



La nascita delle stelle e dei sistemi planetari

Daniele Galli

Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Villa La Magia – Quarrata

2 settembre 2010

La materia interstellare: il gas

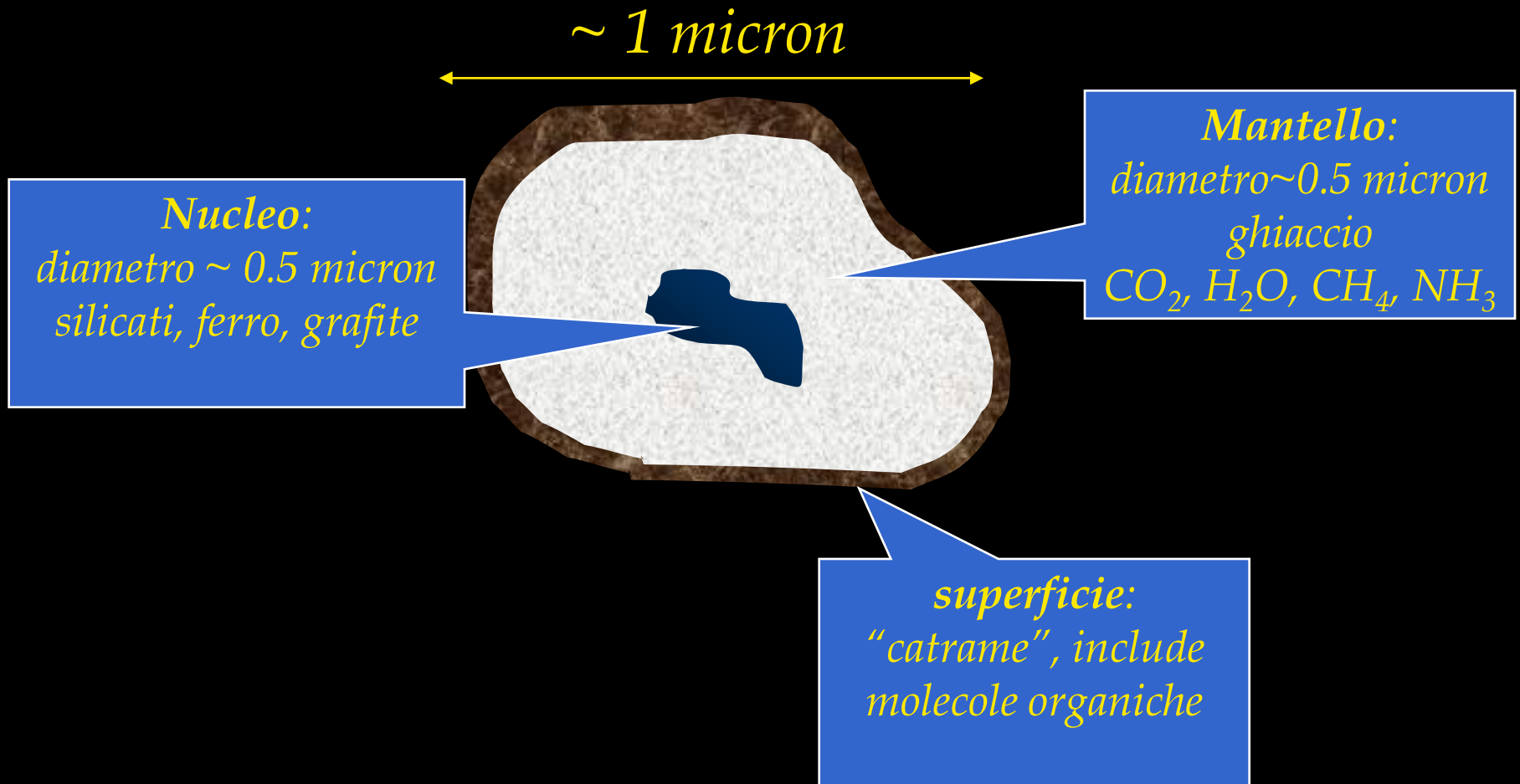


La materia interstellare: la polvere



*nubi di
polvere*

Struttura di un grano di polvere interstellare



Una nube di polvere

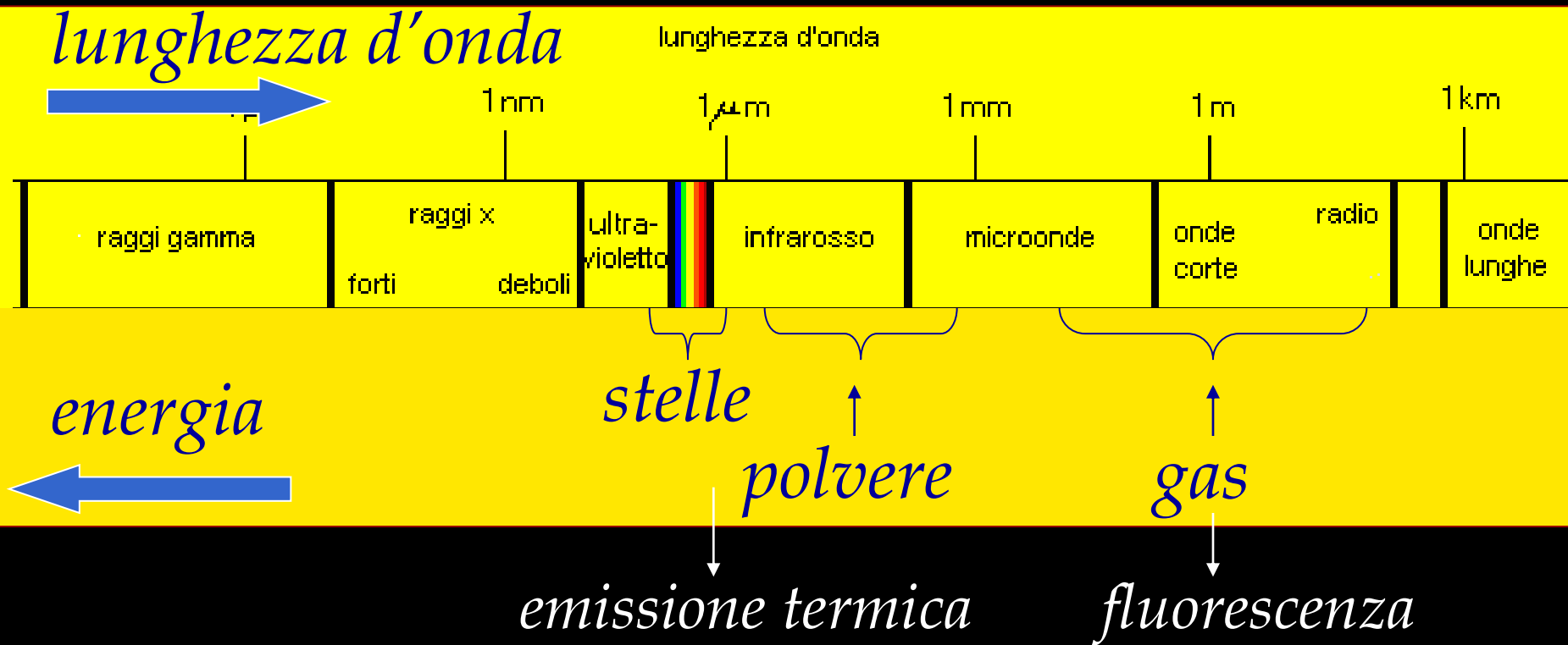


Spitzer Infrared Image: A. Noriega-Crespo (SSC/Caltech)

Visibile e infrarosso



Lo spettro elettromagnetico



Composizione della materia interstellare

gas (H, He)

99%

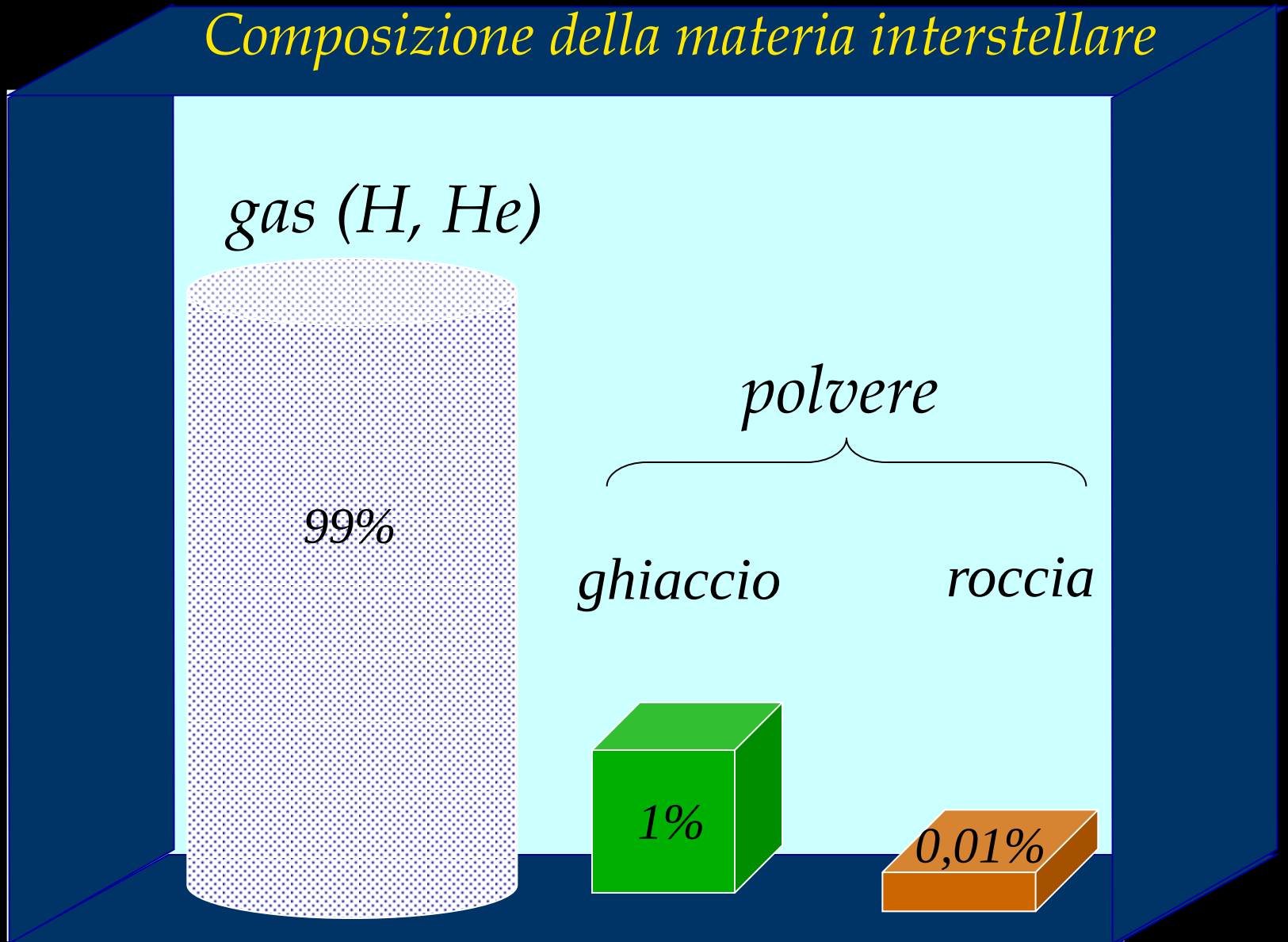
polvere

ghiaccio

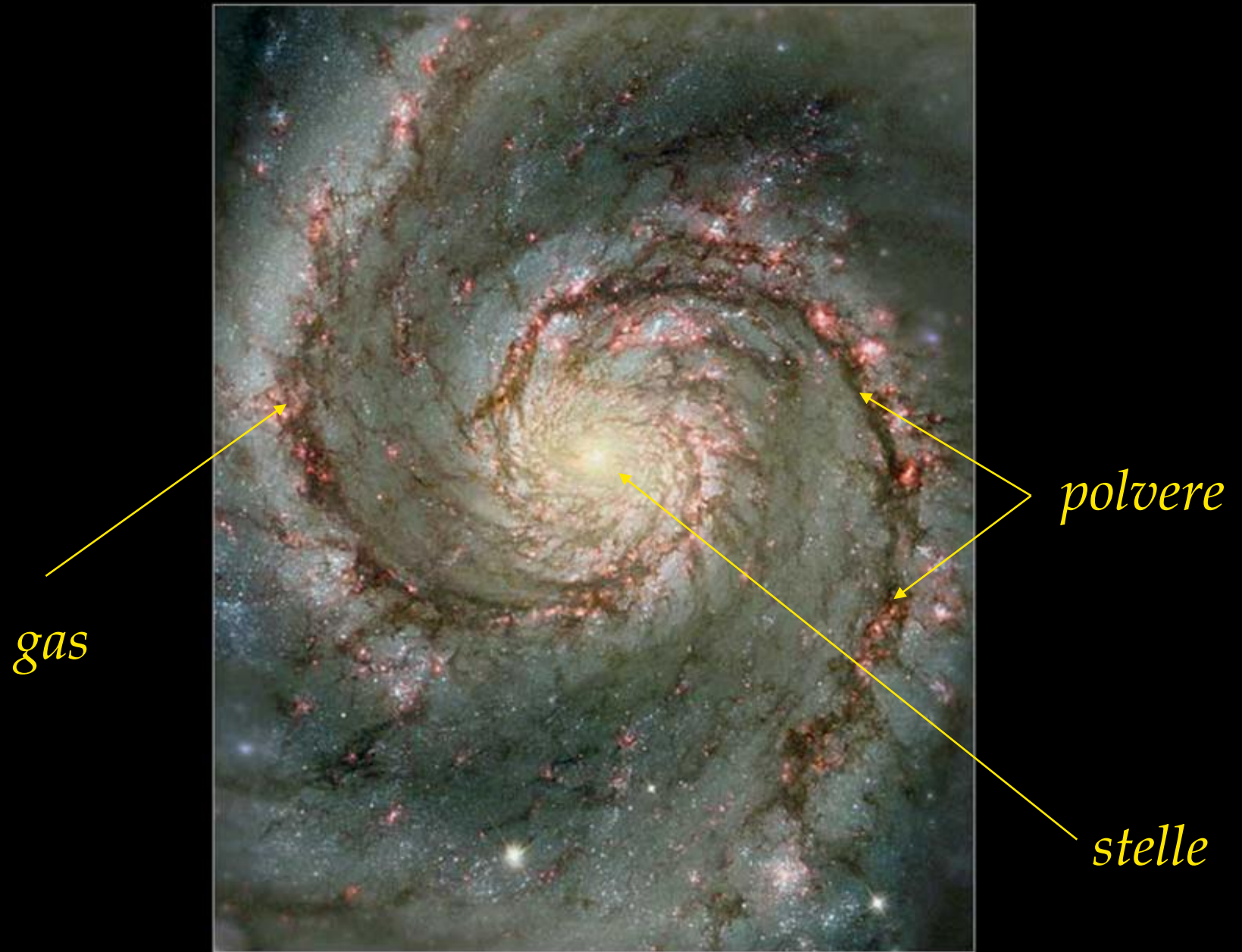
roccia

1%

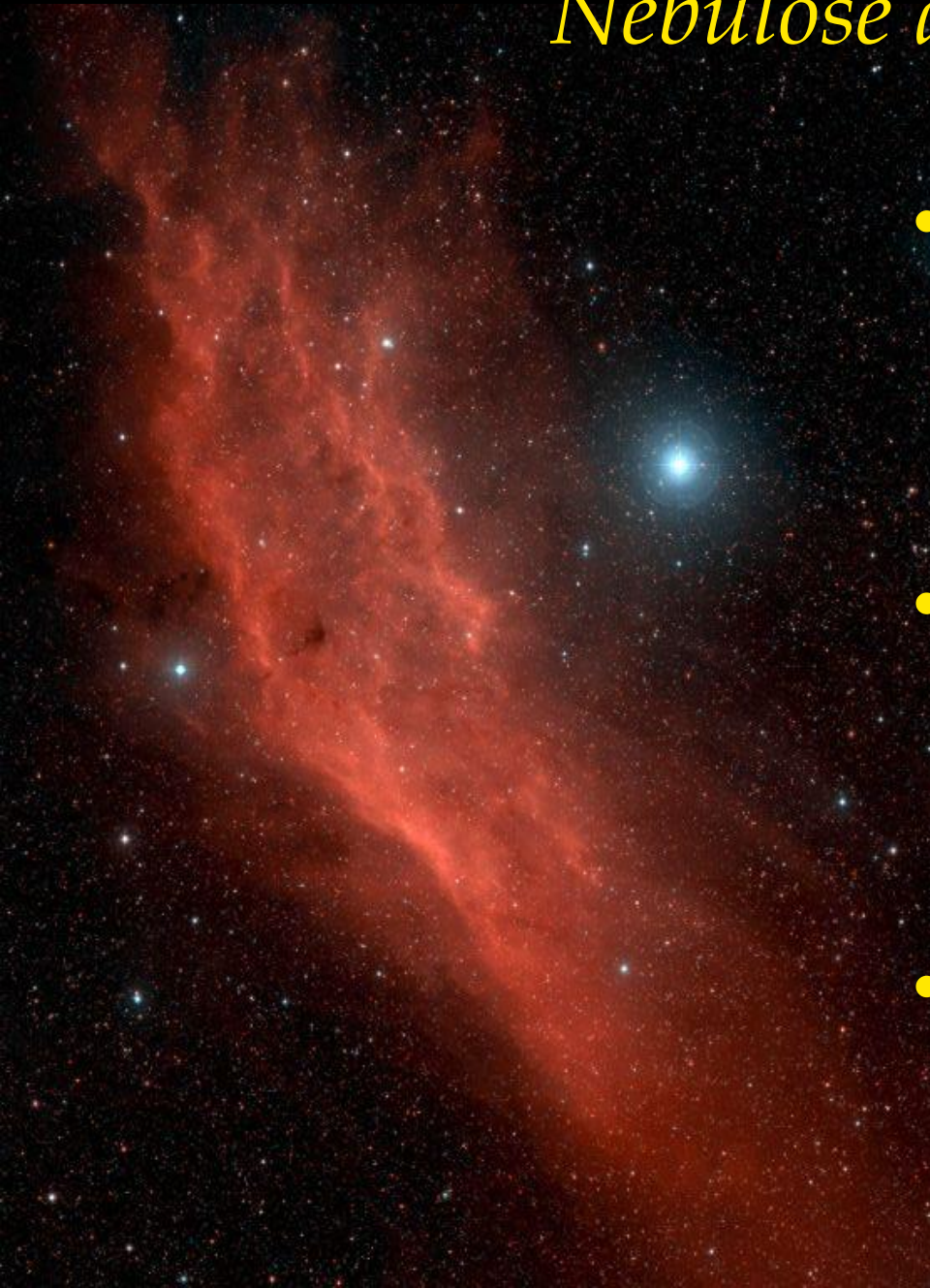
0,01%



Whirlpool Galaxy • M51



Nebulose a emissione

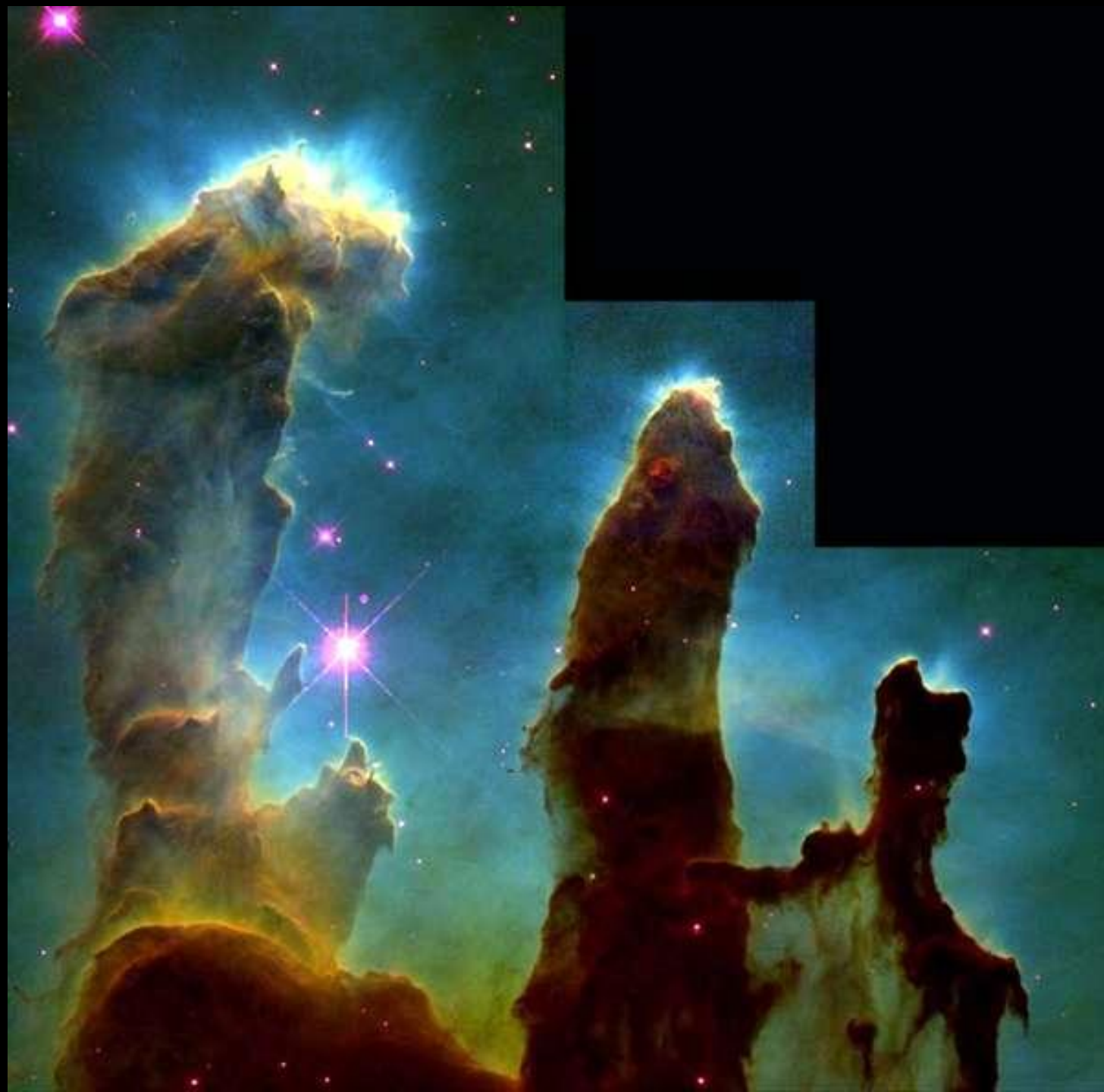


- *Si trovano vicine a stelle massicce (circa 10 volte il Sole)*
- *Stelle O e B ($T > 25000\text{ }^{\circ}\text{K}$) emettono radiazione che ionizza l'idrogeno della nube*
- *Il gas emette nella riga $H\alpha$ (rossa)*

Nebulose a riflessione



- La luce dalla stella centrale viene riflessa e diffusa dalla polvere della nube
- La luce *blu* viene riflessa e diffusa più della luce *rossa*
- Simile al cielo azzurro illuminato dal Sole





La nebulosa Aquila



Betelgeuse



Cintura di Orione

Spada di Orione

Rigel

Nella spada di Orione



Testa di Cavallo

Grande Nebulosa di Orione

La nebulosa Testa di Cavallo

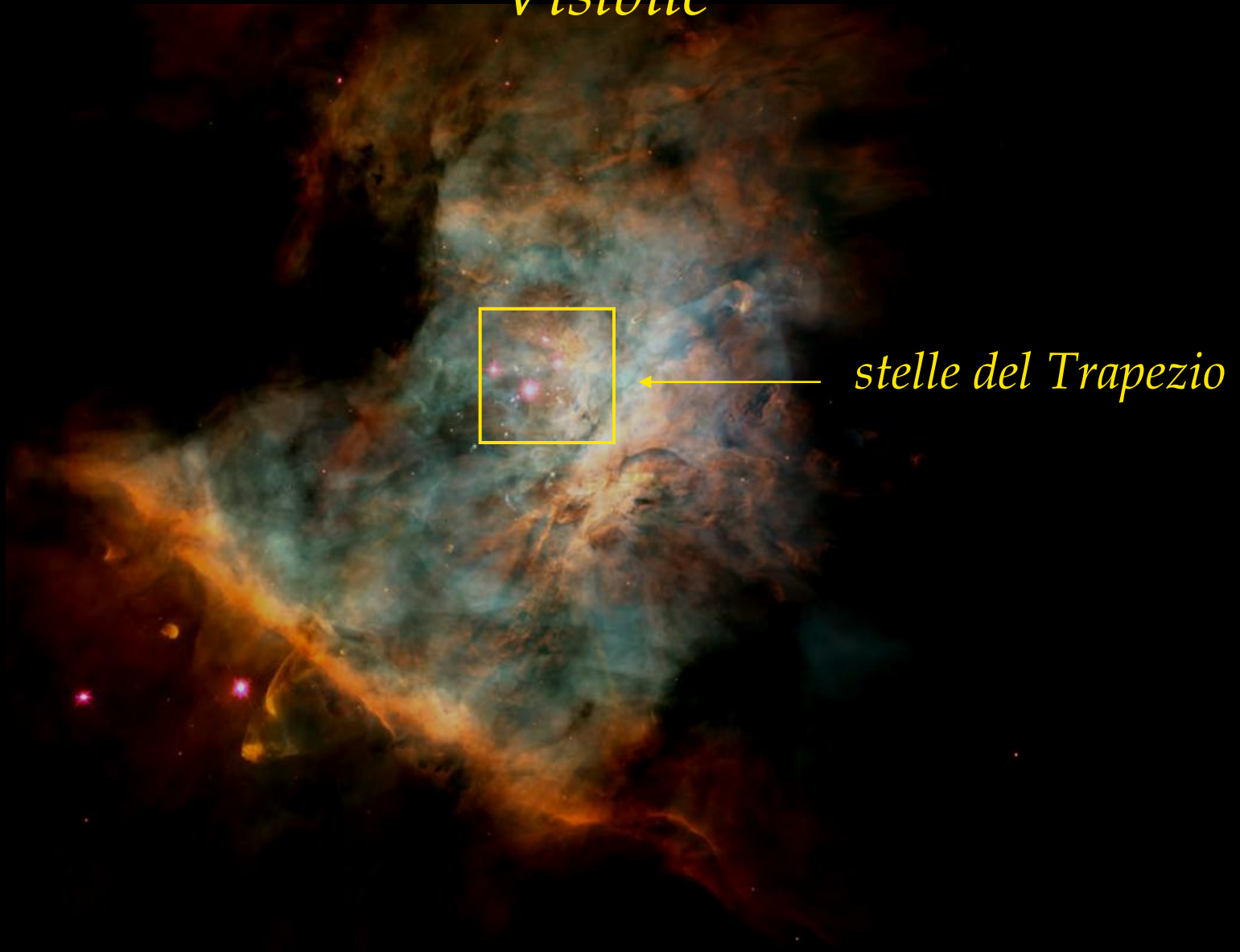


WIYN Image: T.A. Rector (NOAO/AURA/NSF) and Hubble Heritage Team (STScI/AURA/NASA)

La Grande Nebulosa di Orione (M42)

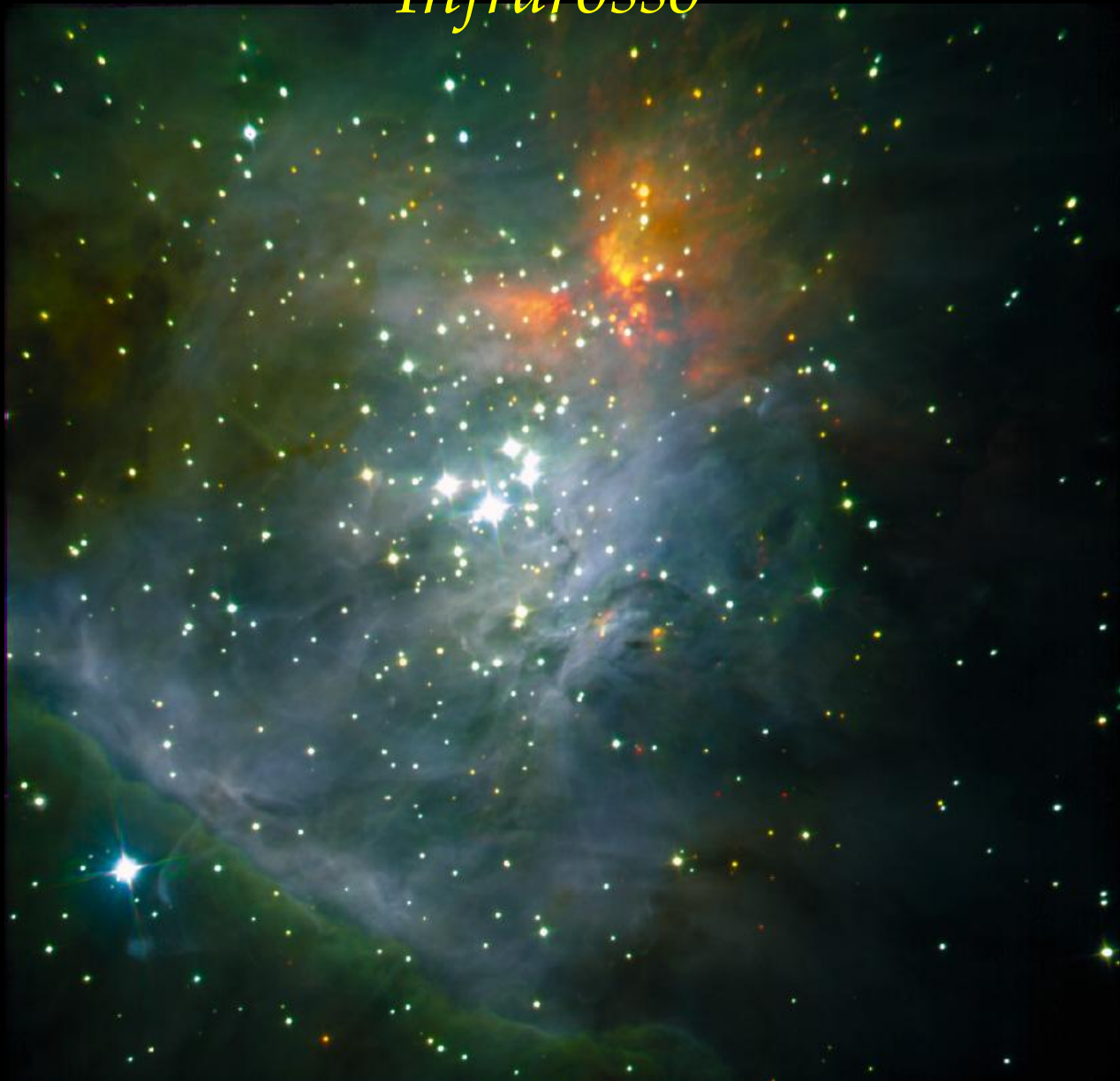


Visibile



stelle del Trapezio

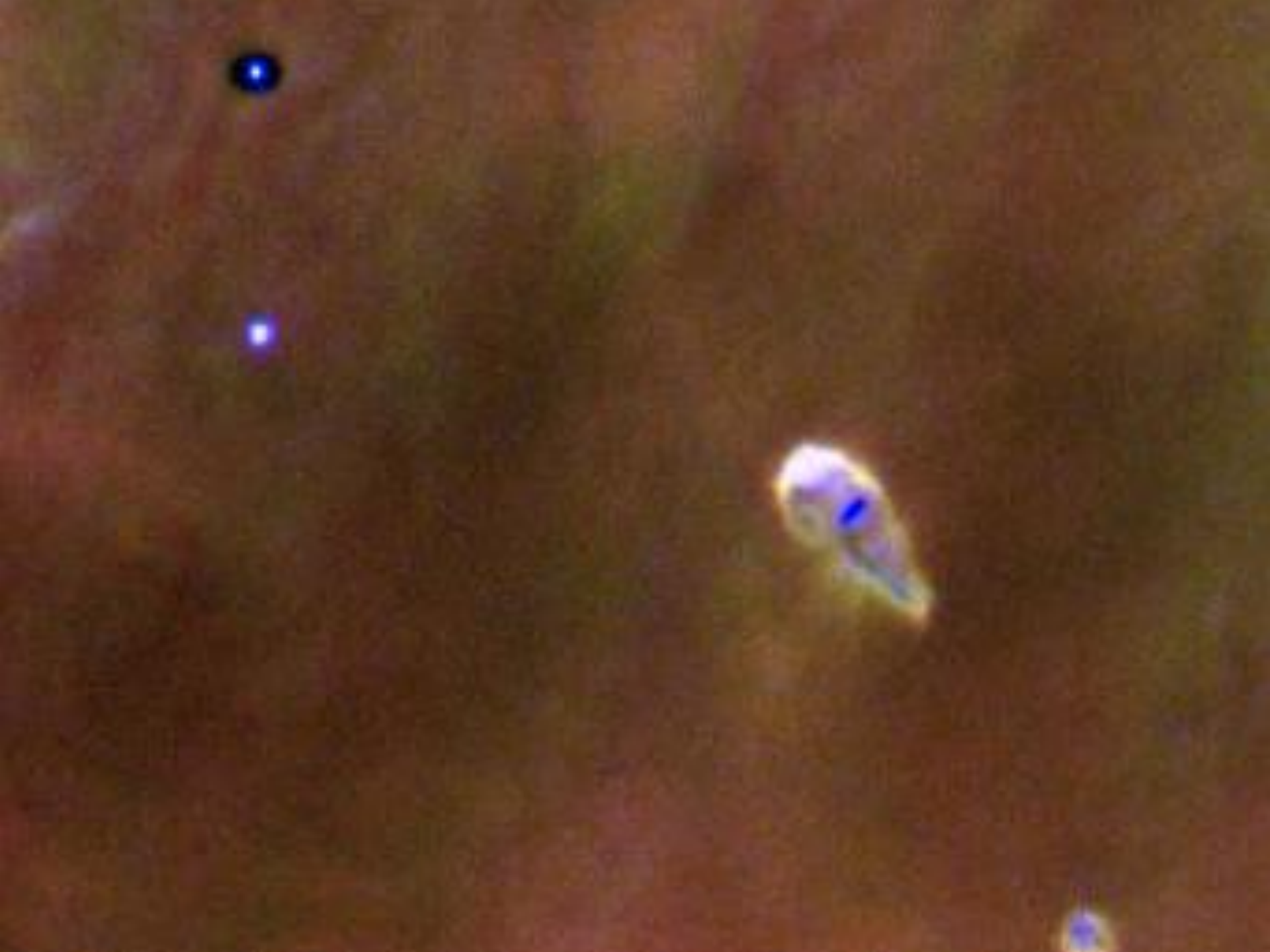
Infrarosso



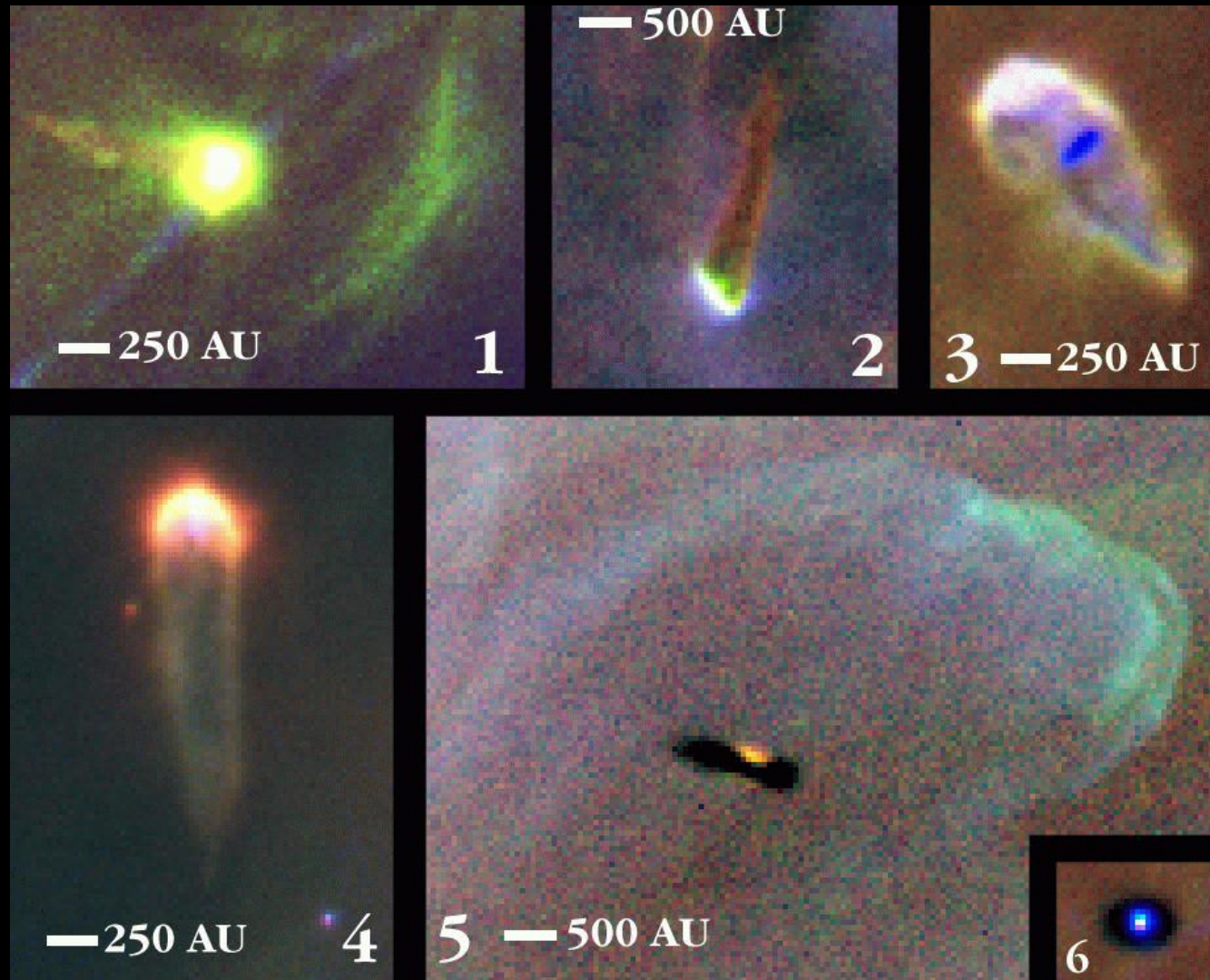
Le quattro stelle del Trapezio



*Sistemi Solari in
formazione?*

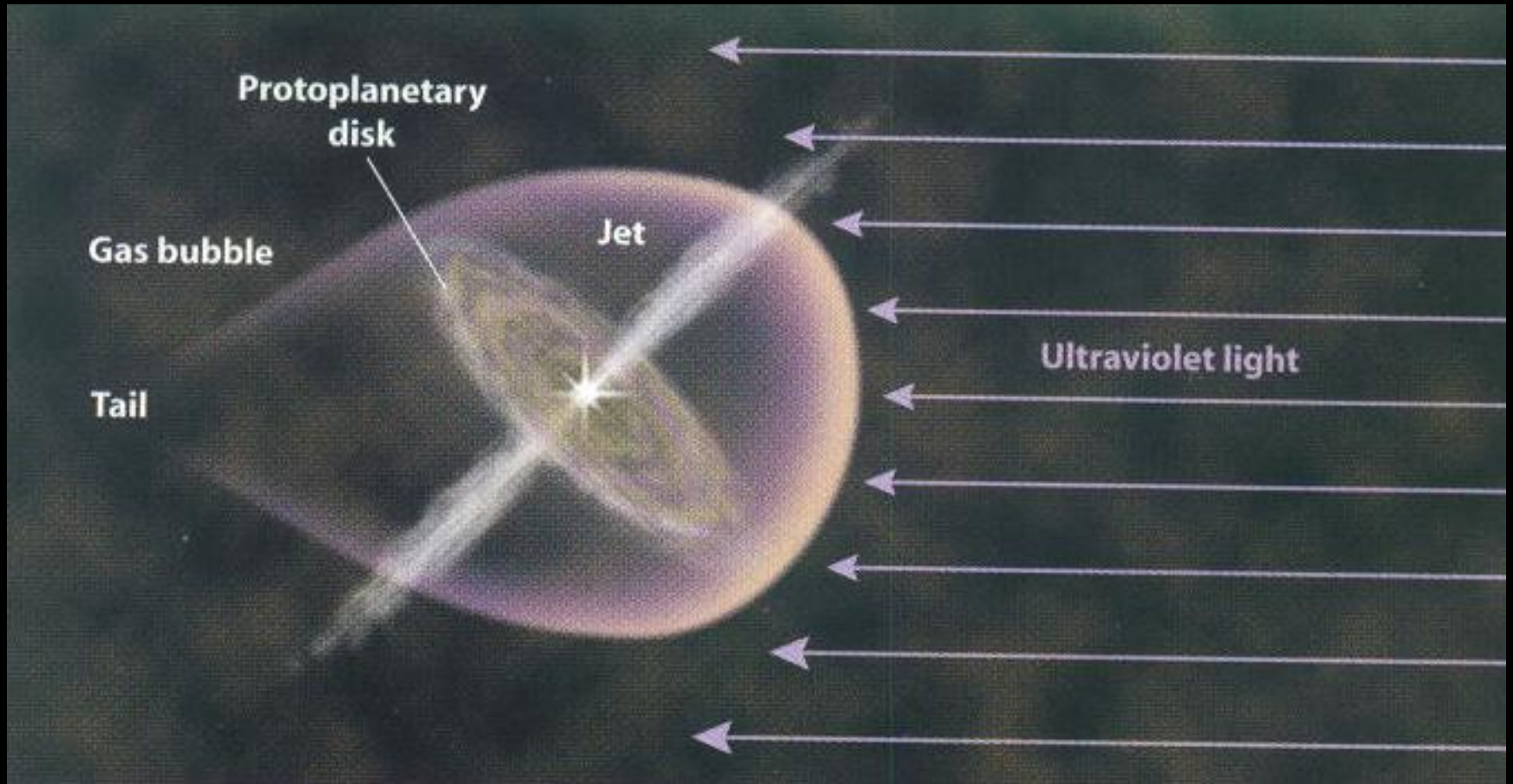






AU = unità astronomica, distanza Terra-Sole

Dischi protoplanetari in Orione

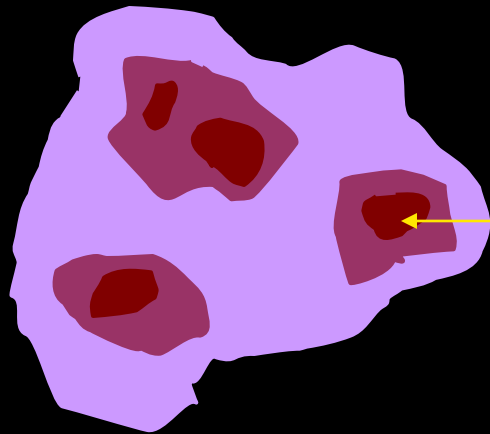


Riassumendo:

- *Lo spazio tra le stelle non è vuoto*
- *La materia interstellare: “nubi” di gas e polvere*
- *Gas: Idrogeno ed Elio*
- *Polvere: “smog” + “sabbia” molto fine*
- *Le stelle nascono nelle parti più dense e fredde ($T=10\text{ K}$) delle “nubi” per contrazione (collasso gravitazionale)*



Nube interstellare



"globulo"

10-1000 volte la massa del Sole

1 PC

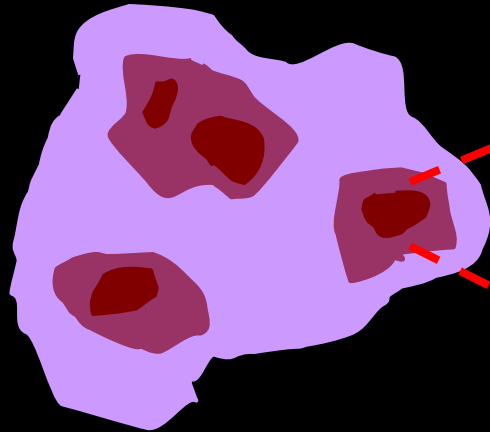
10.000 volte la massa del Sole

Collasso gravitazionale

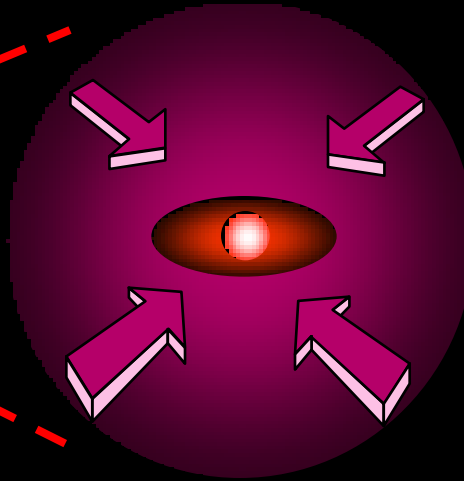
- Se la *gravità* di un “globulo” vince la *pressione* del gas, il globulo comincia a contrarsi
- Quando le dimensioni si sono ridotte a circa 100 volte il sistema solare, la temperatura al centro comincia ad aumentare
- Durata: 0.1 – 1 milioni di anni

Nube interstellare

*collasso
gravitazionale*



$\longleftrightarrow$
IPC

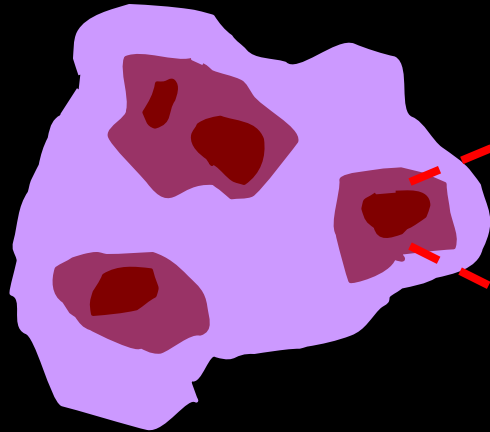


$\longleftrightarrow$
10 000 AU

Fase proto-stellare

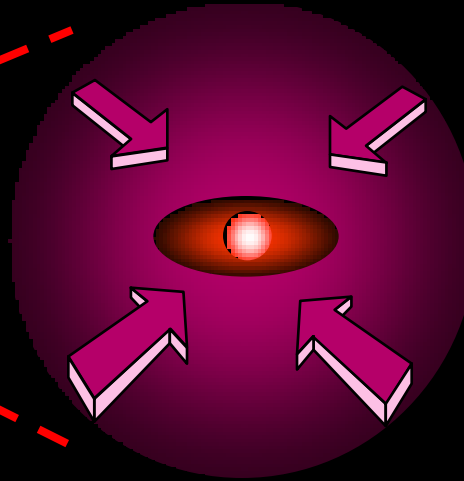
- *A causa della rotazione iniziale, non tutta la nube collassa nella stella.*
- *Il globulo è adesso una sfera gassosa calda (10,000 K) (protostella) circondato da un disco circumstellare.*
- *La protostella riceve materia dal disco, e la sua massa aumenta (accrescimento).*
- *Una parte della materia ricevuta viene espulsa in due getti bipolari perpendicolari al disco*
- *Durata: 0.1 milioni di anni*

Nube interstellare



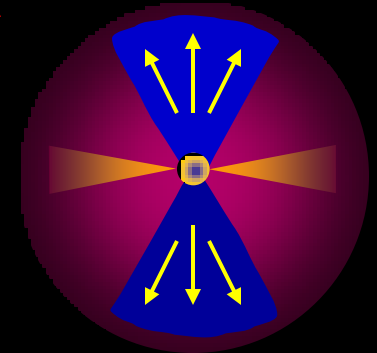
$\longleftrightarrow$
IPC

*collasso
gravitazionale*

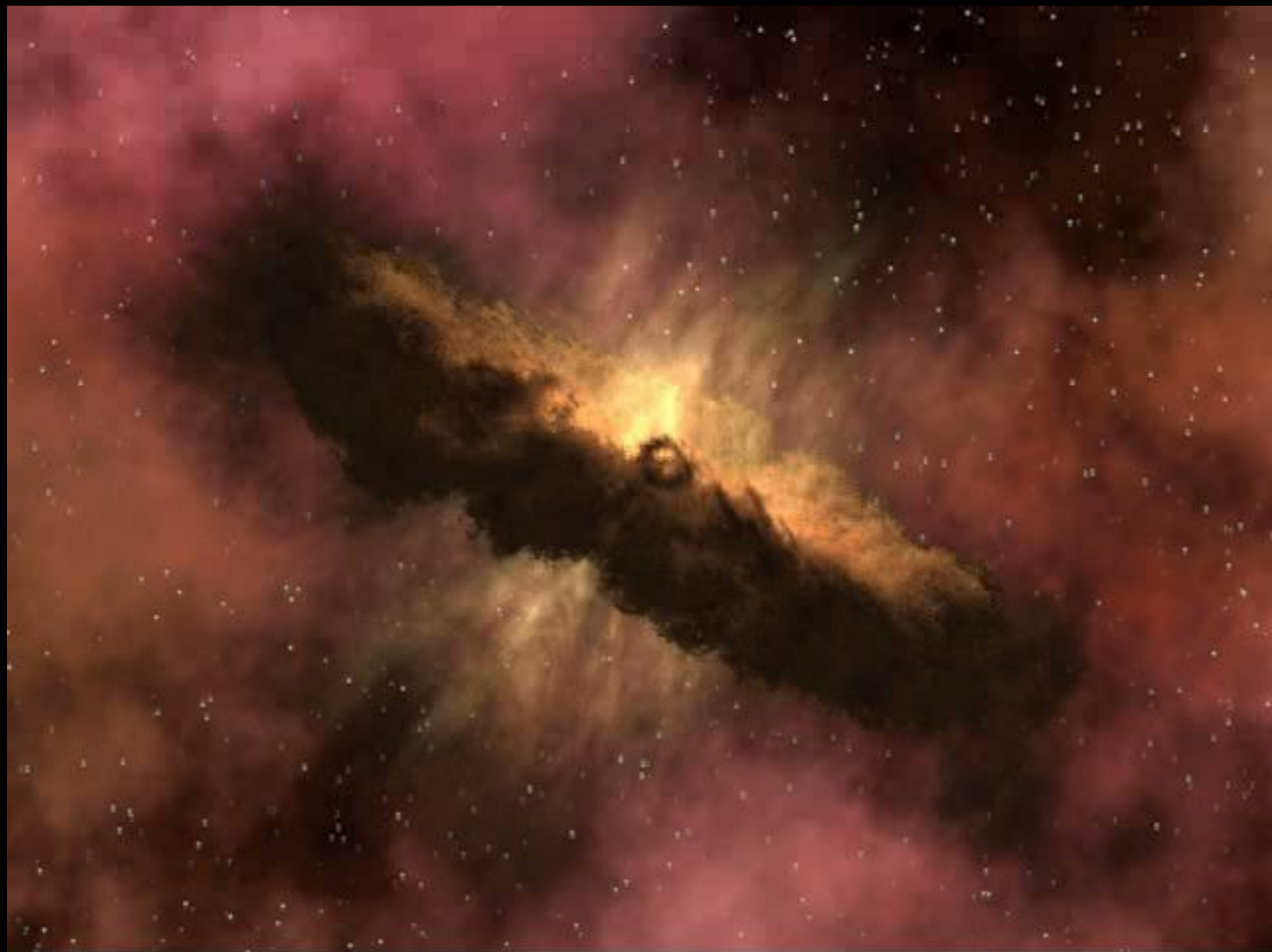


$\longleftrightarrow$
10 000 AU

protostella



$T = 10^4 - 10^5$ YR

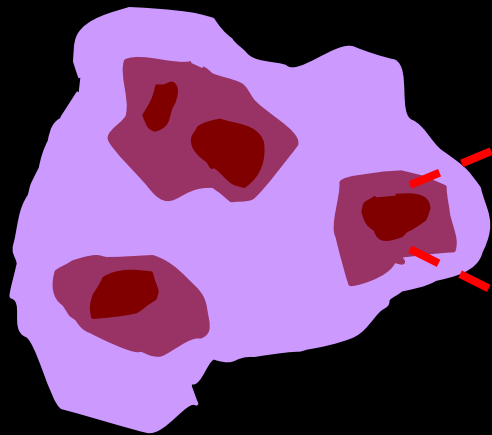


4. Nasce la stella

- *La protostella continua a contrarsi fino a raggiungere circa 3 volte le dimensioni del Sole*
- *Temperatura alla superficie: 4000 K
(superficie del Sole: 5800 K)*
- *Temperatura al centro: 10 milioni K
(centro del Sole: 15 milioni K)*
- *Si “accendono” le reazioni di fusione nucleare al centro della protostella: l’energia prodotta crea la pressione che bilancia la forza di gravità*

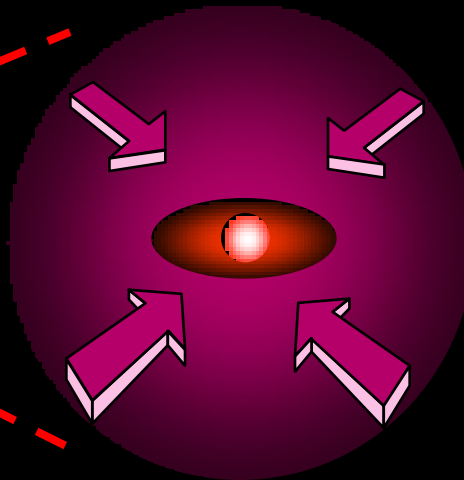


Nube interstellare



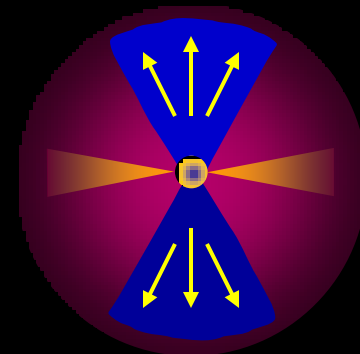
$\longleftrightarrow$
1 pc

*collasso
gravitazionale*



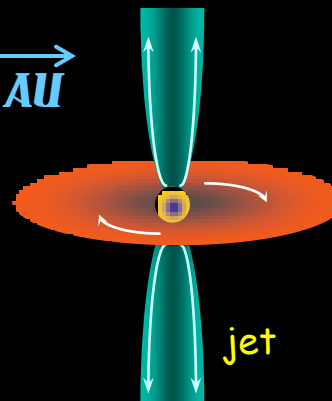
$\longleftrightarrow$
10 000 AU

protostella



$T = 10^4 - 10^5$ YR

$\longleftrightarrow$
100 AU



Disco di accrescimento

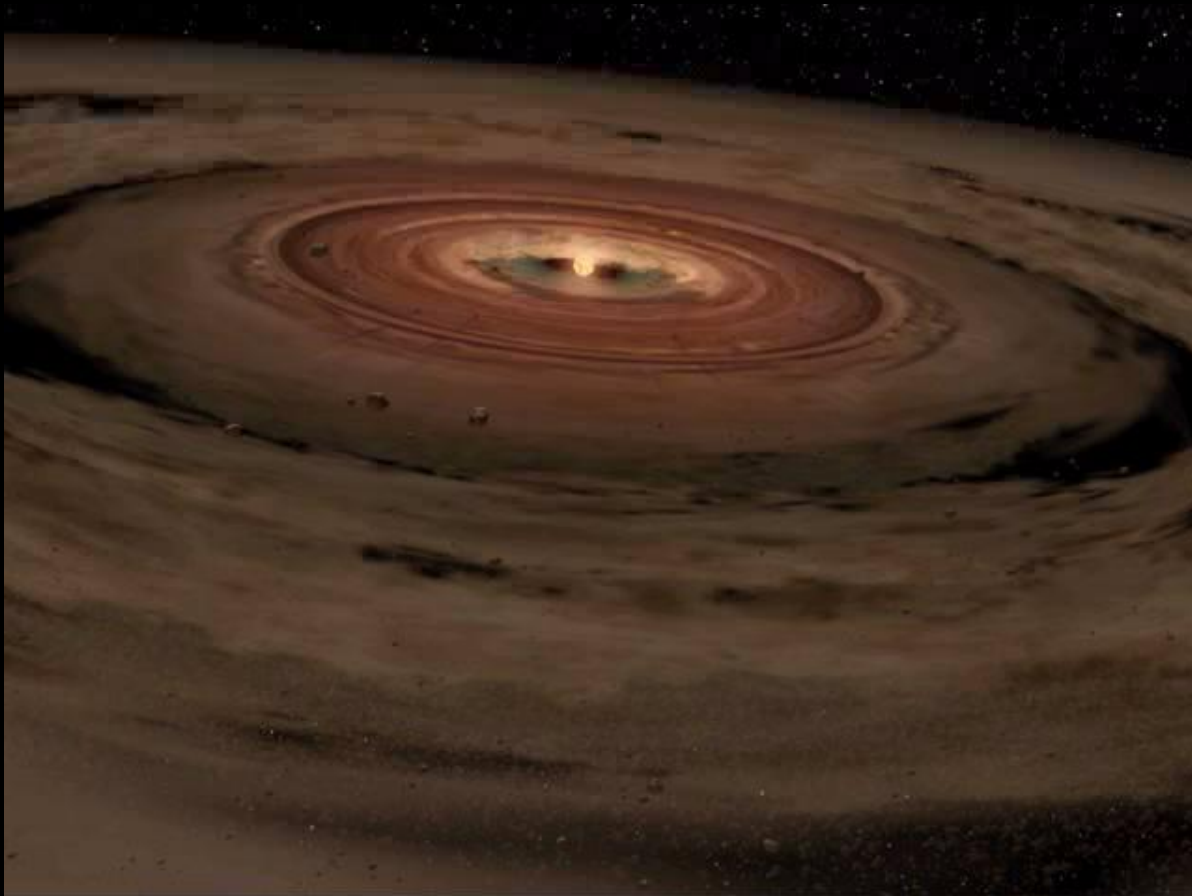
jet

Stella T Tauri

$T = 10^6 - 10^7$ YR

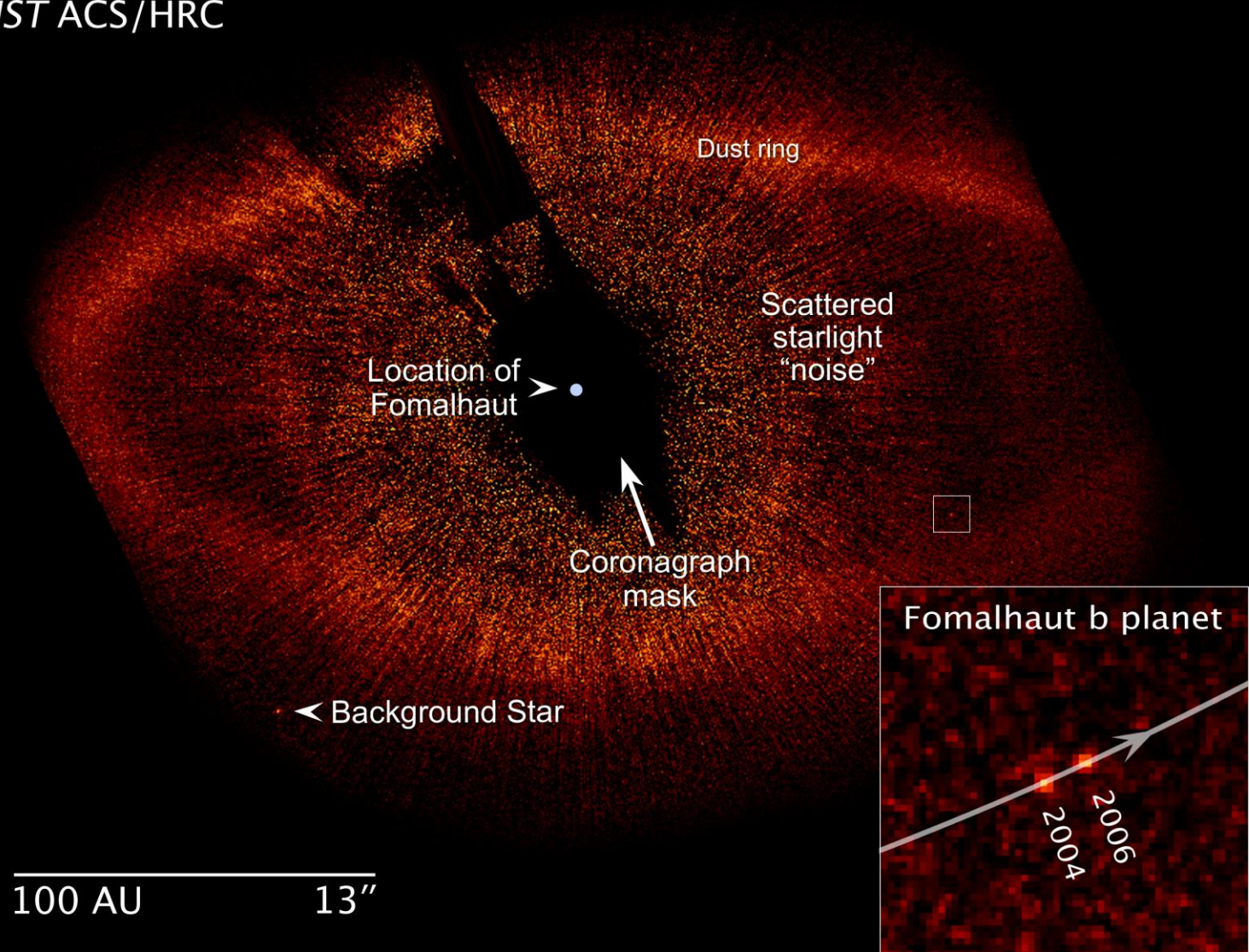
Nasce il sistema planetario

- *All'interno del disco si formano "semi" che crescono prima per coagulazione poi per accrescimento.*

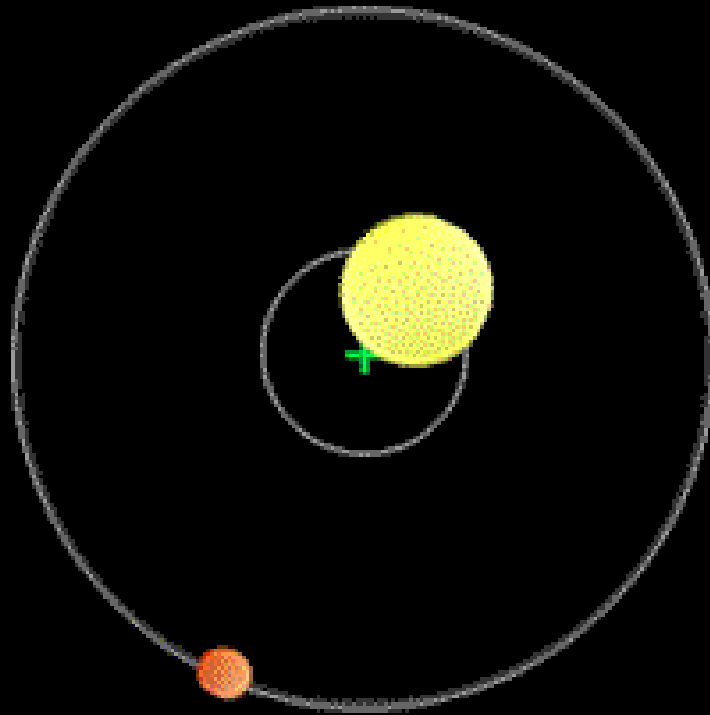


“Vedere” pianeti è difficile!

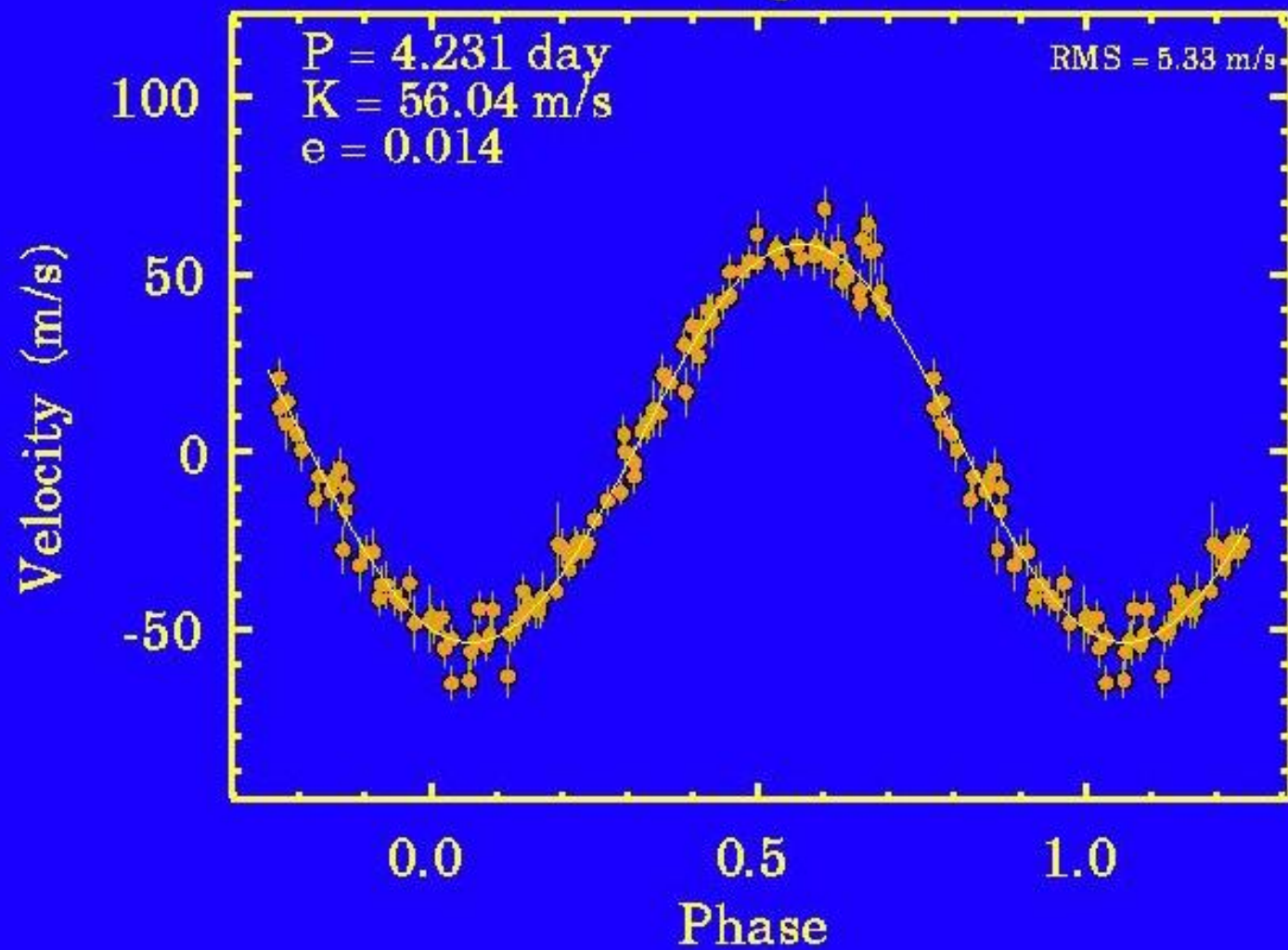
Fomalhaut
HST ACS/HRC



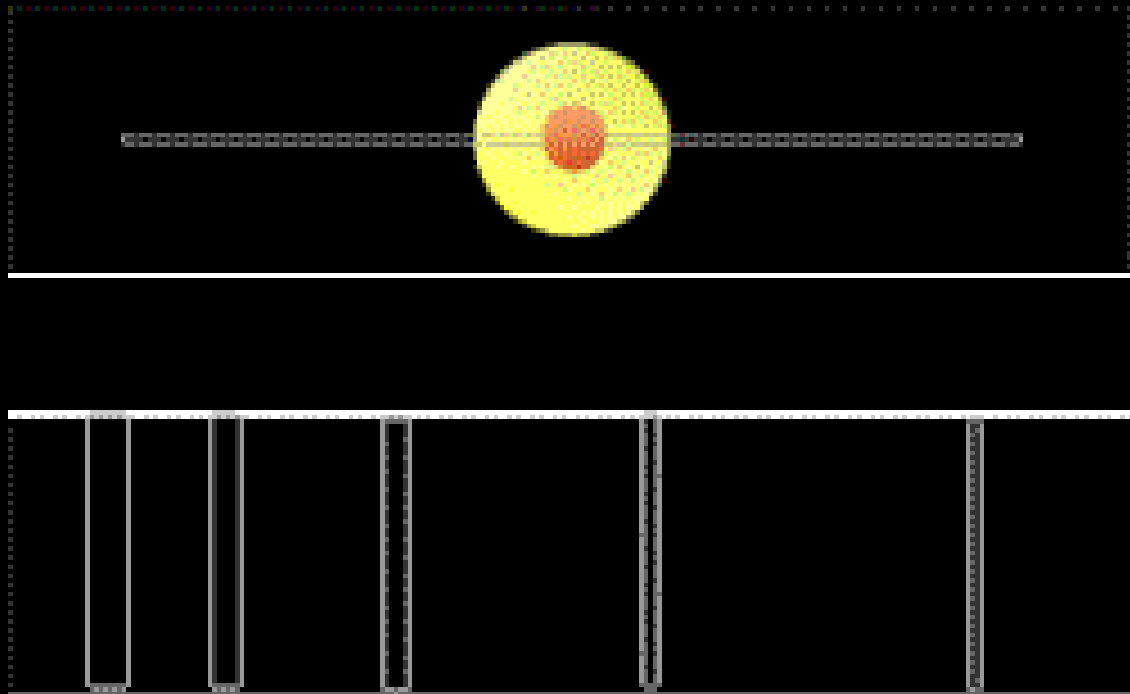
Generalmente i pianeti extrasolari sono troppo deboli per essere visti direttamente, ma possono essere rivelati dal moto della stella intorno alla quale orbitano



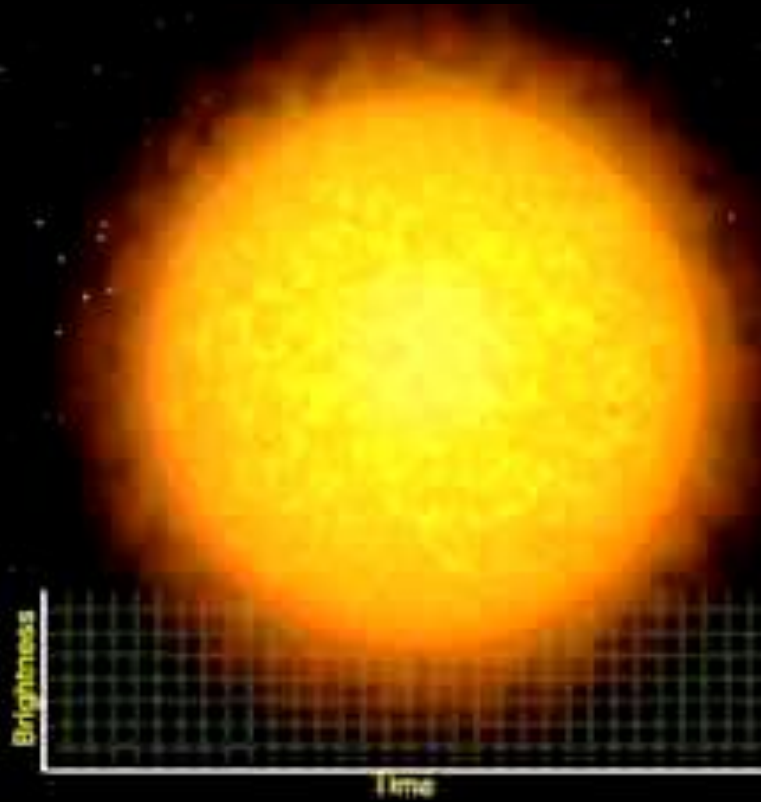
51 Pegasi

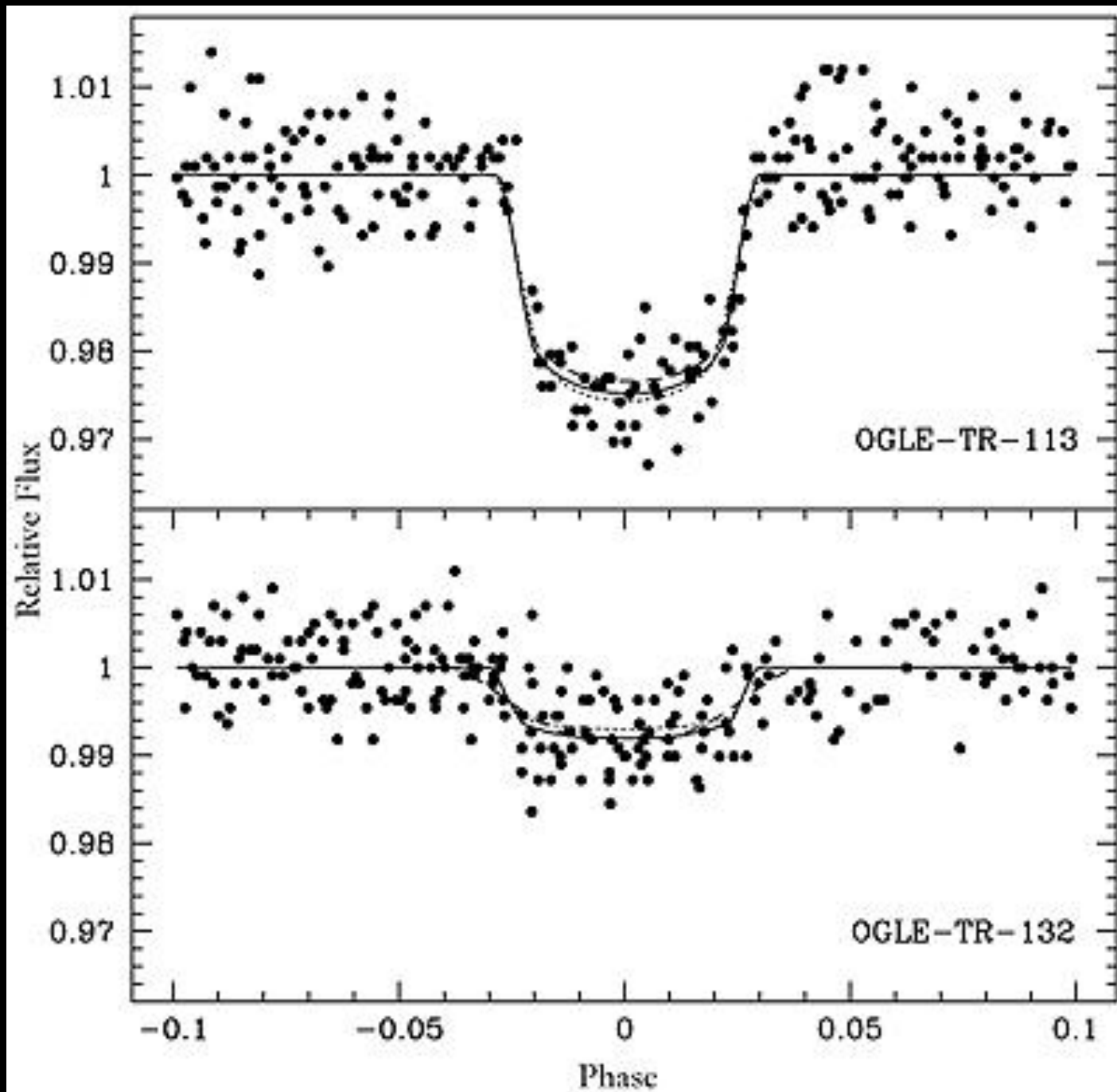


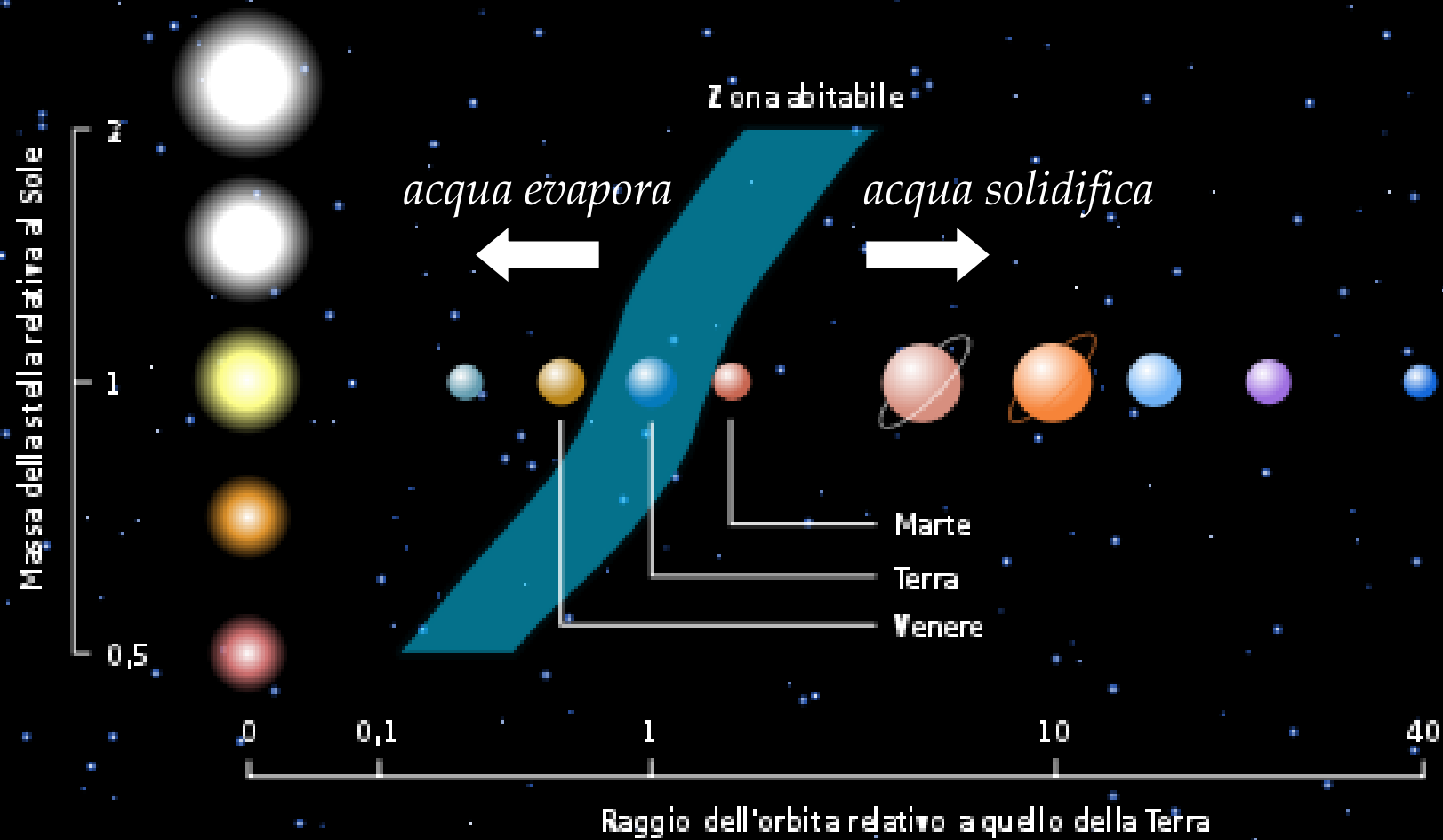
Il metodo delle velocità radiali sfrutta lo spostamento Doppler delle righe spettrali



Il metodo dei transiti: un pianeta “eclissa” una stella



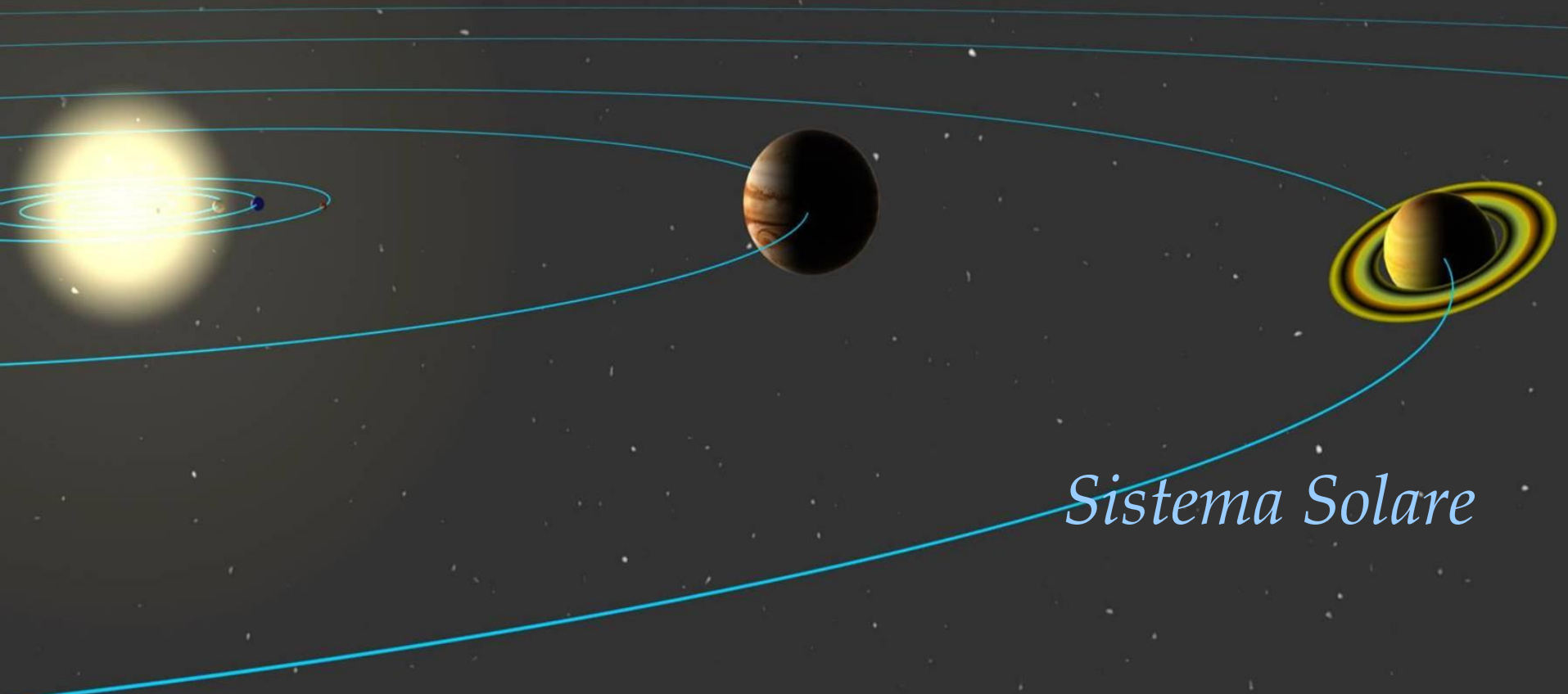
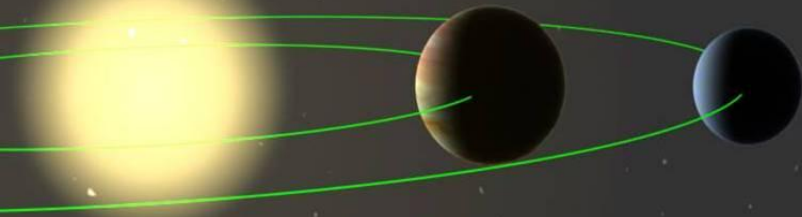




*490 sistemi planetari in orbita attorno a
stelle di tipo solare
scoperti fino ad oggi (27/8/2010):*

*nessuno di questi somiglia
al Sistema Solare...*

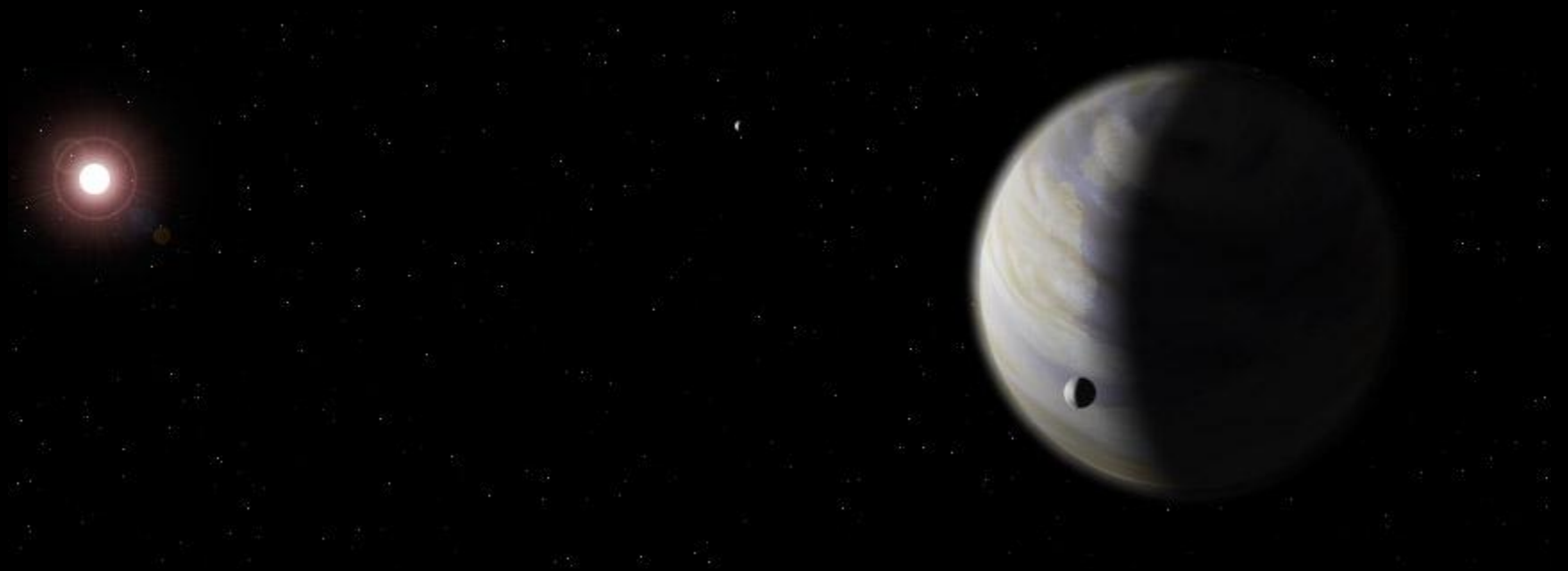
Sistema Extrasolare



Sistema Solare



*Gliese 581d, un pianeta quasi terrestre entro la
zona abitabile di una nana rossa (aprile 2010)*

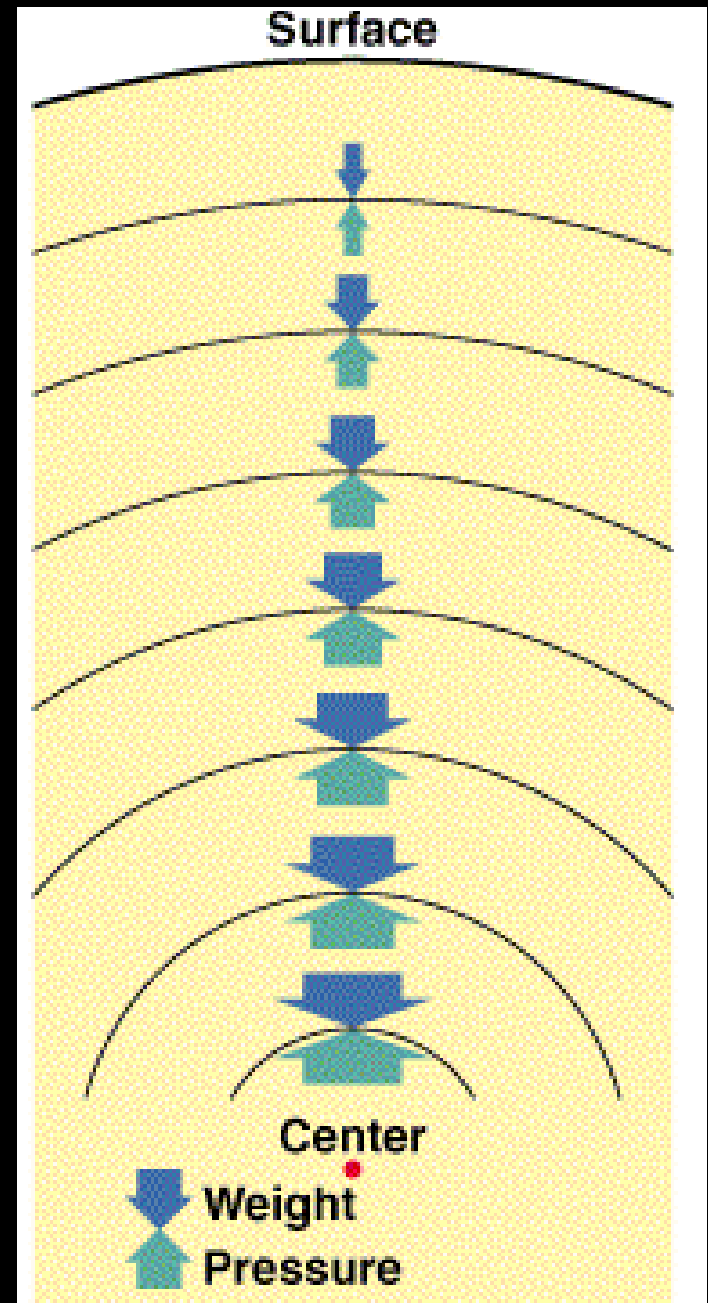


*Parte IV: Le fasi finali
dell'evoluzione stellare*

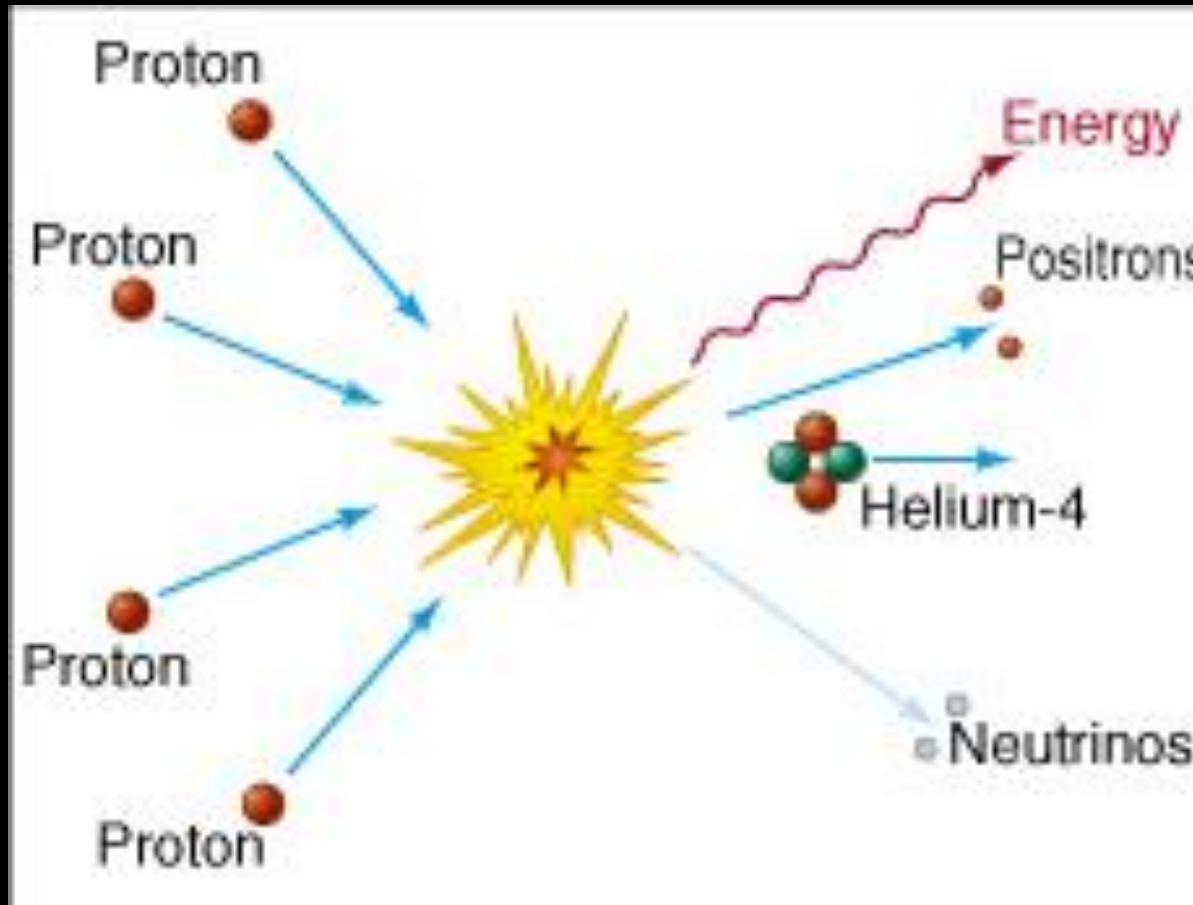
In ogni punto all'interno di una stella, il peso della colonna di gas e la pressione del gas si bilanciano esattamente:

legge dell'equilibrio idrostatico.

Quando una stella non è in equilibrio idrostatico, deve espandersi o contrarsi.



La fusione dell'Idrogeno



Le stelle producono energia attraverso reazioni di fusione nucleare. La maggior parte dell'energia è prodotta nelle parti centrali delle stelle dalla fusione di 4 nuclei di Idrogeno in 1 nucleo di Elio

La fusione nucleare produce energia

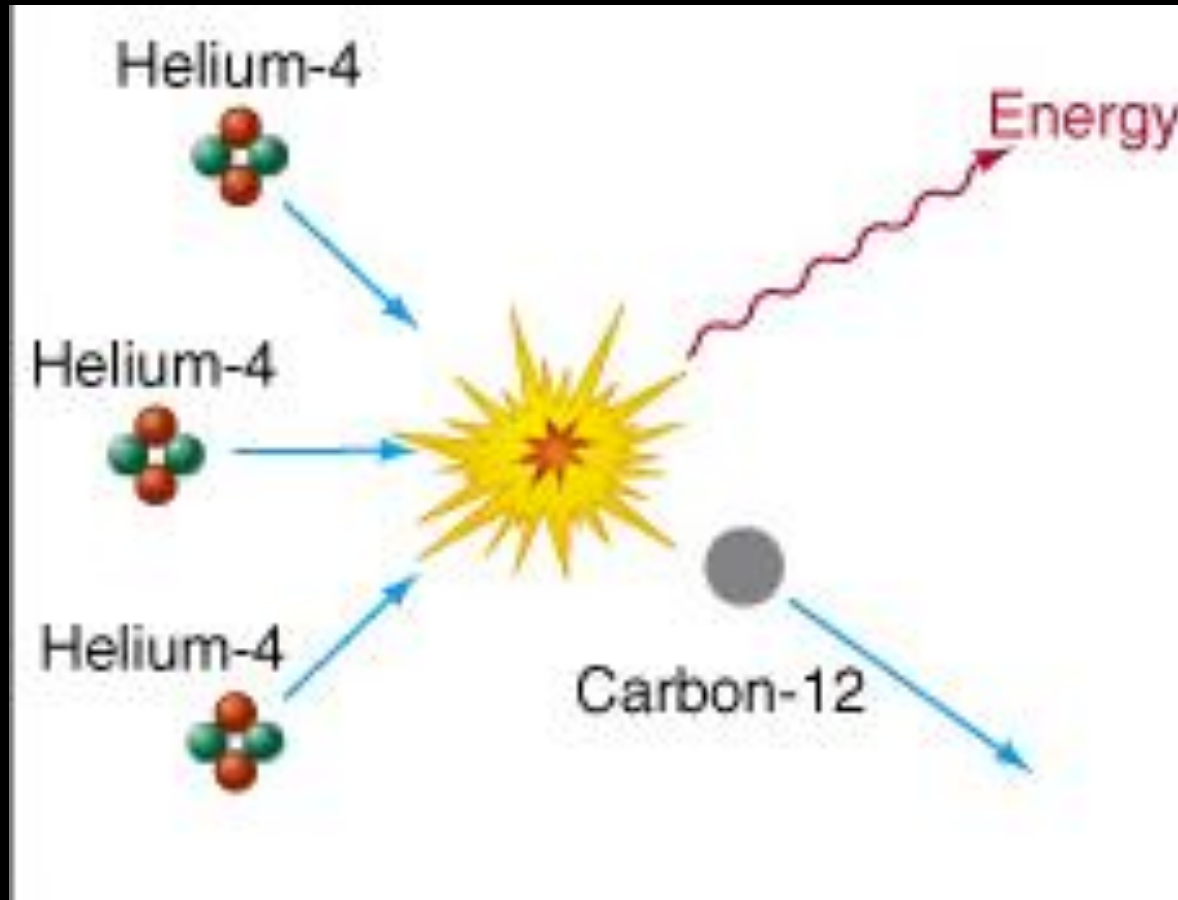
- *Massa di 4 protoni = $4 m_p$*
- *Massa di un nucleo di ${}^4\text{He}$ = $3.97 m_p$*
- *Differenza $\Delta m = 0.03 m_p$*

$$\Delta E = \Delta m c^2 \longrightarrow \text{Energia}$$

Quanta energia produce una stella?

- *La fusione di 20 kg di H in He produce l'energia consumata in 1 anno dagli USA*
- *Ogni secondo, il Sole trasforma 700 milioni di tonnellate di H in He*

La fusione dell'Elio

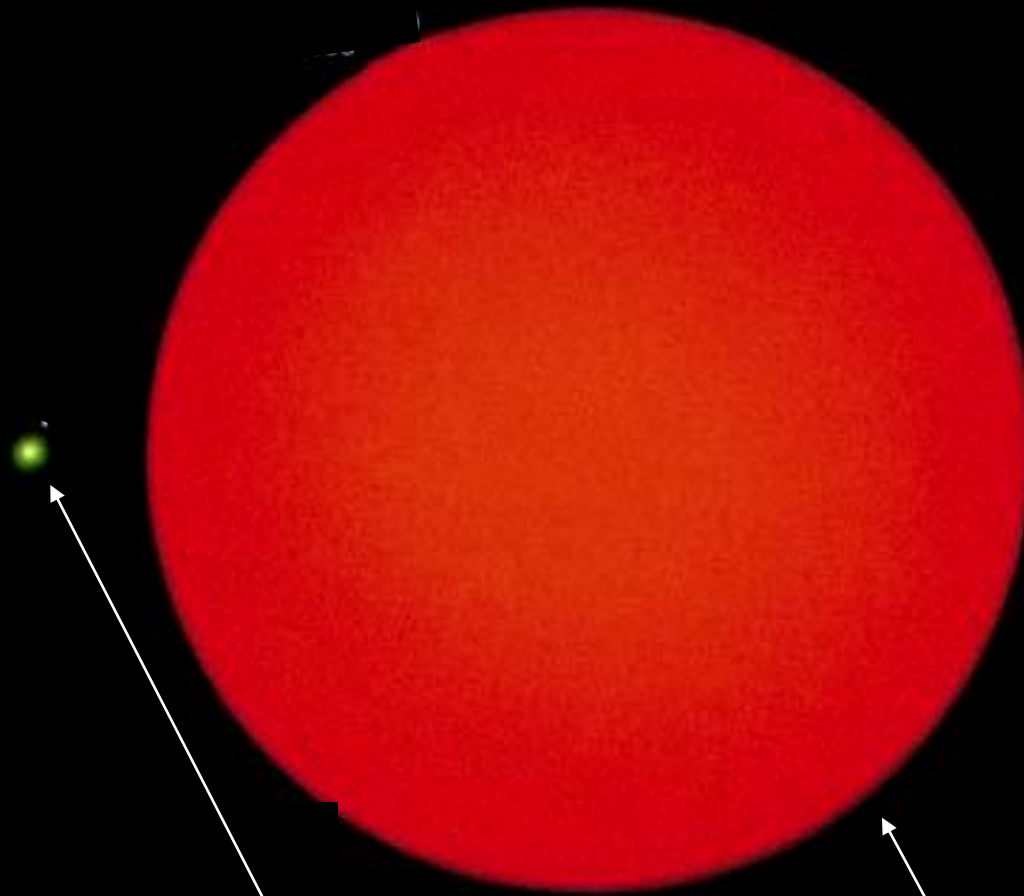


La fusione 4 nuclei di Elio produce un nucleo di Carbonio. Elementi più leggeri si combinano per produrre elementi sempre più pesanti.

- *All'aumentare della massa della stella:*
 - *più alta la pressione al centro*
 - *più alta la temperatura al centro*
 - *più rapide le reazioni di fusione*
 - *più alta la luminosità, ma anche*
- *più breve la durata della “vita” di una stella*

<i>Massa (masse solari)</i>	<i>Tempo di vita (anni)</i>
25	3 milioni
15	15 milioni
3	500 milioni
1.5	3 miliardi
1 (Sole)	10 miliardi
0.75	15 miliardi

Evoluzione del Sole



Il Sole oggi

tra 5,5 miliardi di anni

Elementi prodotti da stelle di piccola massa (1-5 volte il Sole)

*Carbonio, Ossigeno, Azoto e altri elementi
fondamentali per la vita sono prodotti al centro di
stelle come il Sole in reazioni di fusione nucleare:*

$H \rightarrow He$ (sequenza principale)

$He \rightarrow C \quad C \rightarrow O$ (gigante rossa)

Elementi prodotti da stelle massicce (10-20 volte il Sole)

*Le alte temperature raggiunte nelle esplosioni delle
supernove permettono la formazione di Neon,
Magnesio, Zolfo, Silicio e Ferro*



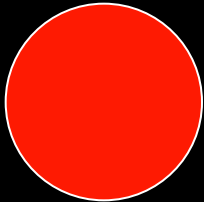
La morte delle stelle



$M < 10$



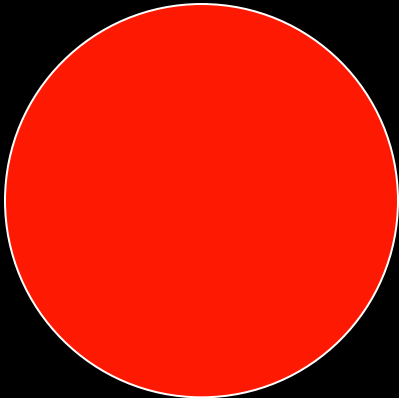
*Nebulosa +
Nana Bianca*



$10 < M < 50$



*Supernova +
Stella di Neutroni*



$M > 50$



Buco Nero

La morte del Sole



Resto di supernova (Nebulosa del Granchio)



nasce una stella di neutroni, anzi due

