

Accademia delle Stelle

Corso di Astronomia



Lezione #7

Evoluzione stellare

Quando nascono, le stelle non sono tutte uguali!



Quando nascono, le stelle non sono tutte uguali!



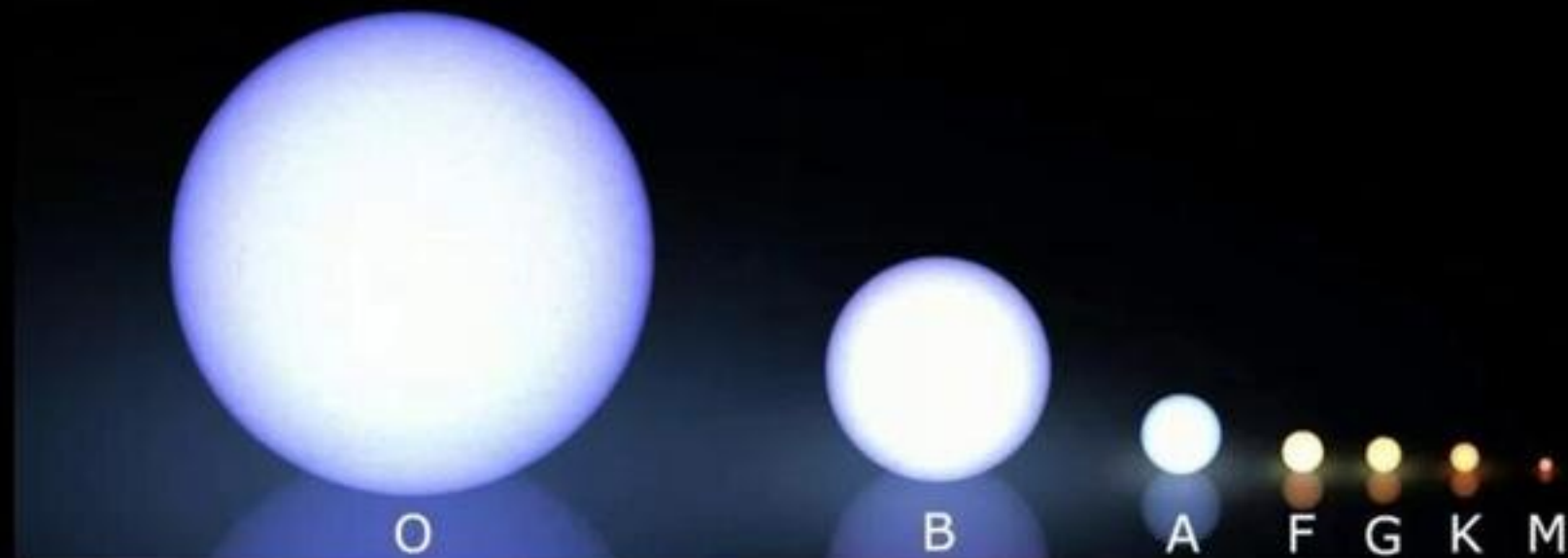
La classificazione stellare

Classe spettrale:	O	B	A	F	G	K	M
Temperatura:	40 000K	20 000K	8500K	6500K	5700K	4500K	3200K
Raggio (Sole=1):	10	5	1.7	1.3	1.0	0.8	0.3
Massa (Sole=1):	50	10	2.0	1.5	1.0	0.7	0.2
Luminosità (Sole=1):	100 000	1000	20	4	1.0	0.2	0.01
Durata (10^6 a):	10	100	1000	3000	10 000	50 000	200 000
Rappresentatività:	0.00001%	0.1%	0.7%	2%	35%	8%	80%



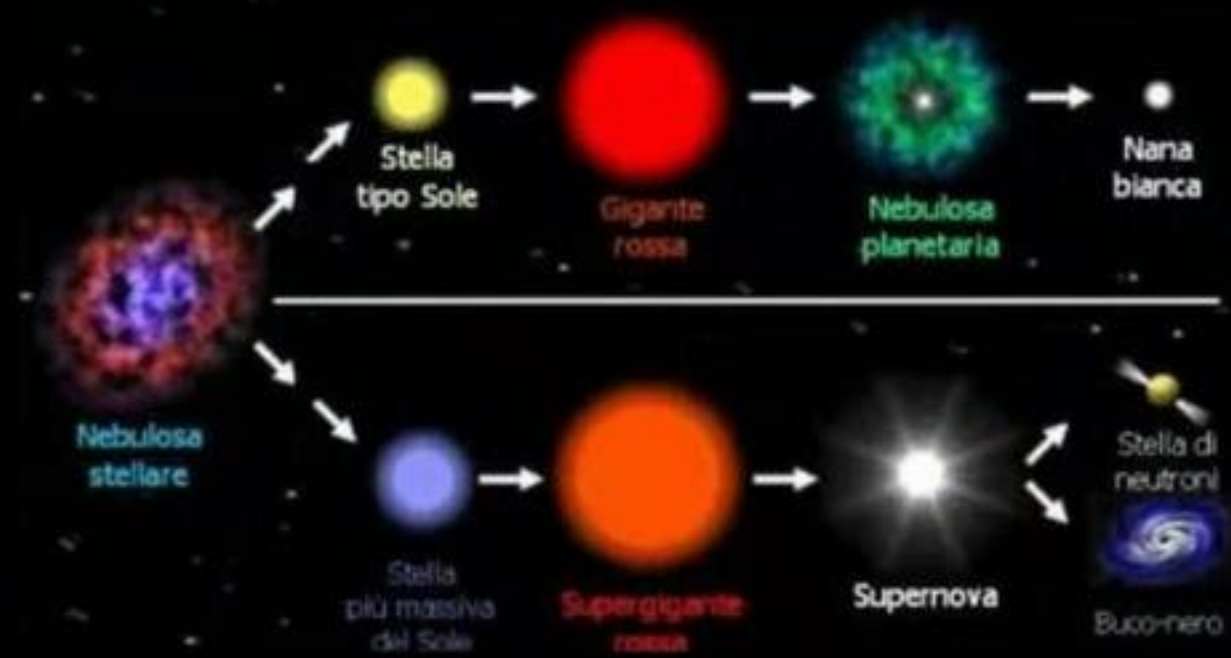
La classificazione stellare

Classe spettrale:	O	B	A	F	G	K	M
Temperatura:	40 000K	20 000K	8500K	6500K	5700K	4500K	3200K
Raggio (Sole=1):	10	5	1.7	1.3	1.0	0.8	0.3
Massa (Sole=1):	50	10	2.0	1.5	1.0	0.7	0.2
Luminosità (Sole=1):	100 000	1000	20	4	1.0	0.2	0.01
Durata (10^6 a):	10	100	1000	3000	10 000	50 000	200 000
Rappresentatività:	0.00001%	0.1%	0.7%	2%	3.5%	8%	80%



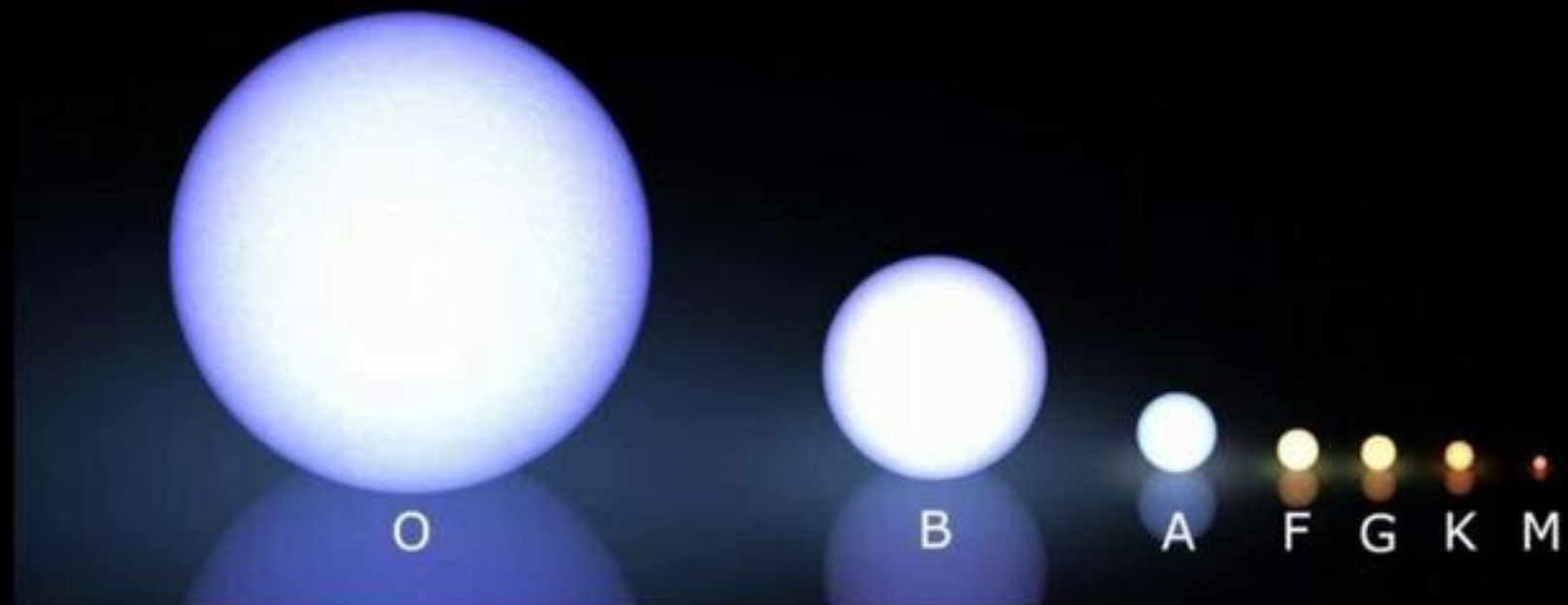
L'evoluzione post sequenza principale delle stelle

- Quando l'idrogeno nel nucleo delle stelle finisce, esse escono dalla sequenza principale
- La loro sorte dipende dalla loro massa...



La classificazione stellare

Classe spettrale:	O	B	A	F	G	K	M
Temperatura:	40 000K	20 000K	8500K	6500K	5700K	4500K	3200K
Raggio (Sole=1):	10	5	1.7	1.3	1.0	0.8	0.3
Massa (Sole=1):	50	10	2.0	1.5	1.0	0.7	0.2
Luminosità (Sole=1):	100 000	1000	20	4	1.0	0.2	0.01
Durata (10^6 a):	10	100	1000	3000	10 000	50 000	200 000
Rappresentatività:	0.00001%	0.1%	0.7%	2%	3.5%	8%	80%



L'evoluzione post sequenza principale delle stelle

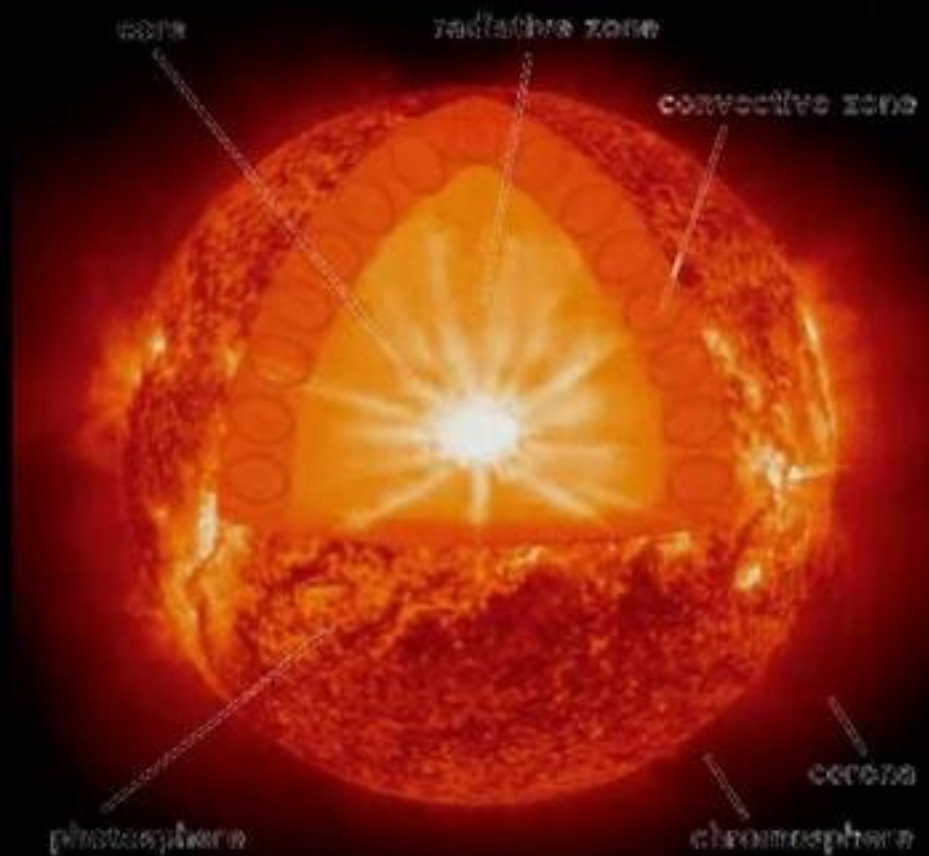
- Quando l'idrogeno nel nucleo delle stelle finisce, esse escono dalla sequenza principale
- La loro sorte dipende dalla loro massa...



Quando una stella più piccola del Sole ($<0.6 M_{\odot}$) termina l'idrogeno nel nucleo, semplicemente si "spegne" e si trasforma in una "nana bianca"

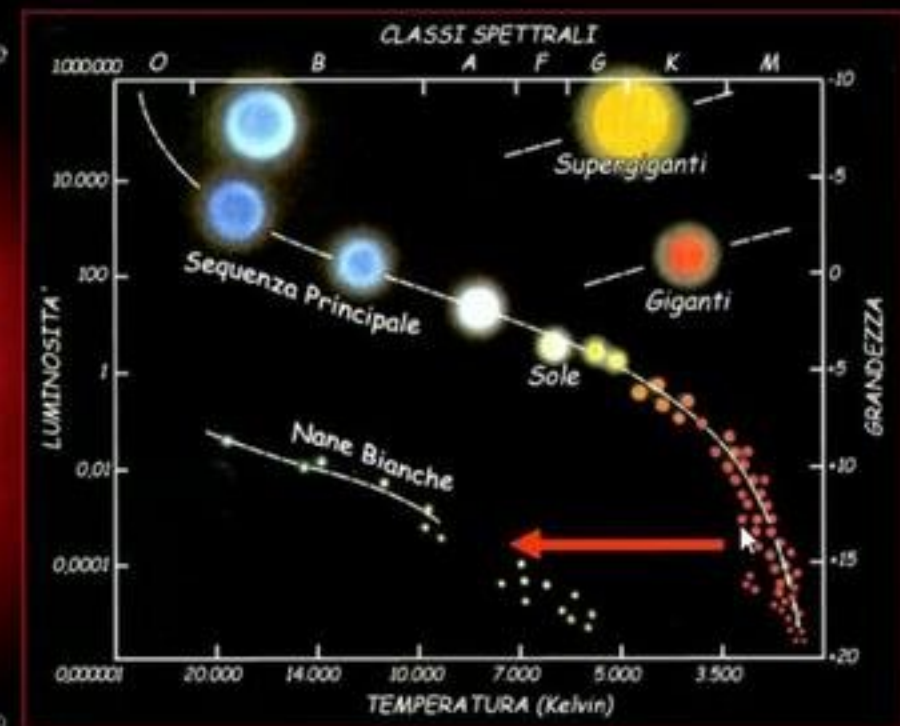
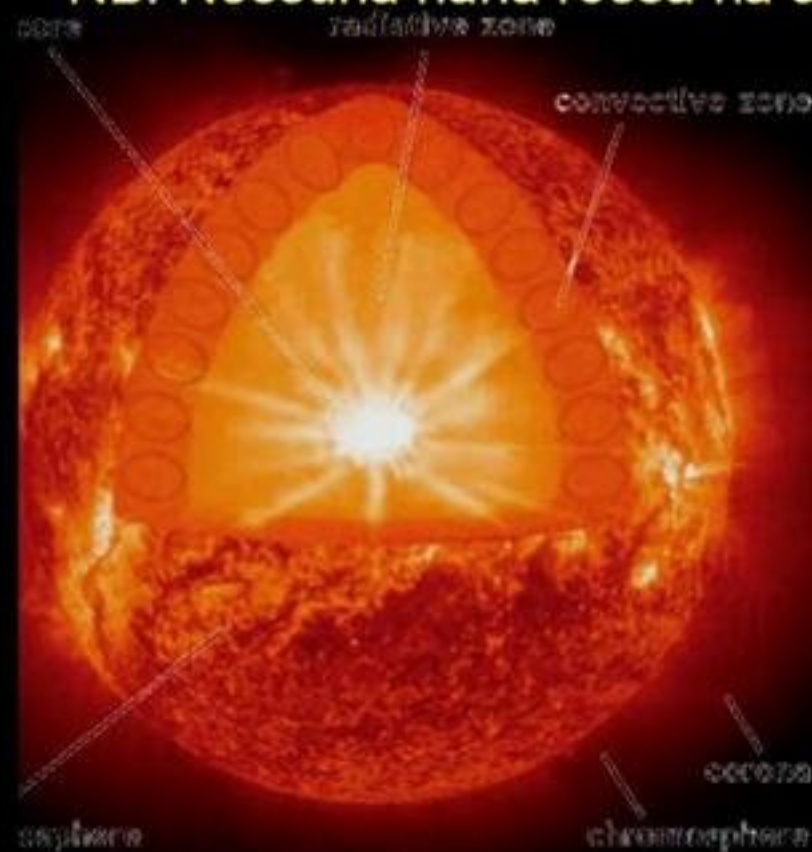


Quando una stella più piccola del Sole ($<0.6 M_{\odot}$) termina l'idrogeno nel nucleo, semplicemente si "spegne" e si trasforma in una "nana bianca"

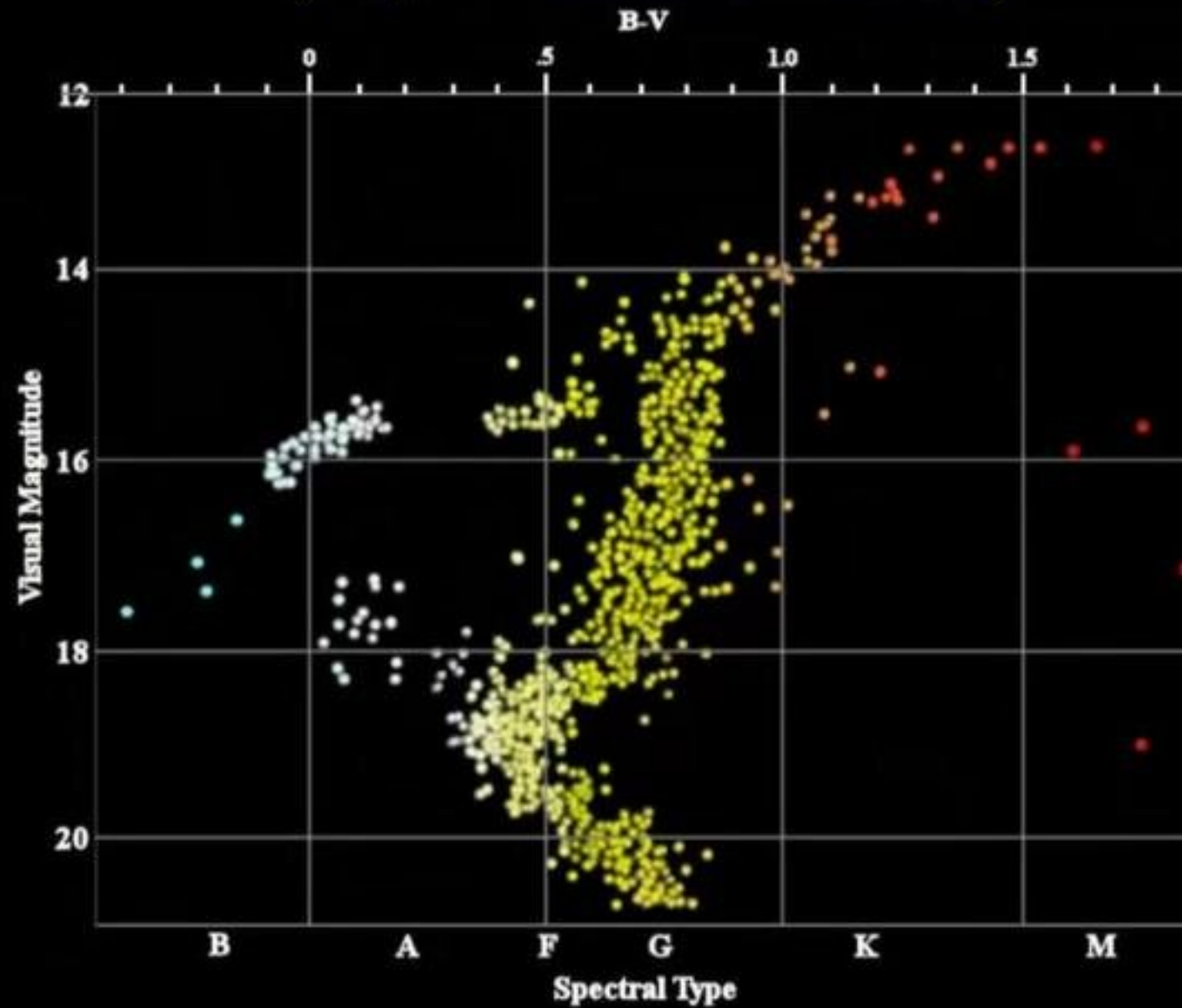


Quando una stella più piccola del Sole ($<0.6 M_{\odot}$) termina l'idrogeno nel nucleo, semplicemente si "spegne" e si trasforma in una "nana bianca"

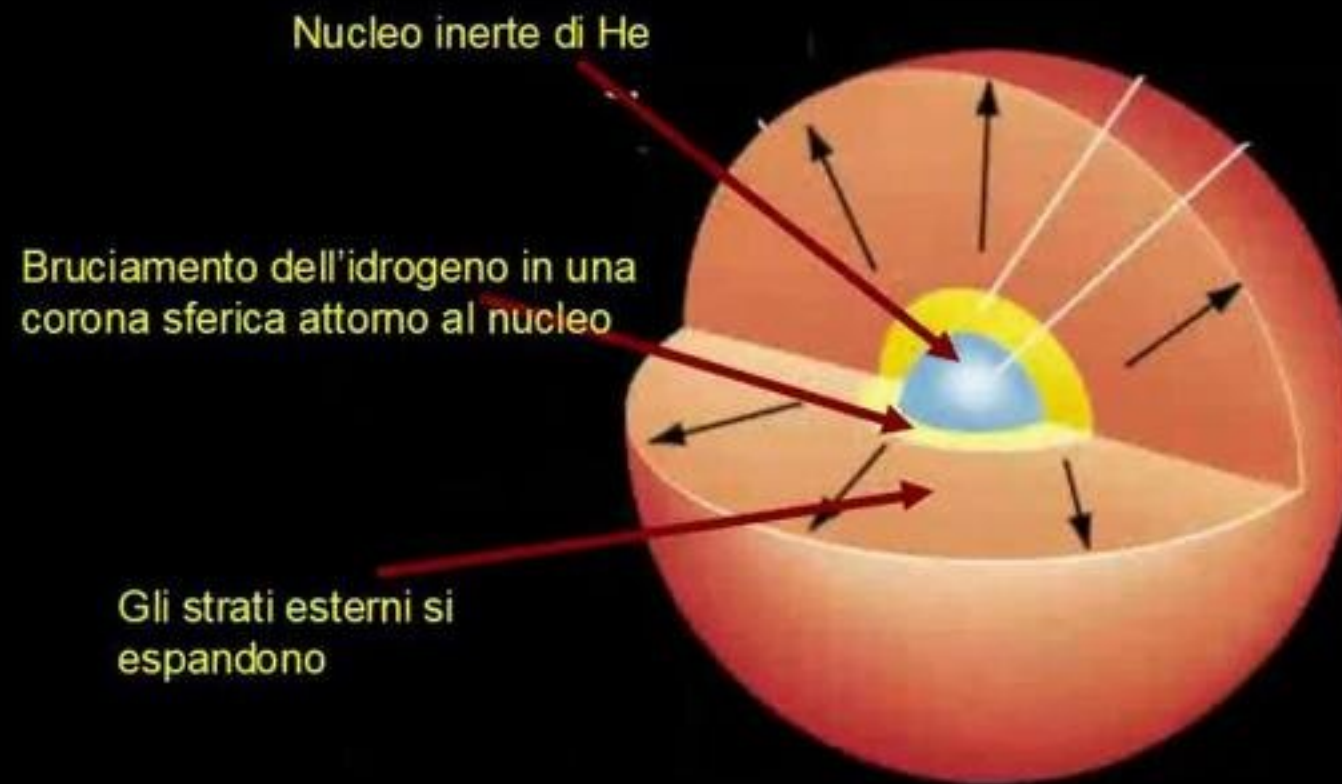
NB: Nessuna nana rossa ha ancora avuto il tempo di spegnersi!



L'evoluzione di stelle simili al Sole (~0,7 ~ 8 masse solari)



Se la stella pesa almeno 0,8 volte il Sole, la stella spegne il nucleo ma continua a bruciare idrogeno in una *shell* attorno al nucleo diventando una *gigante rossa*



Se la stella pesa almeno 0,8 volte il Sole, la stella spegne il nucleo ma continua a bruciare idrogeno in una *shell* attorno al nucleo diventando una *gigante rossa*



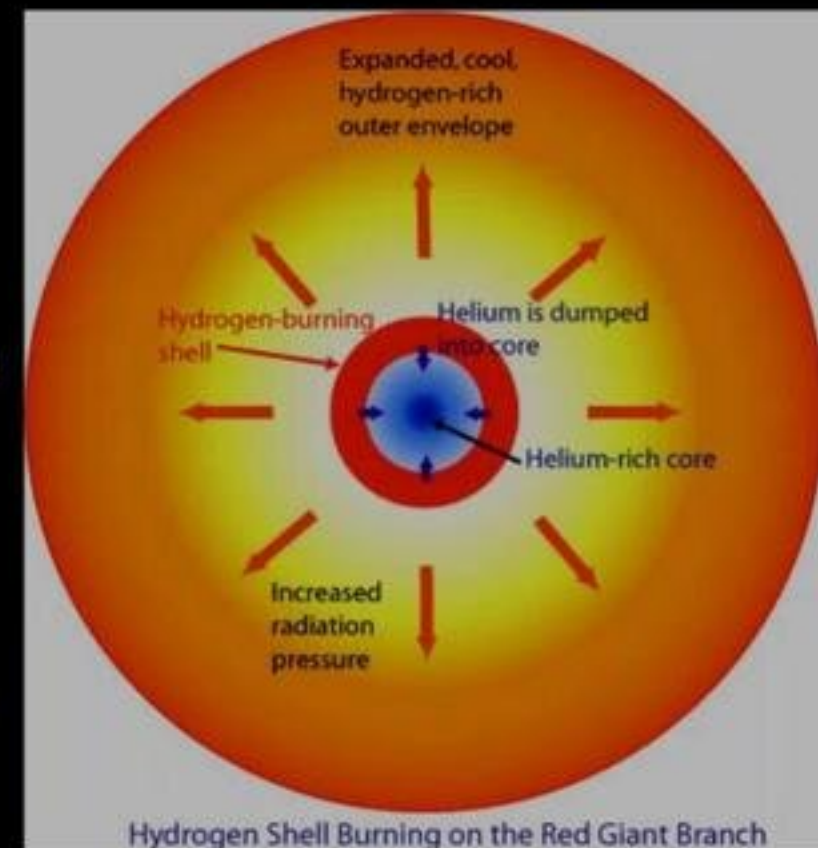
La fase di gigante rossa

Gli strati sopra l'involuppo di fusione dell'idrogeno si espandono.

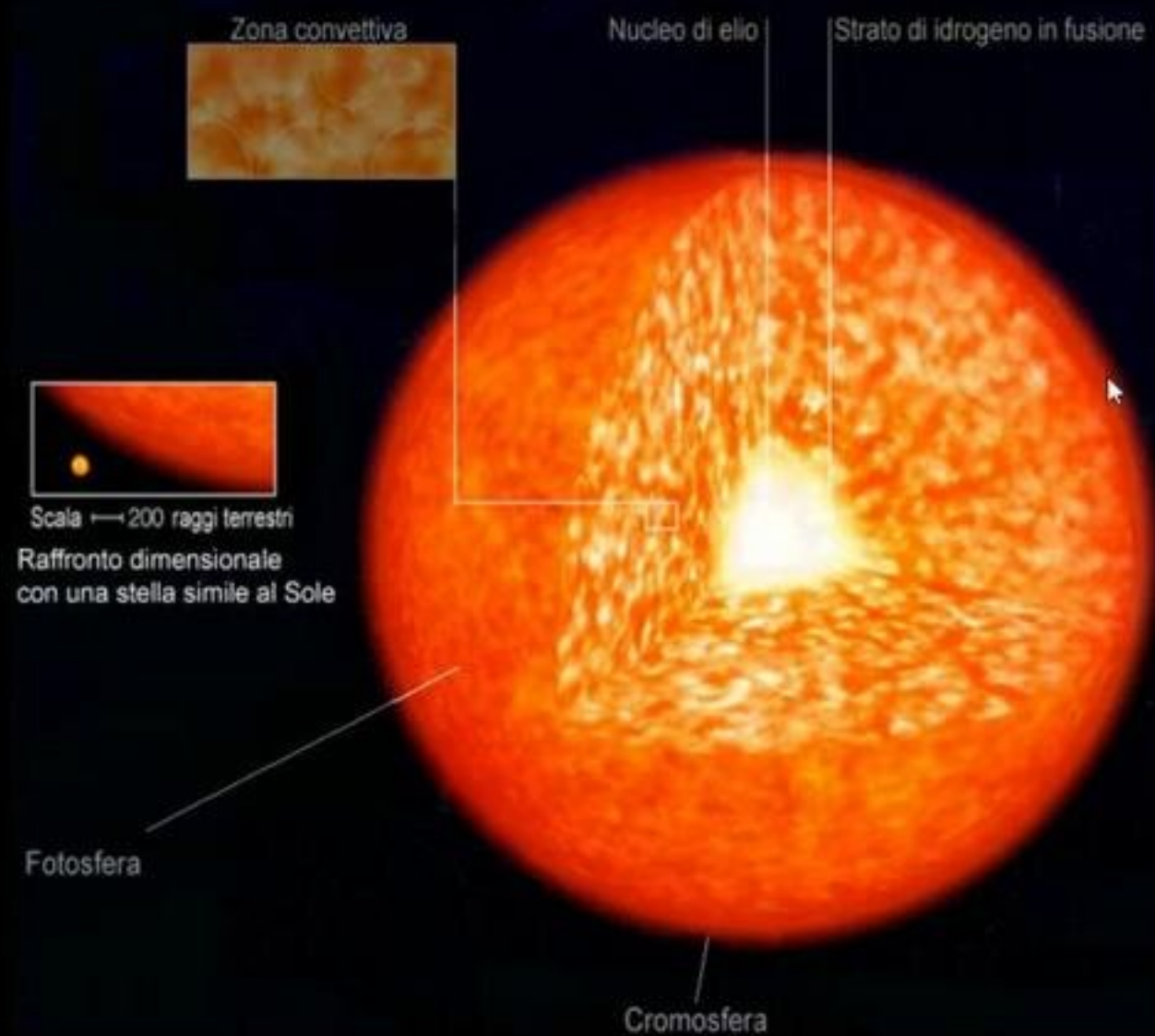
La temperatura del nucleo aumenta, quella della superficie diminuisce.

La luminosità aumenta e la stella lascia la SP e si sposta nel diagramma HR verso le regioni più fredde. Entrando nella fase di **gigante rossa**

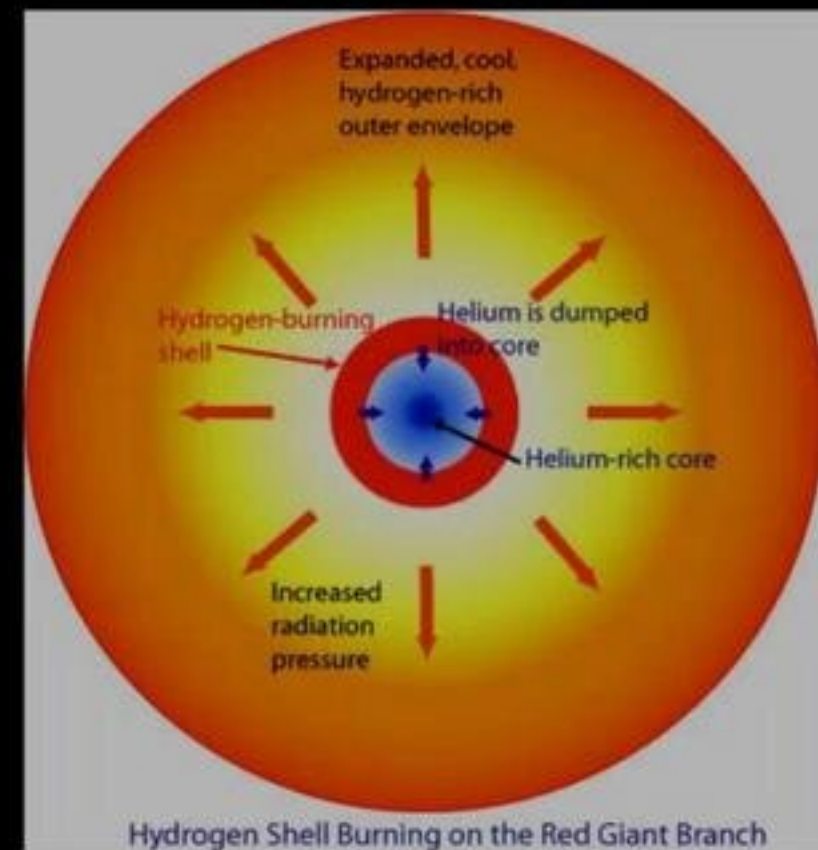
Se c'è sufficiente massa, il nucleo continua a contrarsi finché non inizia a bruciare l'elio, altrimenti la stella si spegnerà lasciando una nana bianca con un guscio di gas in espansione



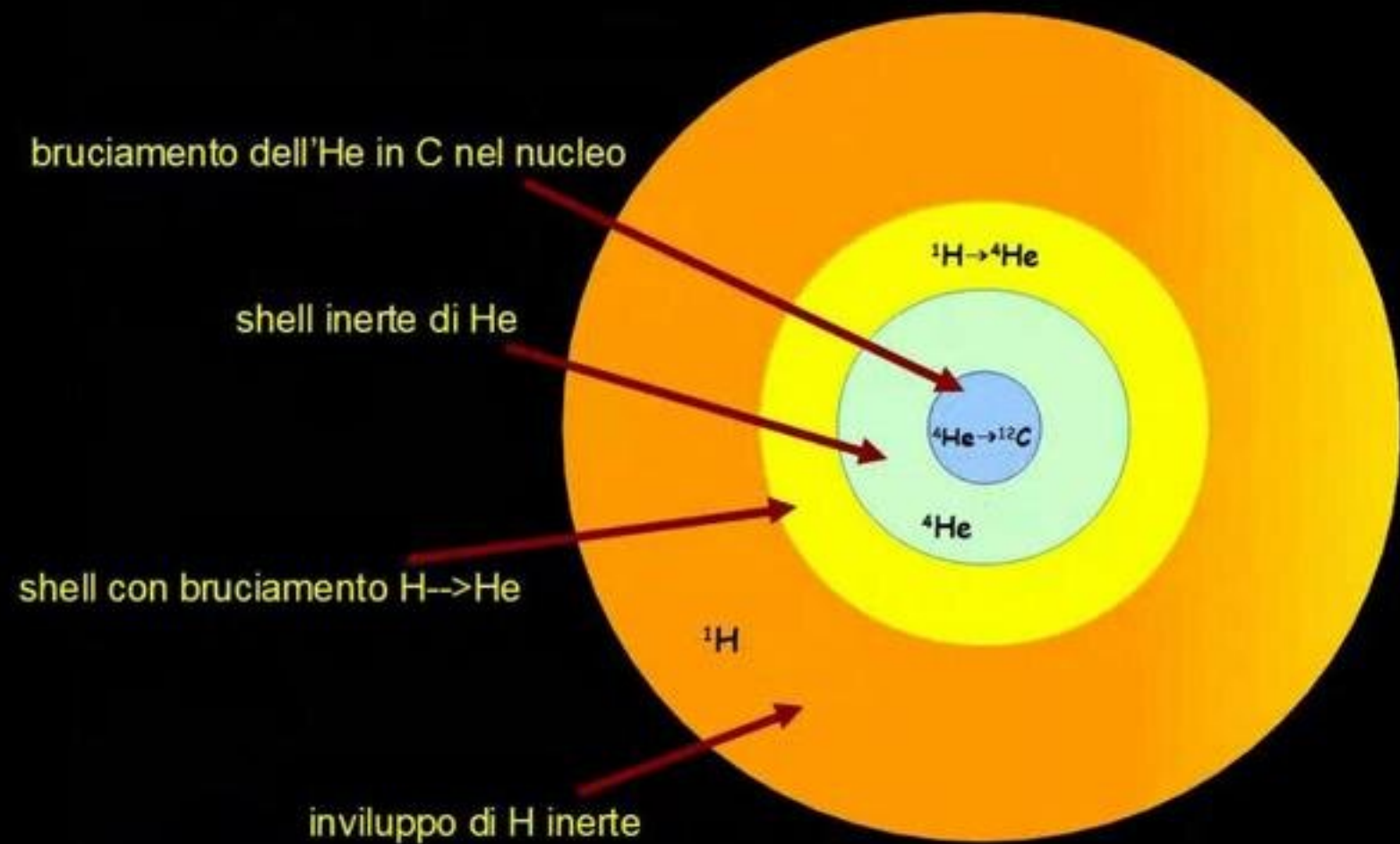
Il Sole, da gigante rossa, avrà un raggio di 0,6 UA (90 milioni di km)



La fase di gigante rossa



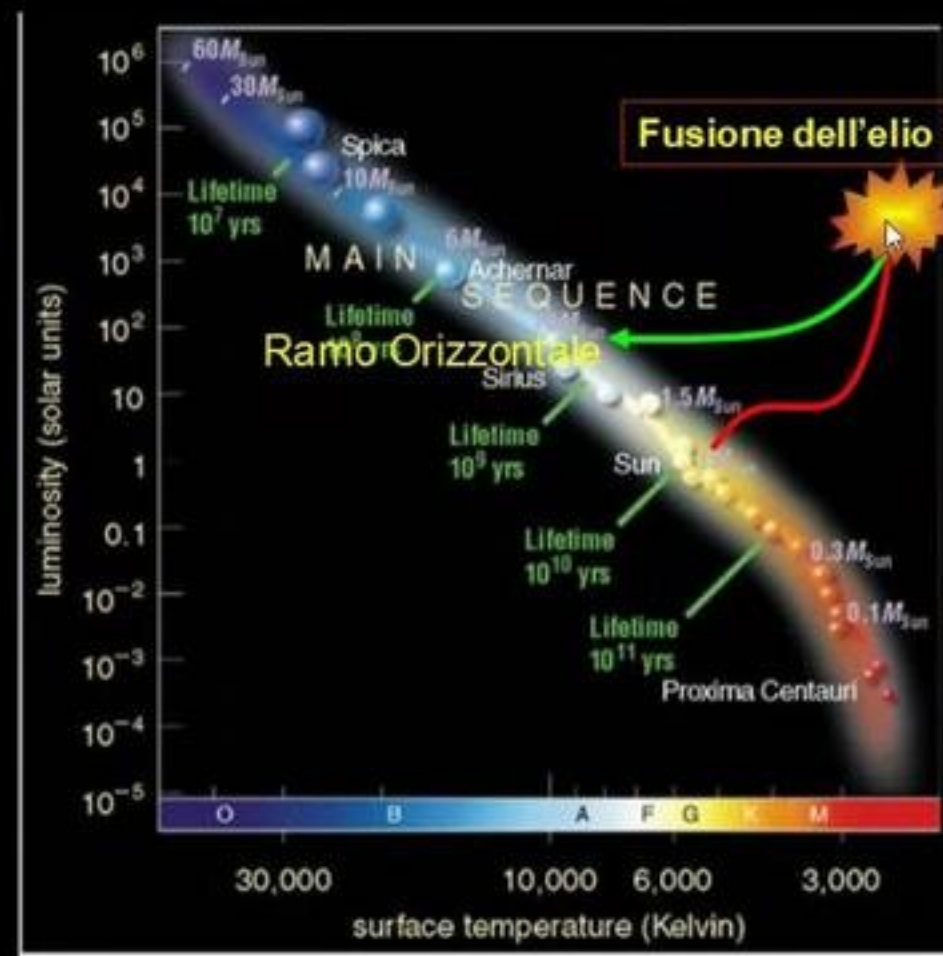
Se la gigante rossa ha massa $> \sim 1 M_{\odot}$ può
anche bruciare He in C nel nucleo



Permanenza sul *ramo orizzontale*

Quando la stella inizia a bruciare l'elio, rientra nella SP ma si sposta più in alto (luminosità più alte), nel cosiddetto Ramo Orizzontale.

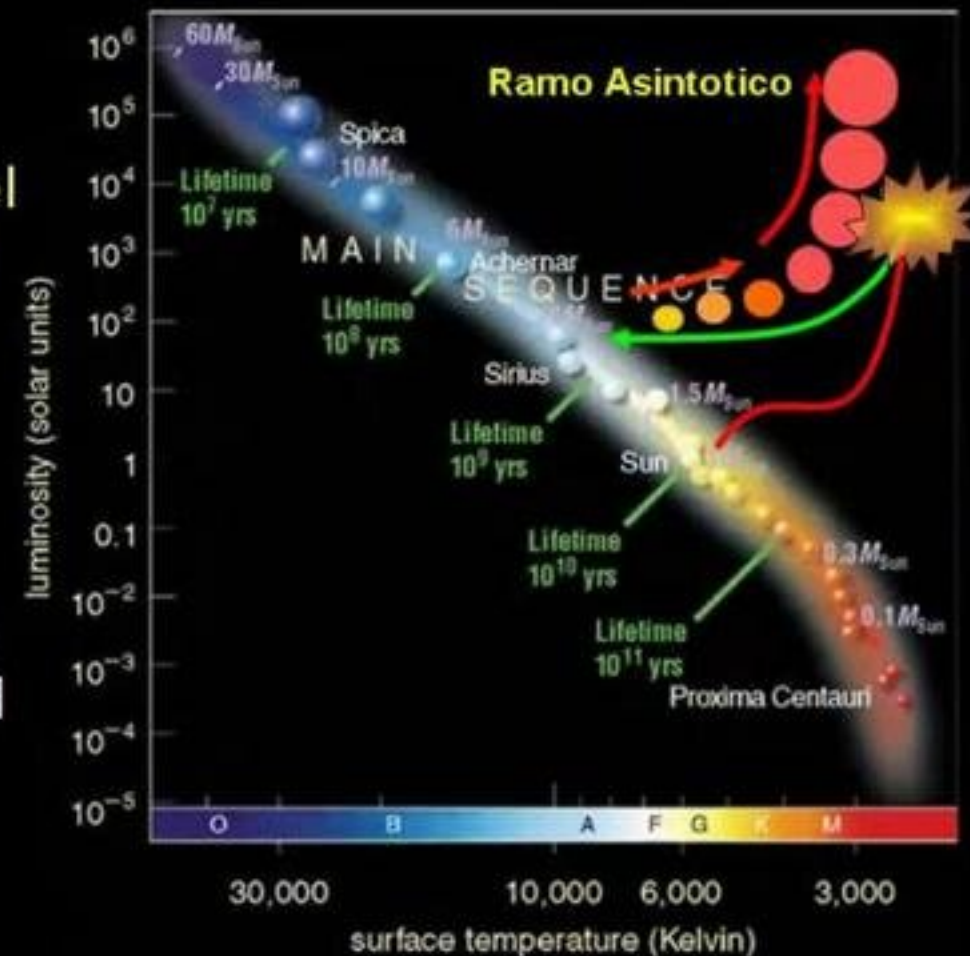
La reazione di bruciamento dell'He è ~10 volte più veloce di quella dell'H.



La fine delle reazioni nucleari

Man mano che l'elio comincia ad esaurirsi nel nucleo la stella lascia il "ramo orizzontale" e si sposta nuovamente verso temperature più basse.

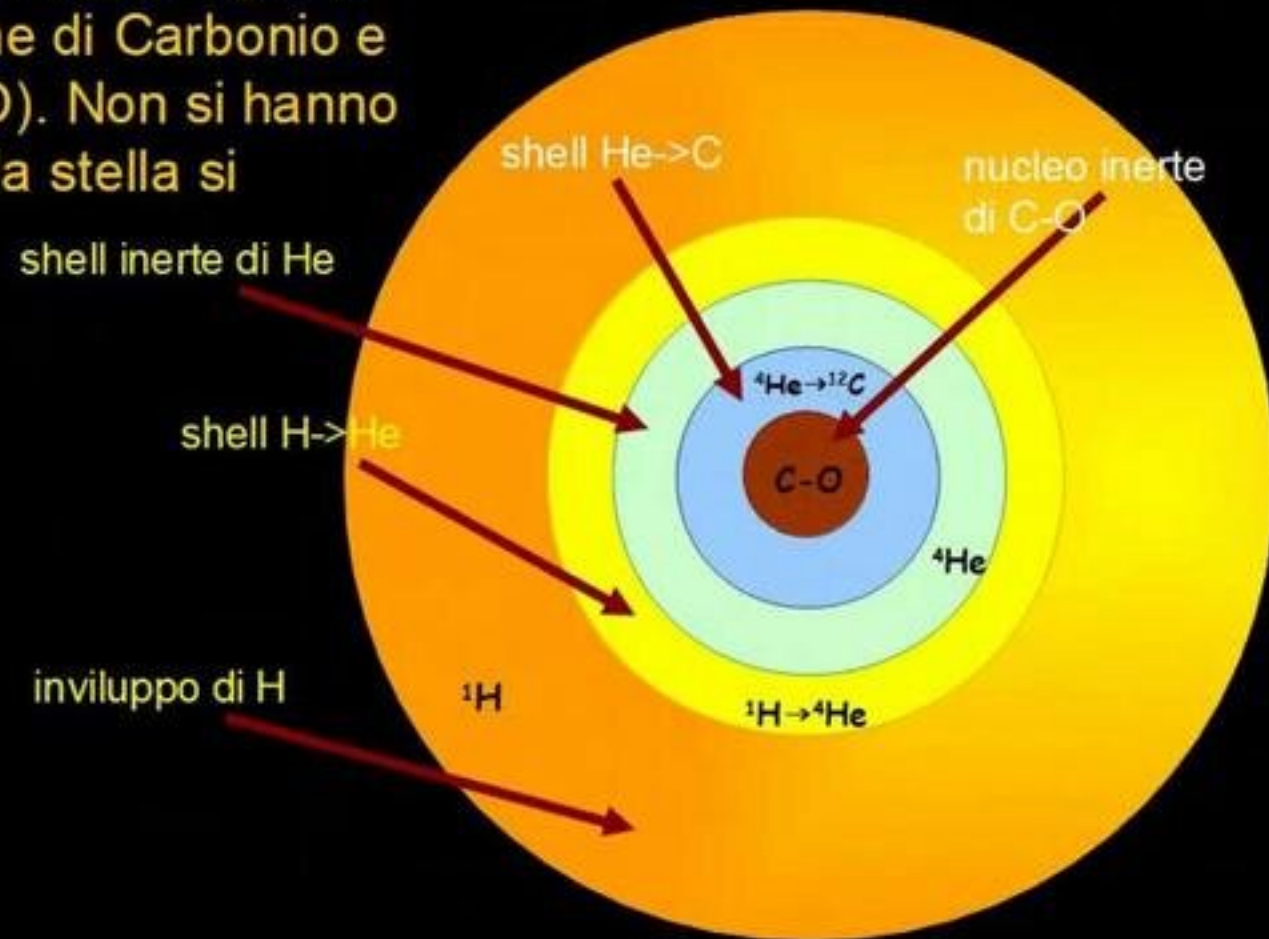
Il punto rappresentativo della stella risale lungo il cosiddetto Ramo Asintotico



L'ultimo stadio della stella

(fino a 8 masse solari)

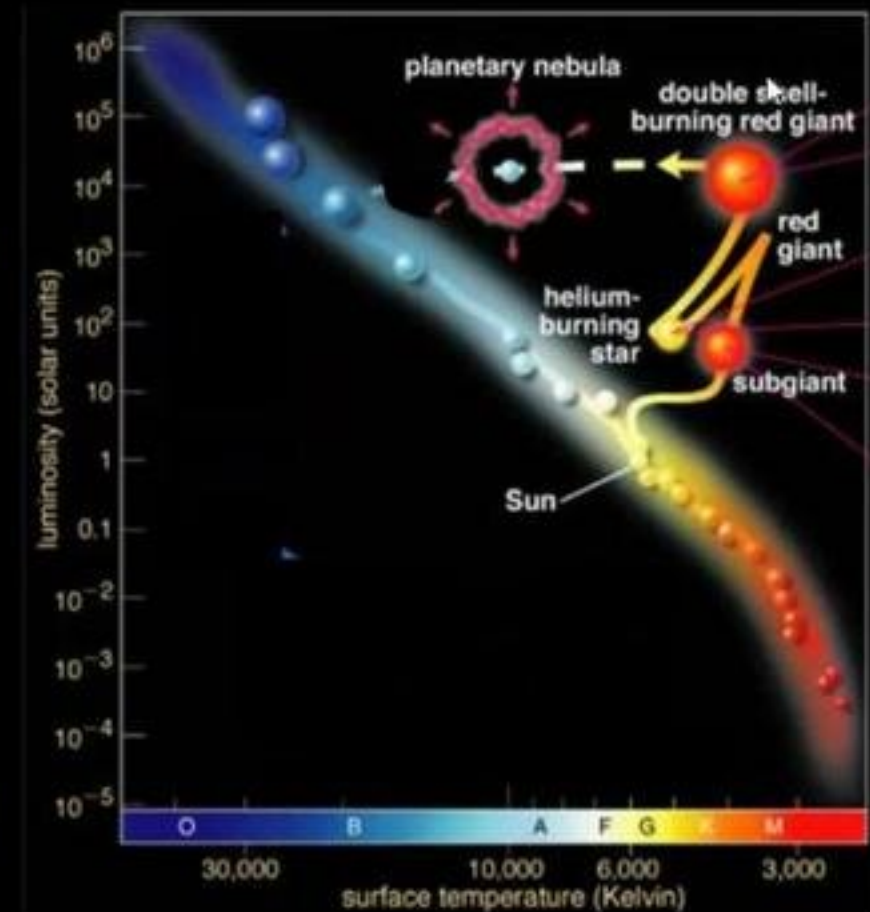
L'esaurimento dell'elio lascia dietro di sé un nucleo "spento" e in contrazione di Carbonio e Ossigeno (C-O). Non si hanno altre fusioni e la stella si spegne.



Le fasi finali dell'Evoluzione

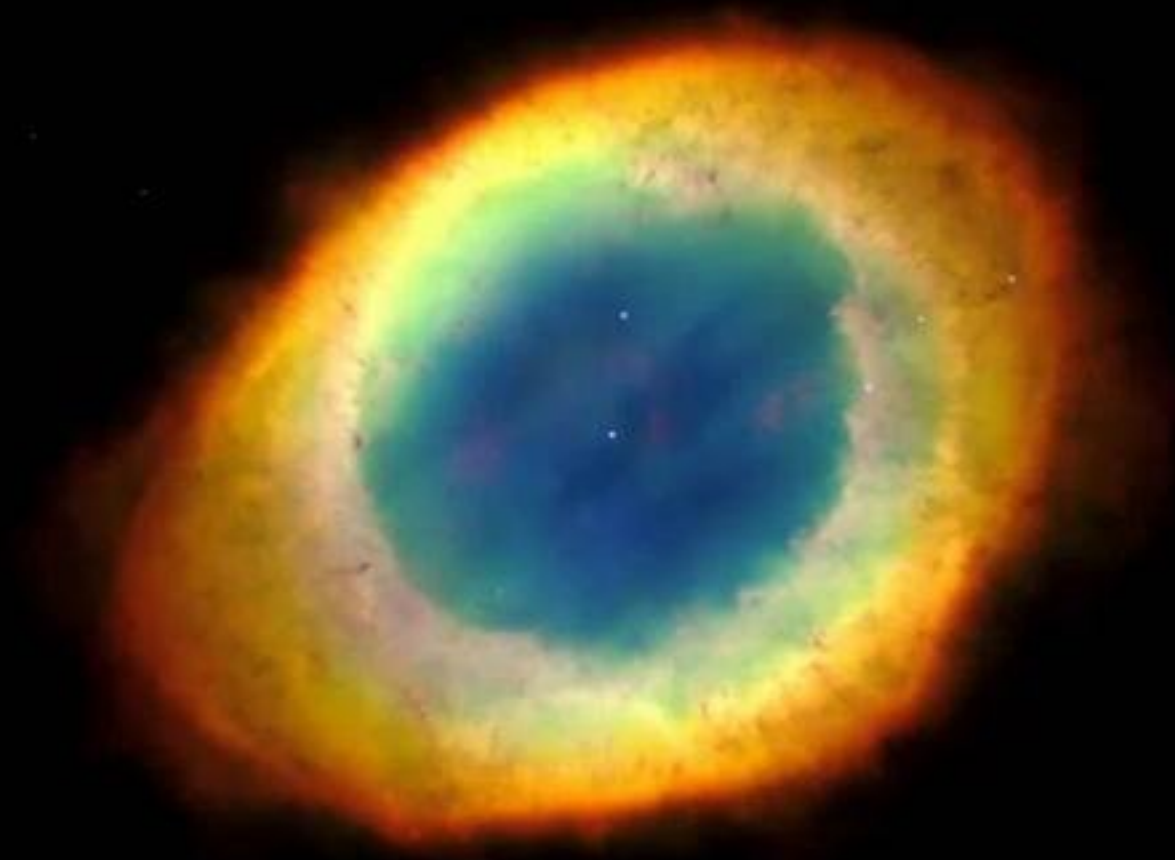
Le stelle con massa iniziale $M_i < 8M_\odot$ **non sono in grado di innescare il bruciamento del carbonio**: qui termina quindi la loro esistenza. Anche del Sole.

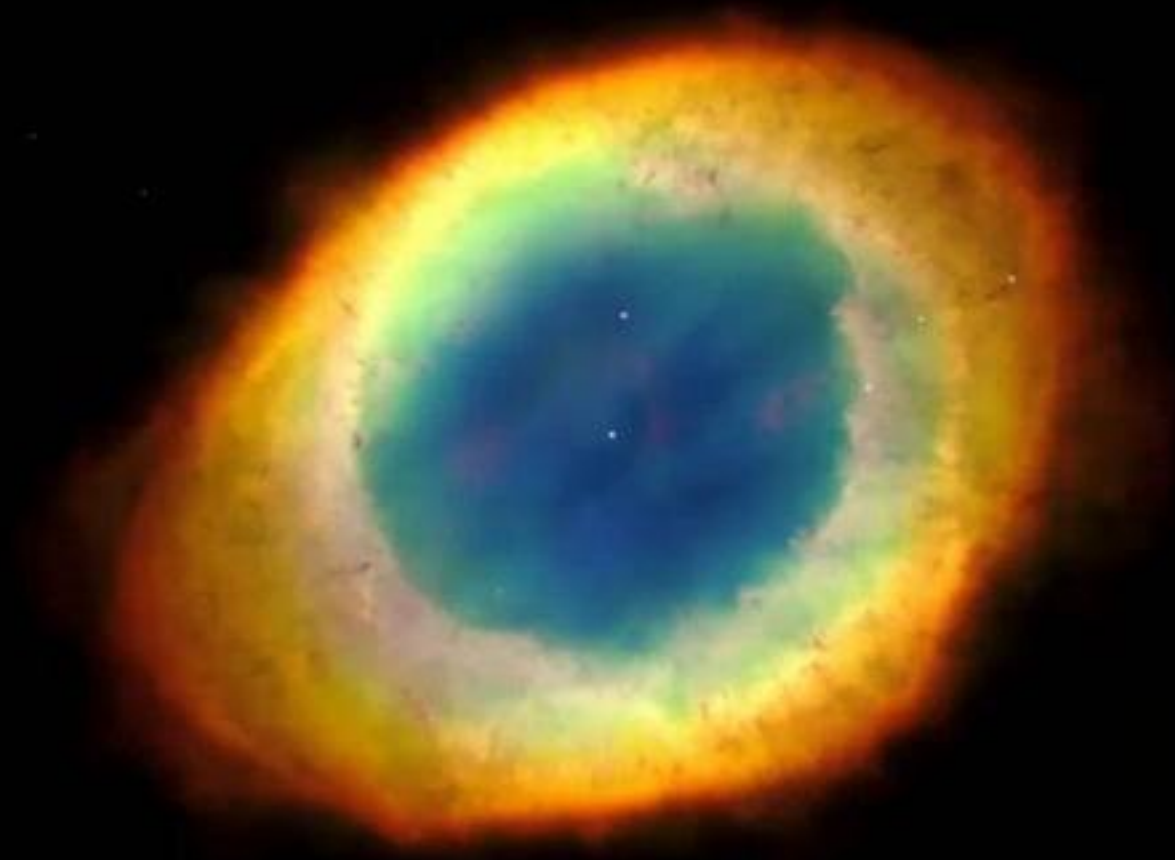
Il loro involucro esterno crea una nebulosa planetaria (fase "breve", di decine di migliaia di anni), nel cui centro brilla il piccolo nucleo spento (ma ancora incandescente) di carbonio e ossigeno: una nana bianca



Le nebuleuse planetarie











Il residuo centrale: la nana bianca

- Dimensioni simili alla Terra, massa simile al Sole
- Gravità pari a 100^2 volte quella del Sole
- Densità pari a 100^3 volte quella del Sole
- È il nucleo di una stella: nasce caldissima!
- Se ne conoscono circa 11000
- È composta di “materia degenere”, che ne sostiene la massa grazie al *principio di esclusione di Pauli*
- Non può pesare più di 1,44 masse solari (limite di Chandrasekhar)



Sirio

Sirio B

© PAOLO COLONA
ACCADÉMIA DELLE STELLE





Sirio

Sirio B

La ripresa fotografica di Sirio B

Coelum
ASTRONOMIA

di Paolo Colona - Accademia delle Stelle

Sirio è una stella che detiene molti record e tra questi l'aver come compagna la nana bianca più vicina alla Terra. Diecimila volte più debole di Sirio, è difficilissima da fotografare o osservare (e la foto rende bene l'idea) ma è un oggetto interessantissimo e con un ruolo brillante nella storia dell'astronomia...

Sirio B, la piccolissima compagna della più fulgida stella del firmamento (che possiamo vedere in questo periodo per tutta la notte con la sua luce scintillante), è ciò che resta di una stella che, in origine, doveva avere una massa diverse volte quella del Sole e ha esaurito il combustibile nucleare spegnendosi circa 100 milioni di anni fa.

Il residuo di quello spegnimento stellare è una nana bianca, un astro collassato che ha conservato una massa pari a quella del Sole ma concentrata in un volume grande poco meno della Terra (pesa quindi quasi due tonnellate al centimetro cubo). Nessun elemento o sostanza chimica può raggiungere tale densità: la materia di cui è fatta una nana bianca è detta "degenerata" ed è costituita da atomi ridotti in frantumi, nei quali gli elettroni non orbitano più attorno ai nuclei.

Tutto ciò non era noto quando, nel 1862, Alvan Clark adocchiò un minuscolo puntolino accanto a Sirio, 10 mila volte meno luminoso di quella stella. Scava testando un potentissimo rifrattore professionale di sua costruzione e si dice che inizialmente

Sirio B tra i raggi di Sirio del 25 novembre 2020
di Paolo Colona - PhotoCoelum

Sirio

Sirio B

Sirio

La ripresa fotografica di Sirio B

Coelum
ASTRONOMIA

di Paolo Colona - Accademia delle Stelle

Sirio è una stella che detiene molti record e tra questi l'aver come compagna la nana bianca più vicina alla Terra. Diecimila volte più debole di Sirio, è difficilissima da fotografare o osservare (e la foto rende bene l'idea) ma è un oggetto interessantissimo e con un ruolo brillante nella



Altre nane bianche alla portata di telescopi amatoriali

Sirio B

Prozione B, mag. 13,0 (Canis Minor), 11,5 a.l.

Van Maanen 2, o *Stella di van Maanen*, mag. 12,3 (Psc), 14,1 a.l.

LP 145-141, mag. 11,5 (Musca), 15,1 a.l.

40 Eridani B, o *Omicron2 Eridani B*, mag 9,5 (Eridanus), 16,3 a.l.

una nana bianca è detta "degenere" ed è costituita da atomi ridotti in frantumi, nei quali gli elettroni non orbitano più attorno ai nuclei.

Tutto ciò non era noto quando, nel 1862, Alvan Clark adocchiò un minuscolo puntolino accanto a Sirio, 10 mila volte meno luminoso di quella stella. Stava testando un potentissimo rifrattore professionale di sua costruzione e si dice che inizialmente

SIRIO B



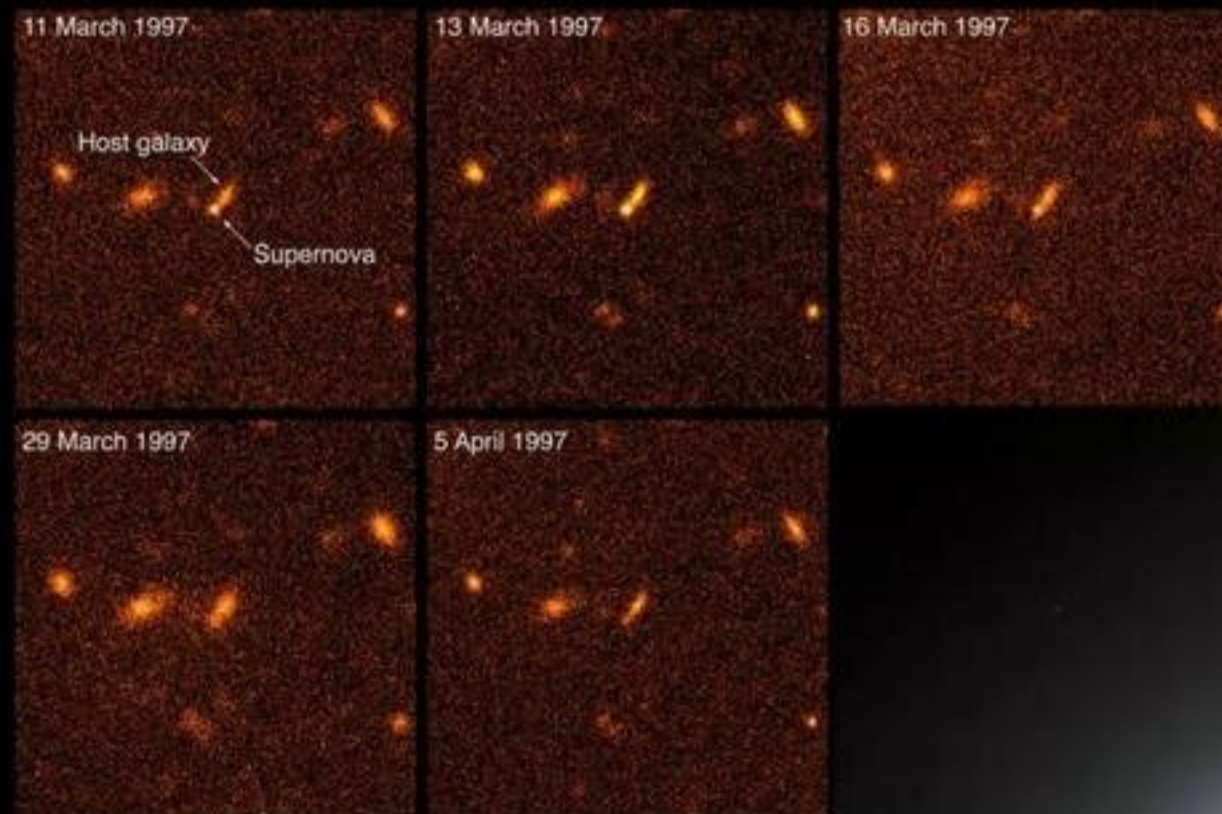


VARIABILI CATACLISMICHE



SUPERNOVE DI TIPO Ia





Le Supernove la sono
luminosissime (10^{44} joules) e si
possono osservare anche in
galassie molto lontane.
Poichè hanno tutte la stessa
luminosità, permettono di misurare
la distanza delle galassie.





Supernova Remnant SNR 0509-67.5
HST/ACS/WFC3 • CXO/ACIS

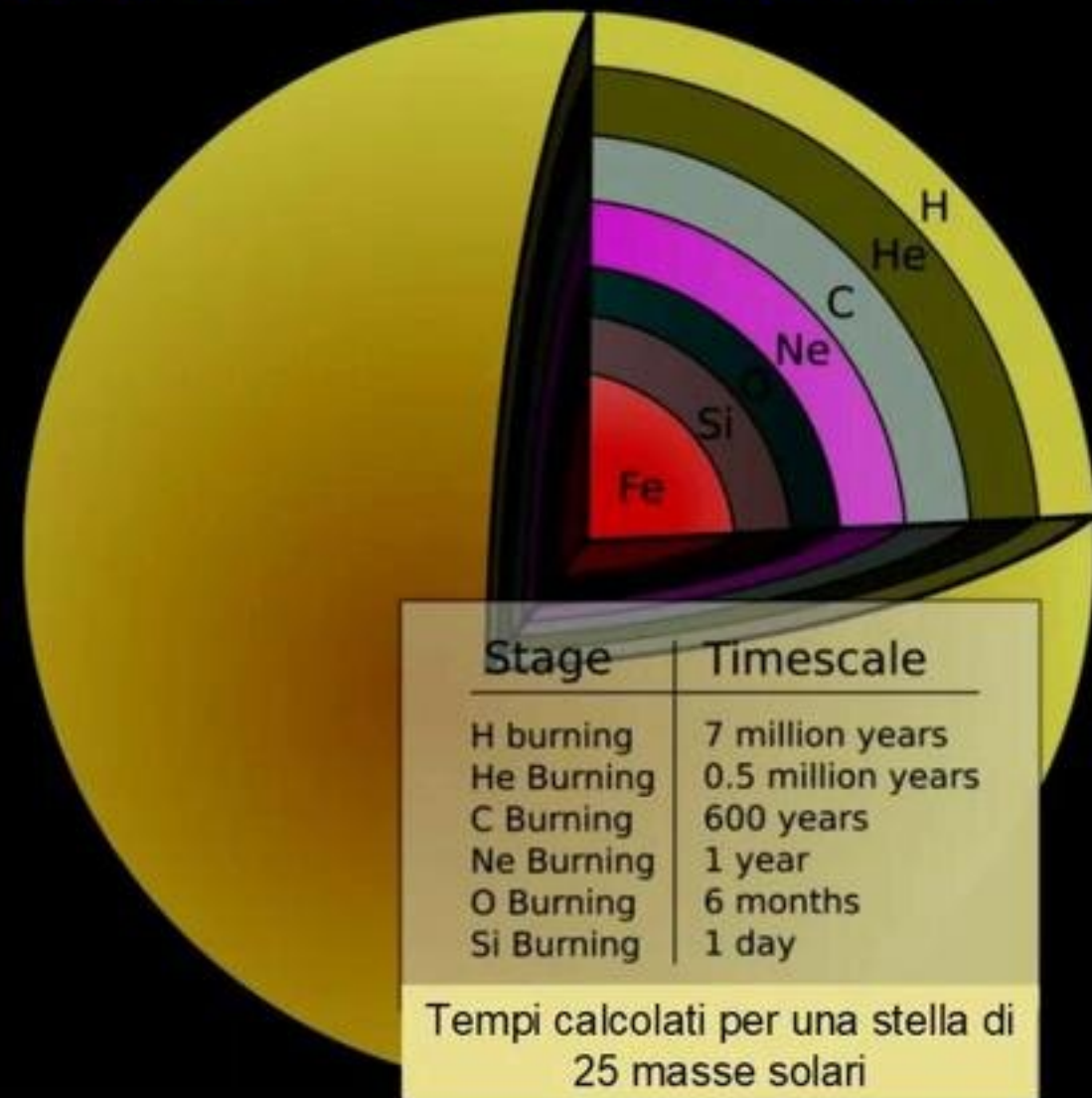
NASA, ESA, CXO, SAO, B. Schaefer and A. Pagnotta (Louisiana State University, Baton Rouge),
the Hubble Heritage Team (STScI/AURA) and J. Hughes (Butlers University) STScI-PRC12-06a

La fine delle stelle di massa maggiore di 8 masse solari

- Stelle con massa maggiore riescono a bruciare anche il carbonio del nucleo e prolungano quindi la propria esistenza
- Considerando stelle di massa via via maggiore, la struttura “a cipolla”, con strati di differenti composizioni, diventa sempre più complessa e ricca di stratificazioni

Situazione oltre le ~10 masse solari

Dopo ogni esaurimento del combustibile, le stelle molto massicce riescono sempre a bruciare i residui della fusione precedente grazie alla loro grande massa. Questo le porta a produrre “ceneri” sempre più pesanti e sempre meno efficienti, che la sostentano per sempre meno tempo.

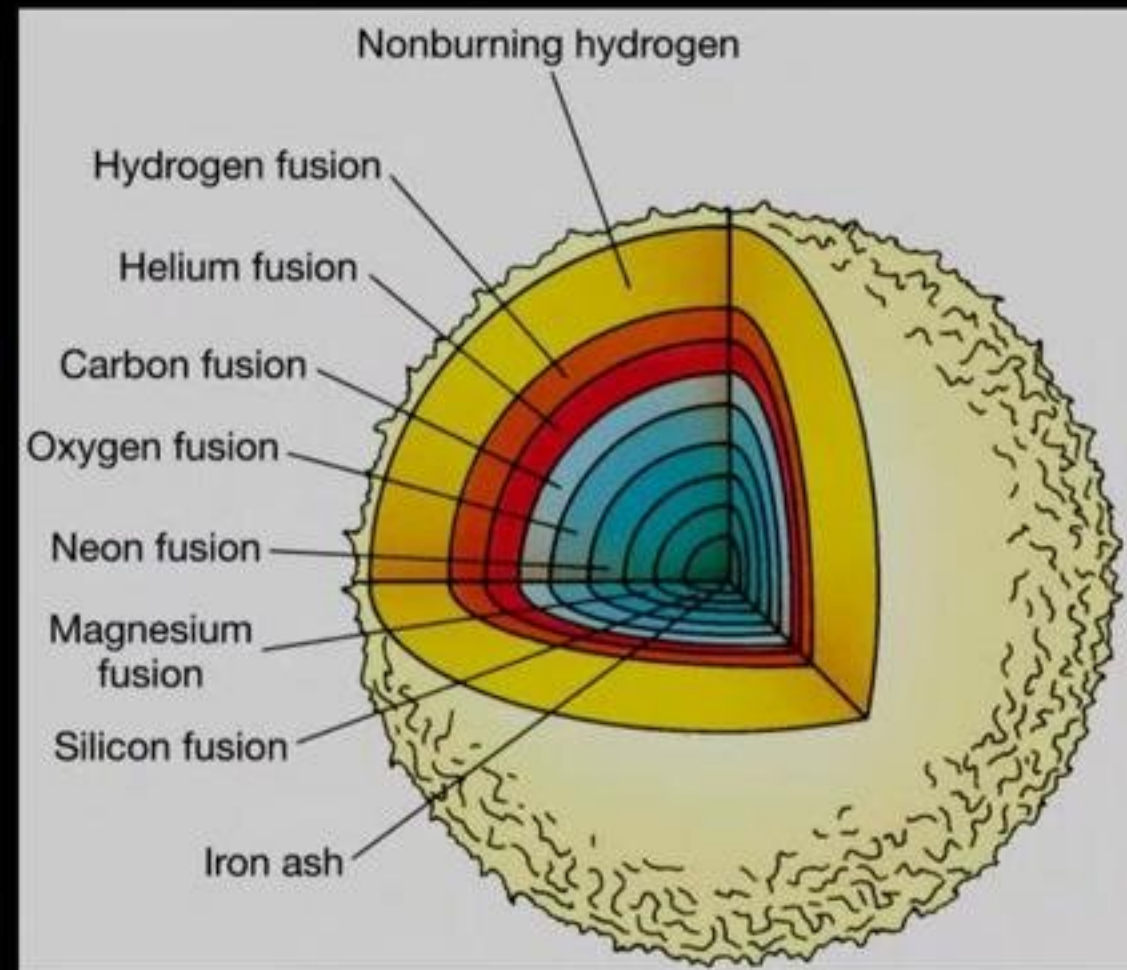




Processo	Combustibile principale	Prodotti principali	Parametri fisici		
			Temp. nucleo (K)	g/cm ³	Durata (Anni)
ciclo CNO e catena protone-protone	idrogeno	He	7×10^7	10	10^7
processo tre alfa	elio	C, O	2×10^8	2000	10^6
fusione del carbonio	carbonio	Ne, Na, Mg, Al	8×10^8	10^6	10^3
fusione del neon	neon	O, Mg	$1,6 \times 10^9$	10^7	3
fusione dell'ossigeno	ossigeno	Si, S, Ar, Ca	$1,8 \times 10^9$	10^7	0,3
fusione del silicio	silicio	^{56}Ni , ^{56}Co (decadono in ^{56}Fe)	$2,5 \times 10^9$	10^8	0,05

Produzione del ferro e arresto della fusione

L'“escalation” della fusione di elementi sempre più pesanti si ferma quando nel nucleo viene sintetizzato il FERRO: per fondere, infatti, il ferro *assorbe* energia anziché produrla



L'esito è il collasso della stella e l'esplosione come
supernova



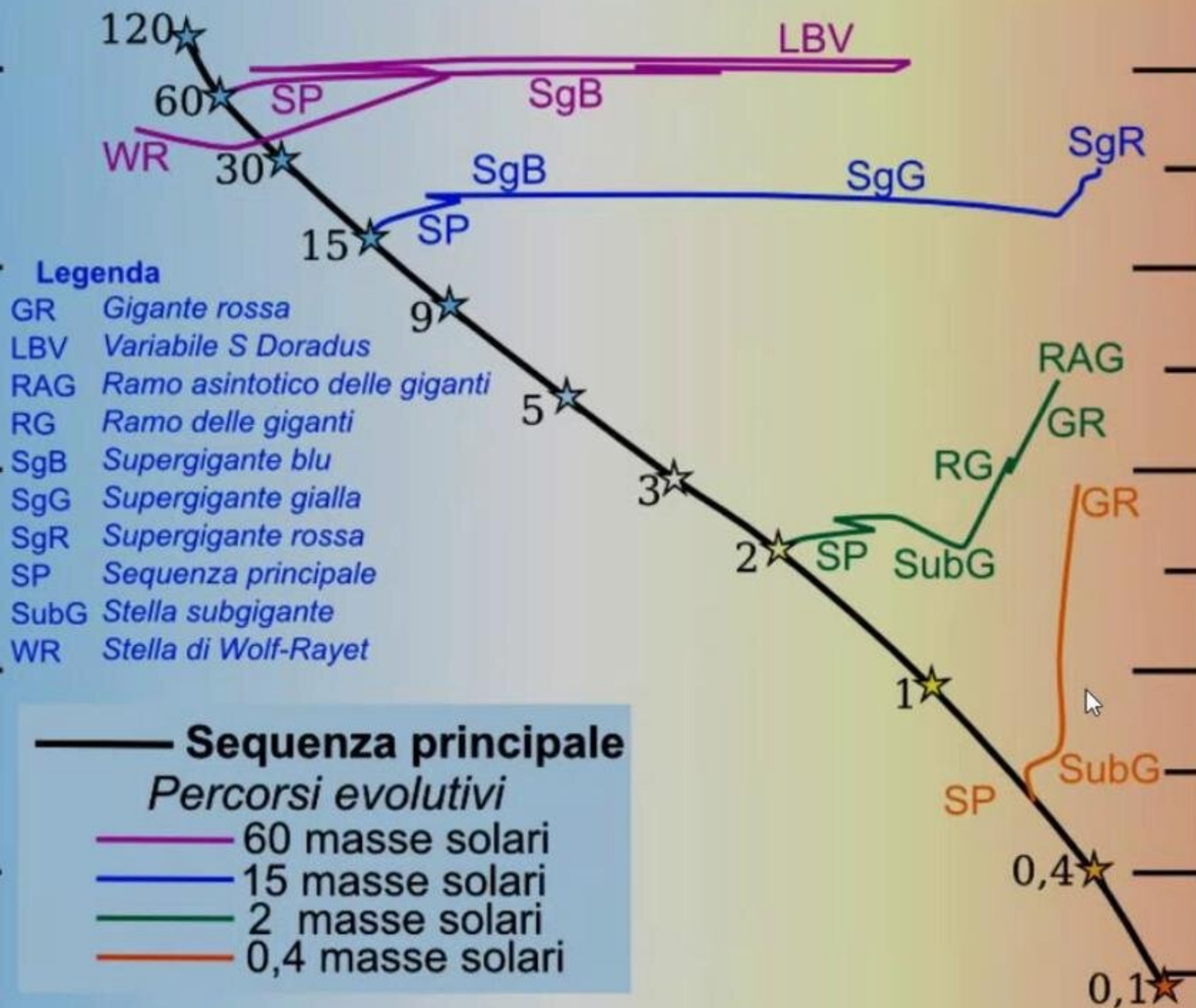
Una supernova è decine di miliardi di volte più luminosa del Sole

																		Noble gases ↓ 18 8A					
																		Halogens ↓ 17 7A					
Alkaline earth metals 1 1A																		13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	2 He	
1 H																		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
Alkali metals	3 Li	4 Be	Transition metals										13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar					
	11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12											
	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr					
	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe					
	55 Cs	56 Ba	57 La*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn					
	87 Fr	88 Ra	89 Ac†	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub											

*Lanthanides

†Actinides

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr



New supernova in M82



Messier 82 Supernova

January 3, 2014



January 22, 2014



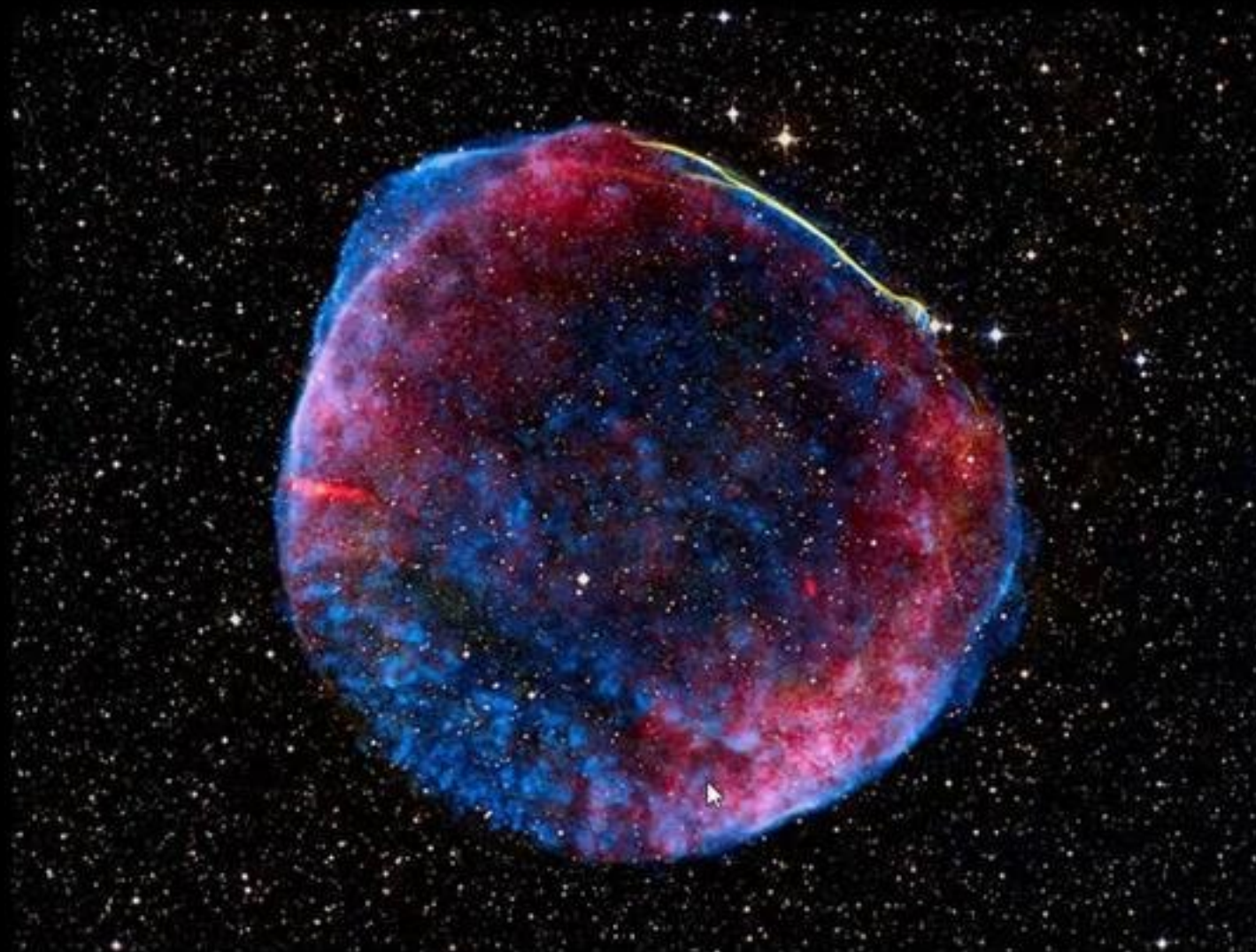


SN 2011fe

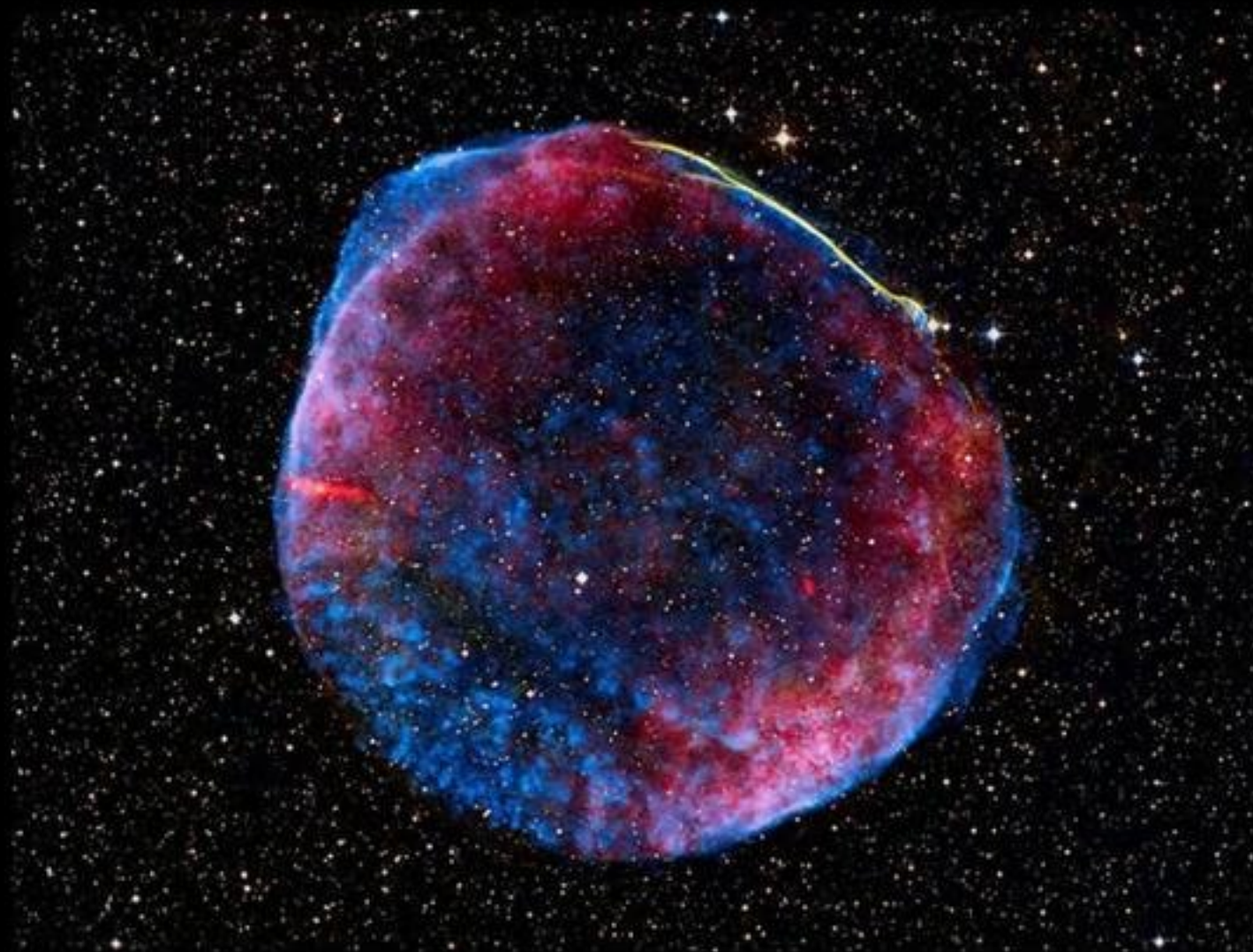


SN 1006, l'evento stellare con magnitudine apparente più brillante di cui esistano registrazioni storiche. Costellazione del Lupo tra il 30 aprile e il 1 maggio del 1006. Fu descritta da osservatori in Svizzera, Egitto, Iraq, Cina e Giappone





SN 1006, l'evento stellare con magnitudine apparente più brillante di cui esistano registrazioni storiche. Costellazione del Lupo tra il 30 aprile e il 1 maggio del 1006. Fu descritta da osservatori in Svizzera, Egitto, Iraq, Cina e Giappone



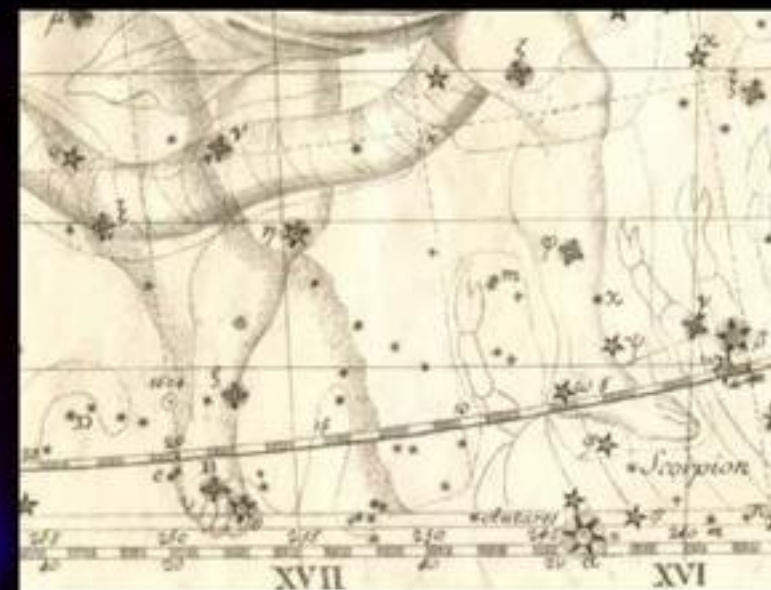
SN 1006, l'evento stellare con magnitudine apparente più brillante di cui esistano registrazioni storiche. Costellazione del Lupo tra il 30 aprile e il 1 maggio del 1006. Fu descritta da osservatori in Svizzera, Egitto, Iraq, Cina e Giappone





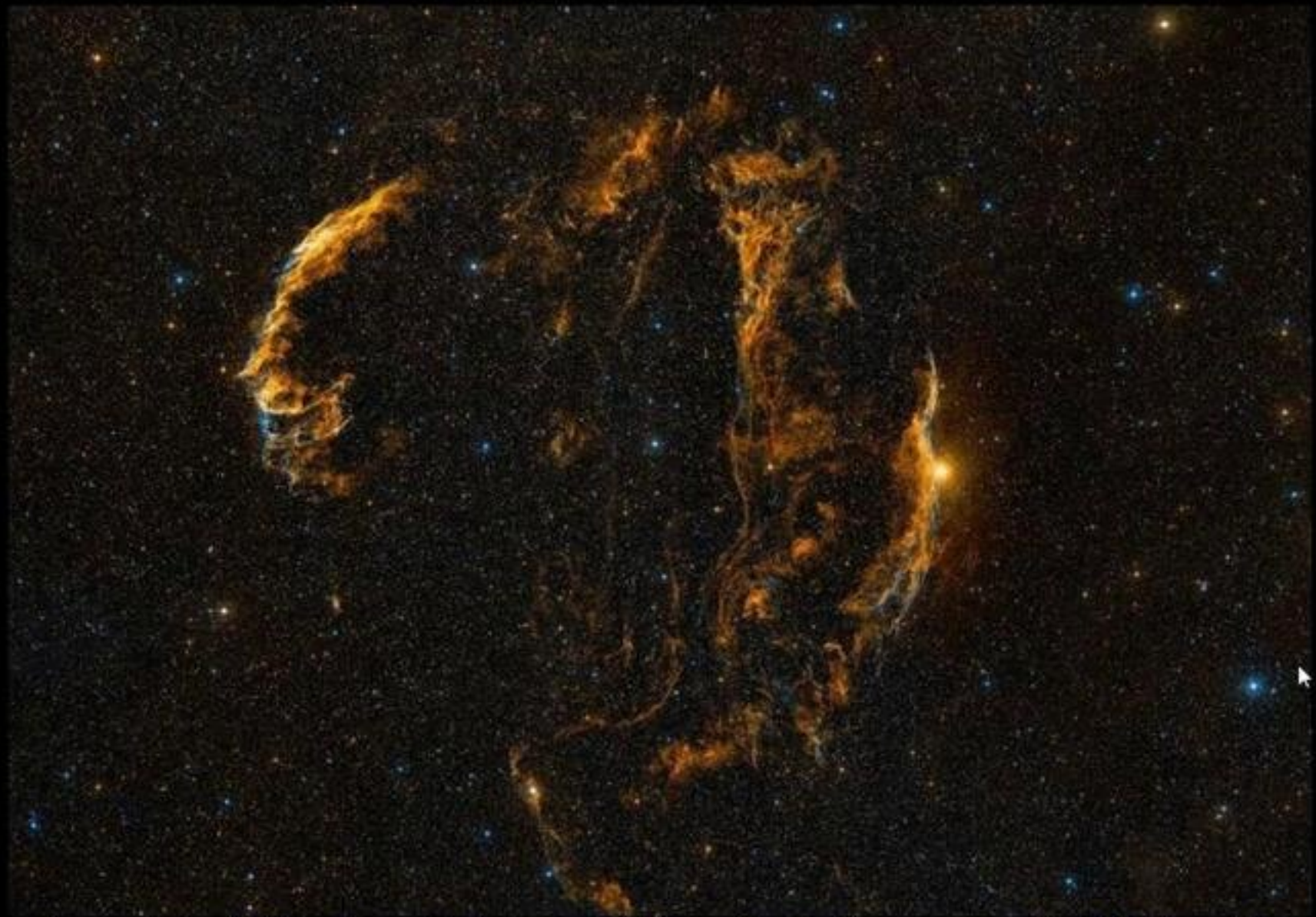
Supernova 1572, conosciuta anche come la Supernova di Tycho, "B Cassiopeiae"



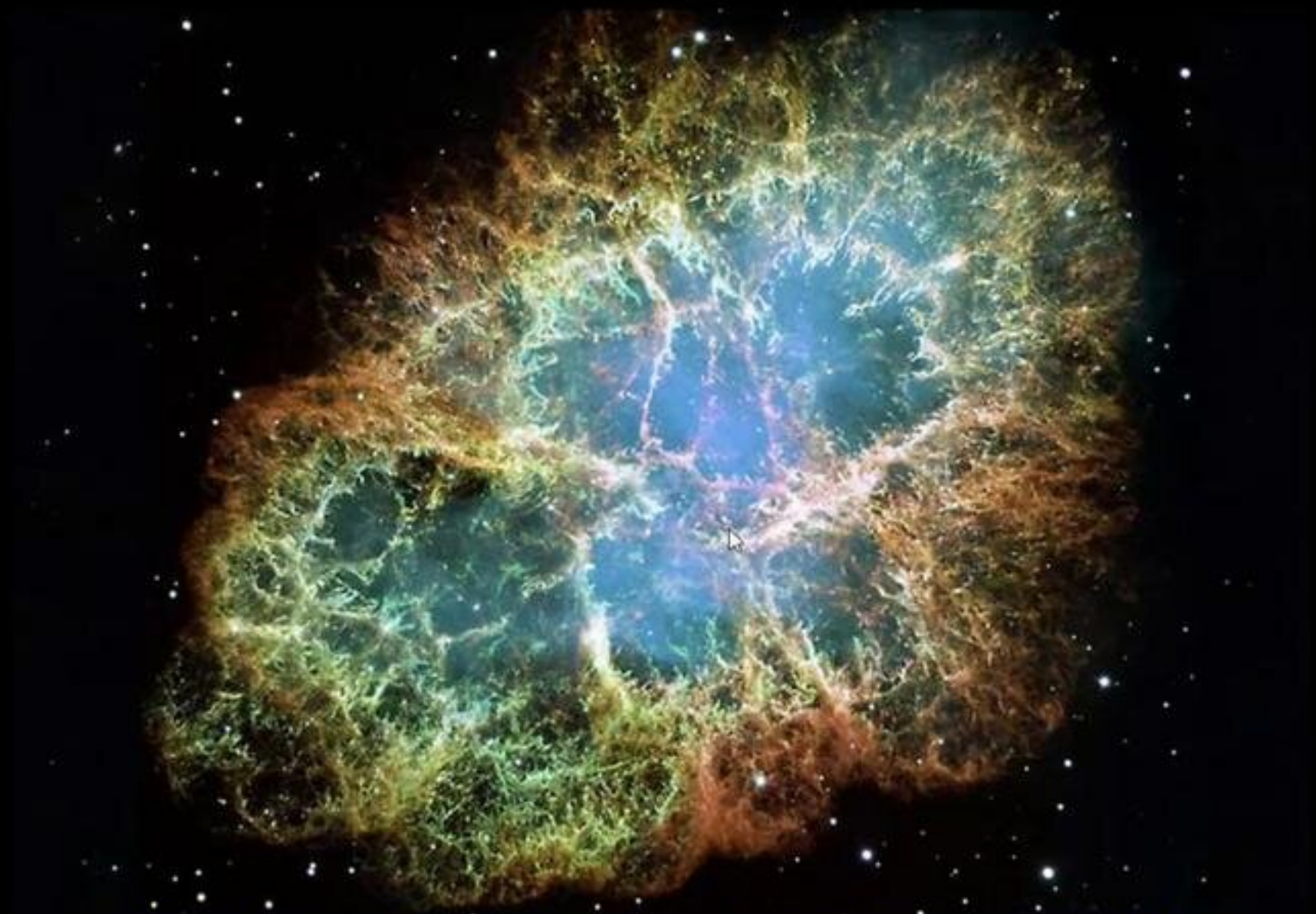


SN1604, "Supernova di Keplero" nell'Ofiuco ("In Pede Serpentarii").
È l'ultima supernova osservata nella nostra galassia. Dista meno di 20.000 anni luce

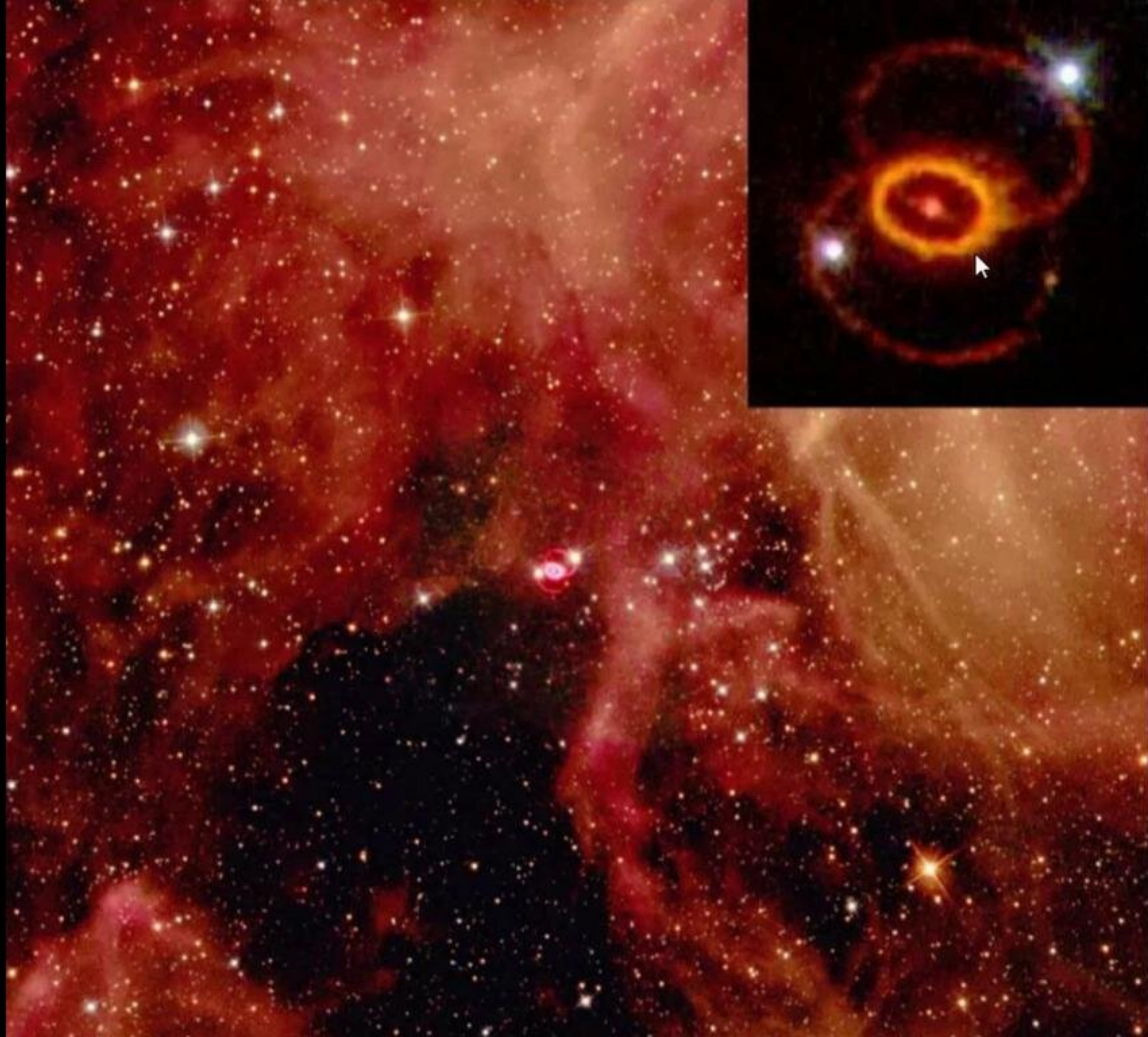




I meravigliosi Veli nella costellazione del Cigno. Resto di supernova di ~15000 anni fa



M1, la *Nebulosa del Granchio* (nel Toro). Resto della supernova del 1054,





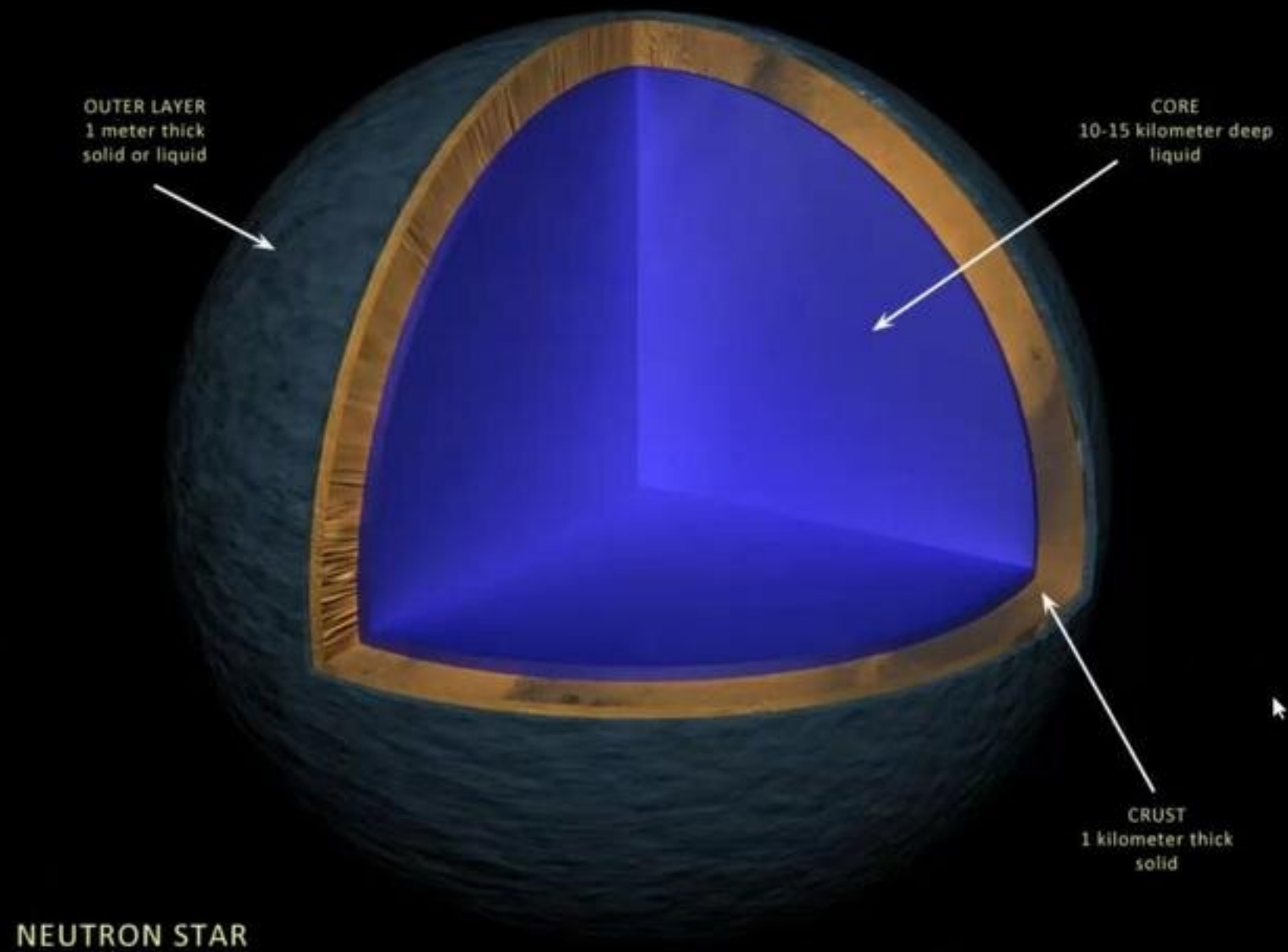
Le stelle di neutroni



Le stelle di neutroni

- Grandi una decina di Km e pesanti almeno 1,4 volte il Sole e non più di 3,4 volte
- Gravità pari a $\sim 100.000^2$ volte quella del Sole
- Densità pari a $\sim 100.000^3$ volte quella del Sole
- Ruotano fino a 1000 volte al secondo
- È composta di “neutronio”
- Campo magnetico da 10^{10} a 10^{14} (*magnetar*) volte quello terrestre

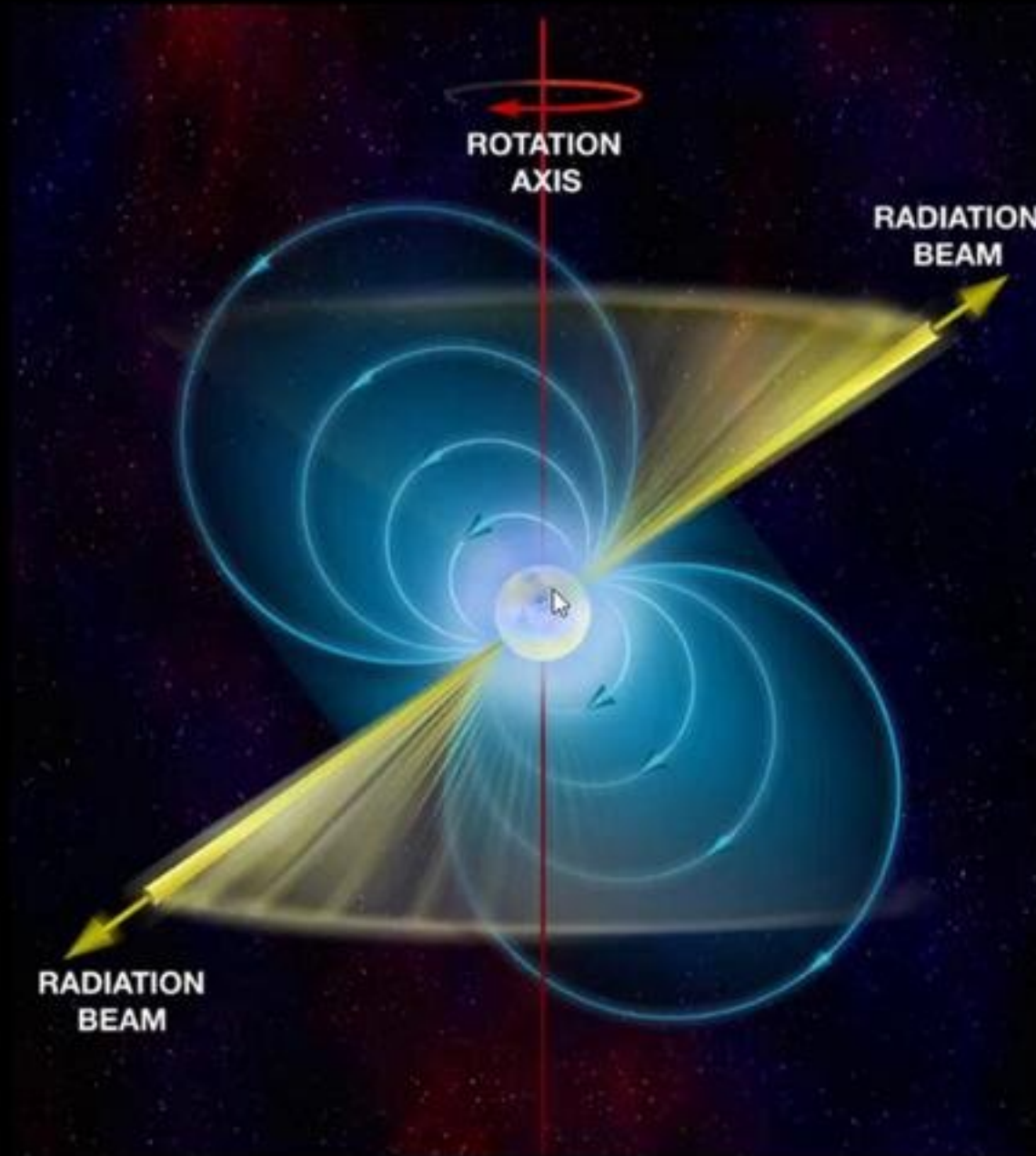




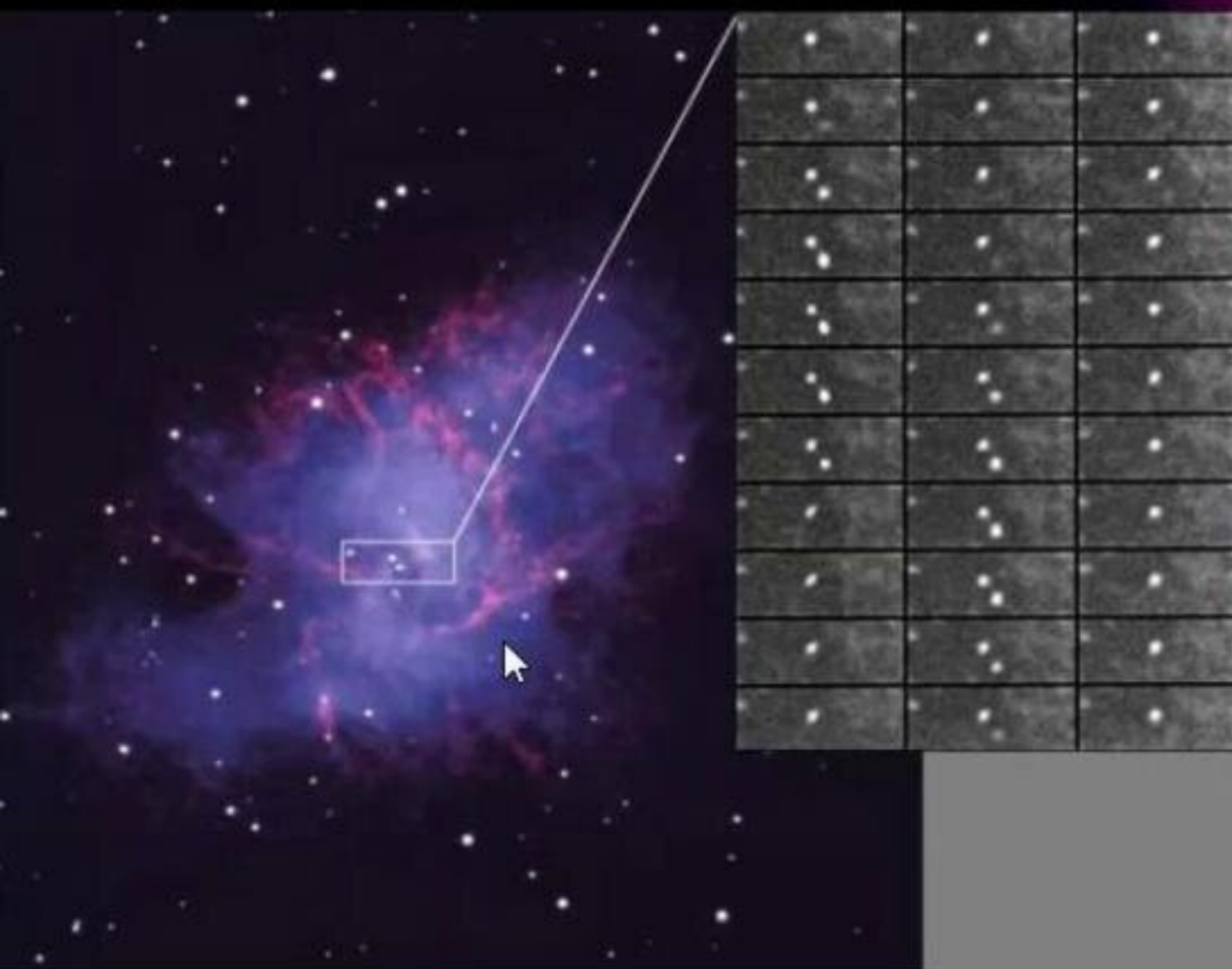




Su di una stella di neutroni il potenziale gravitazionale è

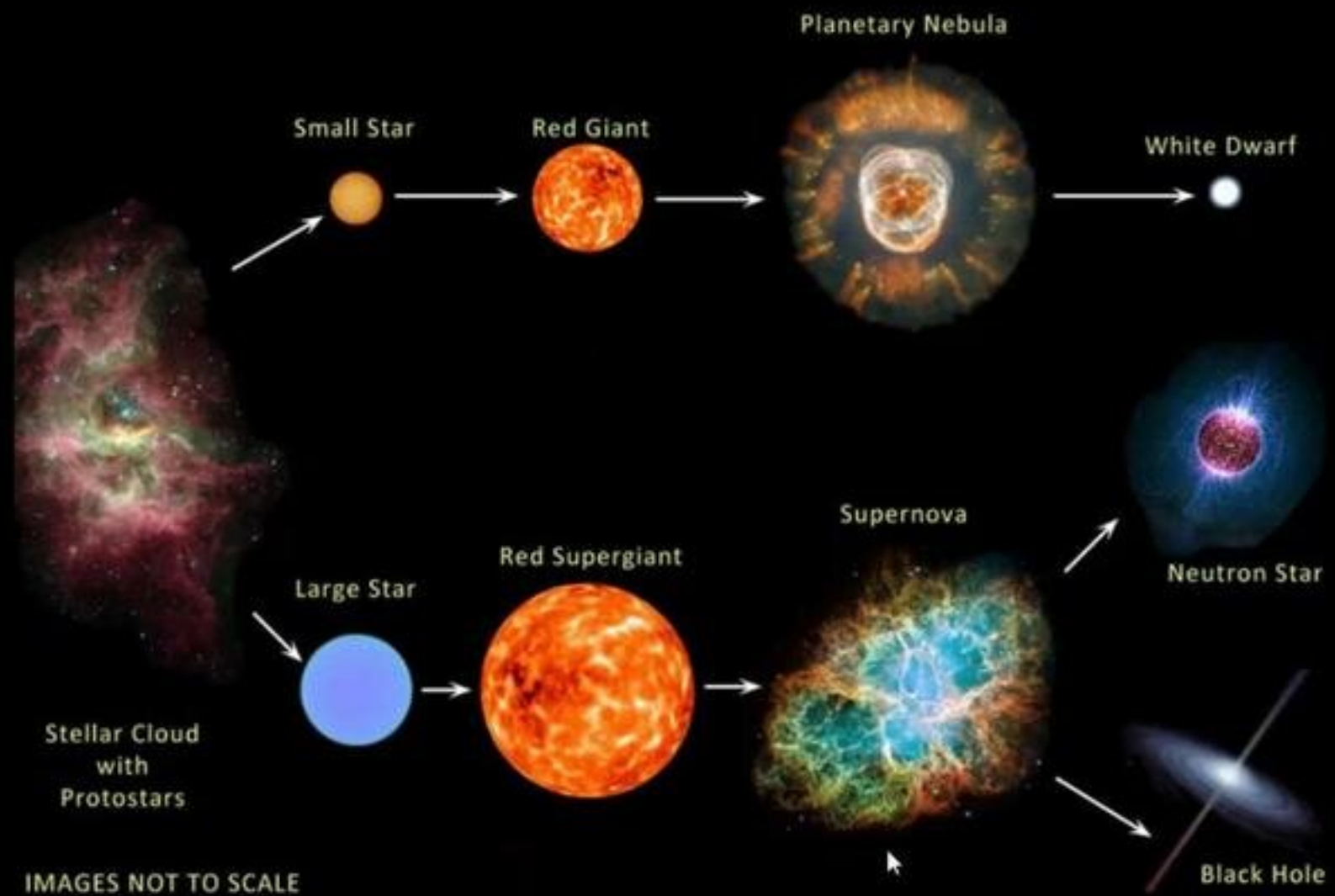


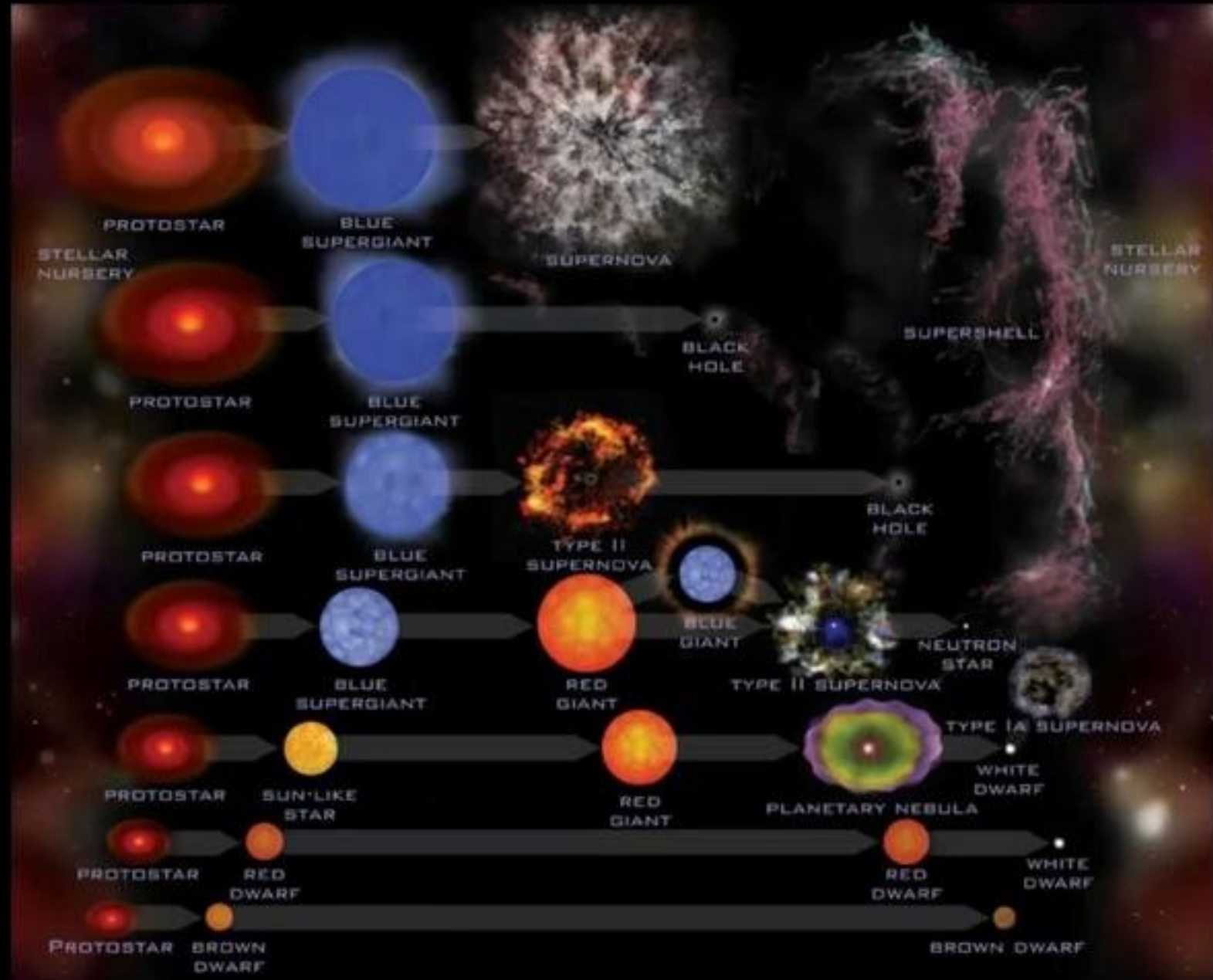
La nebulosa M1 e la sua pulsar



Frequenza: 33 millisecondi,
cioè compie 30 giri al secondo

EVOLUTION OF STARS





Il buco nero

- Oltre circa 3,4 volte la massa solare, la stella di neutroni collassa ulteriormente

Il buco nero

- Oltre circa 3,4 volte la massa solare, la stella di neutroni collassa ulteriormente

Il buco nero

- Oltre circa 3,4 volte la massa solare, la stella di neutroni collassa ulteriormente
- *La gravità aumenta finchè la velocità di fuga supera la velocità della luce (conceziome classica del BN)*
- Attorno all'astro collassato si forma l' "orizzonte degli eventi" posto al raggio di Schwarzschild $2GM/c^2$
- Il BN conserva massa, momento angolare e campo magnetico della stella



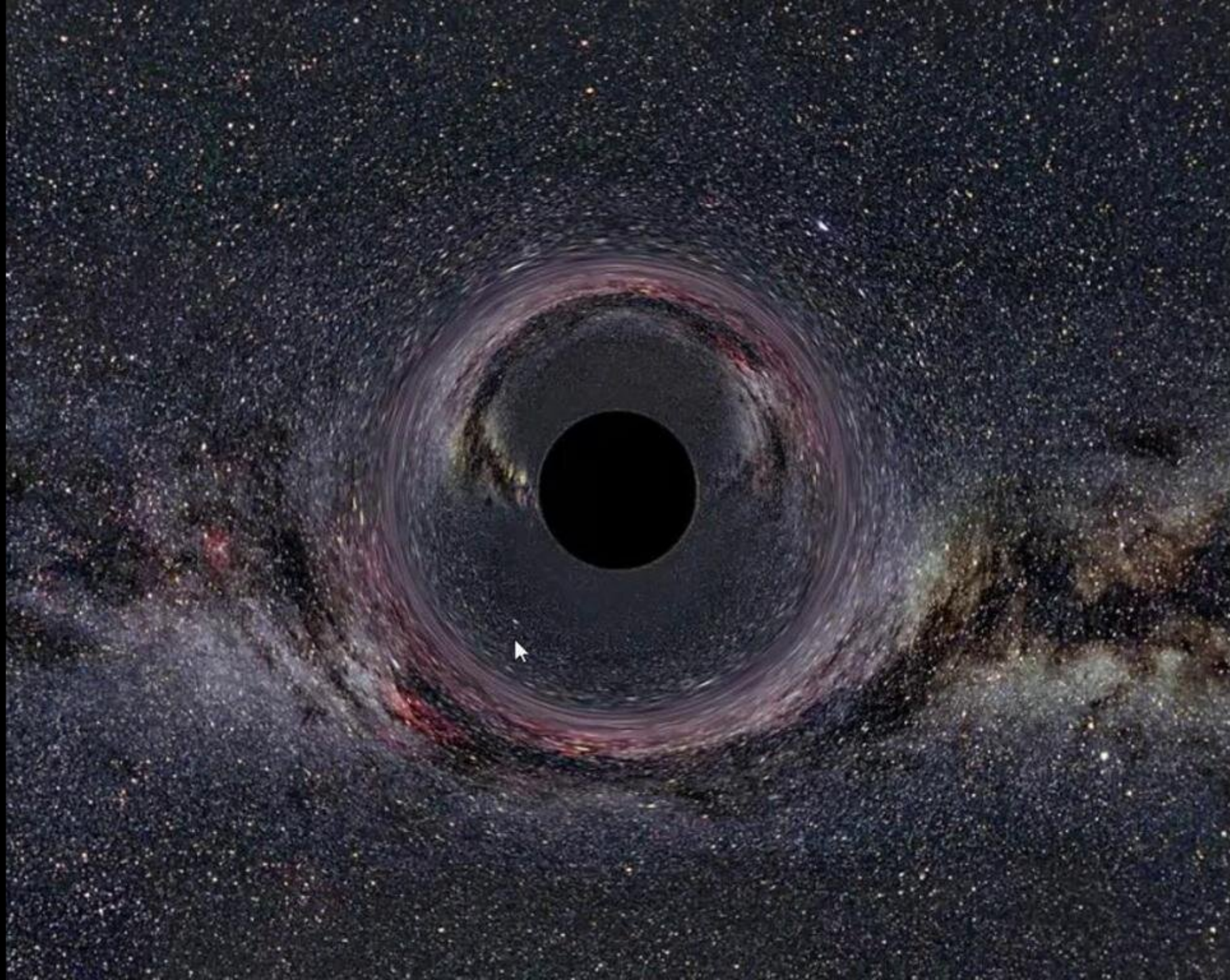
Possibili buchi neri di massa stellare nella nostra Galassia

Nome	Massa del buco nero ($M_{\odot}$)	Massa del compagno stellare ($M_{\odot}$)	Periodo orbitale (giorni)	Distanza dalla Terra (anni luce)
A0620-00	9-13	2,6-2,8	0,33	~ 3500
GRO J1655-40	6-6,5	2,6-2,8	2,8	5000-10000
XTE J1118+480	6,4-7,2	6-6,5	0,17	6200
Cyg X-1	7-13	≥ 18	5,6	6000-8000
GRO J0422+32	3-5	1,1	0,21	~ 8500
GS 2000+25	7-8	4,9-5,1	0,35	~ 8800
V404 Cyg	10-14	6,0	6,5	~ 10000
GX 339-4		5-6	1,75	~ 15000
GRS 1124-683	6,5-8,2		0,43	~ 17000
XTE J1550-564	10-11	6,0-7,5	1,5	~ 17000
XTE J1819-254	10-18	~3	2,8	< 25000
4U 1543-475	8-10	0,25	1,1	~ 24000
GRS 1915+105	>14	~1	33,5	~ 40000
XTE J1650-500	$3,8 \pm 0,5$	.	0.32	.
Gaia BH1	9,6	0,95	185,59	1560



Possibili buchi neri di massa stellare nella nostra Galassia

	Massa del buco nero ($M_{\odot}$)	Massa del compagno stellare ($M_{\odot}$)	Periodo orbitale (giorni)	Distanza Terra (anni luce)
	9–13	2,6–2,8	0,33	~ 3500
5–40	6–6,5	2,6–2,8	2,8	5000–10000
3+480	6,4–7,2	6–6,5	0,17	6200
	7–13	≥ 18	5,6	6000–8000
2+32	3–5	1,1	0,21	~ 8500
25	7–8	4,9–5,1	0,35	~ 8800
	10–14	6,0	6,5	~ 10000
		5–6	1,75	~ 15000
–683	6,5–8,2		0,43	~ 17000
0–564	10–11	6,0–7,5	1,5	~ 17000
9–254	10–18	~3	2,8	< 25000
75	8–10	0,25	1,1	~ 24000
6+105	>14	~1	33,5	~ 40000
0–500	$3,8 \pm 0,5$	.	0.32	.
	9,6	0,95	185,59	1560





Buchi neri supermassicci

Sono il più grande tipo di buco nero, con una massa milioni o miliardi di volte superiore a quella del Sole.

Si ritiene che quasi tutte le galassie, inclusa la nostra Via Lattea, contengano un buco nero supermassiccio al loro centro

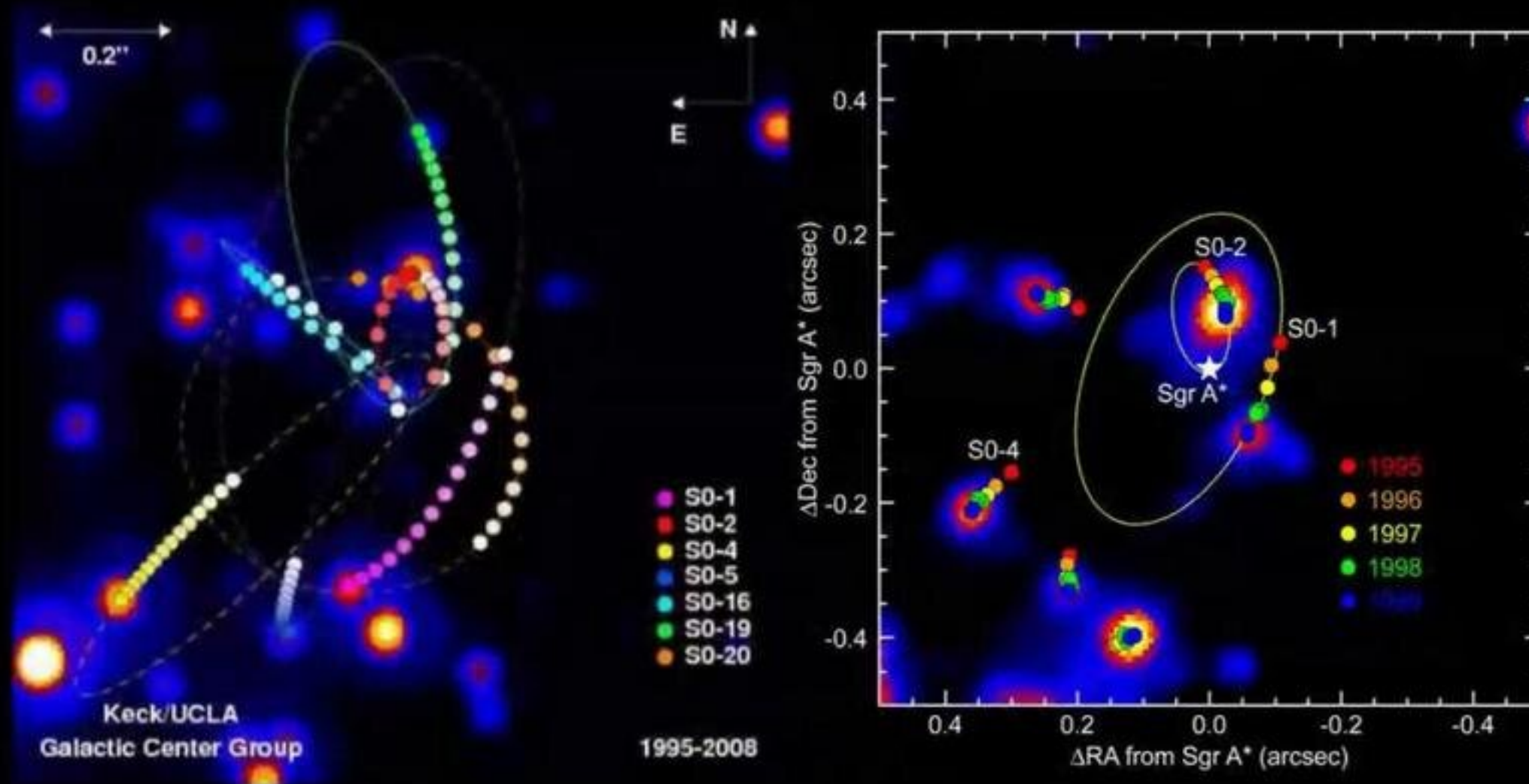


Immagine multipla del quasar J1131-1231 nella costellazione del Cratere ottenuta dalla combinazione di immagini in ottico e in X (telescopi spaziali Hubble e Chandra).

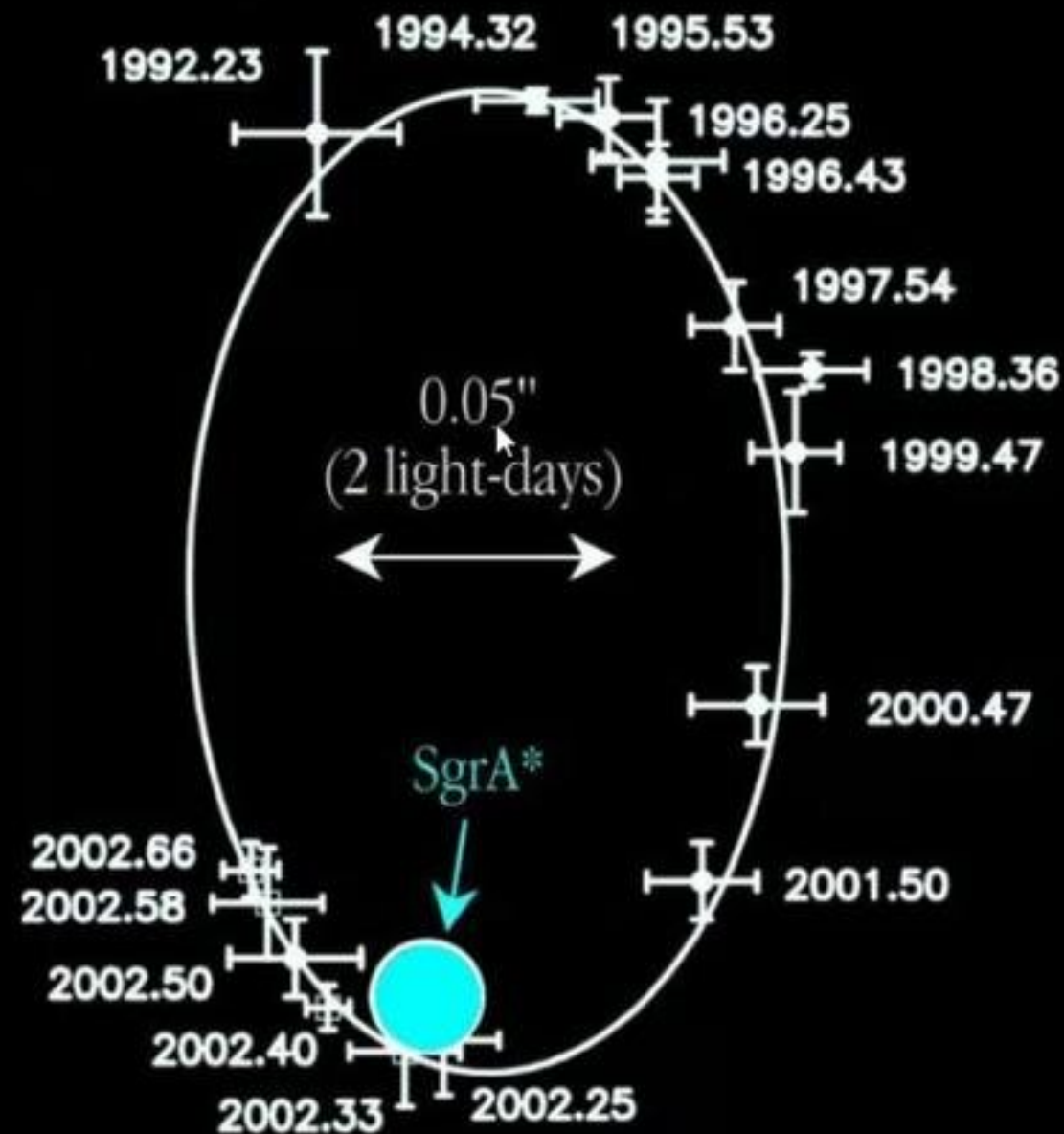
Distanza: 6,1 miliardi di anni luce ($z=0,658$).

La galassia ellittica che fa da lente dista 3,8 miliardi di anni luce ($z=0,295$)

Il buco nero della sorgente 1RXSJ113151.6–123158 ruota all'87% della velocità massima teorica



Il buco nero supermassiccio situato al centro della nostra Galassia coincide con la radiosorgente Sagittarius A*, a 26.000 anni luce dal Sistema Solare, pesa circa 4,1 milioni di masse solari ed ha un diametro inferiore a quello dell'orbita di Urano (6 ore luce).



Il compimento di
un'orbita completa
da parte di una
stella attorno al
BN centrale della
nostra galassia



Ground



HST

Disk around a Black Hole in Galaxy NGC 7052
Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

PRC98-22 • June 18, 1998 • ST ScI OPO • R. P. van der Marel (ST ScI), F. C. van den Bosch (University of Washington) and NASA

Accademia delle Stelle

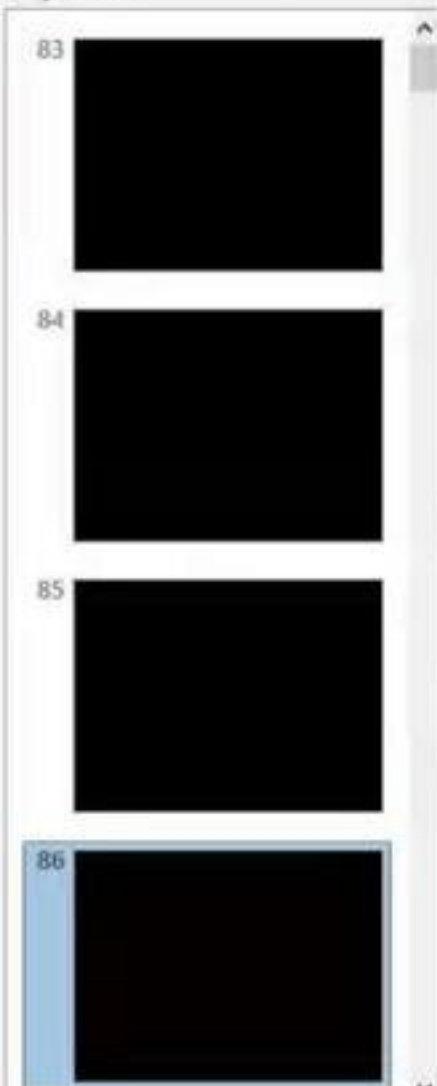
Corso di Astronomia

Le galassie





Diapositive



Normale Struttura Note Stampati Ordine diapositive



Proprietà

Testo

Paragrafo

Immagine

Luminosità: 0 % Contrasto: 0 %

Modalità colore: 0 % 0 % 0 %

Trasparenza: 0 % 0,10

Linea

Larghezza: Colore:

Stile: Trasparenza:

Freccia:

Stile angolo Stile capo:

Posizione e dimensione...

