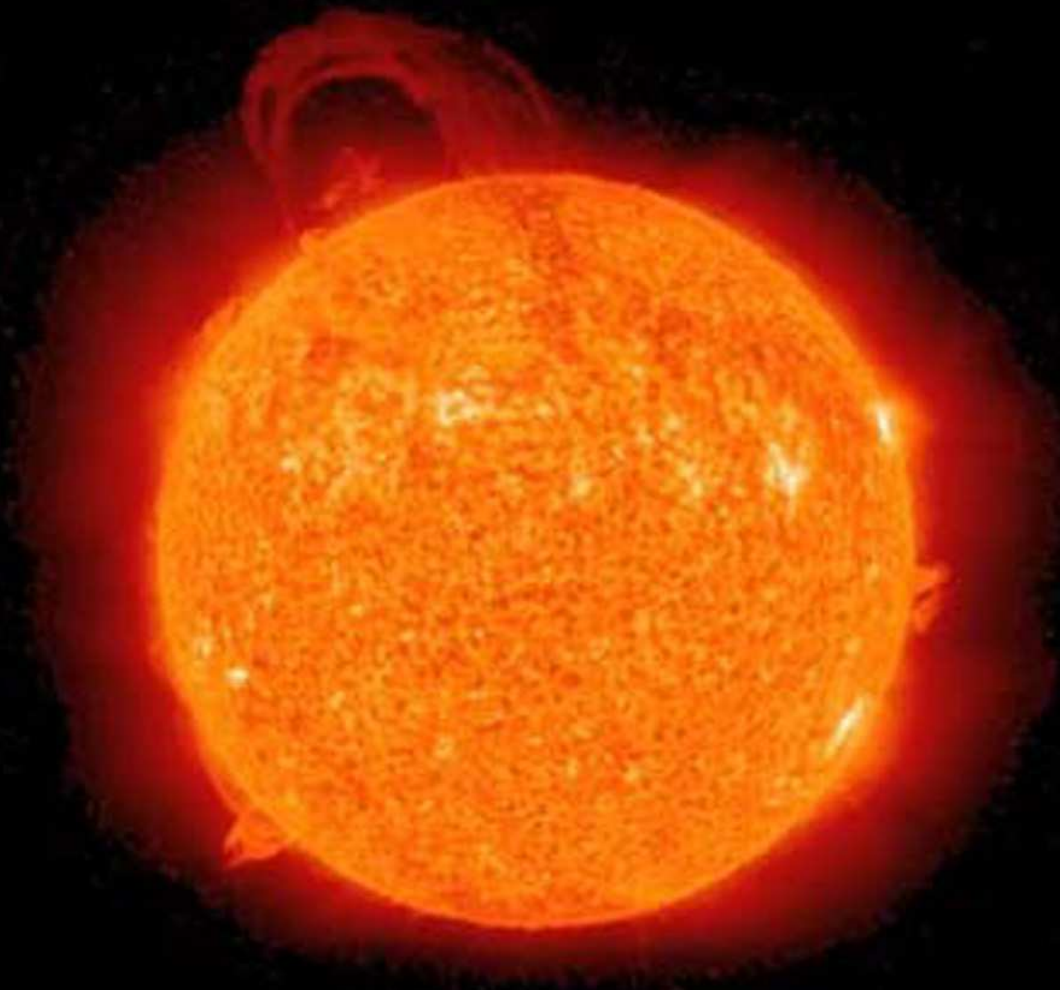


The background of the entire slide is a deep space image featuring a large, glowing red nebula. The nebula has intricate, wispy structures and is punctuated by numerous bright stars of varying sizes. The overall color palette is dominated by deep reds and oranges from the nebula, set against the black of space and the white and blue of the stars.

IL COSMO

Un viaggio tra le stelle

Studiando il Sistema Solare abbiamo imparato che il nostro Sole
non è altro che una stella di piccole dimensioni



Per la precisione, una “**Nana gialla**”

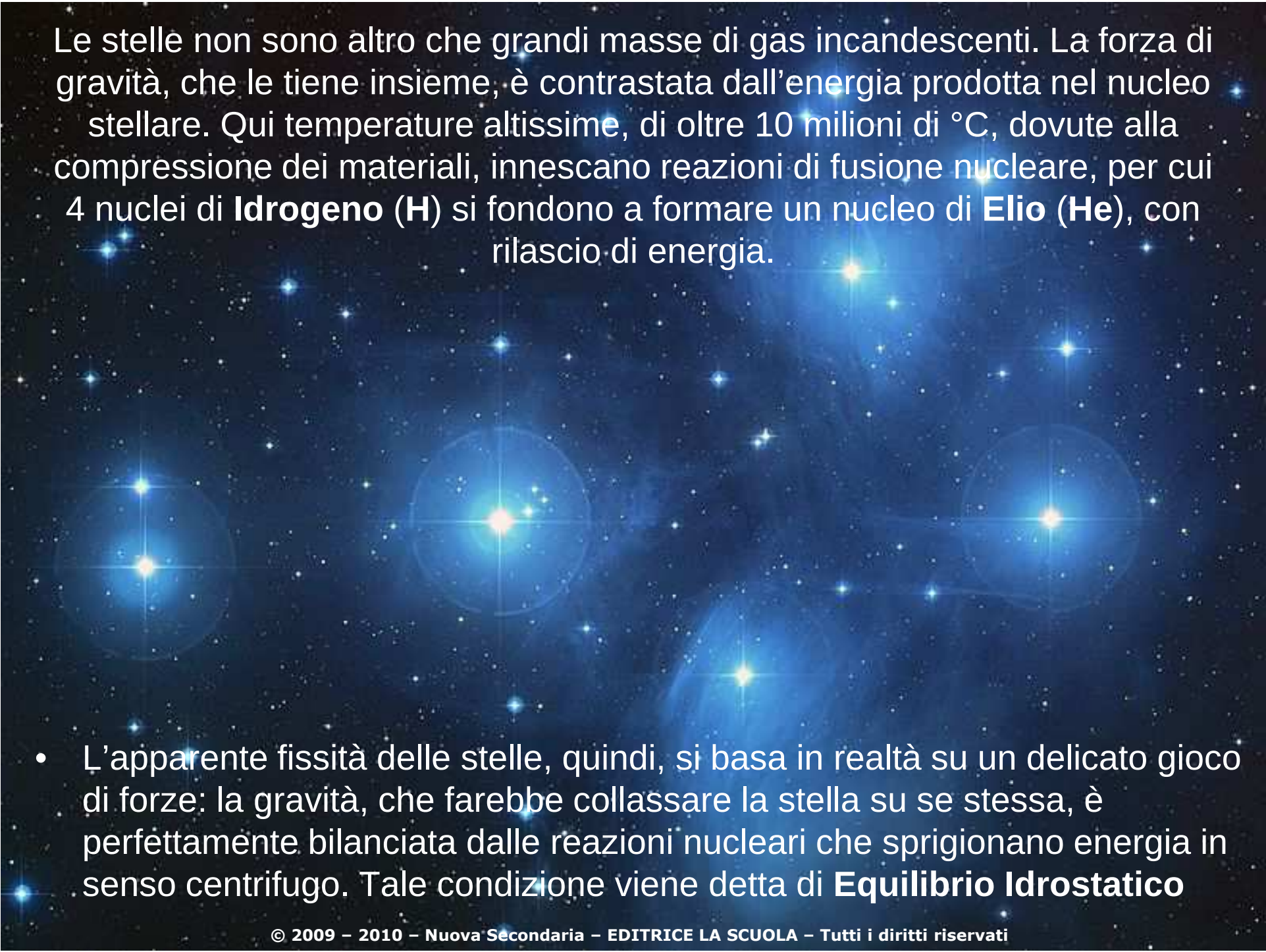


E che si è formato per condensazione dei materiali di una **Nebulosa**,
come quella che possiamo vedere nella costellazione di **Orione**



Ora possiamo aggiungere che non è solo nello spazio, ma fa parte di una grande popolazione stellare che prende il nome di **Galassia**

- La nostra Galassia si chiama **Via Lattea**, ed ha un diametro di circa 100.000 anni luce. Il nostro Sole si trova a circa 27.000 a.l. dal centro galattico, e impiega 250 milioni di anni per compiere attorno ad esso una intera rivoluzione. Si stima che la Via Lattea sia composta da oltre 100 miliardi di stelle. Ma cosa sono in realtà le stelle e qual è la loro storia?



Le stelle non sono altro che grandi masse di gas incandescenti. La forza di gravità, che le tiene insieme, è contrastata dall'energia prodotta nel nucleo stellare. Qui temperature altissime, di oltre 10 milioni di °C, dovute alla compressione dei materiali, innescano reazioni di fusione nucleare, per cui 4 nuclei di **Idrogeno (H)** si fondono a formare un nucleo di **Elio (He)**, con rilascio di energia.

- L'apparente fissità delle stelle, quindi, si basa in realtà su un delicato gioco di forze: la gravità, che farebbe collassare la stella su se stessa, è perfettamente bilanciata dalle reazioni nucleari che sprigionano energia in senso centrifugo. Tale condizione viene detta di **Equilibrio Idrostatico**

- Eccola la magnifica costellazione di **Orione**, che splende nel nostro cielo primaverile
- Se guardiamo bene, le stelle che la costituiscono sono molto differenti. Anche ad occhio nudo, **Betelgeuse**, in alto a sinistra, appare grande e rossastra. **Rigel** invece, in basso a destra, è molto brillante ed emana una luce molto chiara, mentre **Bellatrix**, in alto a destra, sebbene apparentemente più piccola, è pure brillante e bluastra

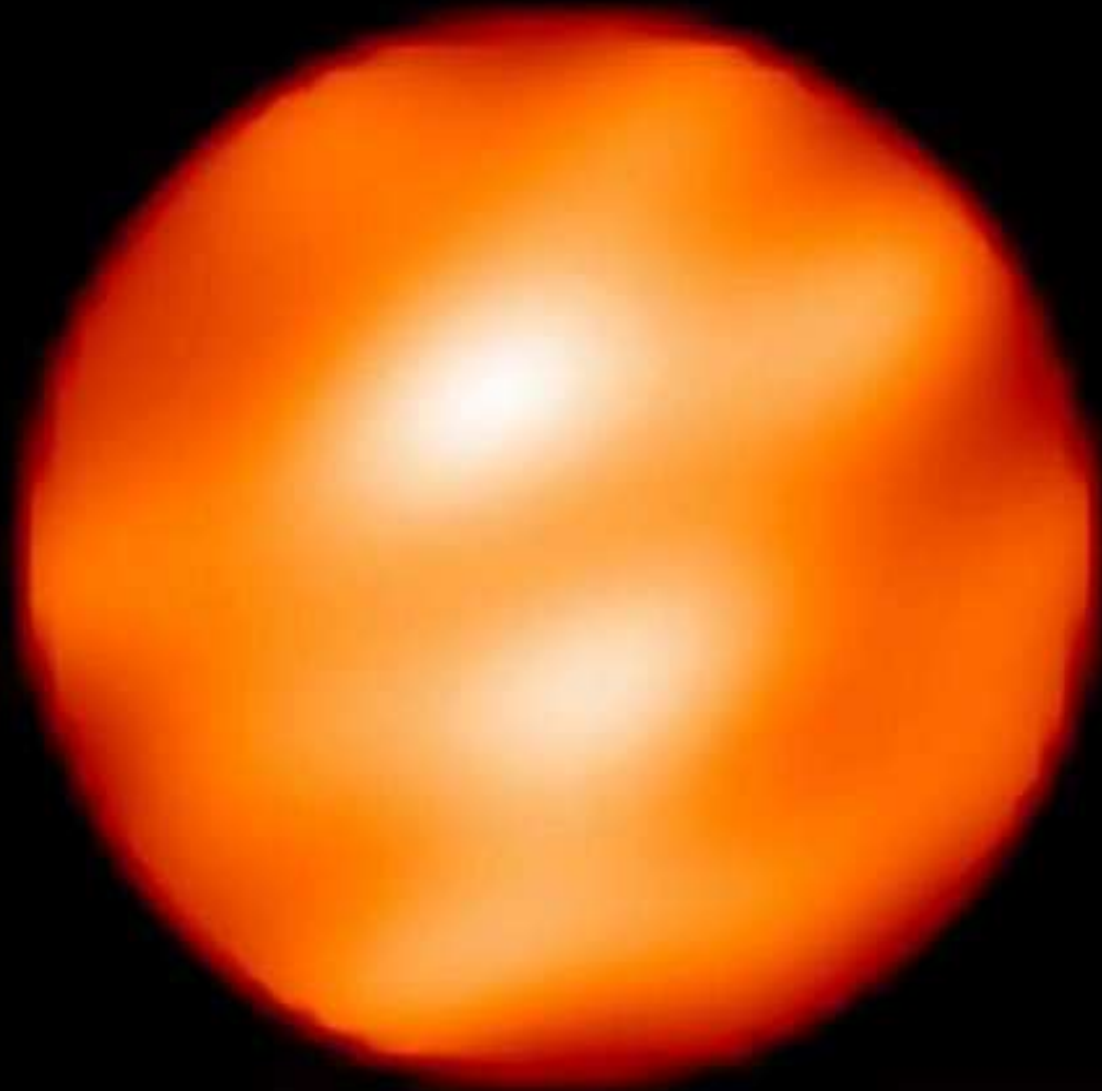
LE STELLE NON SONO TUTTE UGUALI

- Il colore e la luminosità delle stelle dipende dalla loro temperatura superficiale. Questa, a sua volta, dipende dalla loro massa e anche dalla loro storia

Quando una stella si forma, dalla nebulosa primordiale, la sua massa dipenderà da quanta materia ha a disposizione. Se è poca, avremo stelle piccole e rossastre, con temperatura superficiale attorno a 3.000 °C, oppure giallastre, come il nostro Sole, con temperature attorno ai 6.000 °C

- Se, invece, la massa è grande, avremo stelle giganti o supergiganti, di colore azzurro e temperature superficiali fino a 40.000 °C

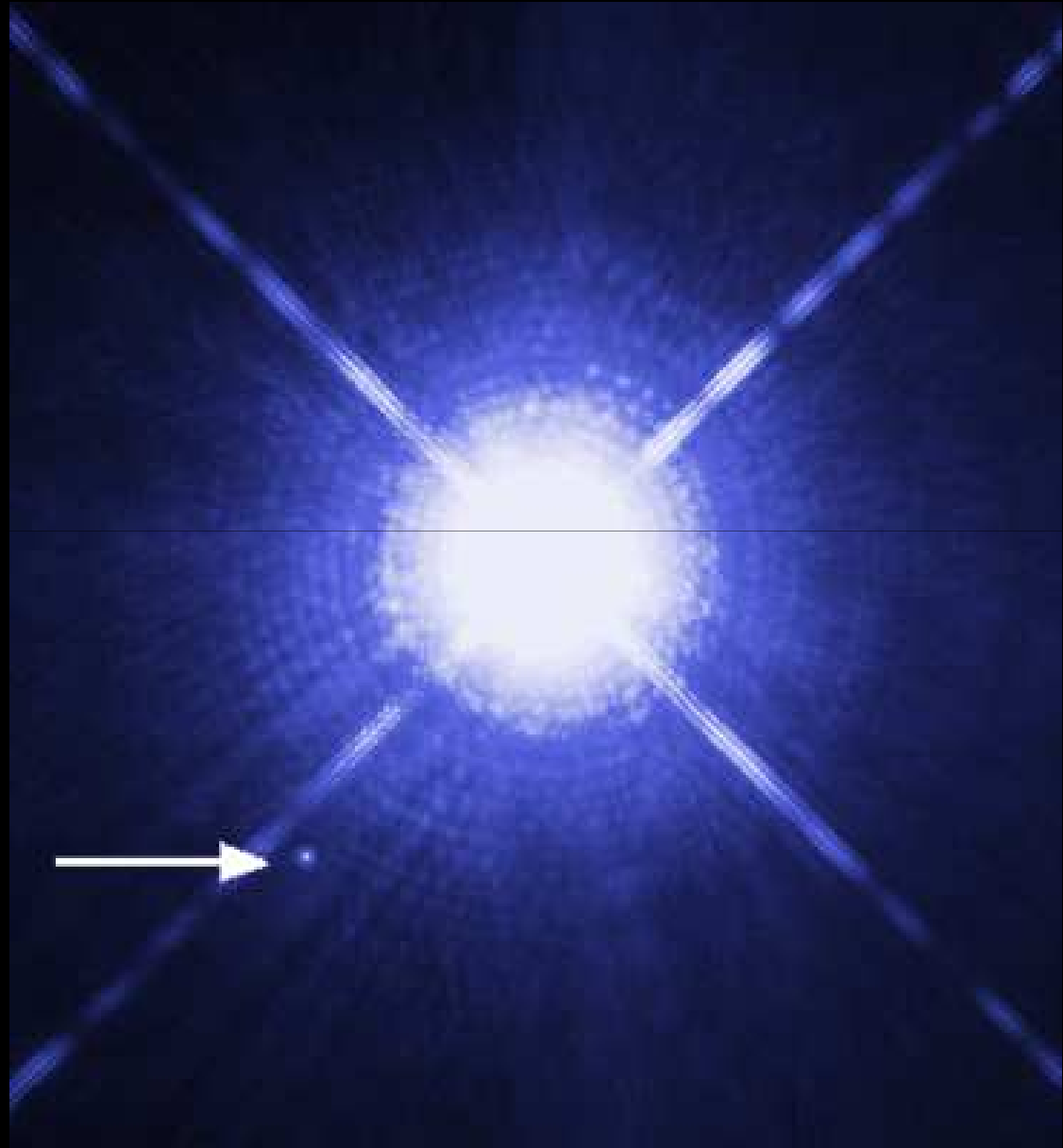
SUPERGIGANTI ROSSE



- Le Stelle come il Sole bruciano lentamente il loro combustibile atomico, per miliardi di anni, finché tutto l'**Idrogeno** del nucleo stellare non si è trasformato in **Elio**
- A questo punto, l'**Equilibrio Idrostatico** si rompe, la stella collassa e il surplus di calore prodotto accende una nuova reazione nucleare, molto più energetica, che porta alla fusione dei nuclei di **Elio** a formare **Carbonio**
- La grande quantità di energia che viene prodotta fa espandere a dismisura gli strati esterni della stella, che si raffredda in superficie fino a circa 3.000 °C e diventa una **Gigante o Supergigante Rossa**

NANE BIANCHE

- Anche le **Giganti Rosse** finiscono per esaurire il loro carburante atomico. Se la massa iniziale era più piccola o non superava di molto quella del Sole, si contraggono a formare stelle di piccole dimensioni e molto dense e calde, dette **Nane Bianche**
- Le loro altissime temperature sono dovute alla catena di reazioni nucleari che si innesca in esse, in cui gli atomi di **Carbonio** si fondono a dare nuclei di elementi via via più pesanti
- Le **Nane Bianche** sono però destinate ad esaurirsi, e a lasciare dietro di sé un relitto spaziale freddo e non più attivo



GIGANTI AZZURRE

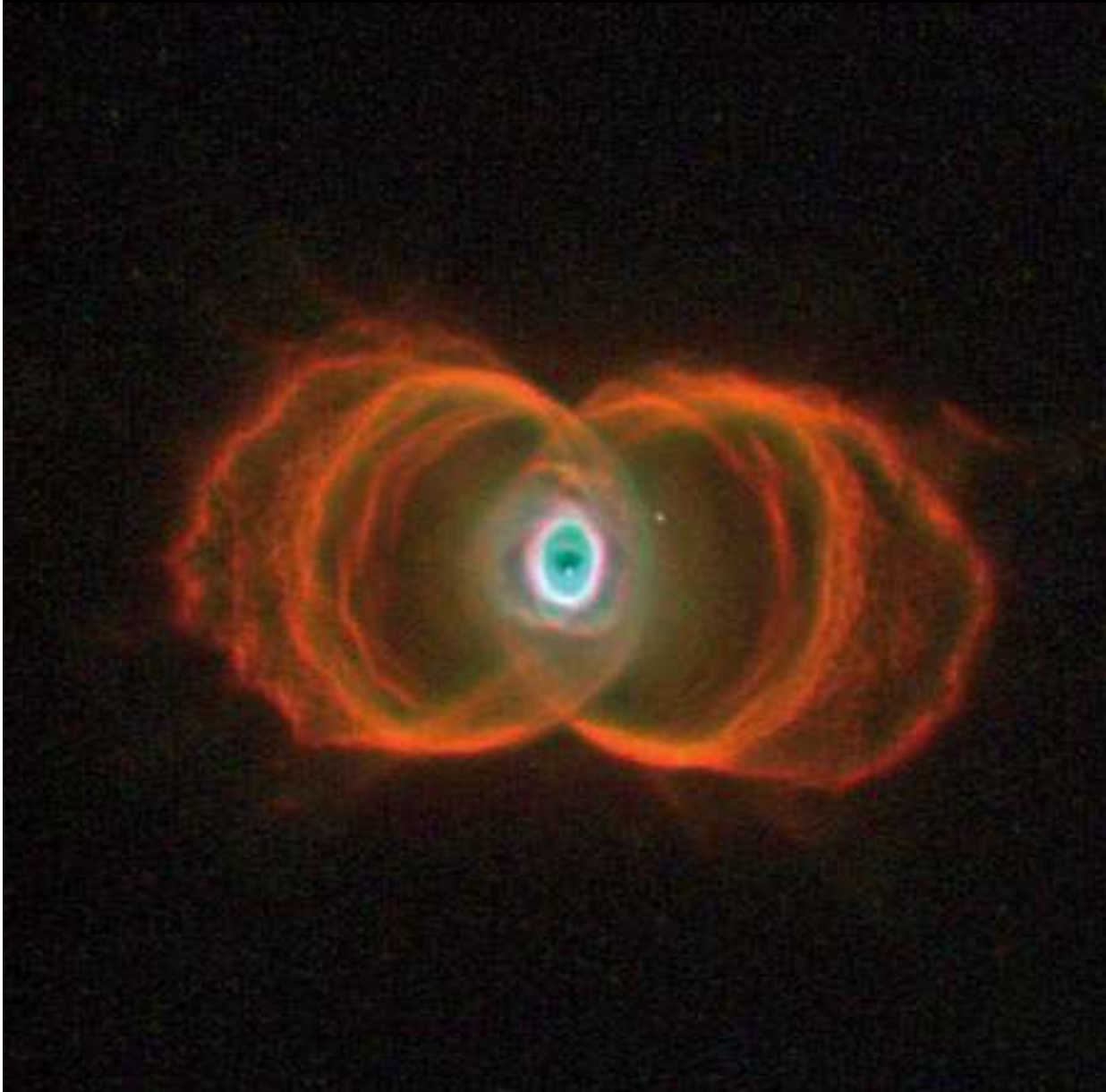


- Mentre le altre stelle sono destinate a consumarsi lentamente fino all'esaurimento, le **Giganti e Supergiganti Azzurre** sono “mostri spaziali”, che consumano furiosamente il loro carburante atomico fino ad esaurirlo in pochi milioni di anni: un tempo molto breve, se si ragiona su scala astronomica
- Dalla rottura dell'**Equilibrio Idrostatico**, a causa della grande massa della stella si ha un collasso talmente rapido da portare alla brusca accensione di reazioni nucleari negli strati intermedi tra la superficie e il nucleo stellare
- Il risultato è una gigantesca esplosione, che espelle nello spazio gli strati più esterni della stella con grande emissione di materia ed energia

NOVAE e SUPERNOVAE

- In cielo si accende, quindi, una “**Stella Nova**”, come si legge nelle antiche cronache che hanno riportato l’evento di simili fenomeni, che può rimanere visibile per qualche giorno o settimana
- Quando la Nova scompare, al suo posto troviamo una nube di gas e pulviscolo stellare, percorsa ancora dagli echi della radiazione e dalle particelle subatomiche emesse dall’esplosione

Un fuoco d'artificio nello Spazio



- Questa spettacolare immagine della **Nova 1987A** ci mostra un aspetto sorprendente dell'unica Supernova osservata e seguita, nella sua evoluzione, con i potenti mezzi moderni
- La sua comparsa fu individuata nel febbraio 1987, grazie ad un fitto sciame di neutrini che proveniva dalla **Grande Nube di Magellano**, una Galassia vicina alla nostra (180.000 anni luce)
- La luce emessa dall'esplosione "rimbalza" sulla polvere spaziale formando cerchi... un po' come avviene sulla superficie dell'acqua quando vi si lancia un sassolino

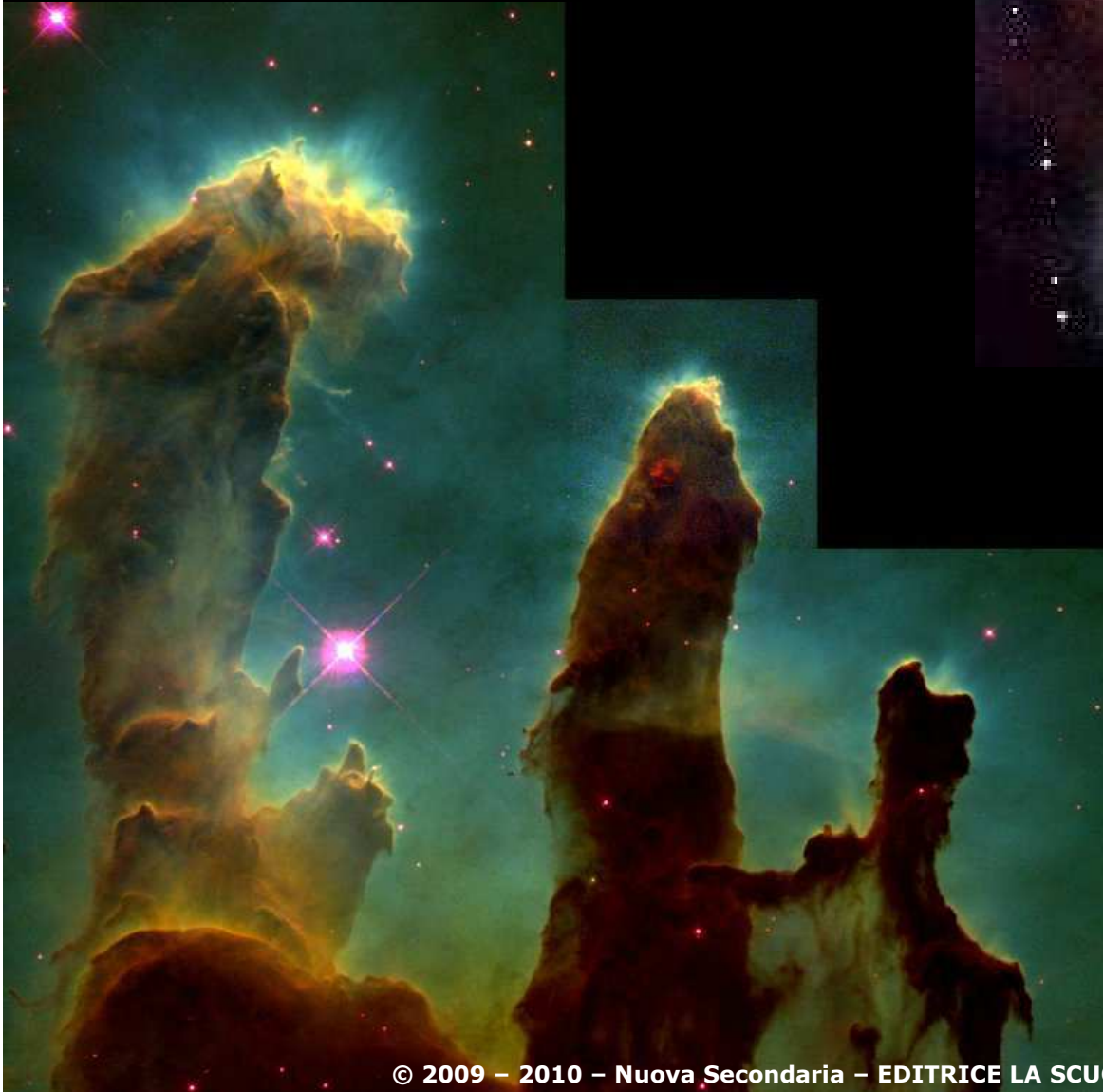


NEBULAE

Relitti di Supernove

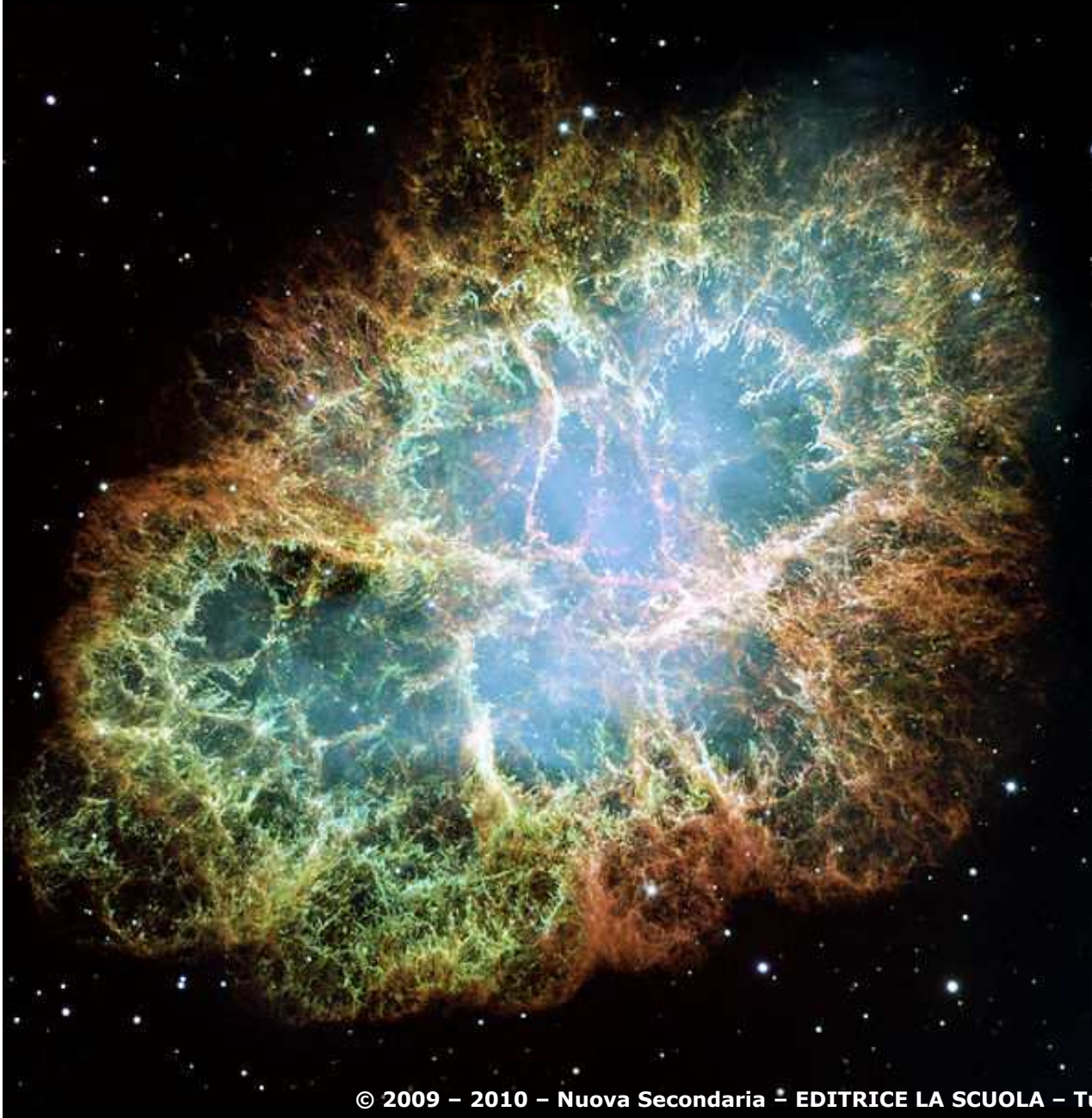
- Le Nebulose sono quanto rimane degli strati superficiali della “Stella nova”, espulsi dall’esplosione
- Sono tutt’altro che nubi inerti di gas e polveri spaziali; come abbiamo visto sono fucina di nuove stelle e sistemi planetari
- Oltre che di Idrogeno ed Elio, sono ricche di tutti gli altri elementi della tavola periodica, forgiati nel “laboratorio atomico” della stella gigante che le ha generate

LO SPETTACOLO DEL COSMO



- Le **Nebulose** si presentano spesso con forme di straordinaria bellezza, come i **Pilastri della Creazione** della **Nebulosa dell'Aquila** (M16) nella **Costellazione del Serpente**
- O la famosissima **Nebulosa Testa di Cavallo** (NGC 2024), in **Orione**
- ...ma della stella originaria, cosa rimane?

Un'antica Supernova



- Nel 1054 le cronache cinesi riportarono di una **Stella Nova** che si accese nel cielo, tanto splendente da poter essere visibile anche di giorno, e che durò diverse settimane
- Oggi, al suo posto, rimane la bellissima **Nebulosa del Granchio**, nella **Costellazione del Toro**, i cui filamenti luminescenti sono dovuti ai gas eccitati dagli elettroni emessi da una stella superdensa, situata al suo centro, che è quanto rimane della stella originale

LE PULSAR

- Le **Stelle di Neutroni** sono così dette perché sono composte solamente da queste particelle nucleari
- Il collasso della stella originaria ha compresso tanto i nuclei atomici che gli **elettroni** non possono più stare allo stato libero, ma ricadono sui **protoni** neutralizzandoli
- La densità del nuovo oggetto è incredibile, più di 100.000 volte quella dell'acqua
- La radiazione emessa da questa stella non può sfuggire a piacimento, ma è incanalata lungo i tubi di flusso che si generano ai poli del suo potente campo elettromagnetico
- Ruotando su se stessa, la stella proietta nello spazio il suo fascio di radiazioni, esattamente come fa un faro con la sua luce (modello di Pacini-Gold, 1968)
- Questa "stella intermittente" prende il nome di **Pulsar**

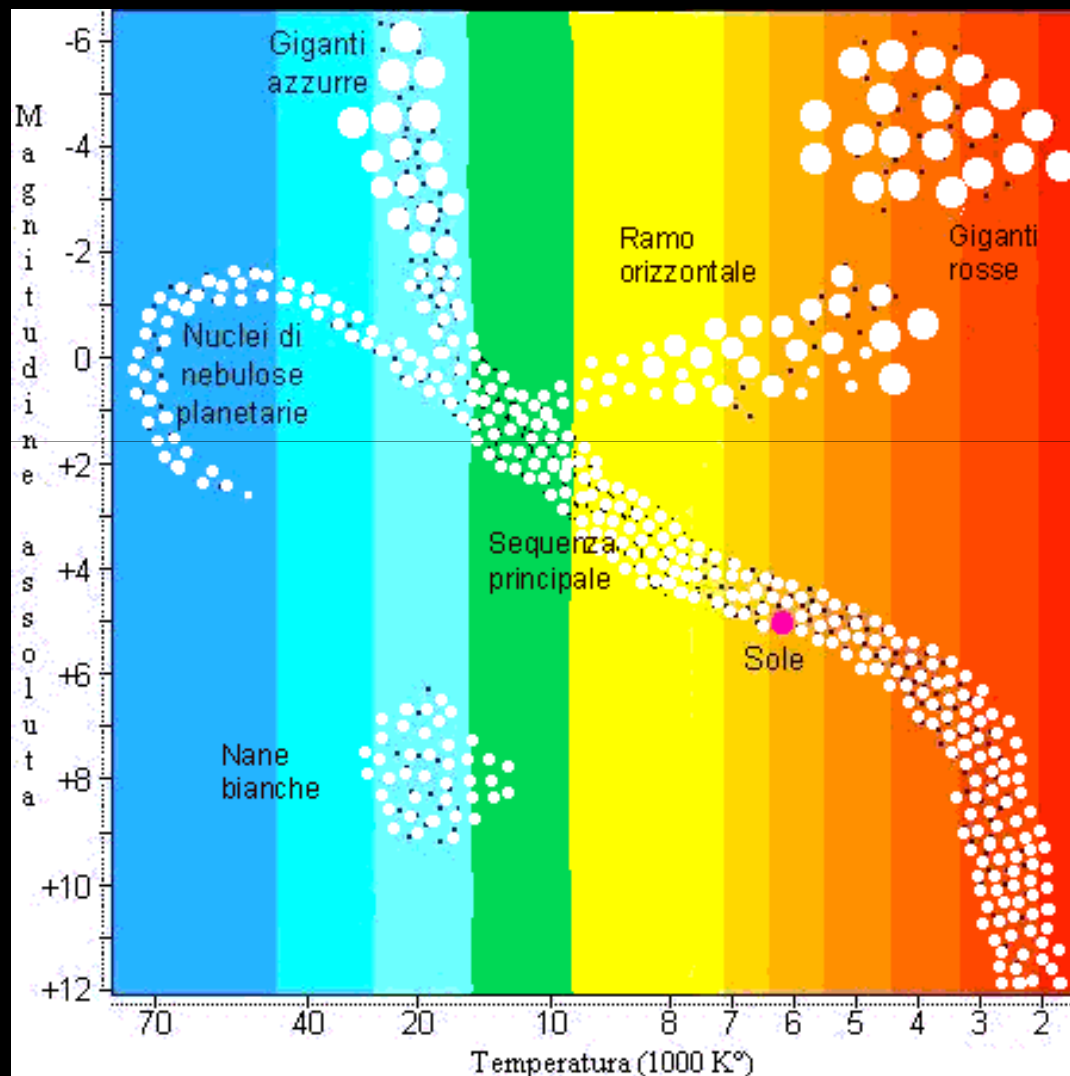
BLACK HOLE

- Se il “Nocciolo” residuo della stella originale è superiore a 3 volte la massa solare, il suo collasso va oltre lo stadio di **Stella di Neutroni**
- La sua materia si concentra in un piccolo spazio, e il suo stato di aggregazione non è più descrivibile con i modelli della fisica a noi familiari
- Questo anomalo oggetto spaziale crea attorno a sé un campo gravitazionale tanto potente, che nemmeno la luce può sfuggire. Per questo viene chiamato, a ben ragione, **Buco Nero**

- I **Buchi Neri** non possono essere visti direttamente, ma la materia che ricade vorticosamente su di essi, attratta dal potentissimo campo gravitazionale, emette una quantità di radiazioni che rivela la presenza di una anomalia cosmica
- **Cygnus X-1** è una grande sorgente di **raggi X**, nella **Costellazione del Cigno**, ed è considerata dagli astronomi uno dei principali indizi dell'esistenza di un **Buco Nero**



CLASSIFICARE LE STELLE i Diagrammi H-R



- Per riassumere quanto visto finora, gli astronomi sono soliti descrivere i vari tipi di stelle con un diagramma, in cui in ascissa è riportata la temperatura (da cui dipende anche il colore) e in ordinata la luminosità della stella
- Lungo la diagonale del diagramma troviamo la **Sequenza principale**, formata da tutte le stelle che si trovano in **Equilibrio Idrostatico**
- Al di fuori di questa, troviamo vari rami e raggruppamenti che appartengono alla storia evolutiva delle stelle, come il gruppo delle **Giganti rosse**, in alto a destra, o quello delle **Nane bianche**, in basso a sinistra
- Questi grafici prendono il nome di **Diagrammi H-R**, da **Hertzprung** e **Russel**, gli astrofisici che li idearono



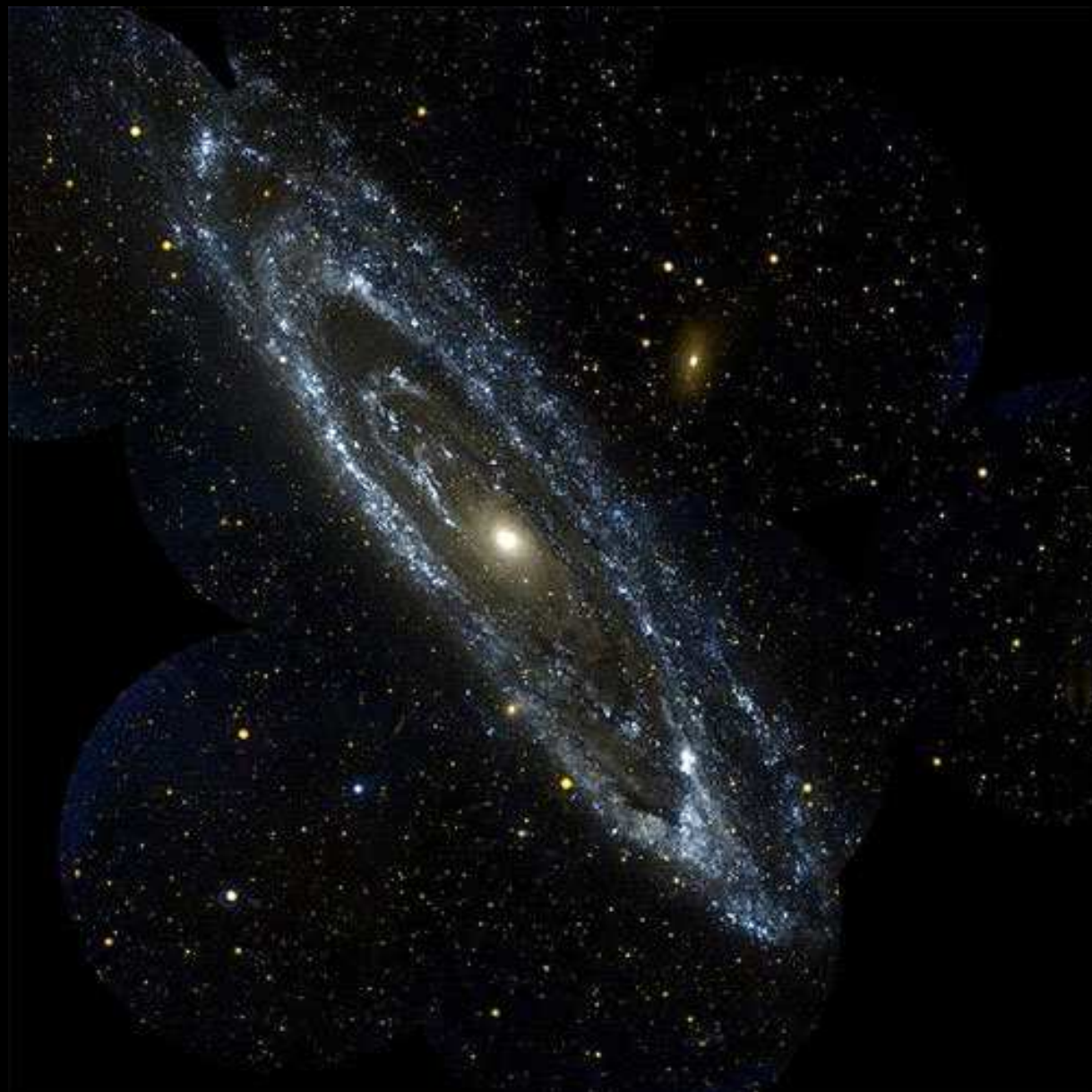
LE STELLE VARIABILI

- Nel grande panorama dell'Universo troviamo anche stelle particolari che “pulsano”, aumentando e diminuendo la loro luminosità con ritmo regolare
- Si tratta delle **Stelle Variabili**, come le **Cefeidi** (qui sotto) o le **RR-Lyrae** (qui accanto)



- Nel 1912 l'astronoma americana **Henrietta Leavitt** scoprì una relazione precisa tra il periodo di pulsazione delle variabili e la loro **luminosità assoluta**
- Una volta noto questo valore, dal confronto con la **luminosità apparente**, che dipende dalla lontananza dell'astro, si può ricavare una misura della distanza della stella
- Per questo motivo, le **Variabili** sono diventate importantissimi misuratori di distanze delle Costellazioni e delle Galassie

LE GALASSIE



- Abbiamo visto che le stelle, di solito, non viaggiano da sole nello Spazio, ma si aggregano a formare enormi raggruppamenti, che prendono il nome di **Galassie**
- La Galassia a cui apparteniamo ha una forma a spirale, come **Andromeda**, qui accanto, che è anche la prima Galassia scoperta, a 2,2 milioni di anni luce da noi
- Altre Galassie hanno forma ellittica, globulare, irregolare, oppure hanno la forma di una spirale barrata



UNA MERAVIGLIA CHE SI RINNOVA

- Il Cosmo non finisce di sorprenderci. Ogni Galassia rappresenta miliardi di Mondi, per una estensione di decine o centinaia di migliaia di anni luce. Il numero di Galassie finora visibili è di qualche centinaio di miliardi



- Anche le Galassie, a loro volta, tendono a riunirsi in gruppi. Per esempio, in un raggio di circa 3 milioni di anni luce dalla **Via Lattea** si trovano una ventina di Galassie, che formano il cosiddetto **Gruppo Locale**



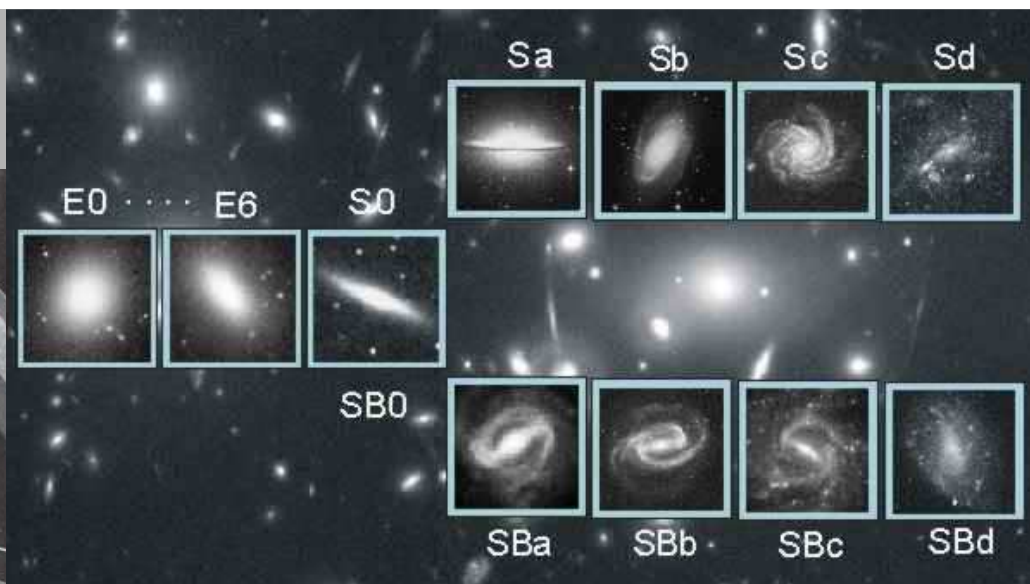
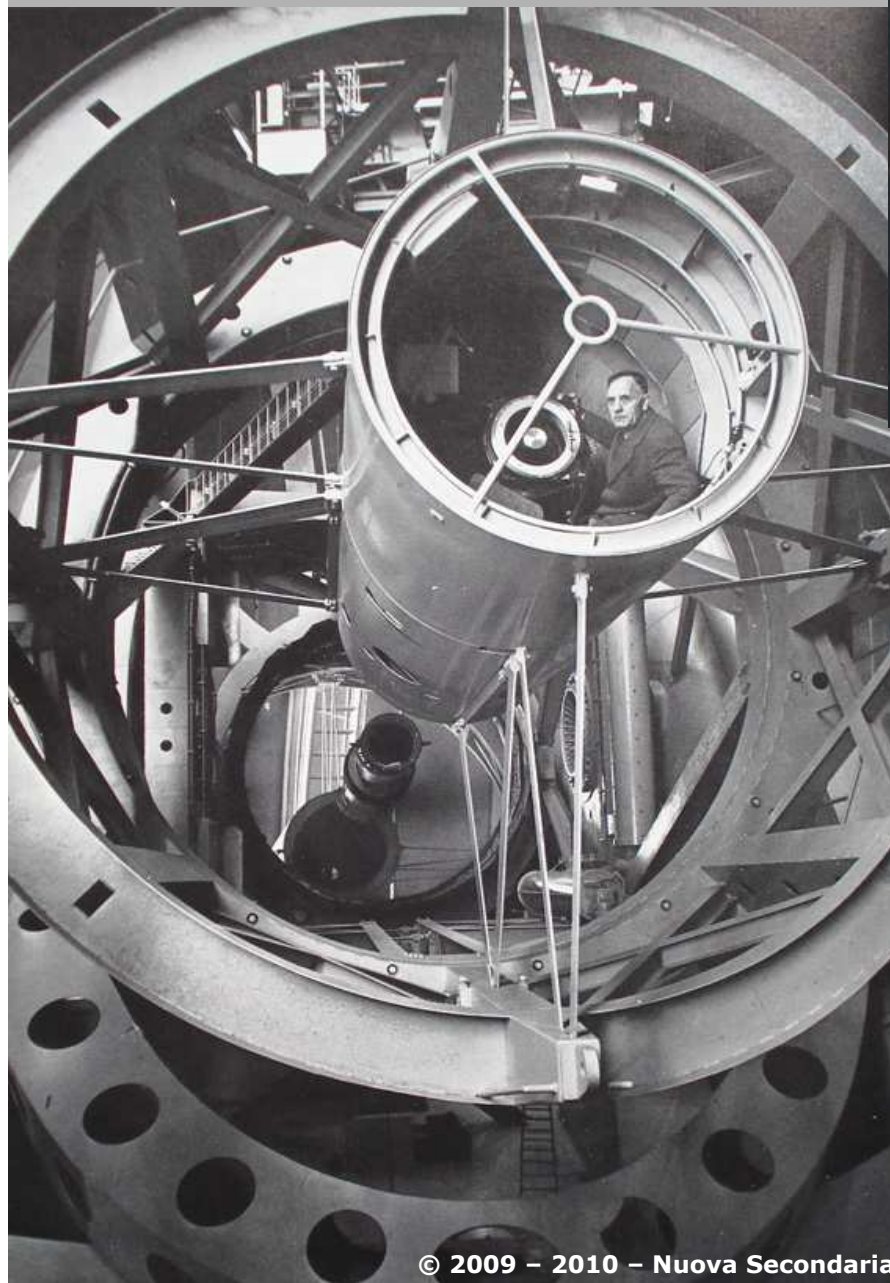
COLLISIONE DI MONDI



- Le Galassie possono anche interagire tra loro, o addirittura scontrarsi, come in questa immagine ripresa dallo Hubble Space Telescope. In questo caso si ha una forte emissione di radiazioni, rilevabile con i **Radiotelescopi**



CLASSIFICARE LE GALASSIE

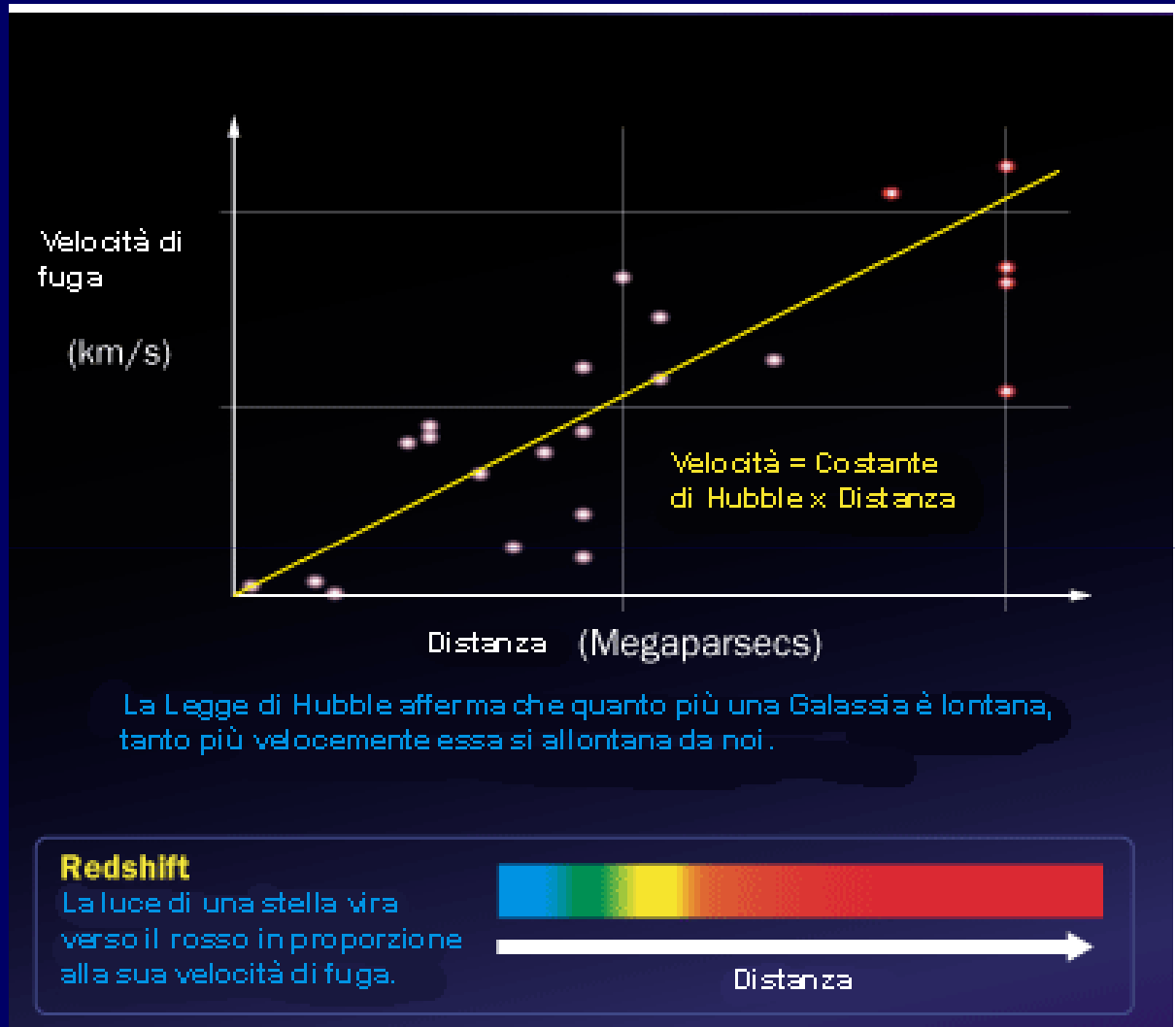


- Fu il grande astronomo **Edwin Hubble**, qui a sinistra ritratto nella “navicella” del grande Telescopio da 5 metri di Monte Palomar, a proporre una classificazione delle Galassie in base alla loro morfologia, tutt’oggi ancora in uso
- Come si può vedere dallo schema in alto, si parte dalle Galassie globulari per passare a quelle ellittiche, quindi la classificazione si biforca, facendo distinzione tra Galassie a spirale semplice e barrata



UN UNIVERSO IN ESPANSIONE

- Ad Hubble si deve anche la scoperta che le Galassie si allontanano le une dalle altre, a velocità via via maggiori in funzione della loro distanza
- Ciò è possibile rilevarlo dal fatto che la luce emessa dalle Galassie presenta uno spettro tanto più spostato verso il rosso, quanto maggiore è la loro velocità di fuga
- Il “**Red shift**” della luce è dovuto al fatto che le onde luminose si “stirano”, allungandosi, per effetto della velocità della sorgente che le emette, proprio come avviene per le onde sonore emesse dal clacson di un’automobile che sfreccia in velocità (**effetto Doppler**)



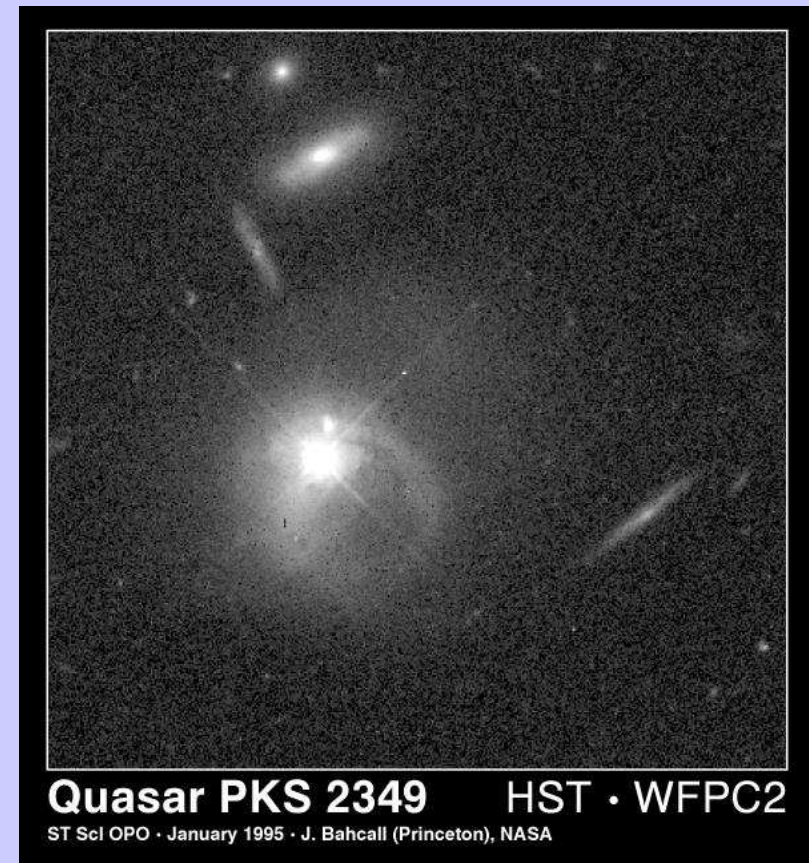
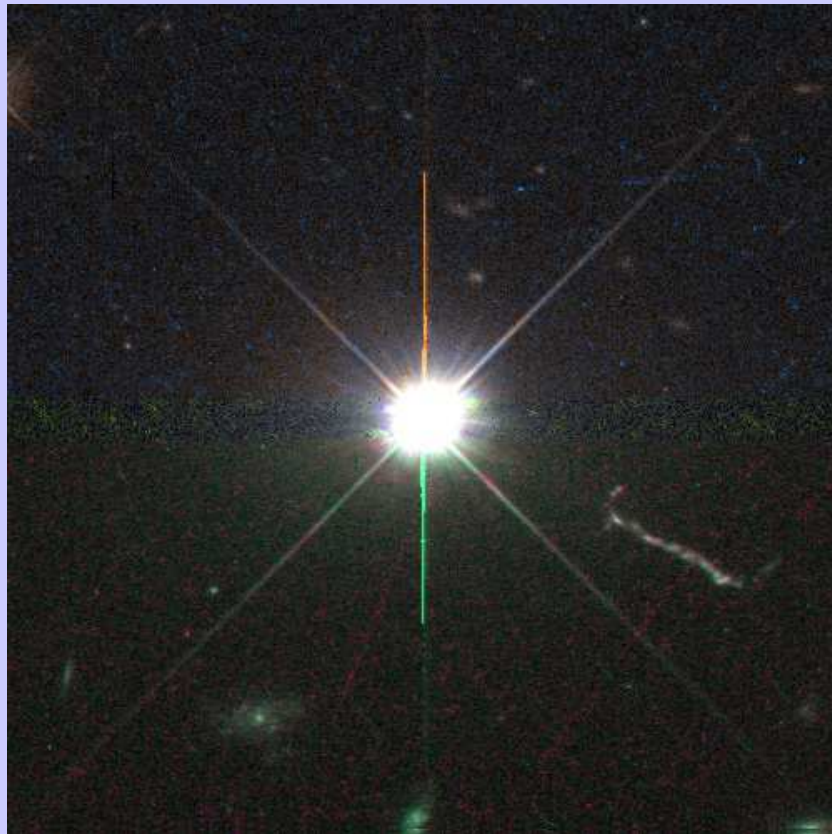
TRASMISSIONI RADIO DALLO SPAZIO

- Grazie alle osservazioni condotte con i Radiotelescopi è stato possibile individuare, nello Spazio, vari corpi celesti che sono grandi sorgenti di onde radio, come le **Radiogalassie** o le **Galassie di Seyfert**
- Con questo metodo sono state scoperte anche le **Quasar**, gli oggetti più distanti e luminosi che siano mai stati finora osservati



LE QUASAR

- Il loro nome è una sigla che significa *“Sorgenti di onde radio quasi stellari”*
- In realtà è ben difficile dire che cosa siano: le loro dimensioni sono quelle di un corpo celeste, seppure grande, mentre l'energia emessa supera quella delle galassie vicine



- Dal **Red shift** della loro luce si vede che sono molto distanti da noi, fino a 15 miliardi di anni luce
- Oggetti più distanti non sono finora mai stati osservati. Ciò significa che le **Quasar** sono anche i corpi più antichi che si possano osservare, prossimi al mistero delle origini del nostro Universo



DOMANDE ANCORA APERTE

- Il nostro è un Uni-verso o un Multi-verso?
- C'è vita nel Cosmo?
- Cosa sono la Materia oscura e l'Energia oscura?
- L'Universo è destinato ad espandersi indefinitamente, o collasserà nuovamente su se stesso?

Termina qui, con queste e molte altre domande ancora insolute, il nostro breve viaggio tra le Stelle

Questa lezione è dedicata a tutti i miei studenti. A quelli che si appassioneranno alle Scienze della Natura e che diverranno a loro volta insegnanti o studiosi, o che più semplicemente vi troveranno spunto per amare e rispettare di più il Mondo in cui viviamo, e la Vita

M.C. Mezzetti