI AUMENTANO!



QUANDO LA STELLA RIEMPIE IL LOBO, IL GAS
DEFLUISCE DALLA STELLA ATTRAVERSO IL PUNTO
LAGRANGIANO ED ENTRA NEL CAMPO DI GRAVITA'
DELLA COMPAGNA!

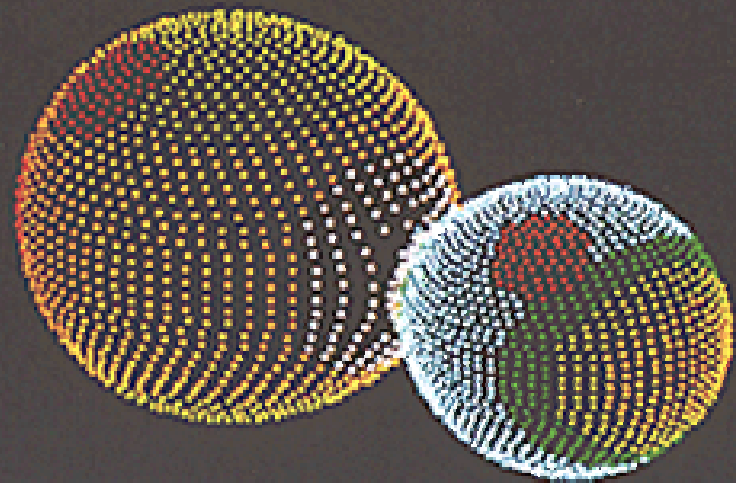


SCAMBIO DI MASSA!!!

BINARIE A CONTATTO, O W UMA

SE UNA STELLA RIEMPIE IL LOBO DI ROCHE QUANDO E' ANCORA IN SEQUENZA (MENTRE L'IDROGENO SI CONSUMA AL CENTRO), PARTE DEI SUOI STRATI PIU' ESTERNI VANNO A FINIRE SULLA COMPAGNA. SE QUESTA HA UN INVILUPPO RADIATIVO, LA RISPOSTA ALL'ACCRESCEMENTO E' UN'ESPANSIONE.

ANCHE LA SECONDA STELLA RIEMPIE IL SUO LOBO DI ROCHE, E NON SOLO LA MATERIA VIENE TRASFERITA, MA TRA LE DUE STELLE C'E' CIRCOLAZIONE DI 'ENERGIA'



courtesy Carla Maceroni

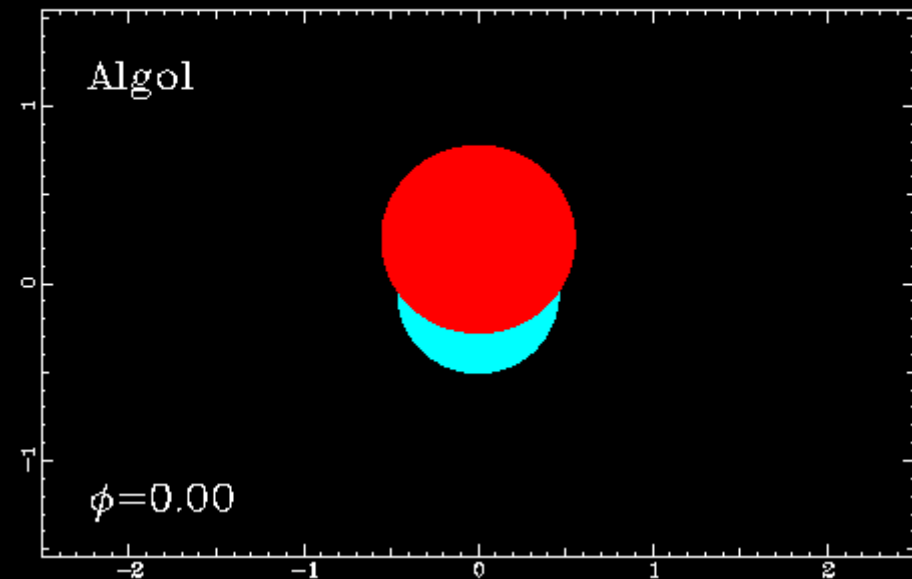
IL SISTEMA ALGOL

LA STELLA GIGANTE ROSSA HA
MASSA MOLTO MINORE DELLA
STELLA BLU DI SEQUENZA

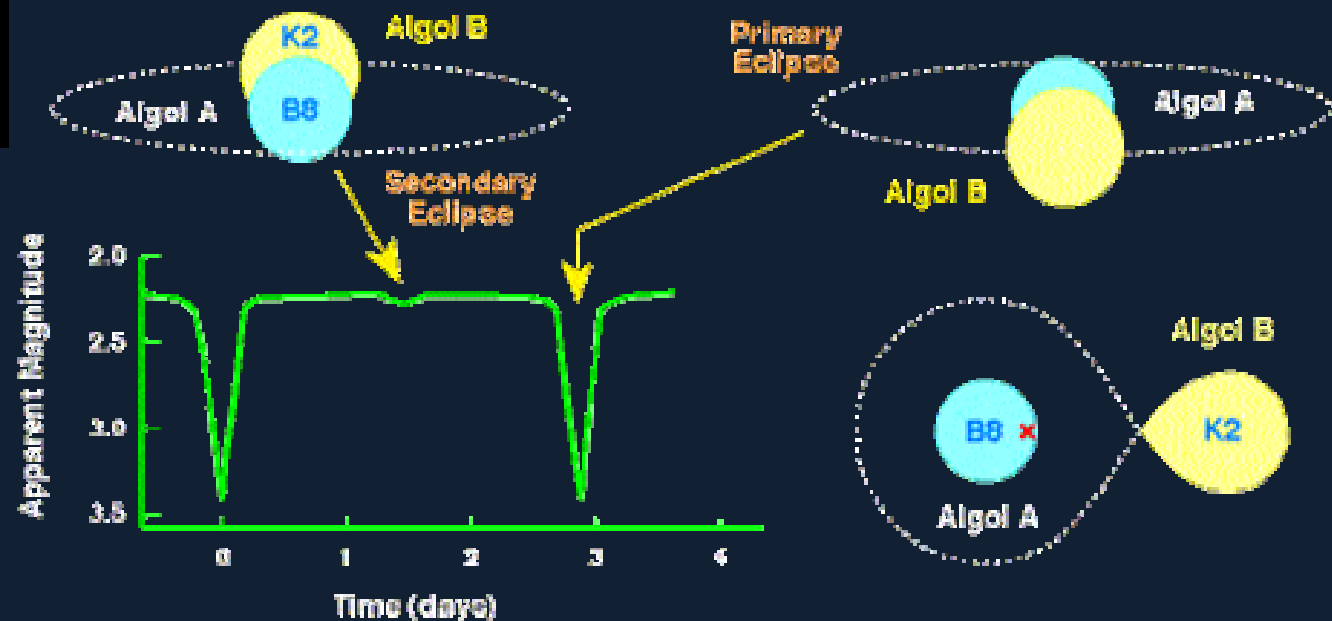
d=100 anni luce



P=2,87 giorni



3.7Msole
R=2.9Rsole
L=100Lsole
+
0.8Msole
3.5Rsole
3Lsole



IL COMMON ENVELOPE

SE IL CONTATTO AVVIENE QUANDO LA GIGANTE E' MOLTO EVOLUTA, LA PERDITA DI MASSA PROVOCA L'ESPANSIONE DELLA STELLA, E LA MASSA VIENE PERSA A TASSI COSI' ELEVATI DA ESSERE PERSA DAL SISTEMA.

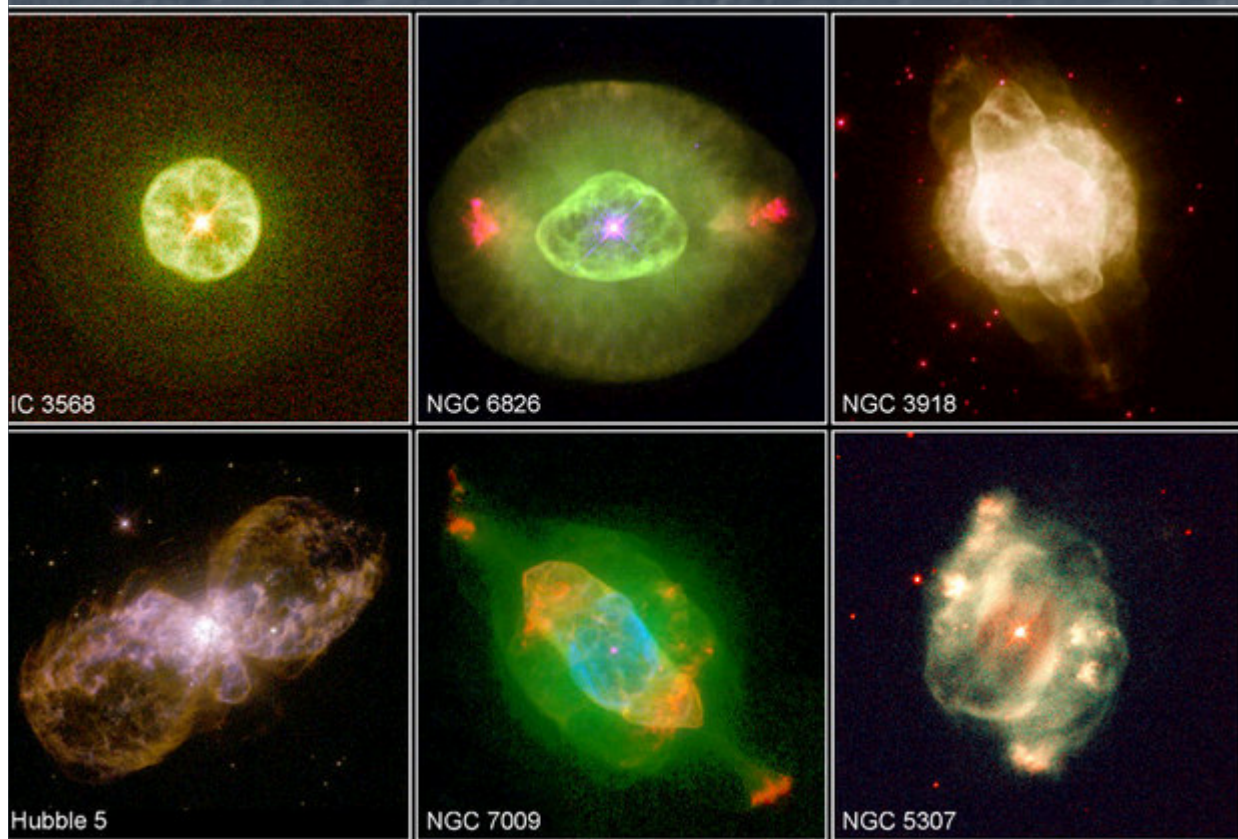
LA STELLA COMPAGNA E IL 'CORE' DELLA GIGANTE SI AVVICINANO RAPIDAMENTE LASCIANDO UN SISTEMA CON PERIODO MOLTO BREVE



$P \sim \text{anni} \rightarrow P \sim \text{ore} !$

LA STELLA CENTRALE DI MOLTE NEBULOSE PLANETARIE E' UNA DOPPIA CON PERIODO ORBITALE DI POCHE ORE

questi sistemi sono formati da una stella 'normale' di massa ~solare o inferiore, con una NANA BIANCA di carbonio-ossigeno, resto della gigante rossa



Planetary Nebula Gallery

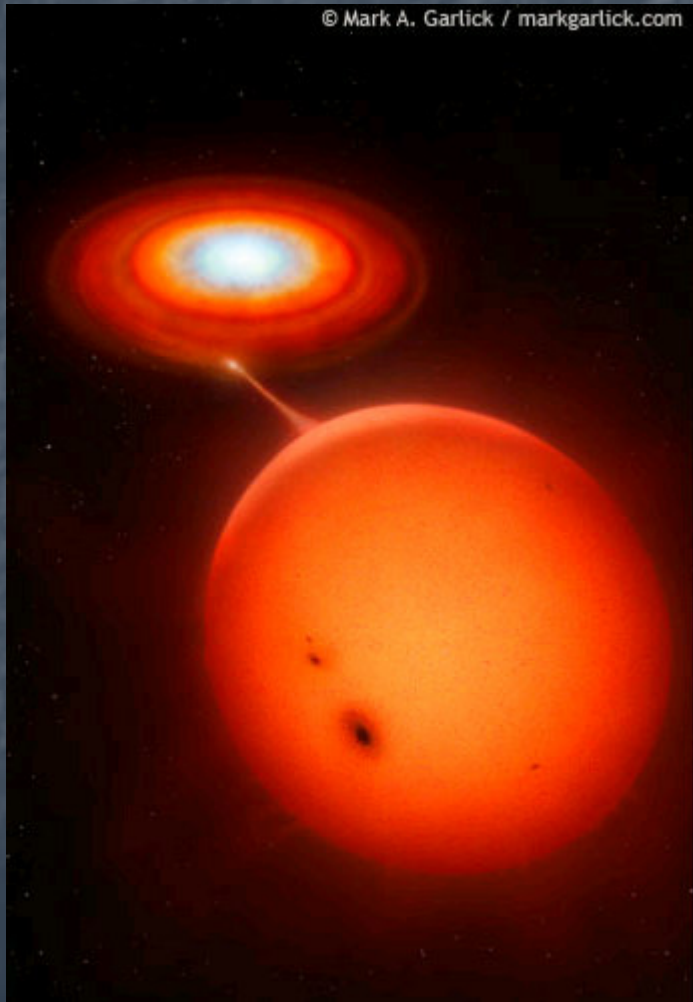
HST • WFPC2

PRC97-38b • ST ScI OPO • December 17, 1997

H. Bond (ST ScI), B. Balick (University of Washington) and NASA

LE STELLE NOVAE

dopo qualche tempo, la stella normale riempie il suo lobo di Roche ed inizia una nuova vita per il sistema doppio!



© Mark A. Garlick / markgartick.com

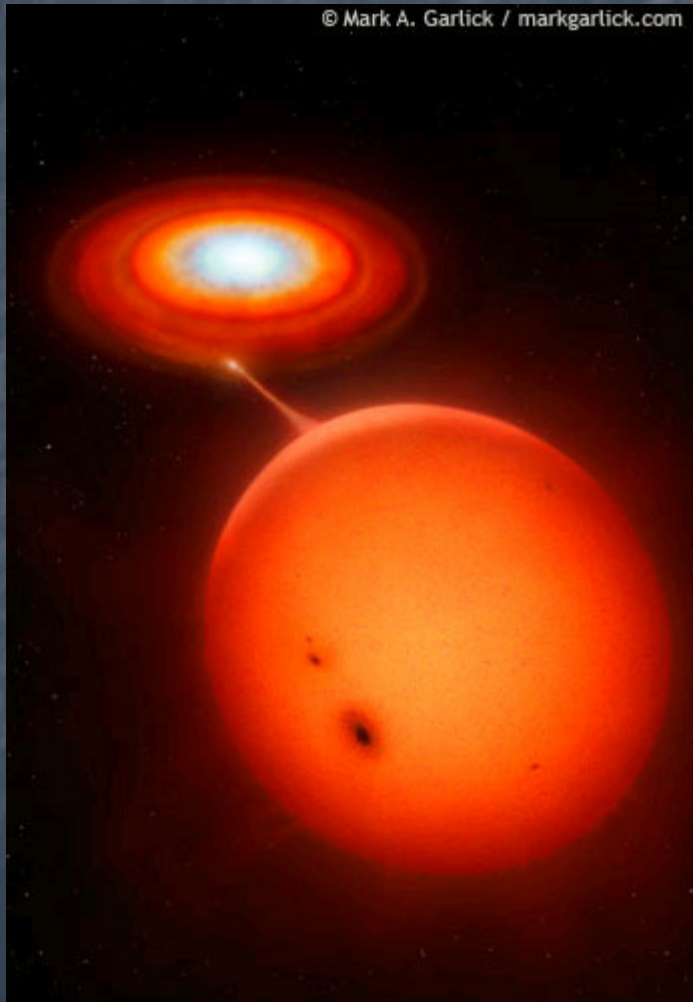
La stella normale può ora trasferire materia sulla nana bianca! (seconda fase di scambio di massa)

Due nuovi effetti: la materia accresce nel campo gravitazionale intenso della nana bianca, ed emette radiazione UV

Quando abbastanza idrogeno si è accumulato, questo provoca un'esplosione negli strati superficiali

LE BINARIE X

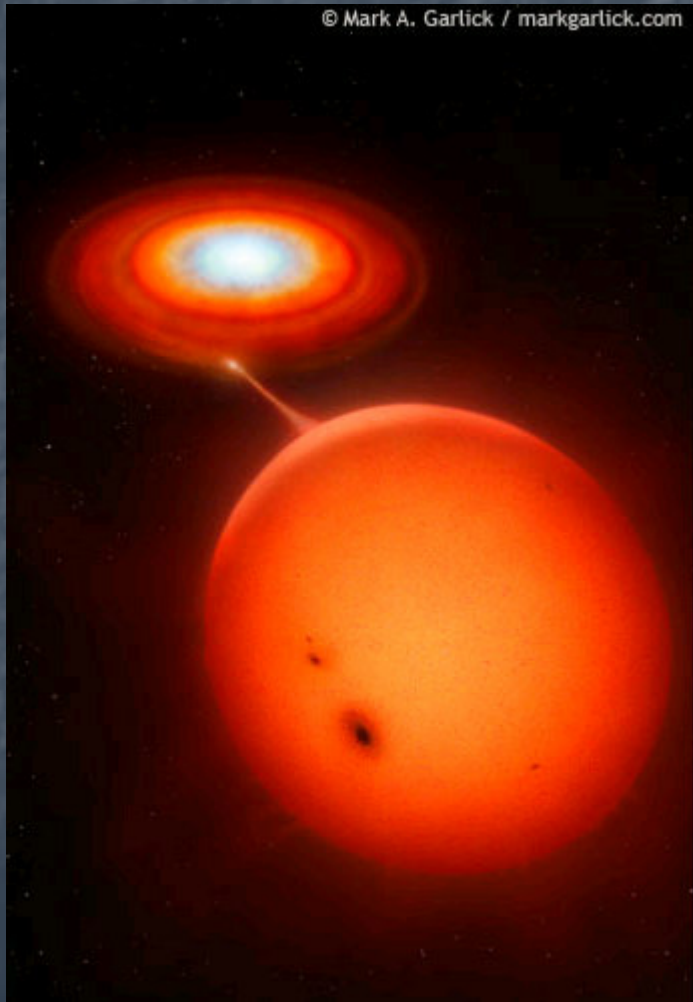
ci sono percorsi evolutivi che portano a un sistema formato da una stellina normale con una compagna STELLA DI NEUTRONI!



Quando la stella normale trasferisce materia sulla stella di neutroni, l'energia liberata nel campo gravitazionale della stella di neutroni viene emessa soprattutto nei raggi X

Basta accumulare pochissimo idrogeno (o elio) sulla superficie della SN, che questo espode in "burst" di breve durata

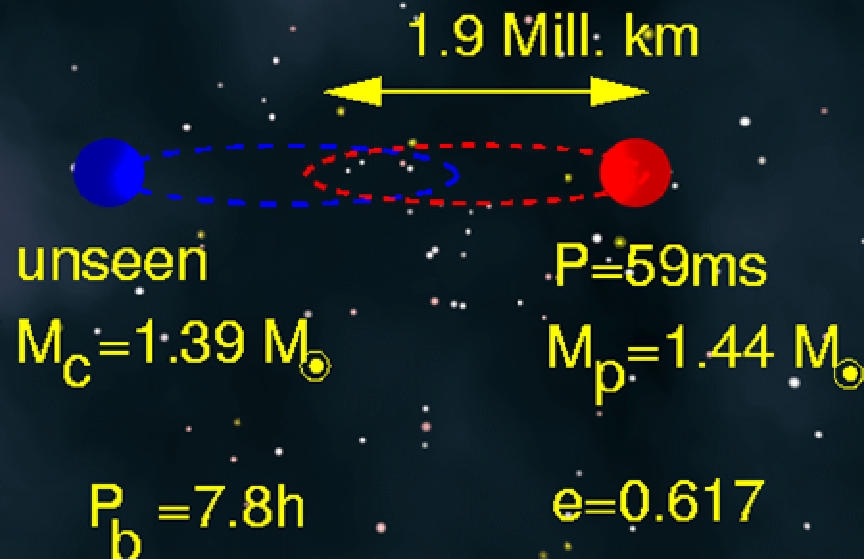
LE BINARIE X con un black hole centrale!



In alcuni casi, la massa della stella che accresce materia risulta così grande che essa non può essere una SN; siamo in presenza di un black hole, l'energia liberata viene sempre emessa soprattutto nei raggi X, ma non ci sono i "burst"

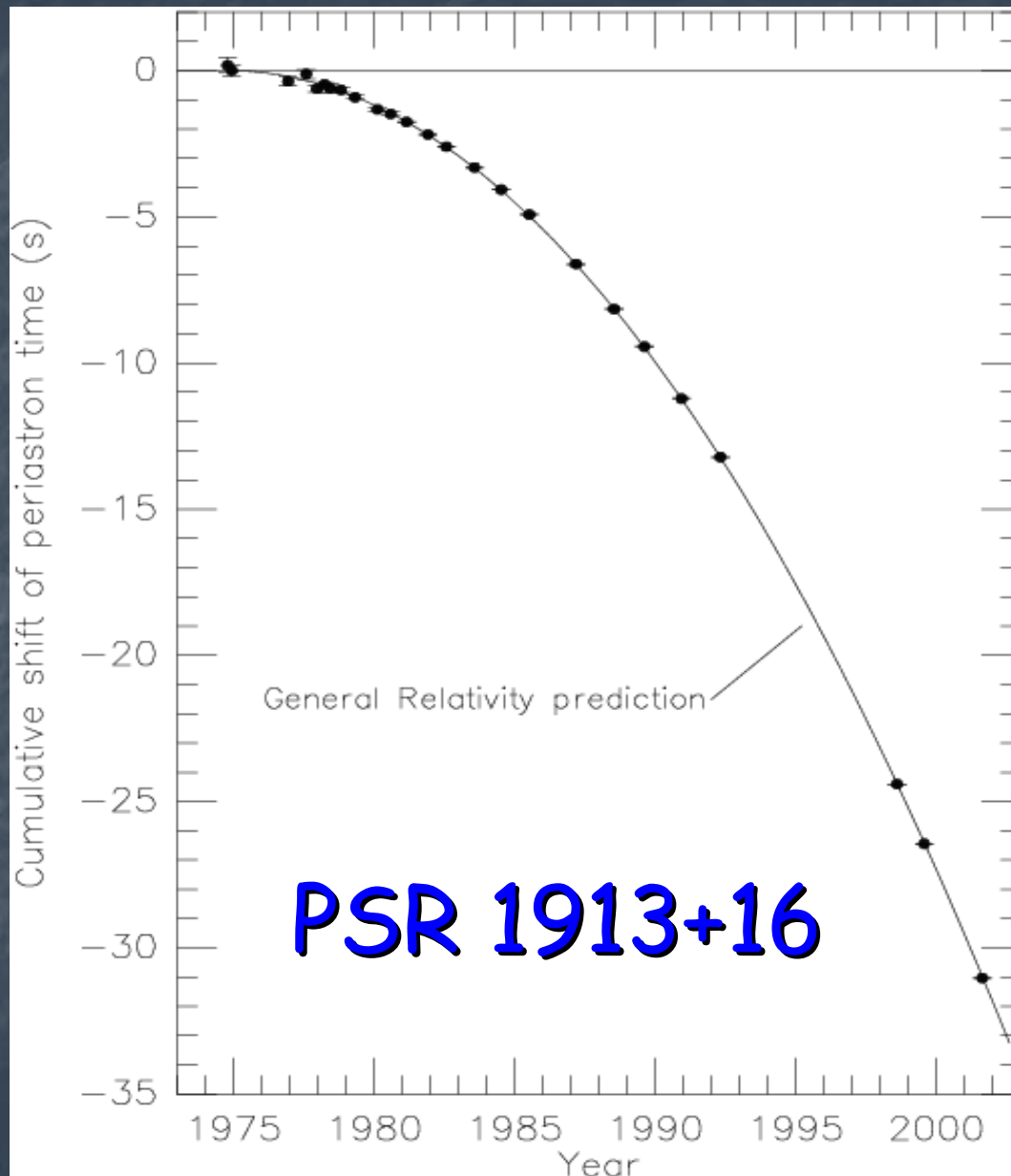
COMPLICATE EVOLUZIONI CON DUE COMMON ENVELOPE FINISCONO COL FORMARE BINARIE CON DUE STELLE DI NEUTRONI!

PSR B1913+16



Scoperta da Hulse & Taylor nel 1974, questo sistema ha consentito di verificare un aspetto della relatività generale
→ premio Nobel per la Fisica nel 1993

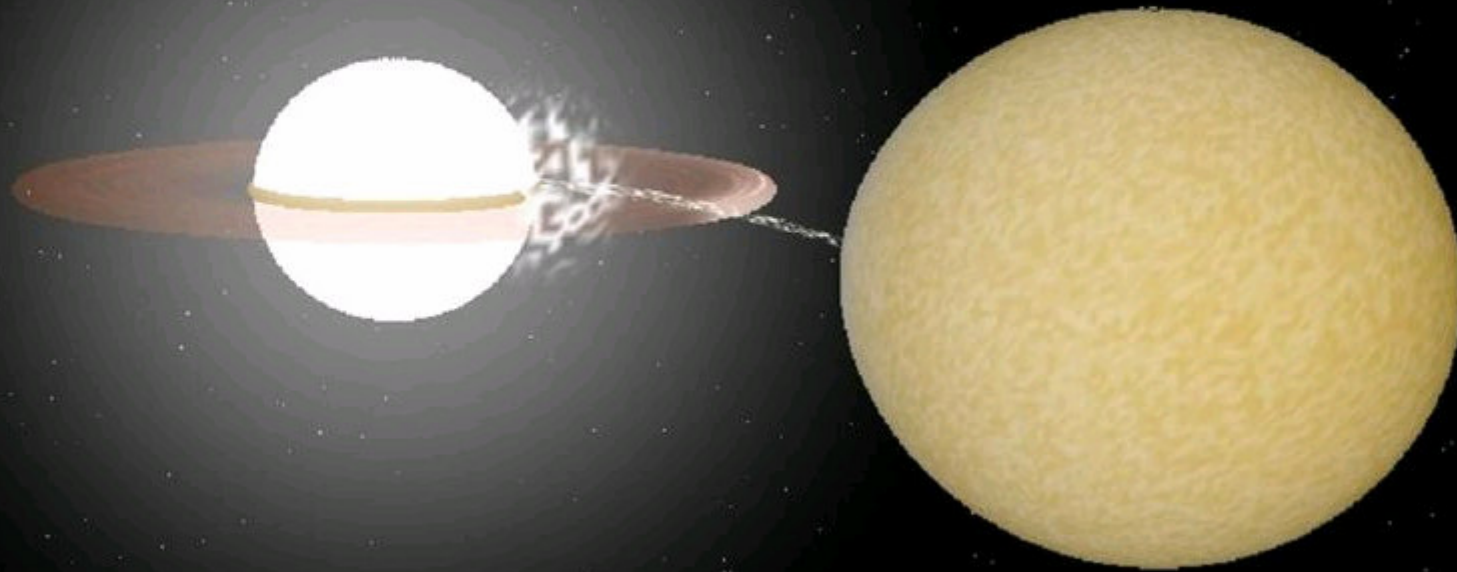
PREMIO NOBEL PER LA FISICA 1993



la RG predice che il sistema perda energia emettendo "onde gravitazionali" (simile all'emissione di onde elettromagnetiche da parte di un sistema di cariche in moto)
→ VERIFICATO ENTRO 1%
Le stelle si fonderanno in ~300 Milioni di anni

IL GIROTONDO PIU' VELOCE: 5,4 MINUTI!

HM CNC → RXJ0806.3+1527: scoperta dalla periodica emissione X nel 1999 (G. Israel et al.)

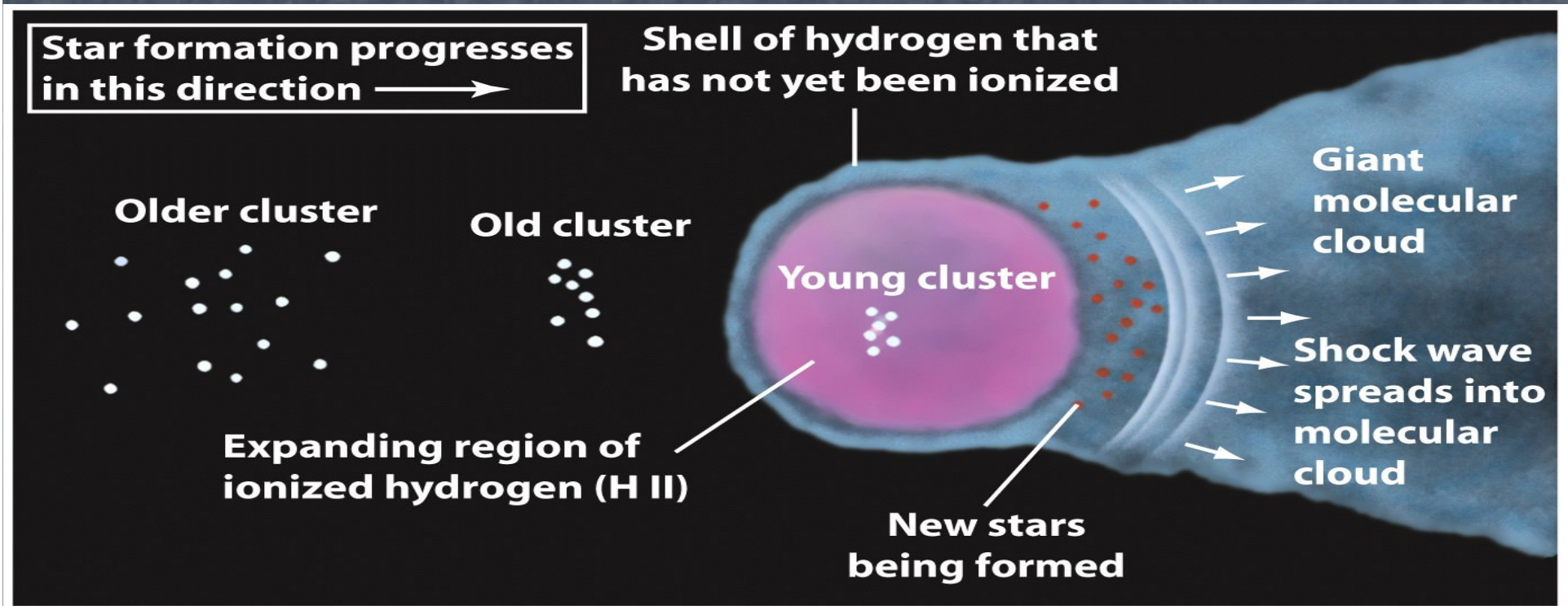


circa 8 raggi terrestri →
 $\frac{1}{4}$ della distanza Terra Luna!

MA IN GENERE LE STELLE NON
NASCONO NE' DA SOLE NE' IN COPPIE
'ISOLATE'

LE STELLE NASCONO IN COMUNITA'
PIU' O MENO GRANDI:
GLI AMMASSI STELLARI

Gli **'ammassi'** stellari sono costituiti da stelle nate tutte nella stessa epoca. Nella Galassia ci sono ammassi o associazioni 'giovanissime' (10^5 anni), nelle quali le stelle sono ancora immesse nella nube molecolare gigante di formazione, ammassi giovani e via via più vecchi...





NGC 2264

→ 2×10^6 anni



Pleiadi → 100×10^6 anni



Iadi → 600×10^6 anni



M3 → 13×10^9 anni

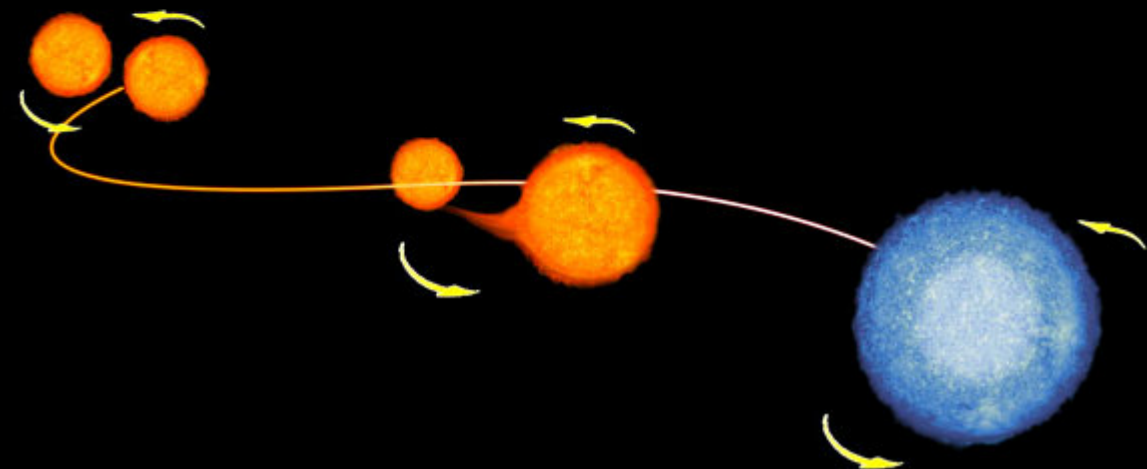
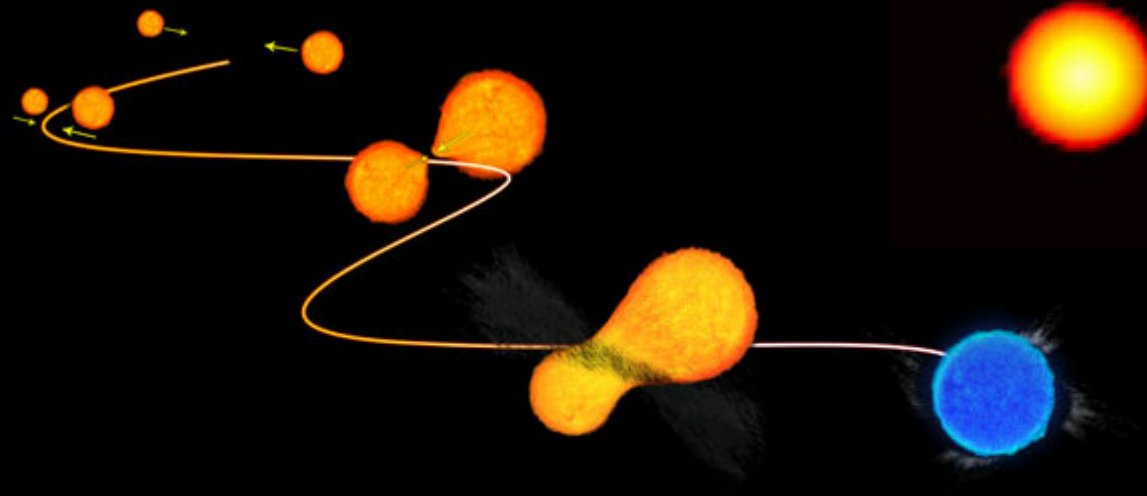
GLI AMMASSI GLOBULARI: UN MODO DI 'INCONTRARSI'



E' come stare a una grande festa da ballo, gli incontri e gli scontri sono molto comuni

Proxima Cen, la stella più vicina al Sole è a 4 anni luce. Al centro di un ammasso globulare, ogni stella ha intorno più di 1000 stelle entro un raggio di un anno luce

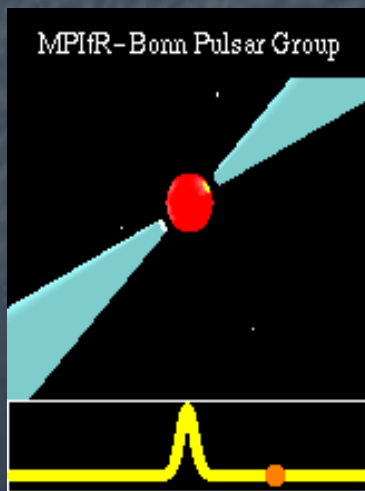
COLLISIONI STELLARI E SCAMBIO DI MASSA...



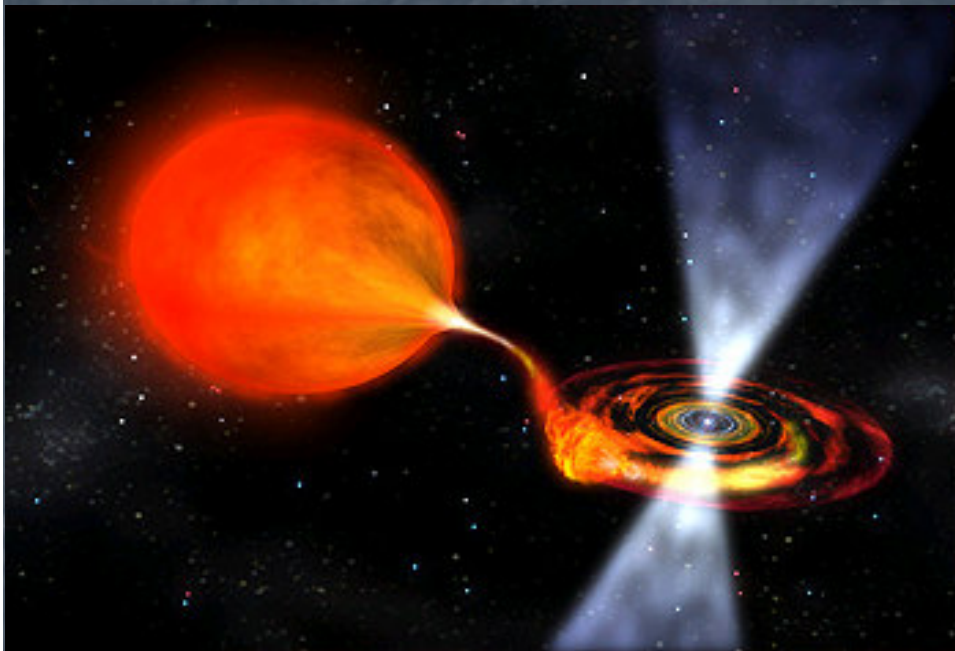
FORMANO LE "BLUE
STRAGGLERS",
STELLE "NORMALI"
MA PIU' MASSICCE
DI QUELLE CHE OGGI
SONO ANCORA NELLA
FASE DI SEQUENZA

LA VITA IN COMUNITA' RIVITALIZZA LE STELLE DI NEUTRONI !

Gli ammassi globulari sono vecchi... quasi quanto l'Universo. All'inizio della loro vita, le stelle più massicce esplodendo hanno lasciato come resti stelle di neutroni, che per un po' di tempo sono state 'pulsar'. Quando le perdite di energia fanno rallentare la pulsar, l'emissione radio scompare, e la stella di neutroni diventa 'invisibile'. In 10miliardi di anni anche il campo magnetico si indebolisce...



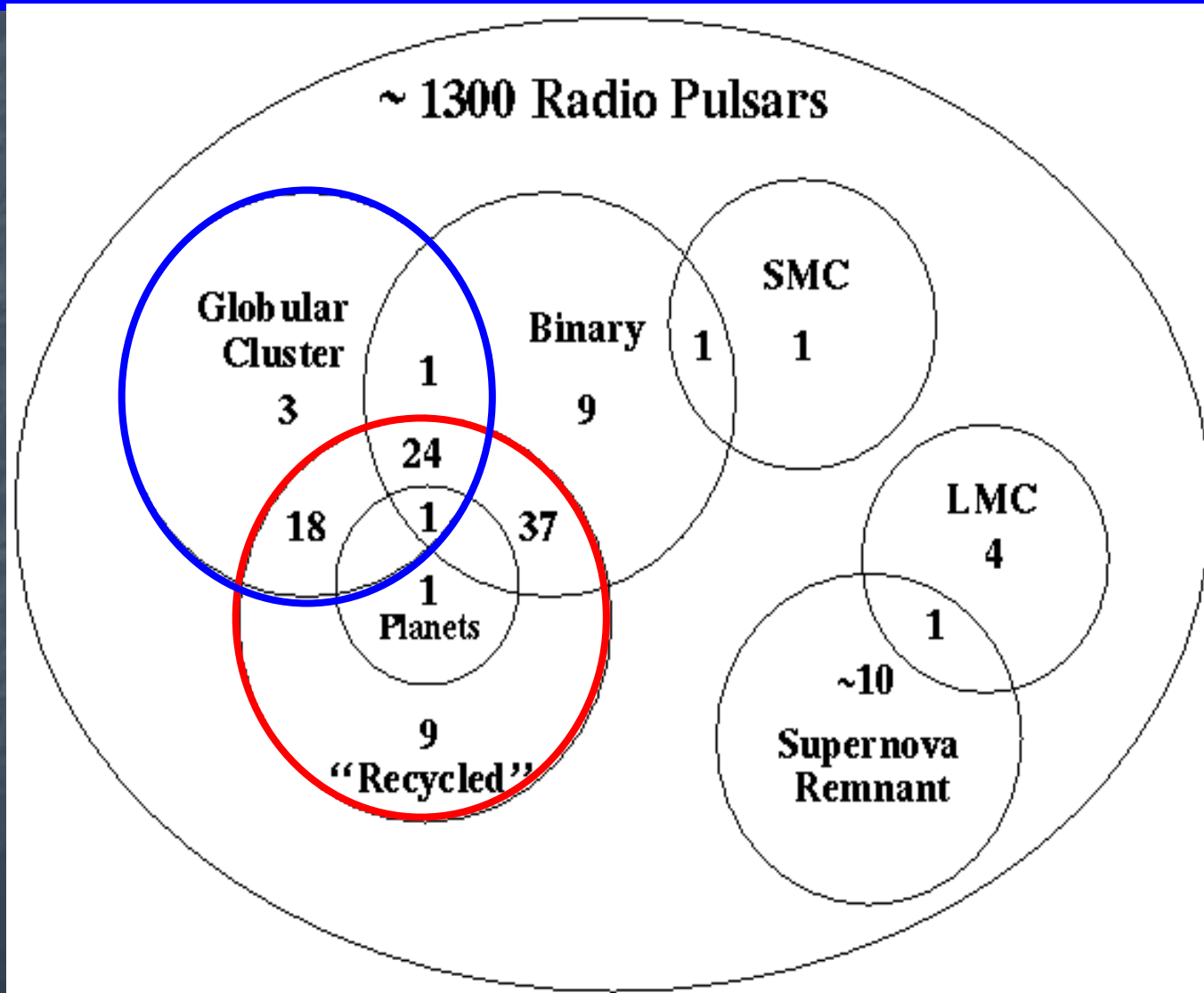
MA QUANDO LA STELLA DI NEUTRONI INCONTRA UNA COMPAGNA...



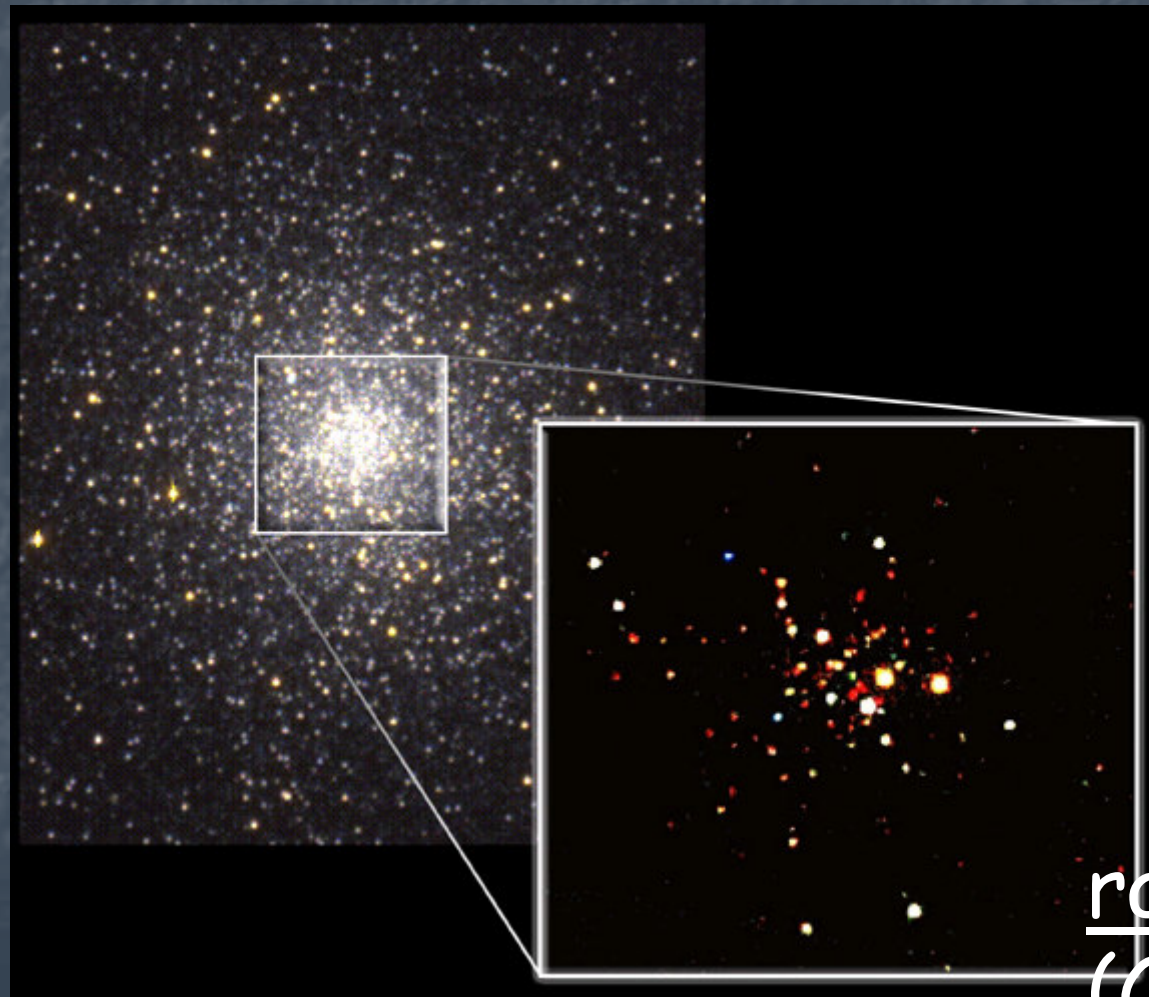
La materia che cade sui poli magnetici della stella di neutroni, la riaccelera, fino a periodi di alcuni millesimi di secondo!!

Durante lo scambio di massa la stella emette nei raggi X, quando però si libera della materia circostante, può riemettere come radio pulsar

LA MAGGIOR PARTE DELLE PULSAR AL MILLISECONDO SONO NEGLI AMMASSI GLOBULARI

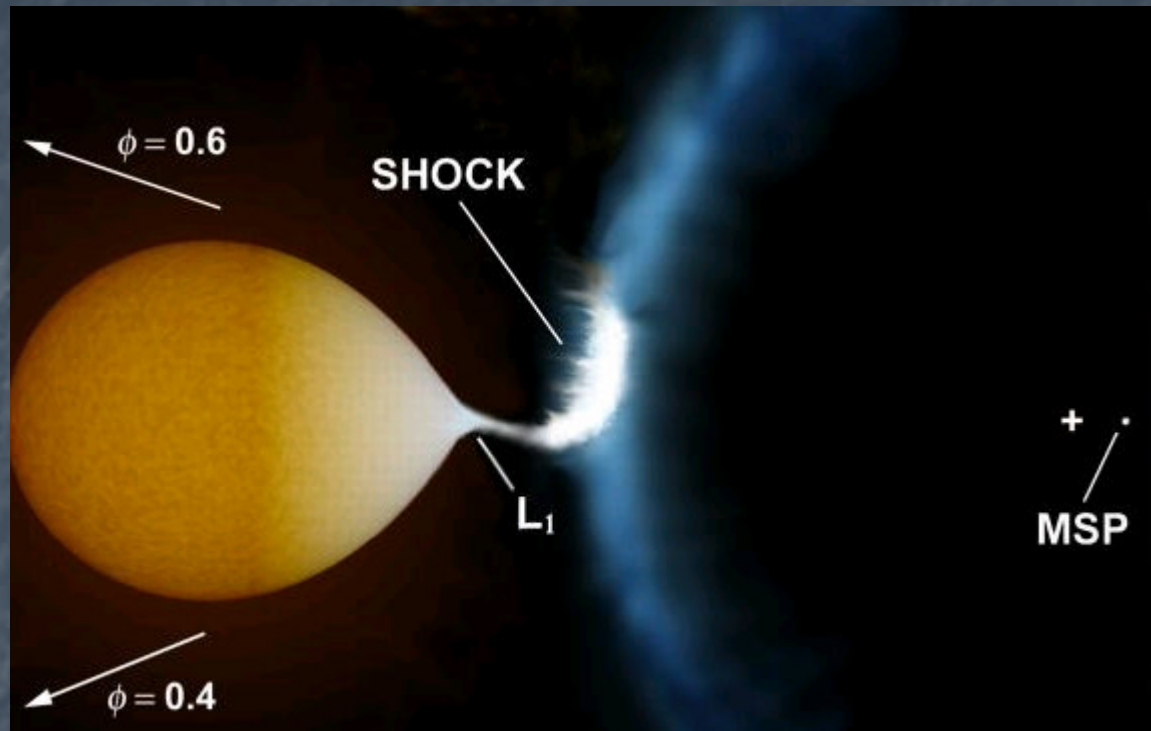


23 PULSAR AL MILLISECONDO IN 47 TUCANAE !



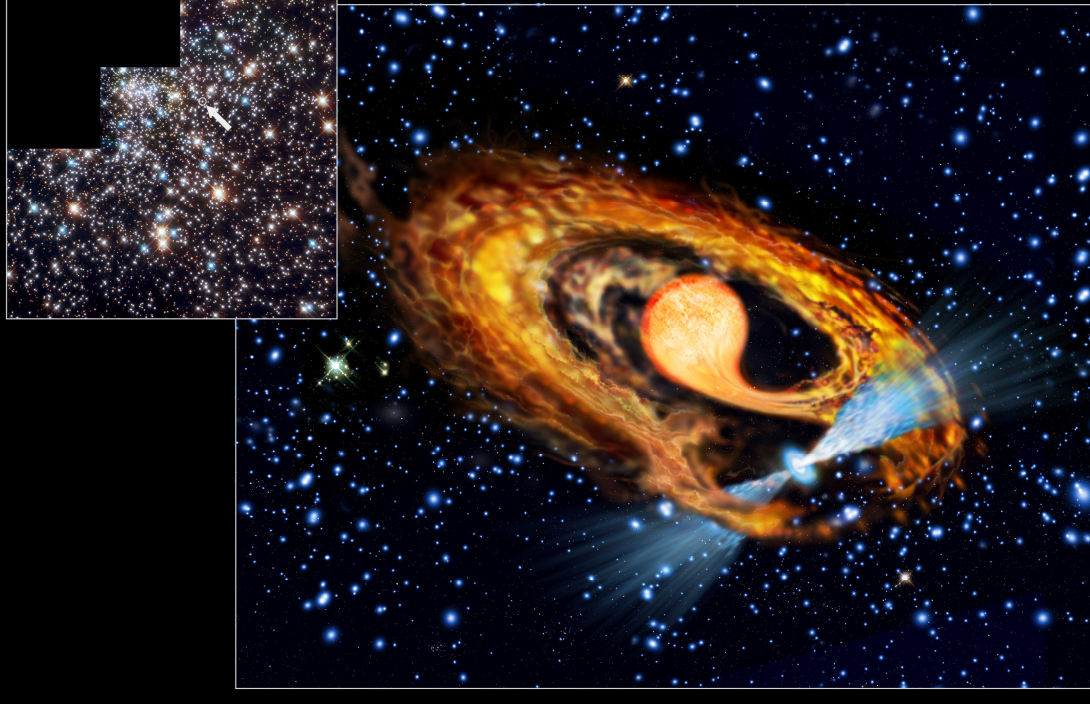
raggi X
(Chandra)

UN CASO DI ABLAZIONE DI MATERIA DELLA COMPAGNA: 47 Tuc-W



la pressione del fascio di particelle di alta energia emesso dalla pulsar produce uno shock con la materia che da L1 "prova" a riversarsi sulla stecca di neutroni.

UNA PULSAR PARZIALMENTE OCCULTATA NELL'AMMASSO NGC 6397...



è stata identificata anche nell'ottico come binaria. La pressione magnetica della stella di neutroni impedisce alla materia di cadere e la fa disperdere intorno al sistema

LA PARTE PIU' INTERESSANTE SULLE PULSAR AL MILLISECONDO..

ATTENZIONE ALLA CONFERENZA DI
A. POSSENTI, IL 3 NOVEMBRE PROSSIMO!

PER IL MOMENTO, BASTA COSI'
GRAZIE A TUTTI

fine