Associazione Culturale L'Alveare

"... E QUINDI USCIMMO A RIVEDER LE STELLE"

Altavilla Silentina, 23/12/2007

Tema della serata:

Dal big bang ai buchi neri

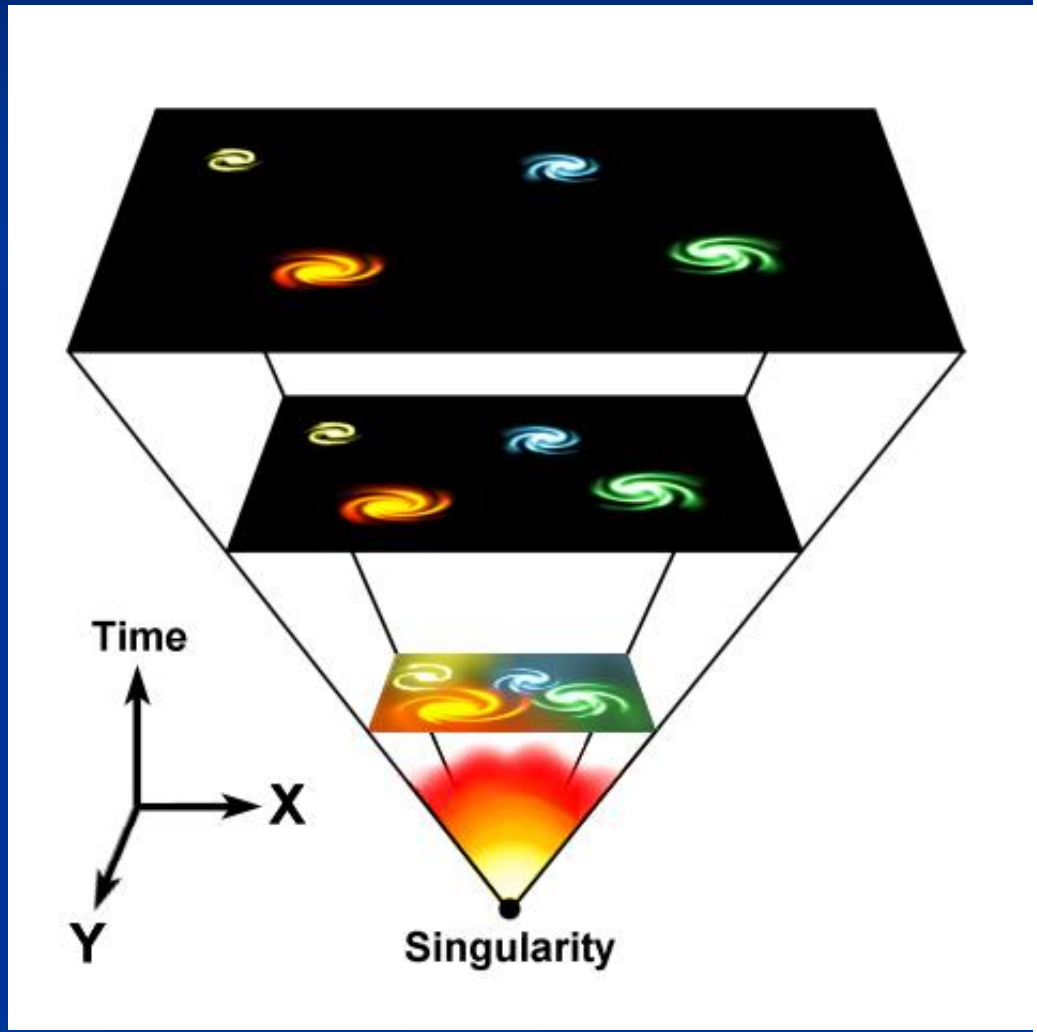
- Cosmologia.
- Big bang.
- Big bang: cronologia degli eventi.
- Evoluzione stellare.
- Galassie.

Cosmologia:

- La cosmologia è la scienza che ha come oggetto di studio l'Universo nel suo insieme, ed in particolare ne vuole spiegare l'origine e l'evoluzione.
- La cosmologia ha le sue radici storiche nella narrazioni religiose riguardo l'origine di tutte le cose (cosmogonia) e nei grandi sistemi filosofici (vedi ad es. il sistema tolemaico). Oggigiorno la cosmologia è una scienza che fa principalmente parte dell'astronomia, correlandosi con l'astrofisica, la fisica delle particelle, la relatività generale e altre discipline.

Big bang

In cosmologia, la teoria del big Bang (1927) è la teoria scientifica predominante sui primi istanti dell'Universo e alla sua forma. I fondamentali di questa teoria affermano che l'osservazione di galassie, che appaiono allontanarsi l'una dall'altra, può essere combinata con la teoria della relatività generale, per estrapolare le condizioni dell'Universo primordiale. Questo porta alla conclusione che, andando indietro nel tempo, l'Universo diventa sempre più caldo e denso.



Big bang

- In astrofisica, il termine big bang è usato: per indicare l'intervallo di tempo situato a circa 13,7 miliardi di anni fa.
- Indica, nel senso più generale, un ipotetico punto, chiamato singolarità gravitazionale, nel quale iniziò l'espansione dell'Universo osservata oggi.

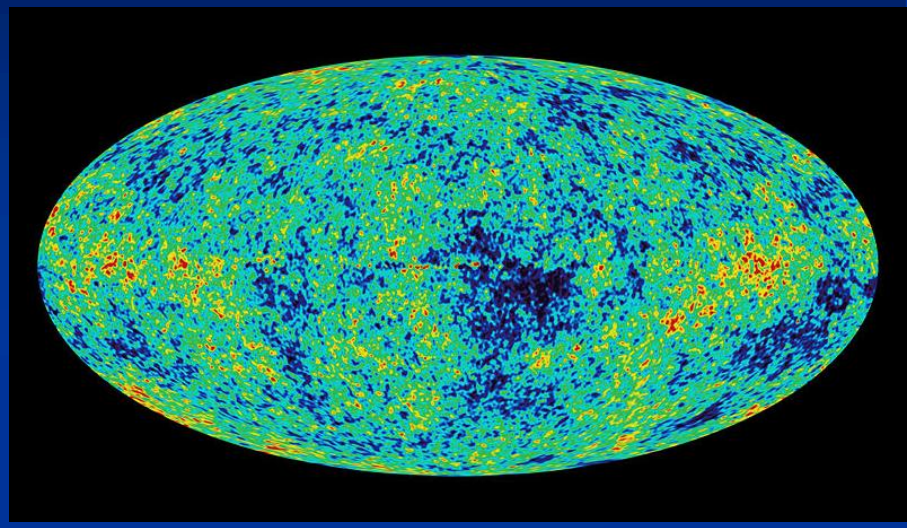
Big bang:

errori comuni nell'interpretazione della teoria

- L'universo al Big Bang non è esploso nello spazio, ma il Big Bang ha creato lo spazio.
- La luce delle galassie remote è rossa perché lo spazio si dilata, e non per effetto Doppler.
- La distanza tra la mia testa e i miei piedi non si dilata, così come distanza corrispondente a scale più piccole delle dimensioni degli ammassi di galassie (circa 10 Mpc), ma solo su scale maggiori.

Big bang: pro e contro

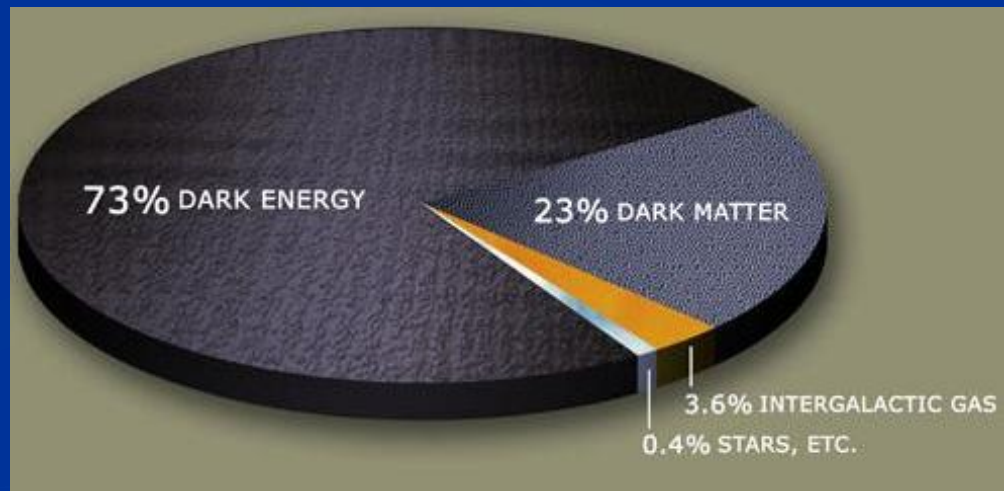
- Radiazione di fondo: si intende generalmente la è ritenuta essere il residuo termico del big bang. Fu ipotizzata nel 1940 e scoperta nel 1964.



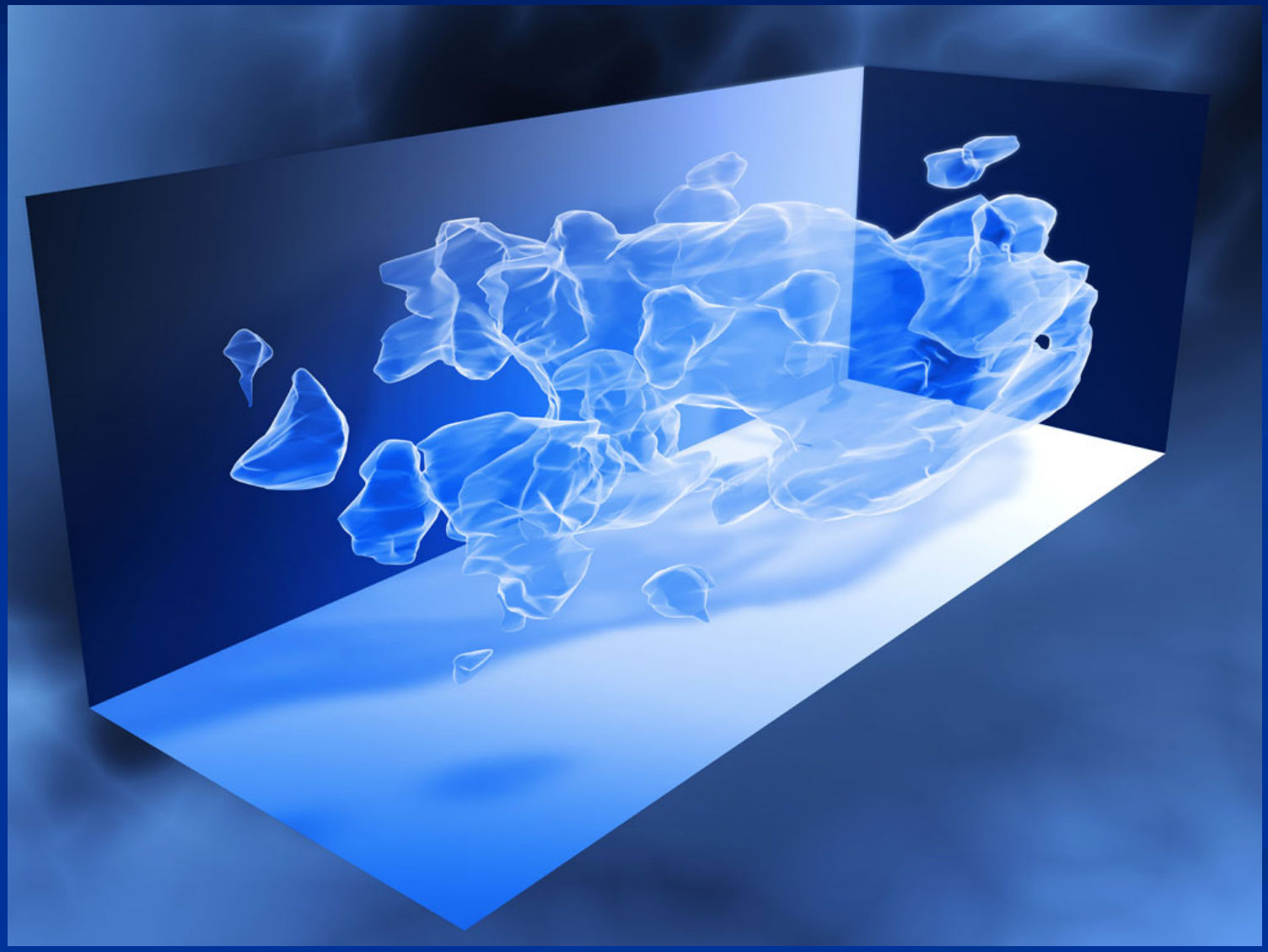
Radiazione di fondo

- Allontanamento delle galassie.
- Oggetti lontani appaiono arrossati.

- Materia oscura (problema dell'alone e delle galassie nane)



Big bang



Ricostruzione grafica della distribuzione della materia oscura

Big bang: cronologia degli eventi

- Una domanda senza risposta è perché sia accaduto un big bang.
- Una delle principali teorie fisiche che spiega l'inizio dell'Universo è l'inflazione.
- Cosmologi hanno suddiviso la "storia" dell'Universo in 9 ere, che variano da poche frazioni di secondo a miliardi di anni.

Big bang:
cronologia degli eventi - era di Planck

Nessuna delle attuali teorie fisiche può descrivere cosa sia accaduto nell'era di Planck. In questa era le quattro forze fondamentali (elettromagnetica, nucleare debole, nucleare forte e gravità) hanno la stessa intensità, e sono forse unificate in una sola forza fondamentale. Si conosce poco di questo periodo, e diverse teorie forniscono diverse previsioni.

Big bang: cronologia degli eventi – era della grande unificazione

- Diametro dell'Universo: ?
- Temperatura: ? K°
- Tempo dopo il Big Bang: 10^{-43} s
  (0,000000000000000000000000000000000001 s)

Durante questa era pre-inflazionaria, dopo il Big Bang, le forze fondamentali, eccetto la gravità, erano unite in una sola "superforza" costituita dalla forza elettromagnetica e dalle forze nucleari debole e forte.

Big bang:
cronologia degli eventi - era dell'inflazione

- Diametro dell'Universo: 10^{-26} metri
- Temperatura: 10^{27} K°
- Tempo dopo il Big Bang: 10^{-35} s

Nell'era dell'inflazione, ci fu una rapida ma drastica espansione dell'Universo. L'energia sotto forma di radiazione liberata diede origine a coppie particella-antiparticella, che si annichilirono istantaneamente. Una fluttuazione quantistica, tuttavia, potrebbe aver portato ad un leggero eccesso di particelle rispetto alle antiparticelle, eccesso responsabile della materia presente nell'Universo attuale.

Big bang:
cronologia degli eventi - era elettrodebole

- Diametro dell'Universo: 10 metri
- Temperatura: 10^{27} K°
- Tempo dopo il Big Bang: 10^{-32} s

Si separa l'interazione forte da quella debole, determinando la formazione di gluoni e di coppie quarck-antiquark dalla radiazione liberatasi in seguito all'inflazione.

Big bang:
cronologia degli eventi - fine dell'era elettrodebole

- Diametro dell'Universo: 10^{12} m
- Temperatura: 10^{15} K°
- Tempo dopo il Big Bang: 10^{-9}s

La forza elettrodebole si separò interazione debole ed elettromagnetica.

Big bang:
cronologia degli eventi - l'era degli adroni

- Diametro dell'Universo: 10^{11} Km
- Temperatura: 10^{13} K°
- Tempo dopo il Big Bang: 10^{-6} s

Durante l'era degli adroni, l'energia termica divenne sufficientemente bassa da consentire l'interazione fra quark mediante la forza forte. I quark e gli antiquark si legarono così a formare i primi adroni (protoni, neutroni, pioni, kauoni).

Big bang:
cronologia degli eventi - l'era della nucleosintesi

- Diametro dell'Universo: > 10^{12} Km
- Temperatura: 10^{10} K°
- Tempo dopo il Big Bang: 10^{2} s

In questa era, la maggior parte dei neutroni decaddero in protoni. L'energia si abbassò tanto da permettere ai nucleoni di legarsi, così si formarono i primi nuclei di elio ed idrogeno.

Big bang:
cronologia degli eventi - l'era dell'opacità

- Diametro dell'Universo: 10- 10^4 Al
- Temperatura: 10^6 K°
- Tempo dopo il Big Bang: 2 *10^2 s

In questa era, l'energia calò abbastanza da permettere la manifestazione dell'interazione elettromagnetica. Le particelle cariche interagivano fra loro formando i primi atomi, soprattutto di idrogeno, elio, litio. Alla fine dell'era dell'opacità, la temperatura calò abbastanza da ridurre la produzione di coppie quarck-antiquark.

Big bang:
cronologia degli eventi - l'era della materia

- Diametro dell'Universo: 10^8 Al
- Temperatura: $3*10^3$ K°
- Tempo dopo il Big Bang: $3*10^5$ Y

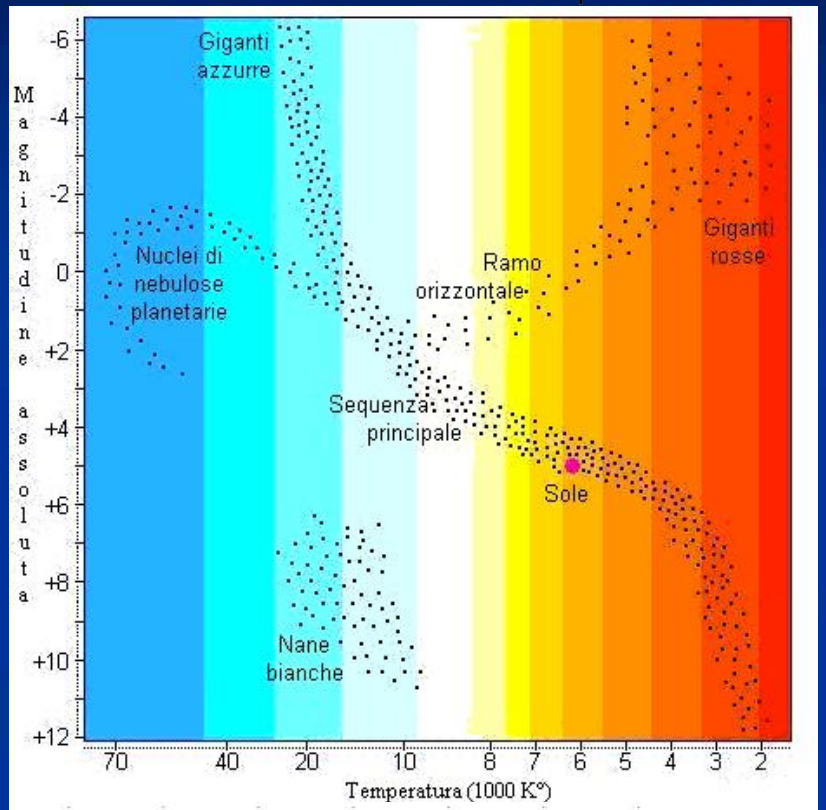
Nell'era della materia, i fotoni rimasti dall'era dell'inflazione si diffusero in tutto l'Universo, formando la radiazione cosmica di fondo presente anche nell'Universo attuale. L'intera materia era per lo più costituita da atomi leggeri ed elettroni. L'era della materia perdura ancora da circa 13,7 miliardi di anni.

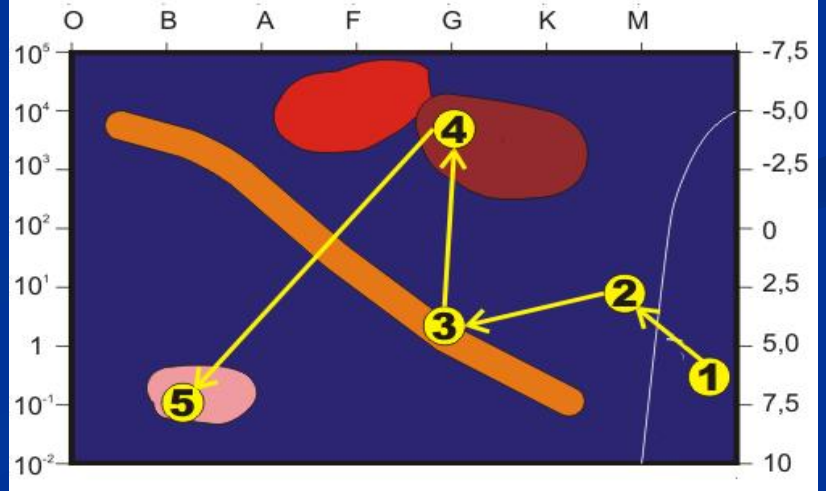
Big bang: possibili destini per l'Universo

- **Big crunch:** l'Universo smetterà di espandersi ed inizierà a collassare su se stesso. Tale ipotesi sostiene che se la forza di gravità di tutta la materia nell'orizzonte osservabile è abbastanza grande, allora essa può fermare l'espansione dell'Universo, e in seguito invertirla.
- **Big rip:** prevede una continua accelerazione dell'espansione dell'Universo. Il valore da considerare è w, il rapporto tra la pressione dell'energia oscura e la sua densità. Se $w < -1$, l'Universo verrà alla fine frantumato. Il conto alla rovescia sarebbe catastrofico: prima le galassie verrebbero separate le une dalle altre, poi la gravità sarebbe troppo debole per tenerle assieme e le stelle si separeranno. Circa tre mesi prima della fine, i pianeti si separerebbero dalle stelle. Negli ultimi minuti, le stelle e i pianeti sarebbero disintegrati, e gli atomi verrebbero distrutti una frazione di secondo prima della fine. In seguito, l'Universo sarebbe ridotto ad una serie di particelle elementari isolate le une dalle altre, in cui ogni attività sarebbe impossibile. Hanno calcolato che il momento finale sarebbe tra venti miliardi d'anni.
- **Morte termica:** la temperatura dell'intero universo in questo scenario sarebbe molto vicina allo zero assoluto. Non c'è energia libera per creare e sostenere la "vita". L'Universo raggiunge il massimo del disordine (massima entropia).

Evoluzione stellare

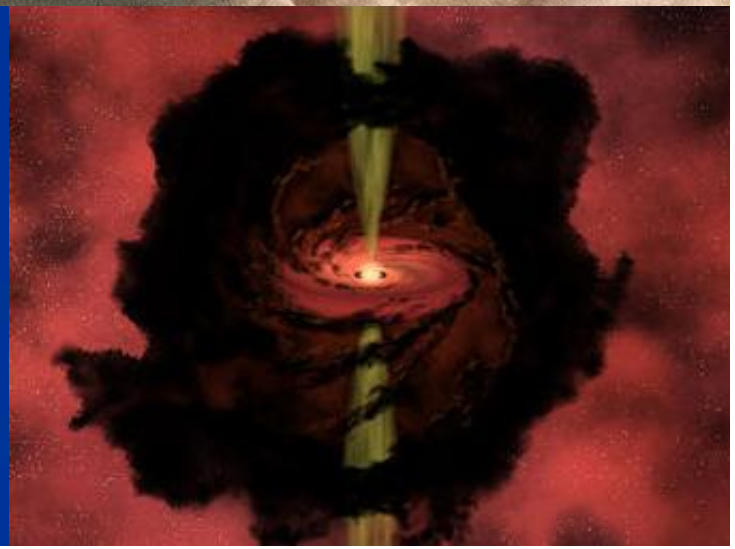
In astronomia, col termine evoluzione stellare ci si riferisce ai cambiamenti che una stella sperimenta durante la sua vita. Durante l'evoluzione di una stella, la luminosità, il raggio e la temperatura cambiano anche di molto. Uno strumento fondamentale per gli astronomi, al fine di comprendere l'evoluzione stellare, è il diagramma Hertzsprung-Russell che, riportando temperatura e luminosità permette di sapere in che fase della vita si trova una stella. A seconda della massa, dell'età e della composizione chimica, i processi fisici in atto in una stella sono differenti e queste differenze portano stelle con caratteristiche diverse a seguire differenti percorsi evolutivi sul diagramma H-R.





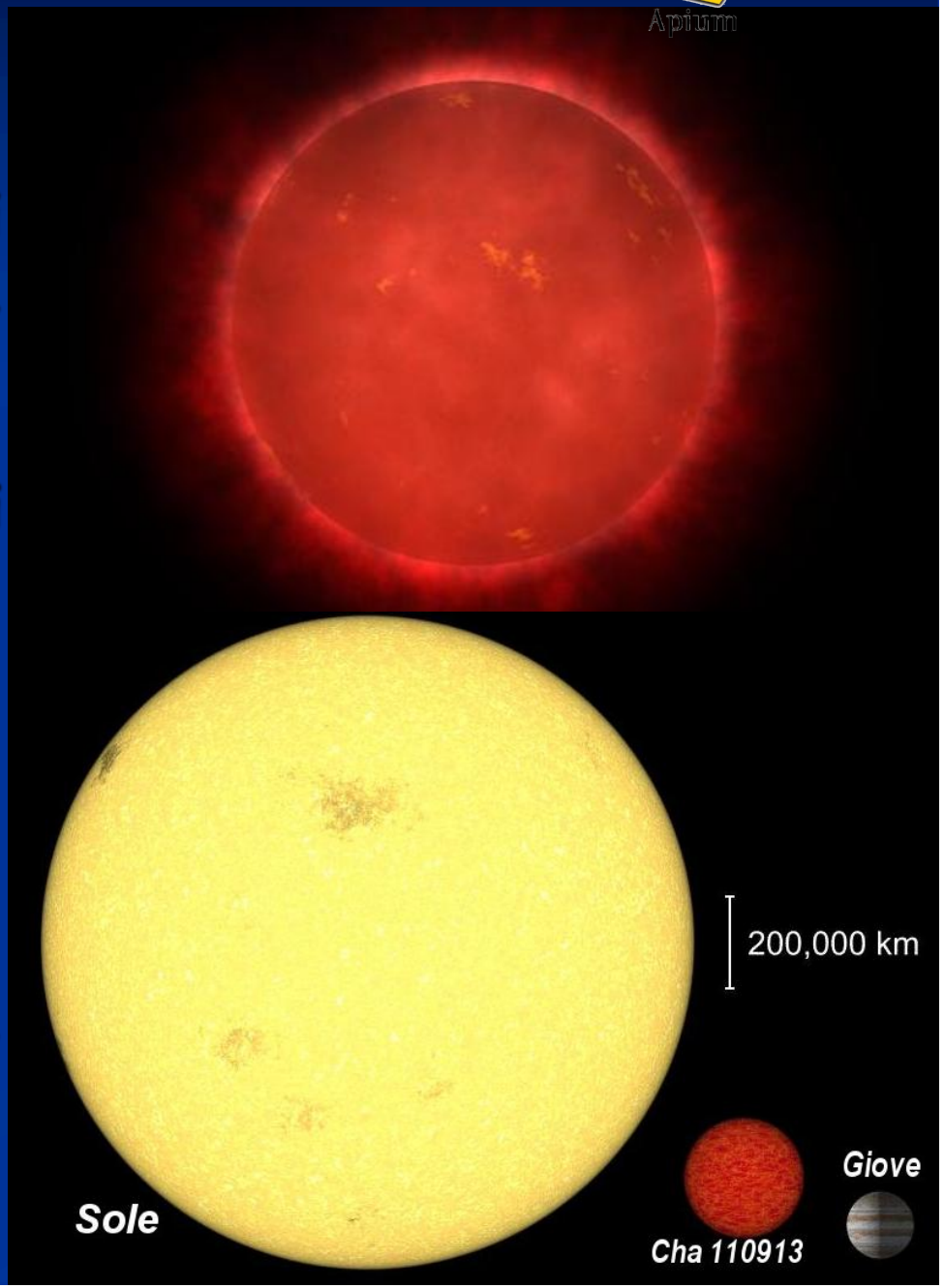
Evoluzione stellare: la nascita

La maggior parte dello spazio vuoto dentro ad una galassia contiene in realtà da 0,1 a 1 atomi per cm^3 . La nube ne contiene invece alcune centinaia (un buon tubo a vuoto terrestre ne contiene più di 100.000). Nonostante questa bassissima densità, una nube molecolare gigante contiene da 100.000 a dieci milioni di volte la massa del nostro Sole, grazie al fatto di essere appunto gigante: da 50 a 300 Al di diametro. Se però la nube viene perturbata, parte della materia della nube viene compressa. Quando questa parte compressa raggiunge una densità di almeno 100.000 atomi cm^3 la gravità inizia a farsi sentire, e la materia inizia ad accumularsi per formare alla fine una protostella. Ogni regione densa produrrà da una a decine di migliaia di stelle, a seconda della sua grandezza. Gli atomi che si accumulano guadagnano velocità mentre cadono verso il centro, riscaldando la protostella e facendole emettere una debole radiazione infrarossa.



Evoluzione stellare: la nascita

In alcune protostelle, le più piccole, la contrazione rimane l'unica fonte di energia. Queste protostelle diventano delle semplici sfere di gas inerte, le nane brune, all'inizio calde ma non abbastanza, e destinate a morire lentamente mentre si raffreddano nel corso di centinaia di miliardi di anni. Questa è la sorte che attende ogni protostella la cui massa sia inferiore a 0,07 volte quella del Sole (equivalente a 80 volte la massa del pianeta Giove). Tale protostella, se abbastanza piccola, può anche essere considerata un grosso pianeta.



Evoluzione stellare: la nascita

Se la protostella è più grande, la temperatura del suo nucleo aumenta a Sufficienza (si calcola che la soglia minima sia a circa 15 MK°) da permettere agli elettroni di separarsi dai nuclei degli atomi. I nuclei acquistano abbastanza energia cinetica per vincere la repulsione Coulombiana, unendosi a formare un nucleo composto. Si è innescata la fusione nucleare, che riscalderà la stella per tutta la sua vita. In questa prima fase, che durerà in genere per il 90% della vita della stella, l'idrogeno si fonde per diventare elio, usando la catena protone-protone (per le stelle più piccole, come il nostro Sole), o il ciclo carbonio azoto (per le stelle più calde). La fusione nucleare libera un enorme quantitativo di energia, pari allo 0,7% dell'energia di massa a riposo degli atomi interessati (questa energia è calcolabile con la famosa equazione di Einstein $E= mc^2$). L'energia liberata aumenta la pressione del gas, che riesce a sostenere il peso degli strati esterni e ferma la contrazione della protostella. Questa si trova adesso in equilibrio idrostacico, una condizione che resterà stabile finché la fusione nucleare potrà continuare. Una volta che una protostella ha raggiunto questo stato di equilibrio viene considerata come stella.

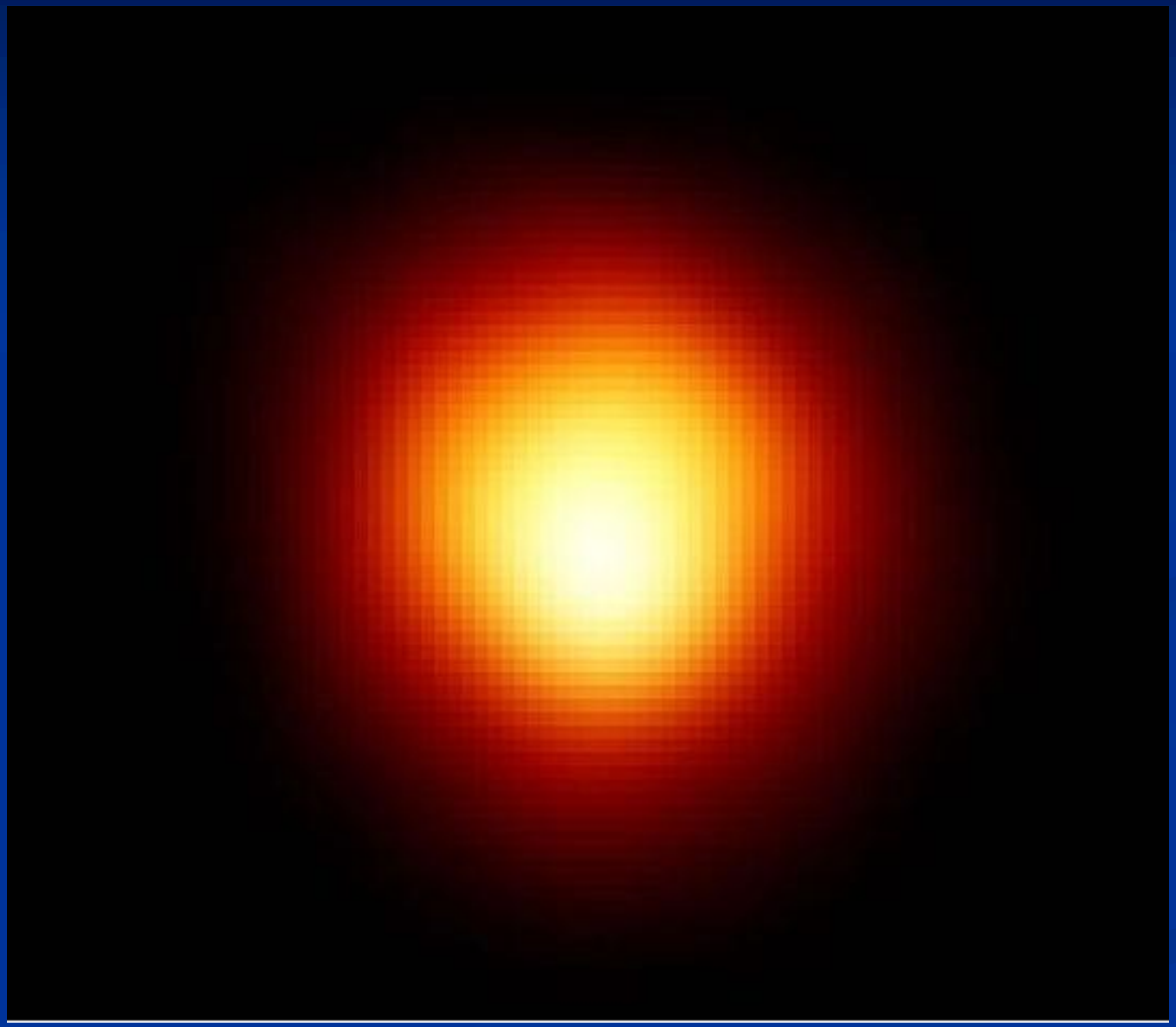
Evoluzione stellare: la maturità

- Le nuove stelle sono di varie dimensioni e colori. Vanno dal blu al rosso, da un decimo a 50 volte la massa del Sole. La luminosità e il colore di una stella dipendono dalla sua temperatura superficiale, che a sua volta dipende dalla massa. Il resto della vita della stella sarà una lotta tra la gravità, che vuole comprimere la stella su sé stessa, e l'energia liberata dalla fusione dentro il suo nucleo, che vuole invece farla espandere.
- Una nuova stella finirà per posizionarsi in un punto della sequenza principale del diagramma H-R. Resterà all'incirca nello stesso punto per quasi tutta la sua vita: alcuni milioni di anni per le stelle più grandi e calde, alcuni miliardi di anni per le stelle medie come il Sole, e decine o centinaia di miliardi di anni per le nane rosse. Quale che sia la loro dimensione, le stelle della sequenza principale consumano l'idrogeno del loro nucleo convertendolo in elio. Dopo un tempo breve o lungo, l'idrogeno è comunque destinato a finire.

Evoluzione stellare: l'inizio della fine

Dopo milioni o miliardi di anni, a seconda della massa iniziale, la stella finisce il suo combustibile principale, l'idrogeno. Quando il nucleo della stella si trova con una carenza di idrogeno, la fusione nucleare cessa. Senza la pressione creata dall'energia della fusione, la gravità prende il sopravvento e gli strati esterni della stella iniziano a cadere verso il centro, comprimendo il nucleo e riscaldandolo, esattamente come durante la formazione della stella. Quando il nucleo raggiunge i 200 milioni di gradi, è possibile usare l'elio come combustibile per un nuovo ciclo di fusione nucleare, e il nucleo cessa di contrarsi. Nel frattempo, la fusione dell'idrogeno continua negli strati esterni al nucleo, adesso riscaldati a sufficienza, e la stella è costretta ad espandersi per far fronte a questa nuova iniezione di energia. La stella diventa una gigante rossa, decine o anche centinaia di volte più grande di prima, e molto più luminosa. Il nostro Sole raggiungerà questo stadio tra circa 5 miliardi di anni, e diventerà così grande da poter forse inglobare la Terra. Il destino finale della stella dipende, come sempre, dalla sua massa.

Evoluzione stellare: l'inizio della fine

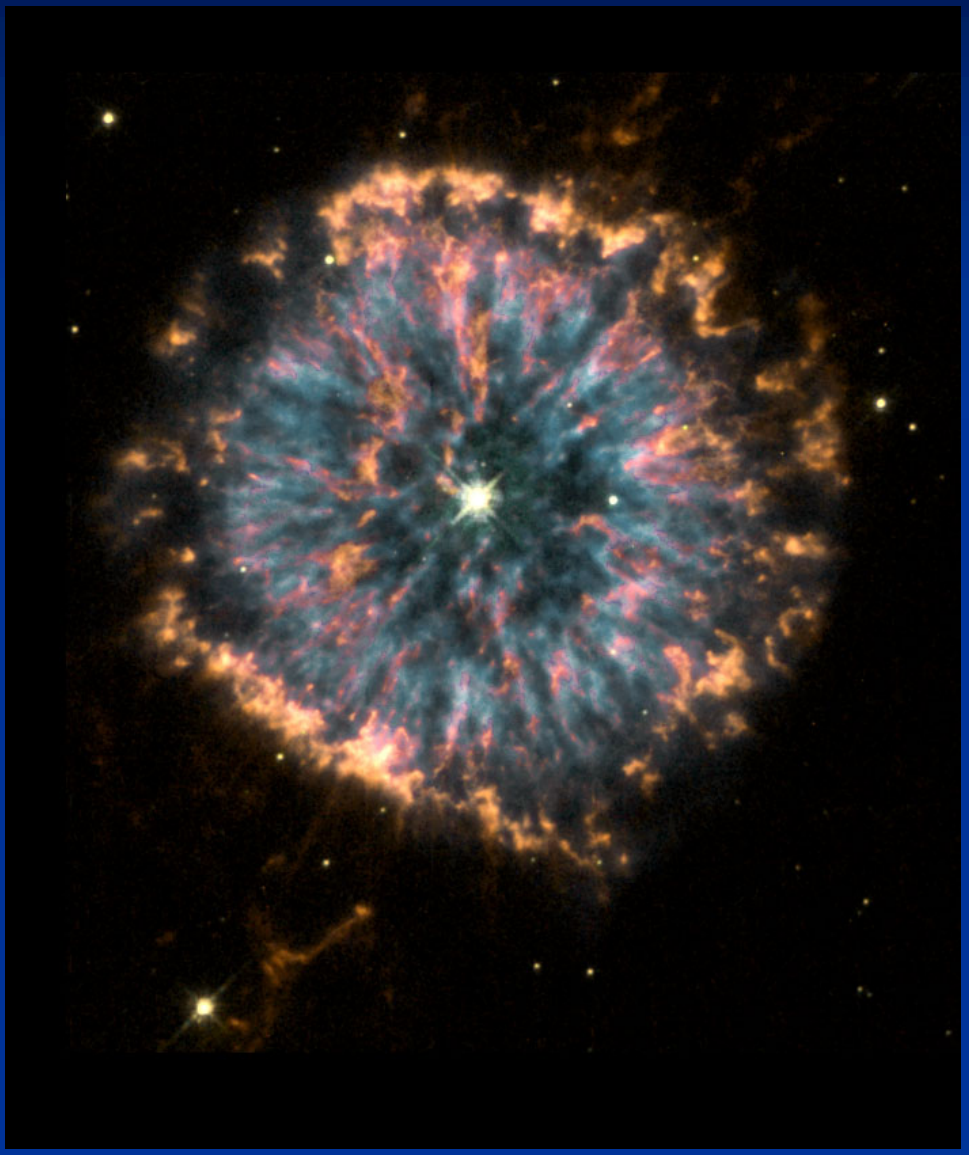


La gigante rossa Alfa Orionis o Betelgeuse

Evoluzione stellare: la fine delle stelle piccole

Quando una stella piccola, non più di tre o quattro volte il Sole, raggiunge la fase di gigante rossa, i suoi strati esterni si espandono, il nucleo si contrae, e l'idrogeno inizia a fondere e formare elio non più nella zona centrale, ma in un guscio esterno al nucleo. La piccola massa della stella non può riscaldarla a sufficienza per fondere anche il nucleo di elio, formatosi nelle fasi precedenti. Il nucleo è adesso stabile e inerte. Il trasferimento della fusione nucleare agli strati esterni fa gonfiare la stella come un palloncino e risulta alla fine nell'espulsione di questi strati, formando una nebulosa planetaria. Si calcola che la maggior parte della stella, anche l'80%, venga espulso nello spazio. Il rimanente 20% rimane dov'era e la stella, privata di ogni fonte di energia, si raffredda e rimpicciolisce finché non è grande solo qualche migliaio di chilometri. È diventata una nana bianca. Le nane bianche sono estremamente stabili, perché la forza di gravità è contrastata dalla pressione degli elettroni. Senza altre fonti di energia, la nana bianca si raffredda lentamente irradiando il suo calore residuo nello spazio, finché, dopo molti miliardi di anni, sarà diventata una nana nera.

Evoluzione stellare:
la fine delle stelle piccole

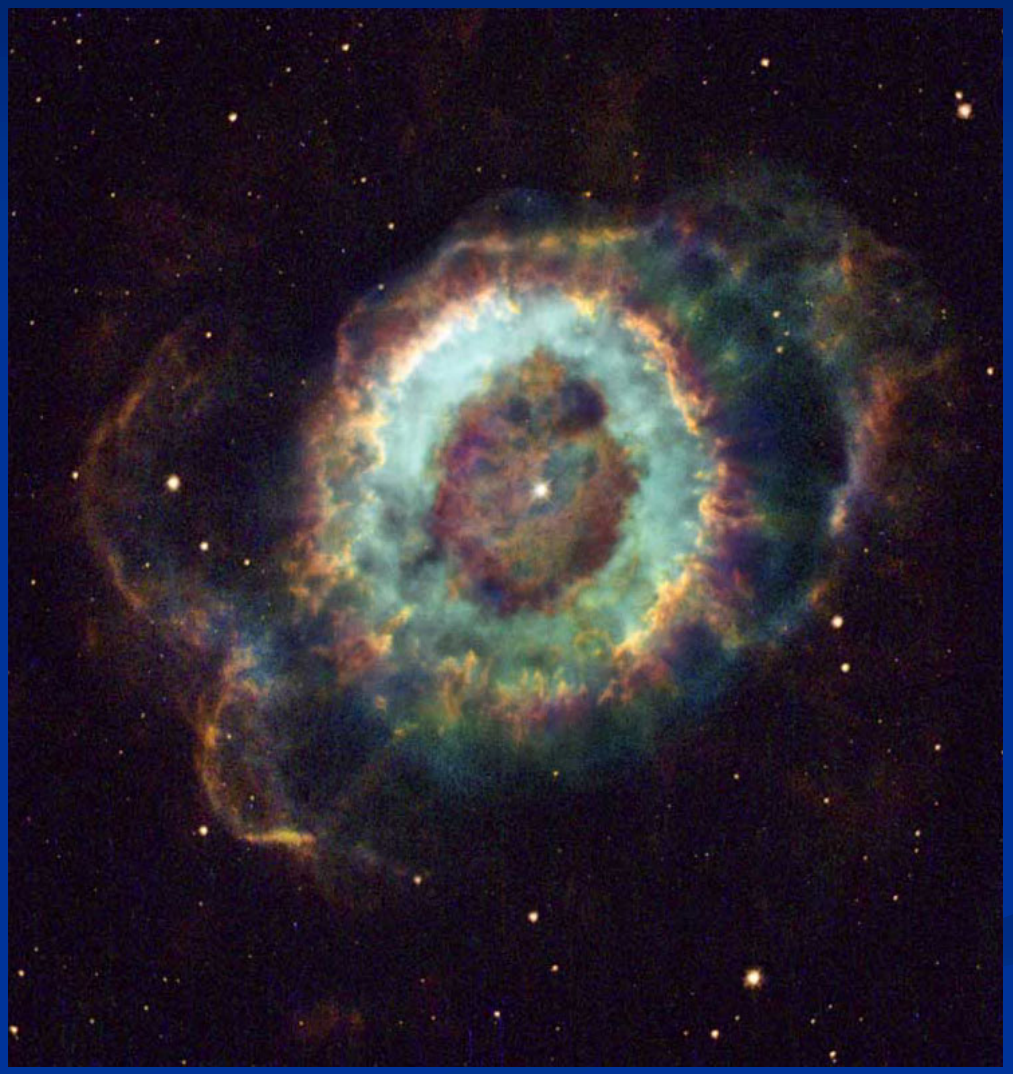


Nebulosa planetaria NGC 6751

Nebulosa planetaria ellisse

Evoluzione stellare: la fine delle stelle piccole

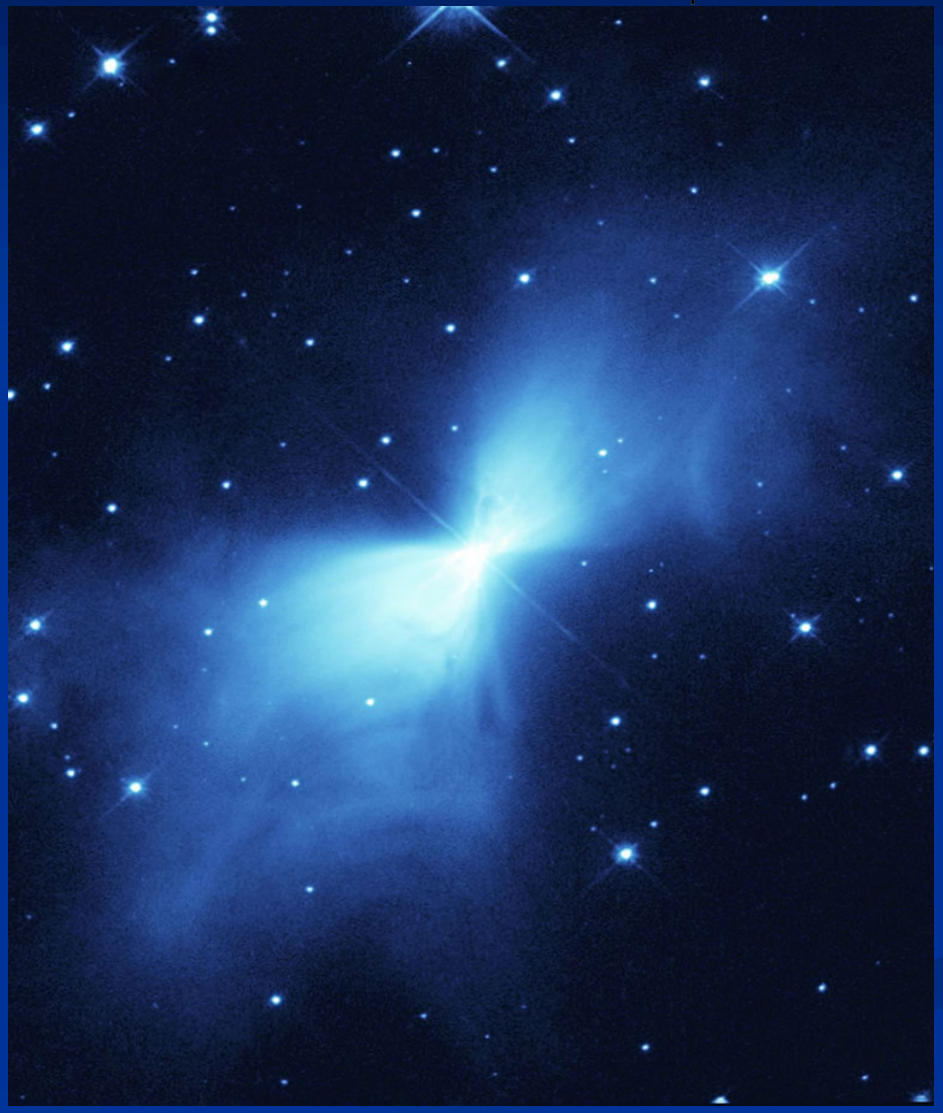
Nebulosa planetaria IC 4406



Nebulosa planetaria piccolo fantasma

Evoluzione stellare: la fine delle stelle piccole

Nebulosa planetaria sigaretta



Nebulosa planetaria

Evoluzione stellare: la fine delle stelle piccole

Nebulosa planetaria occhio di gatto

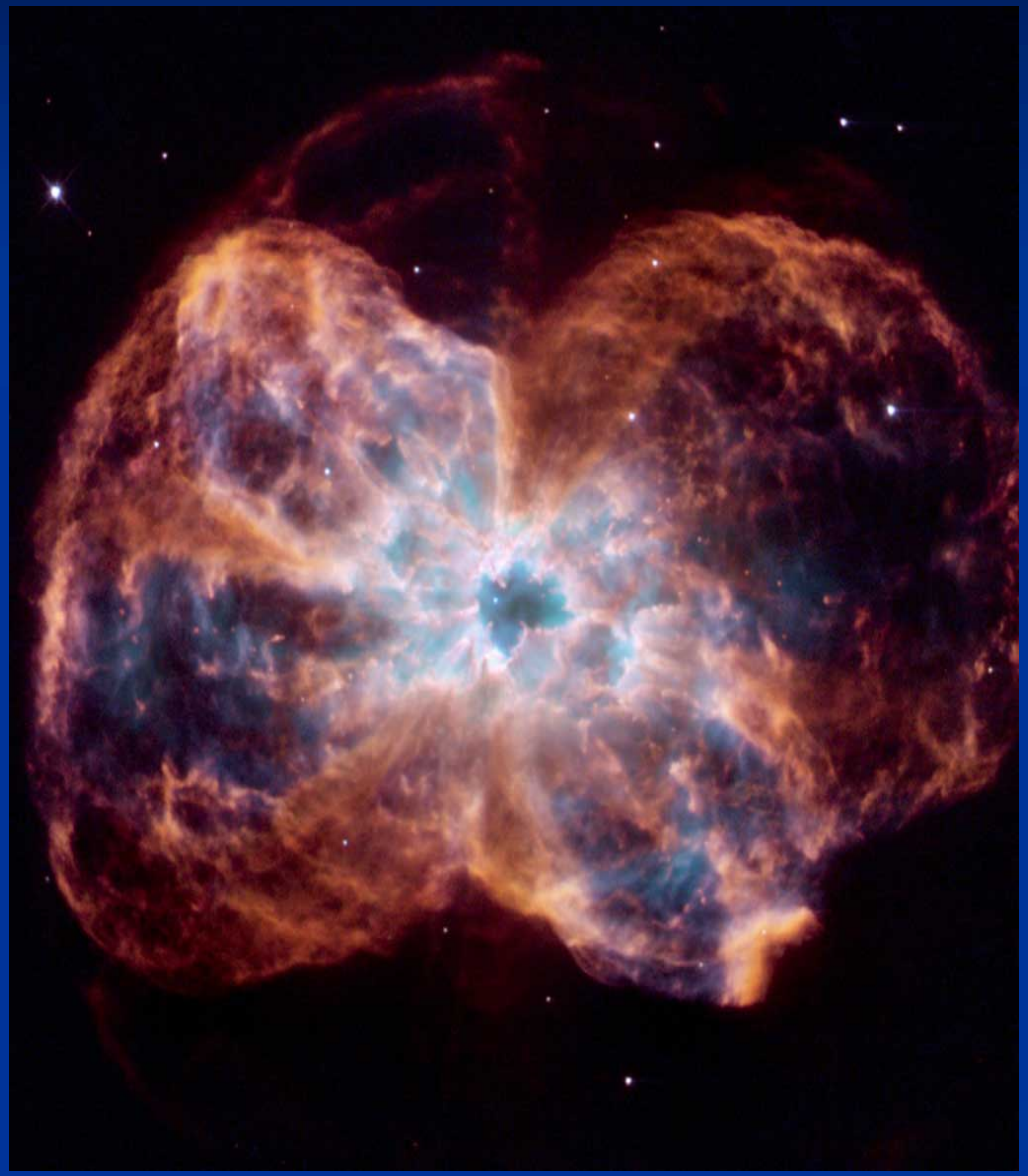
Evoluzione stellare: la fine delle stelle piccole

Nebulosa planetaria occhio di gatto

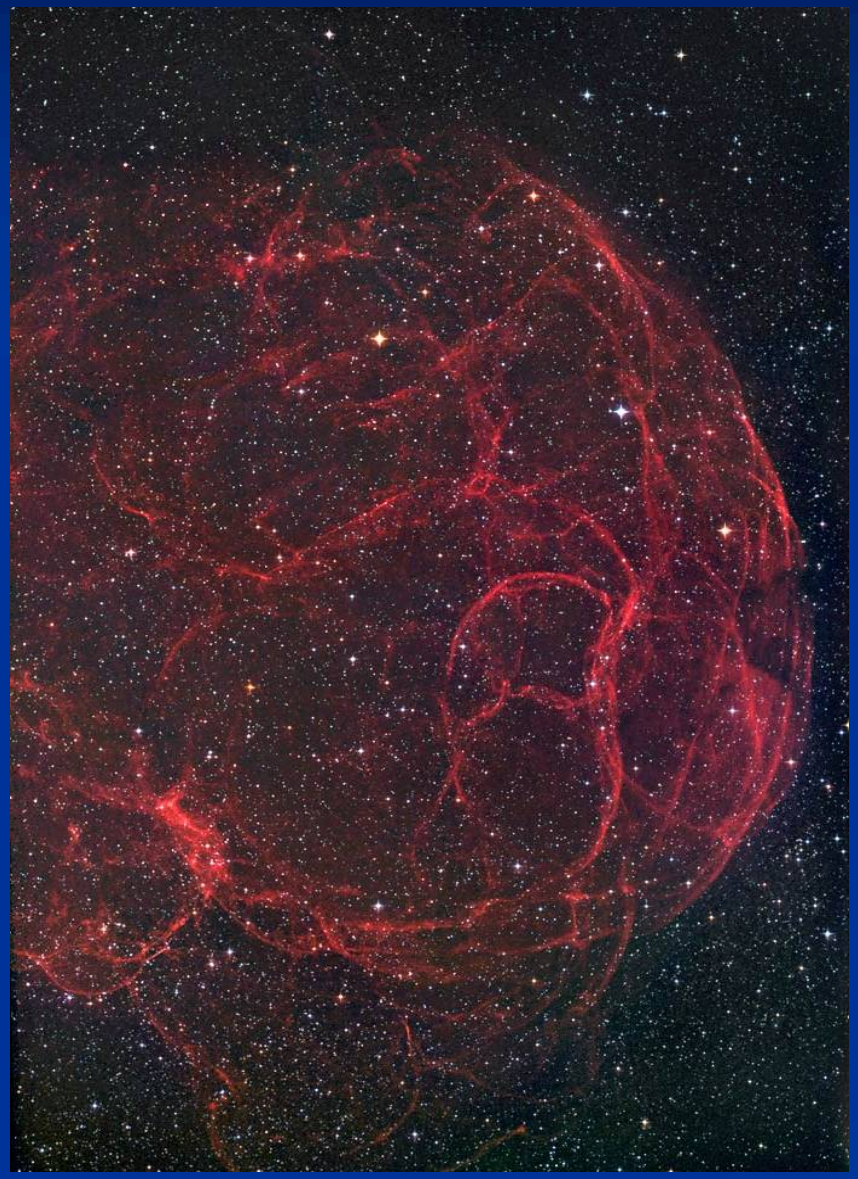
Evoluzione stellare: la fine delle stelle grandi

Il destino delle altre stelle, quelle grandi almeno 5 volte o più del Sole, è molto differente e spesso drammatico. Dopo che la stella si è trasformata non in gigante rossa, ma in supergigante rossa (può superare il miliardo di chilometri), l'elio viene fuso in carbonio e, come nel caso precedente, finisce rapidamente. Il nucleo riprende a contrarsi, ma stavolta il peso degli strati esterni è sufficiente a contrarre il nucleo abbastanza per riscaldarlo finché anche il carbonio può essere fuso. Il ciclo si ripete per varie volte, formando sempre nuovi elementi e ogni volta contrastando il peso della stella finché, ad una temperatura superiore al miliardo di gradi, il silicio si fonde e produce ferro-56. Questo elemento, grazie ad una disposizione particolare del suo nucleo atomico, non può fare da combustibile per la fusione nucleare, perché assorbe energia invece di liberarla. La produzione di energia del nucleo si ferma improvvisamente. Cosa succede a questo punto non è ben chiaro, ma la stella collassa improvvisamente, gli strati esterni vanno a schiantarsi contro il nucleo a velocità di 10.000 km/sec o più, e la stella esplode in una supernova. Quasi tutta la massa della stella viene allora espulsa in un'esplosione che la rende brevemente luminosa quanto un miliardo di stelle normali .

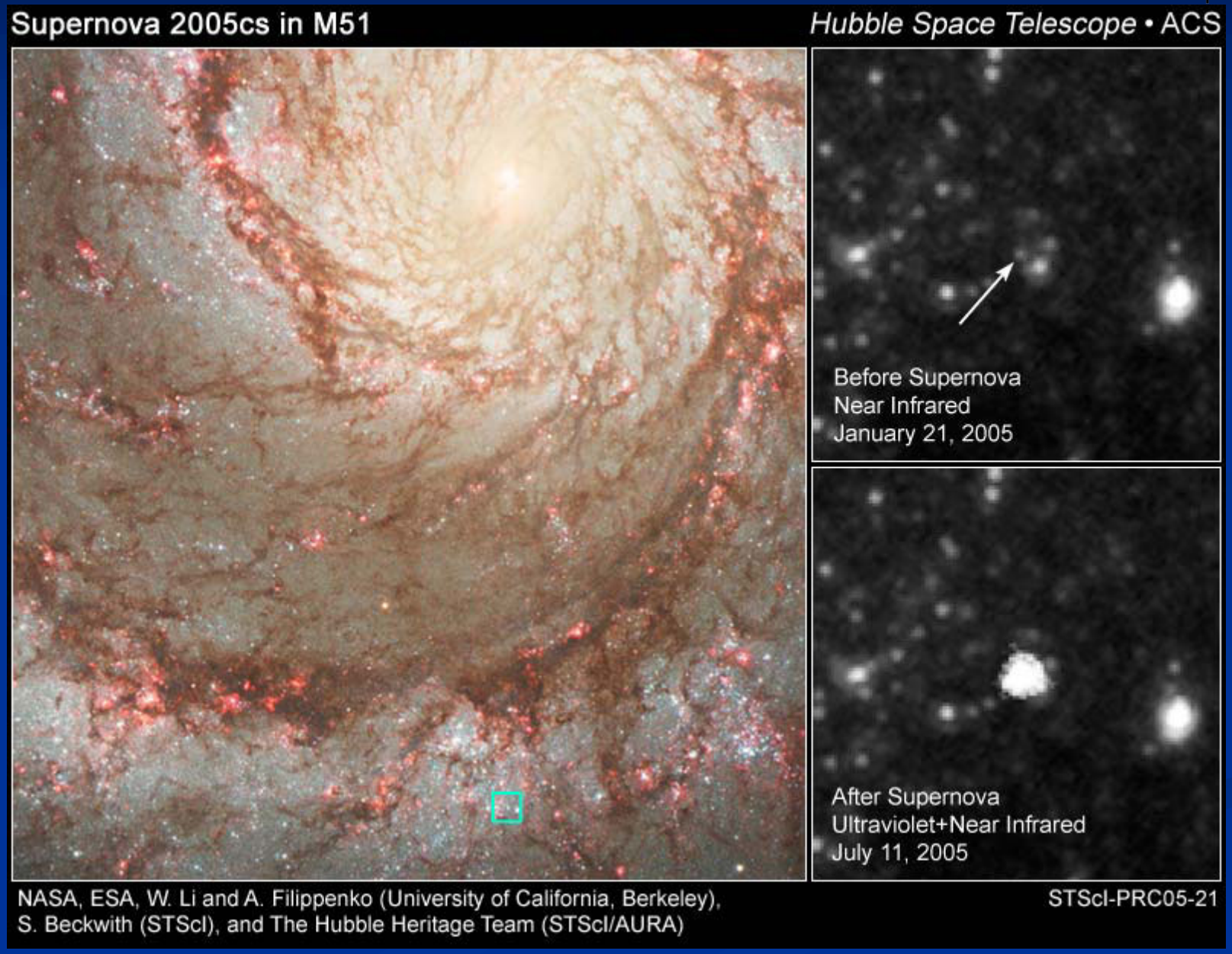
Evoluzione stellare: la fine delle stelle grandi



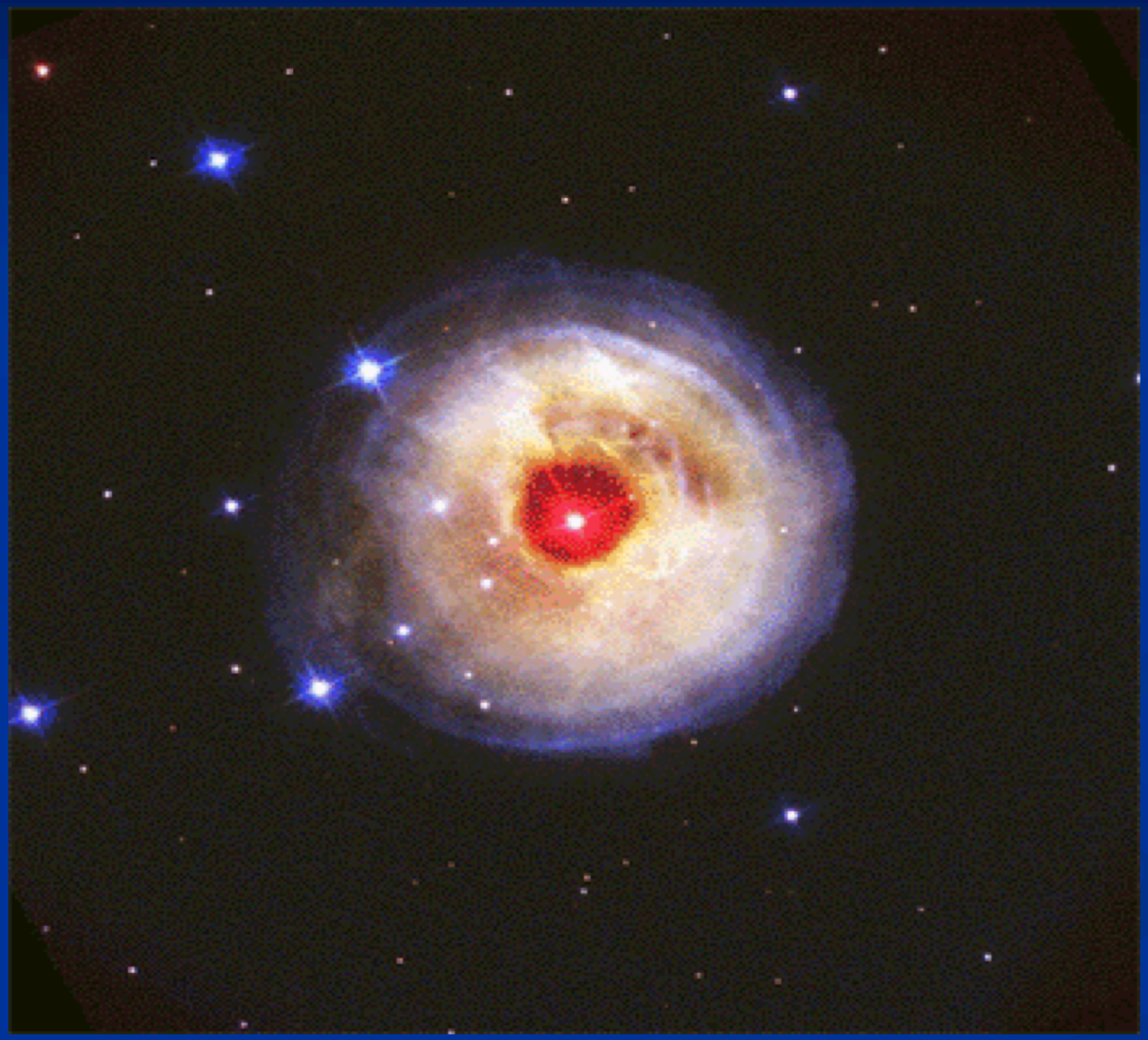
Evoluzione stellare: la fine delle stelle grandi



Evoluzione stellare: la fine delle stelle grandi



Evoluzione stellare: la fine delle stelle grandi

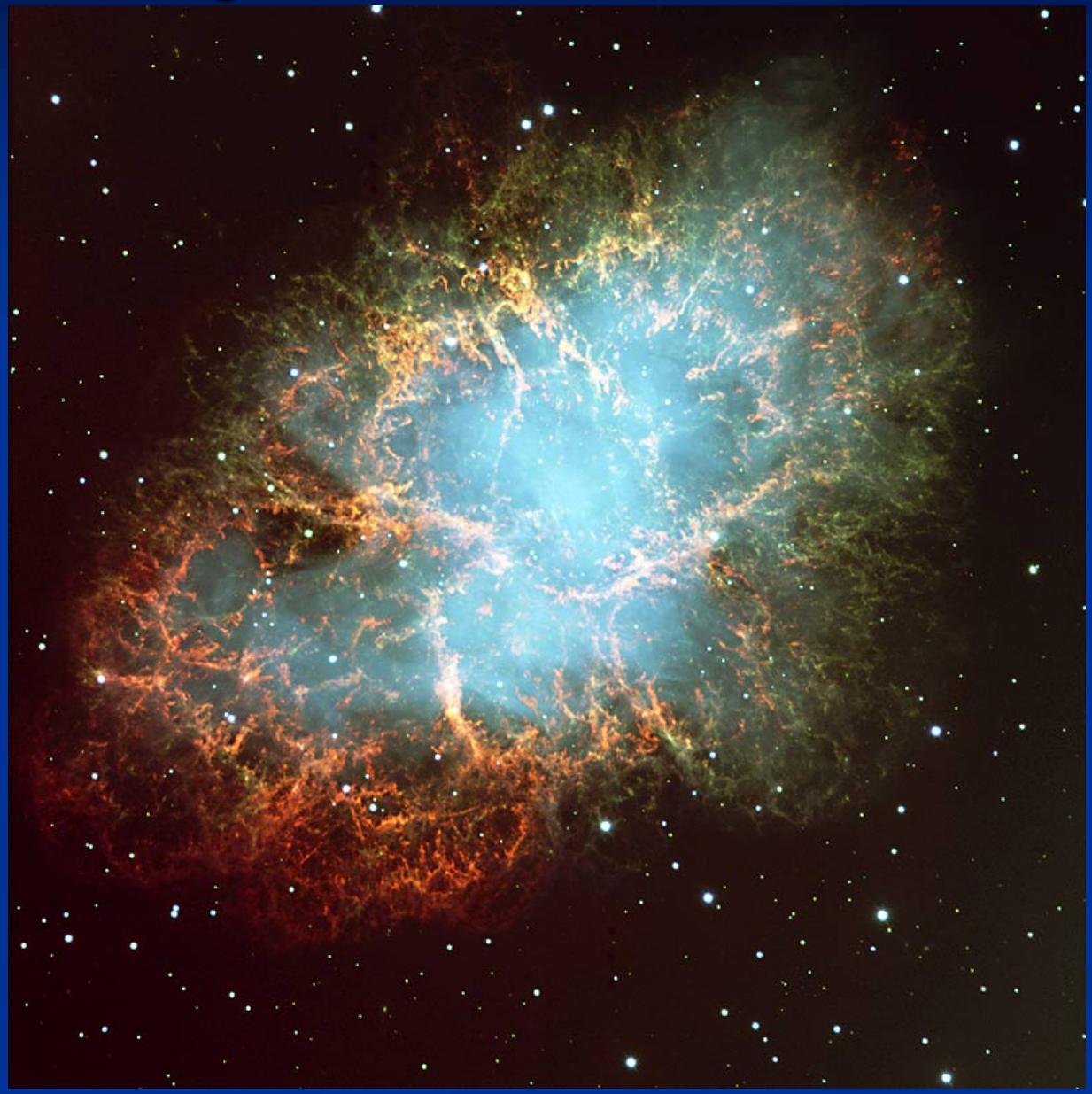


Il giorno dell'Epifania del 2002, in seguito ad una potente esplosione è diventata la stella più luminosa della Via Lattea

Evoluzione stellare: la fine delle stelle grandi

Durante l'esplosione, gli atomi pesanti (ma più leggeri del ferro) accumulati dalla stella iniziano a catturare neutroni e neutrini, diventando sempre più pesanti. Si formano così tutti gli elementi di peso atomico superiore al ferro. Il nucleo della stella, nel frattempo, non è stato espulso come gli strati esterni. È invece stato compresso dalla loro caduta iniziale, così fortemente che gli elettroni sono dovuti "entrare" nel nucleo e combinarsi con i protoni per formare neutroni. Il nucleo è adesso diventato una stella di neutroni (ciò accade quando il nucleo ha una dimensione compresa tra 1,44 e 3 masse solari), una palla grande qualche decina di chilometri ma che contiene l'intera massa del Sole. La densità è così alta (centinaia di milioni di tonnellate per ogni centimetro cubo) che la stella di neutroni può essere considerata un nucleo atomico gigante.

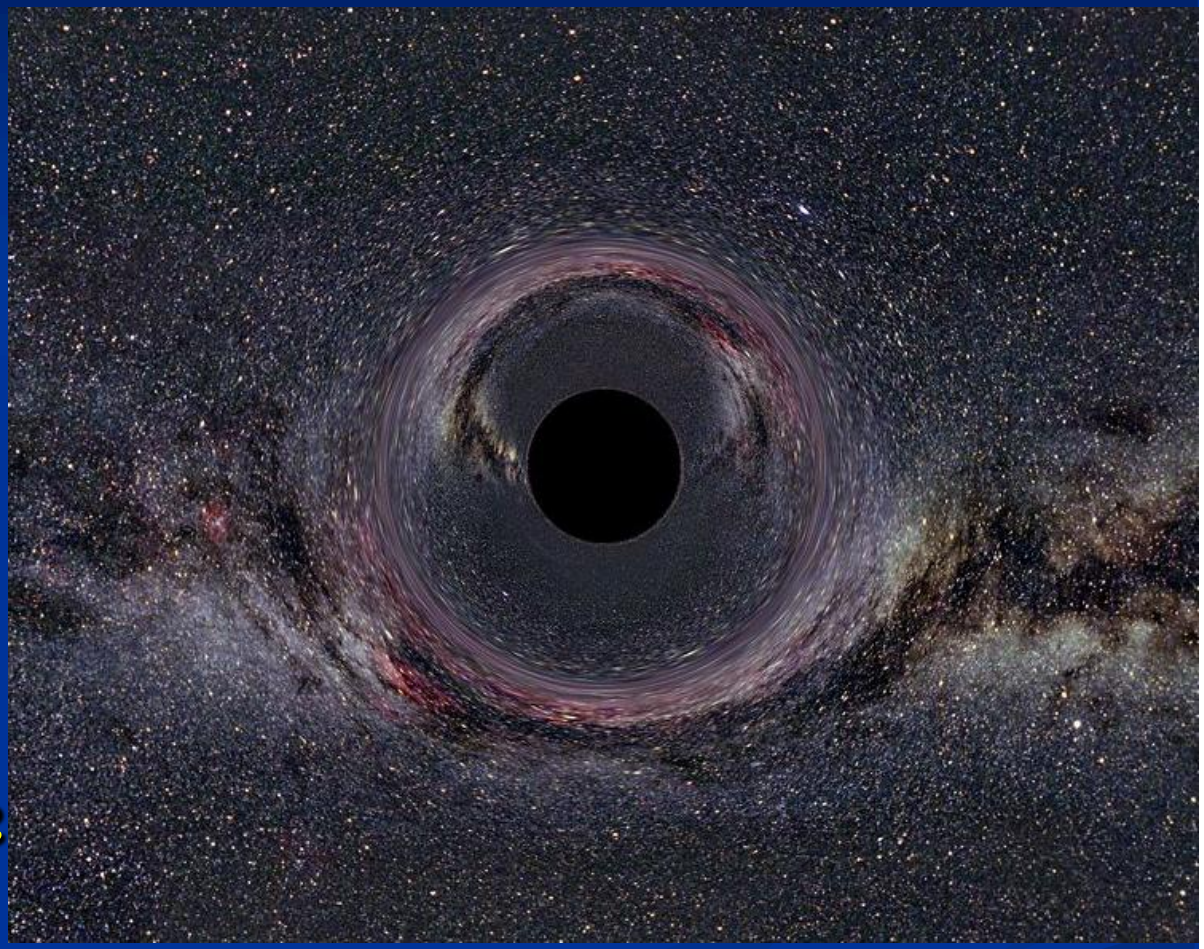
Evoluzione stellare: la fine delle stelle grandi



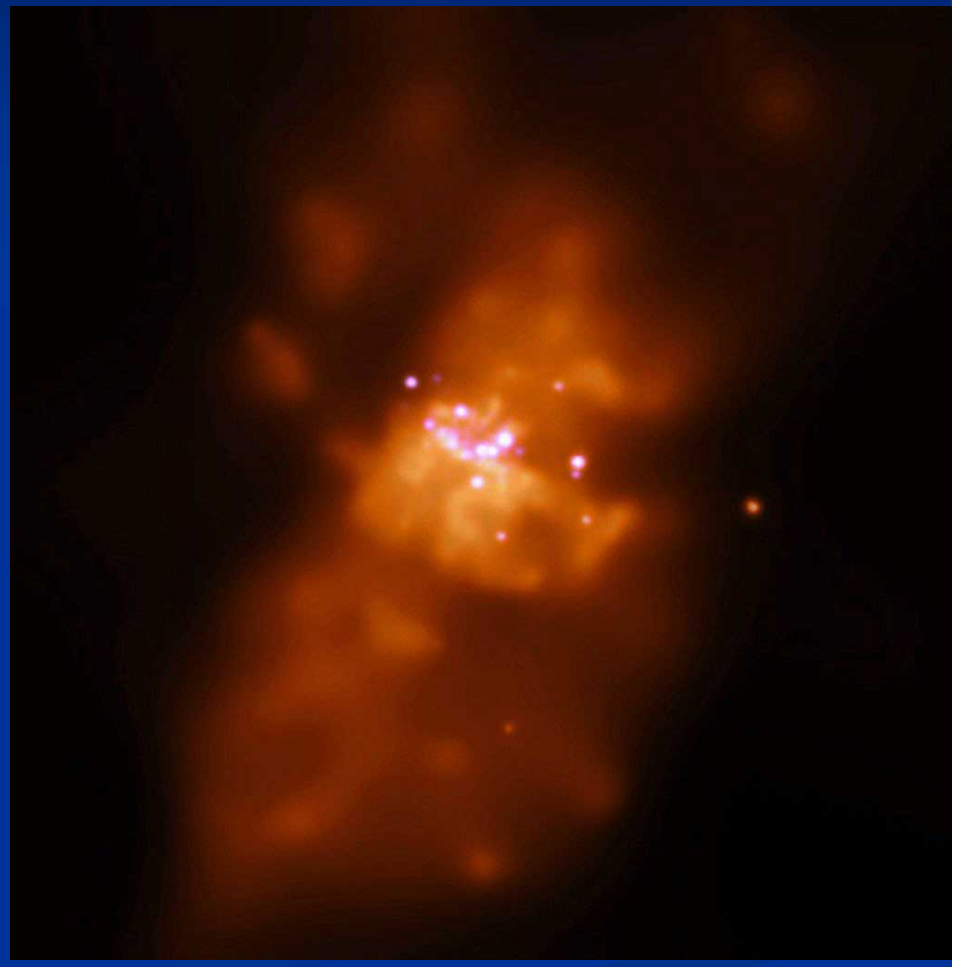
Stella di neutroni

Evoluzione stellare: la fine delle stelle grandi

È probabile che non tutte le supernovae formino una stella di neutroni. Se il nucleo supera una certa massa limite, è maggiore di 3 masse solari, i neutroni non riescono a sostenerne il peso, niente può più contrastare la forza di gravità che vuole comprimerlo, e il nucleo collassa in un buco nero.



Evoluzione stellare: la fine delle stelle grandi



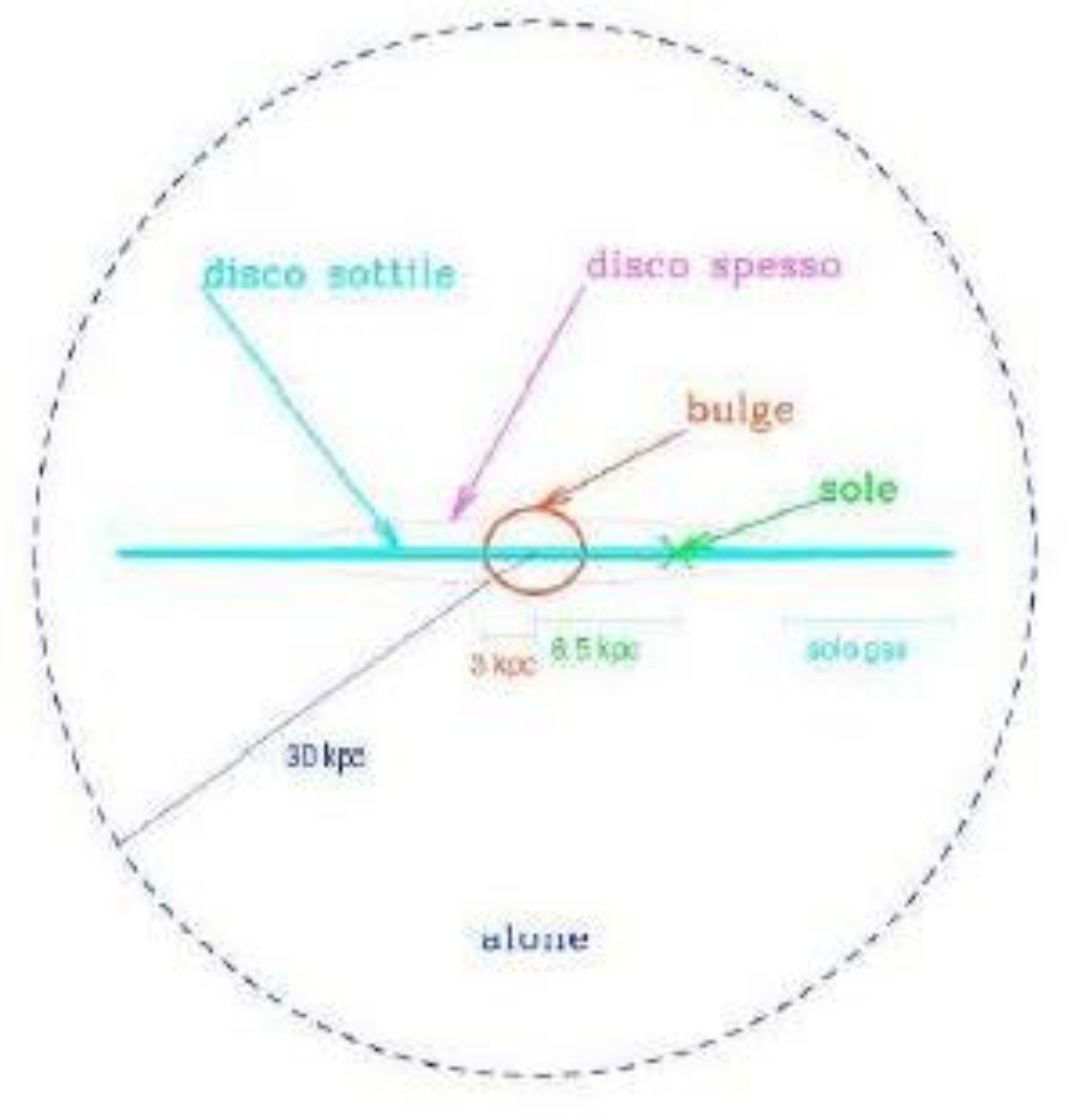
Buco nero Sagittarius A

Evoluzione stellare: densità delle stelle compatte

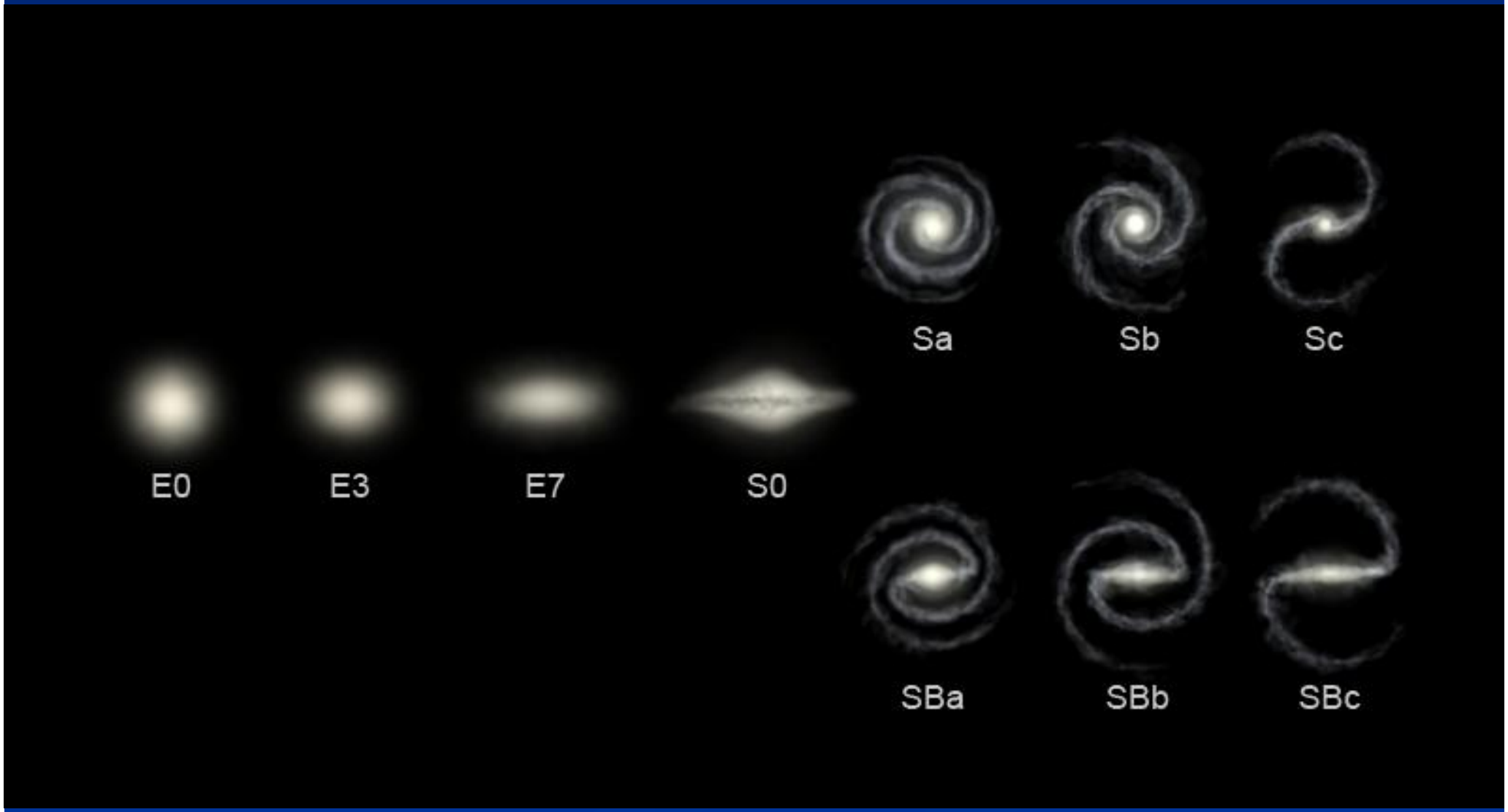
Oggetto	Dimensioni	Massa	Densità
Nana bianca	6×10^3 Km (Terra)	1 $M_\odot$	10^3 Kg/cm^3
Stella di neutroni	10 Km (Everest)	(1,4 ÷ 3) $M_\odot$	10^{11} Kg/cm^3
Buco nero	3 Km (Sole)	> 3 $M_\odot$	???

Galassie

- Struttura galassie
- Popolazioni stellare
- Differenza galassie stelle



Galassie: diagramma di Hubble



Galassie: ellittiche

Galassia NGC 2787

Galassie: lenticolari

Galassie: spirale

Galassia M 81

Galassia M 101

Galassie: spirale barrate

Galassie a pirale barrate NGC 1300

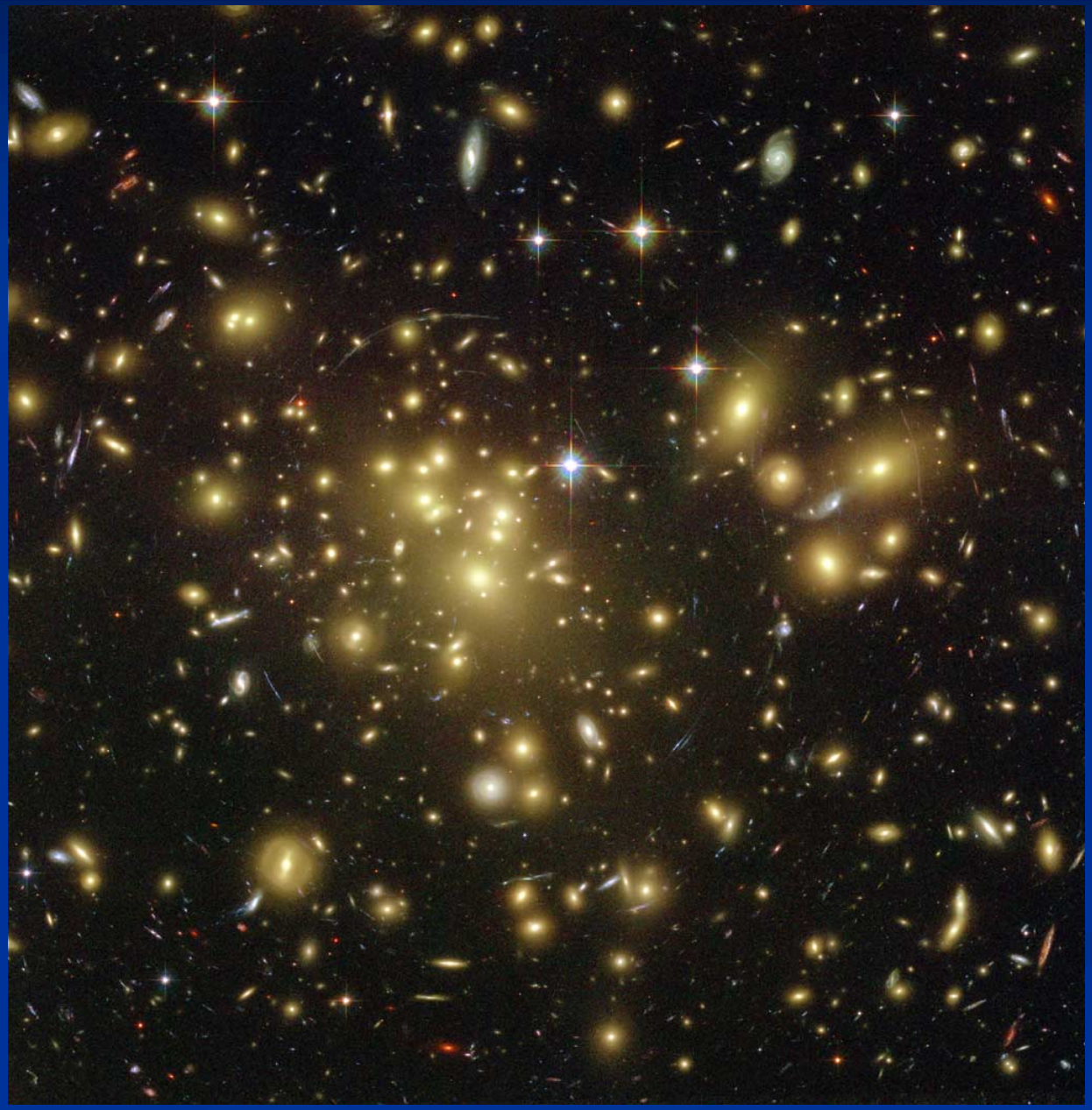
Galassie: irregolari

Galassie irregolari M82

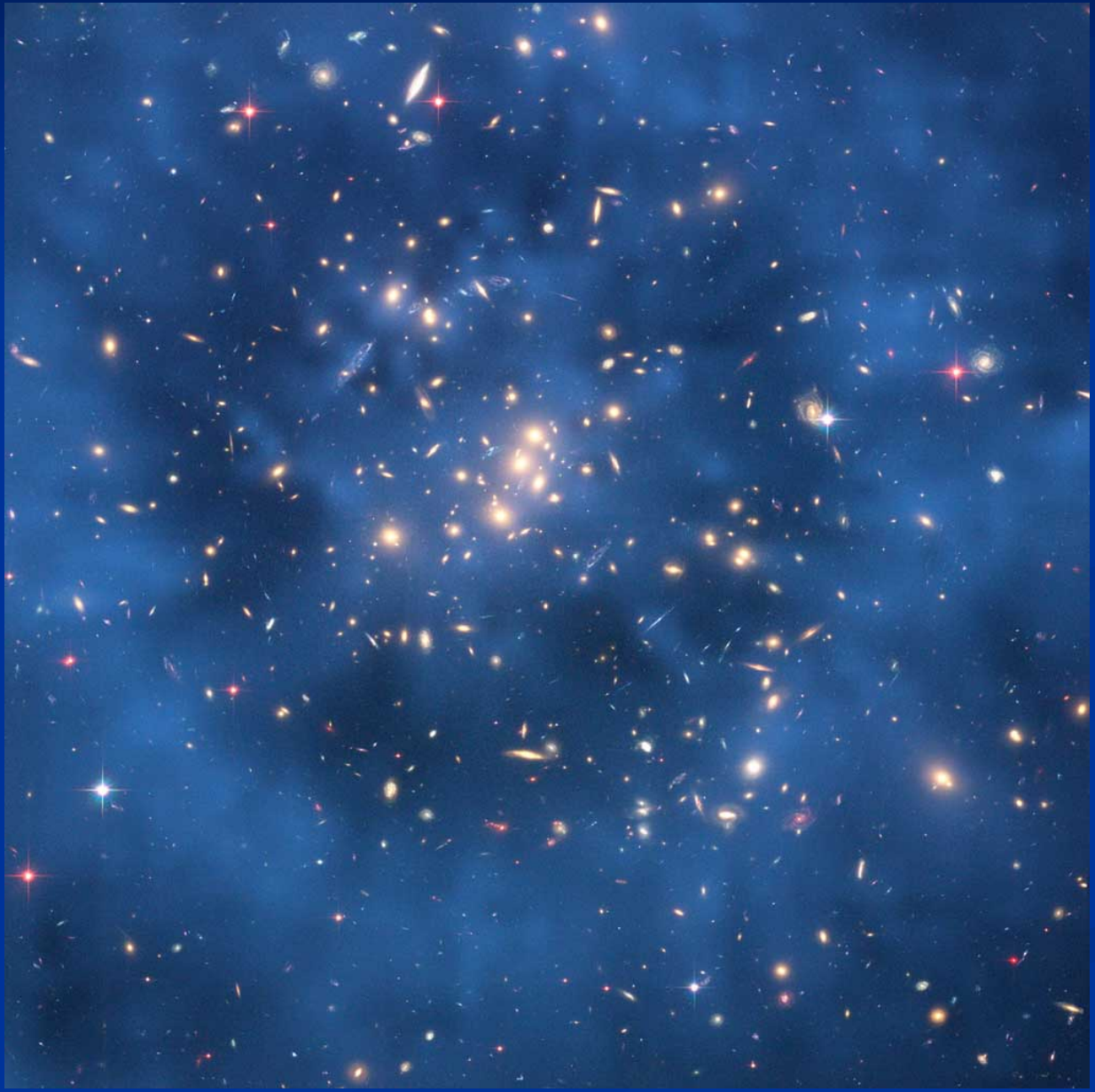
Galassie: cannibaliscmo

Galassie: cannibaliscmo

Galassie: ammasso galattico

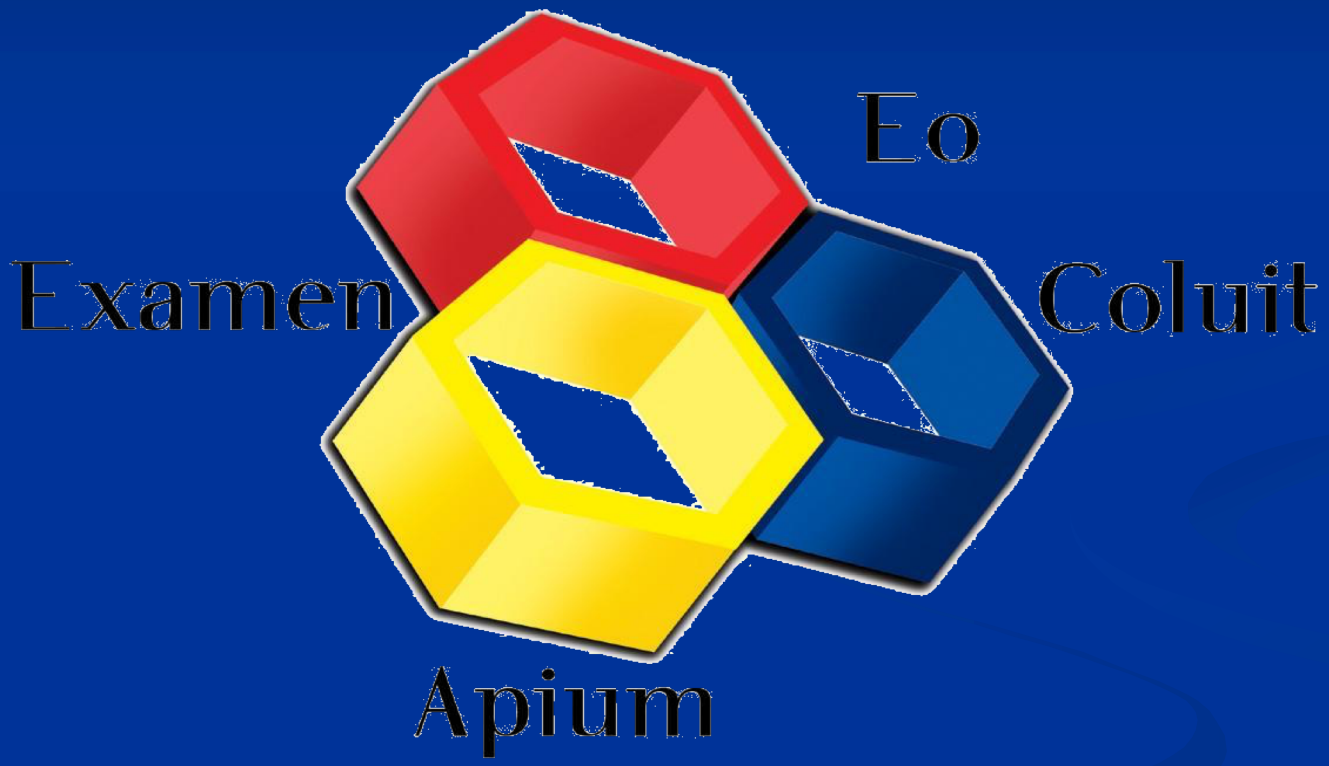


Galassie: ammasso galattico



Associazione Culturale

L'Alveare



"… E QUINDI USCIMMO A RIVEDER LE STELLE"