

Corso di Astronomia per FAM



Capitolo 1: Introduzione

Capitolo 1: Introduzione

- Temi trattati nel corso:

Capitolo 1: Introduzione

- Temi trattati nel corso:

1. **Introduzione:** distanze a confronto, metodo scientifico

Capitolo 1: Introduzione

- Temi trattati nel corso:

1. **Introduzione:** distanze a confronto, metodo scientifico
2. **Stelle:** formazione, evoluzione e morte. Stelle variabile.

Capitolo 1: Introduzione

- Temi trattati nel corso:

1. **Introduzione:** distanze a confronto, metodo scientifico
2. **Stelle:** formazione, evoluzione e morte. Stelle variabile.
3. **Galassie:** Classificazione, struttura, formazione e interazioni.
Materia oscura nelle galassie.

Capitolo 1: Introduzione

- Temi trattati nel corso:

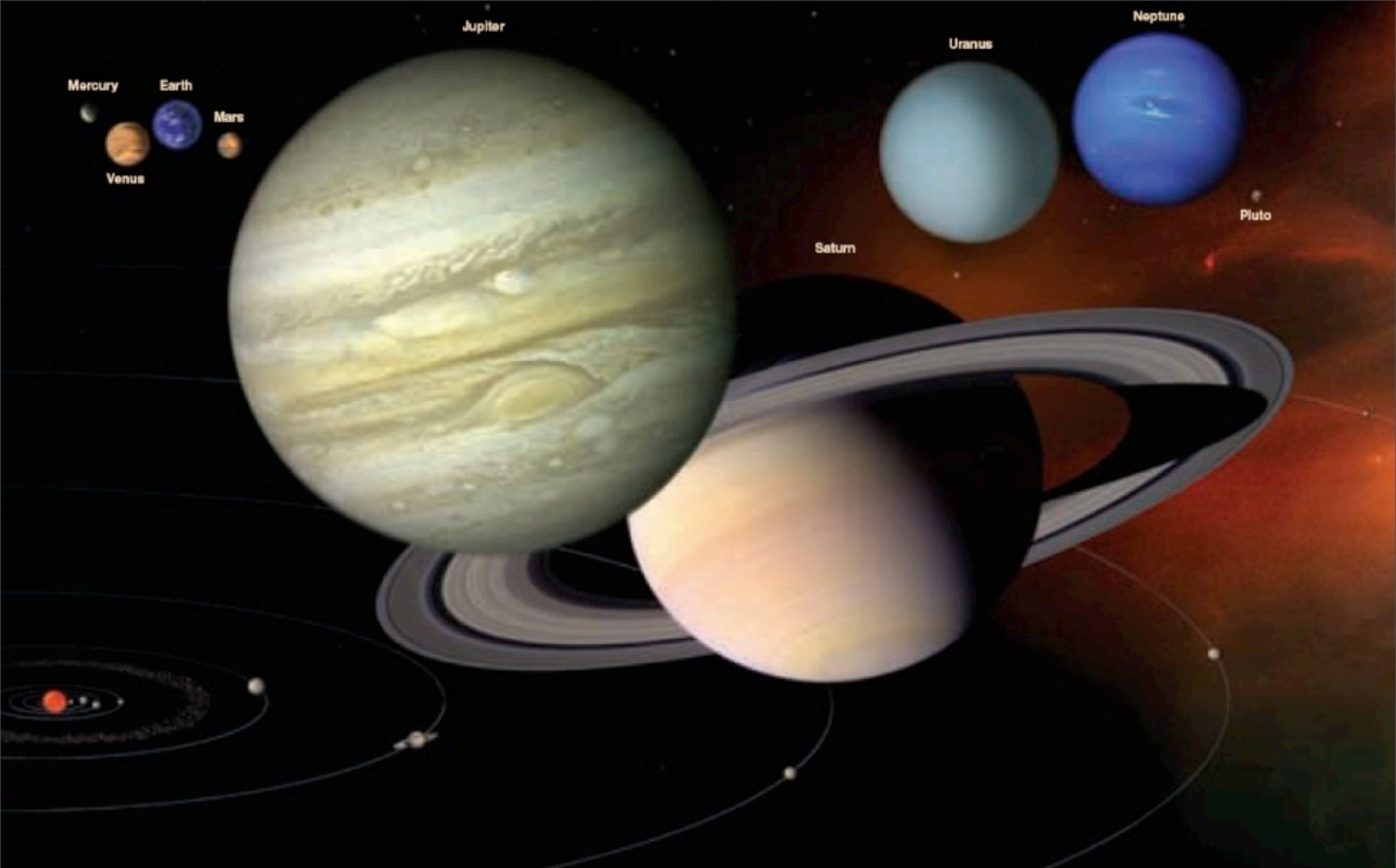
1. **Introduzione:** distanze a confronto, metodo scientifico
2. **Stelle:** formazione, evoluzione e morte. Stelle variabile.
3. **Galassie:** Classificazione, struttura, formazione e interazioni.
Materia oscura nelle galassie.
4. **Pianeti:** Marte, pianeti extrasolari.

Capitolo 1: Introduzione

- Temi trattati nel corso:

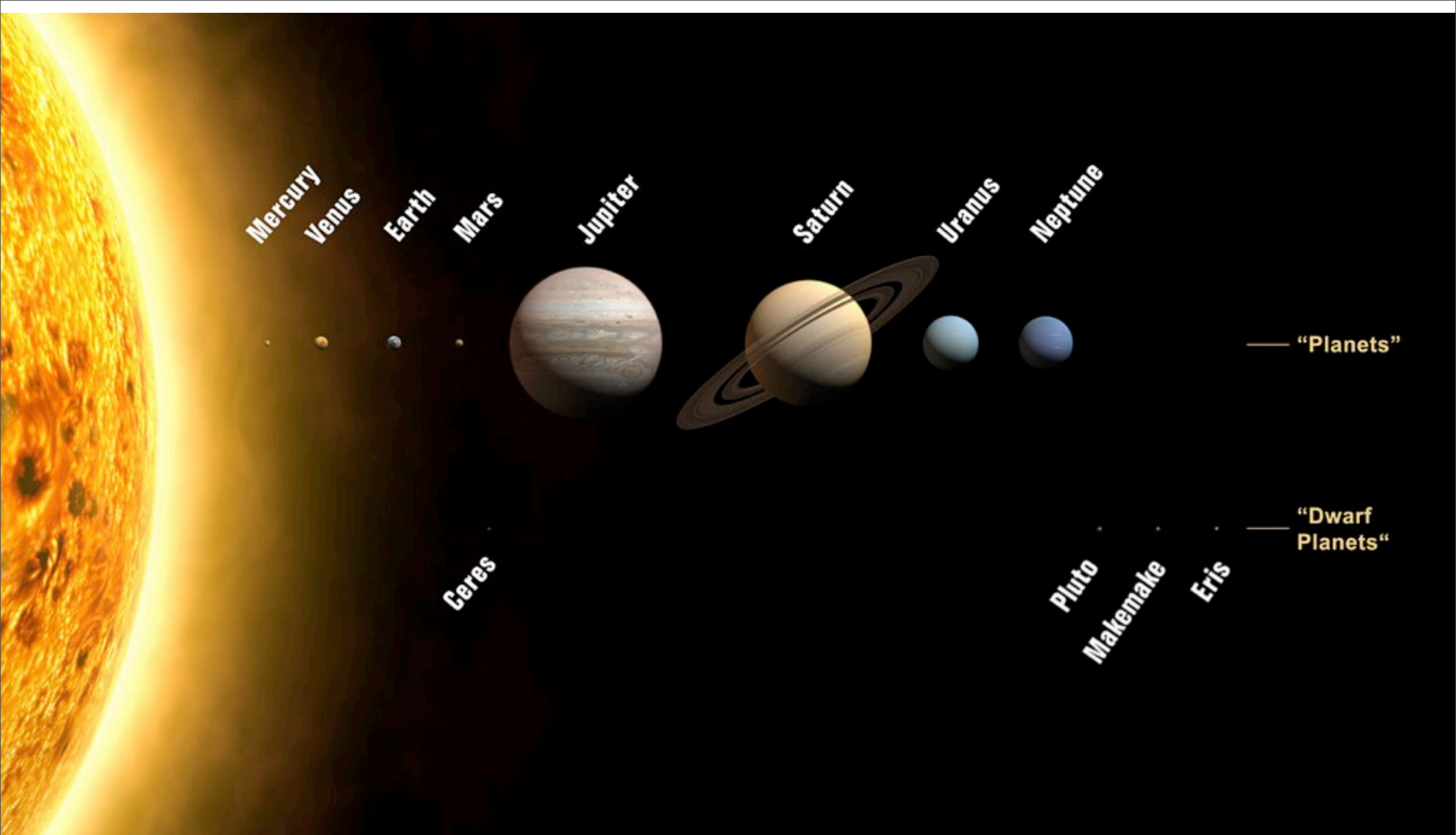
1. **Introduzione:** distanze a confronto, metodo scientifico
2. **Stelle:** formazione, evoluzione e morte. Stelle variabile.
3. **Galassie:** Classificazione, struttura, formazione e interazioni.
Materia oscura nelle galassie.
4. **Pianeti:** Marte, pianeti extrasolari.

- Osservazioni al telescopio con Francesco Fumagalli



Dimensioni dei pianeti e
distanza al Sole

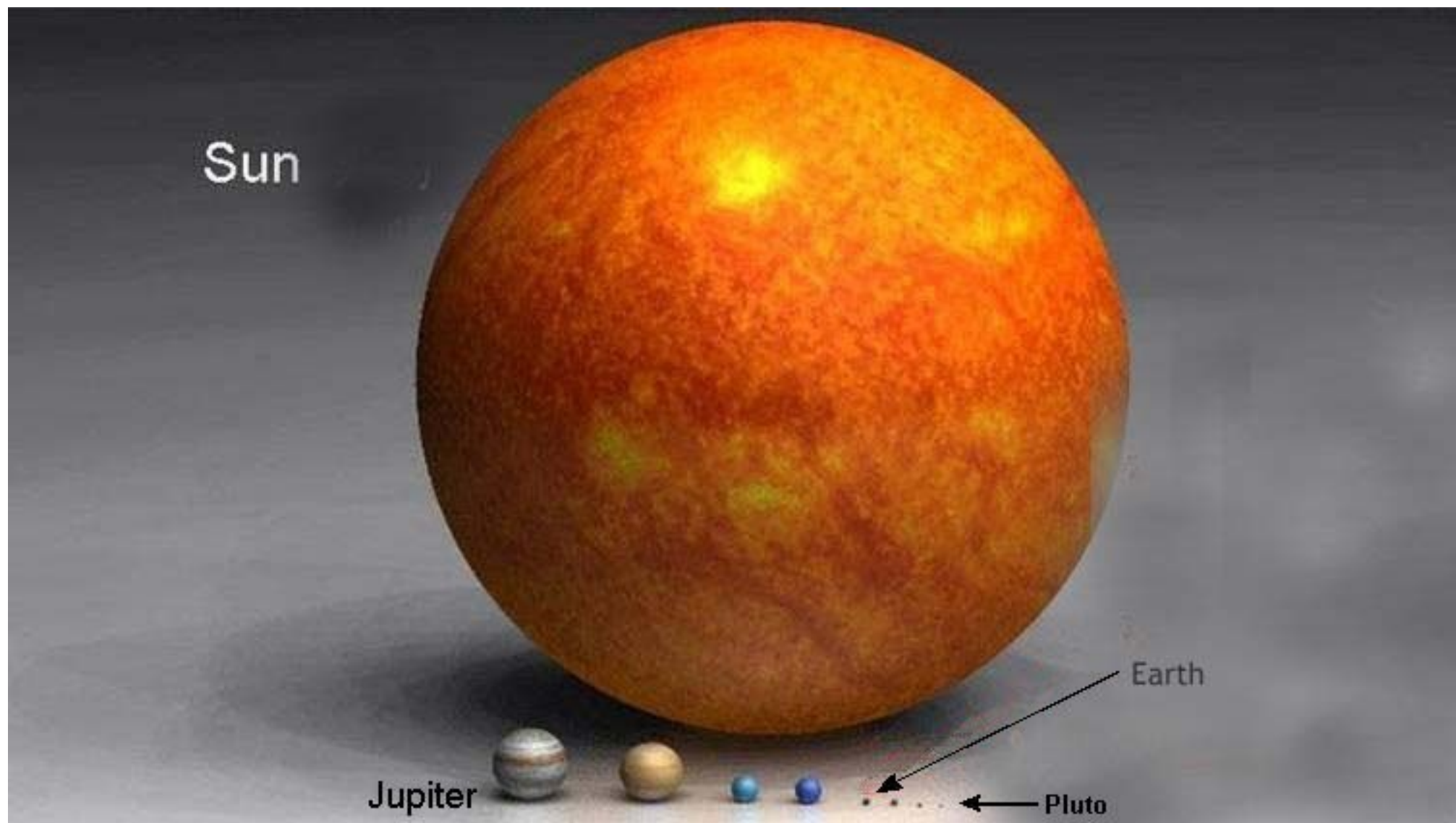
Pianeti e distanze a confronto



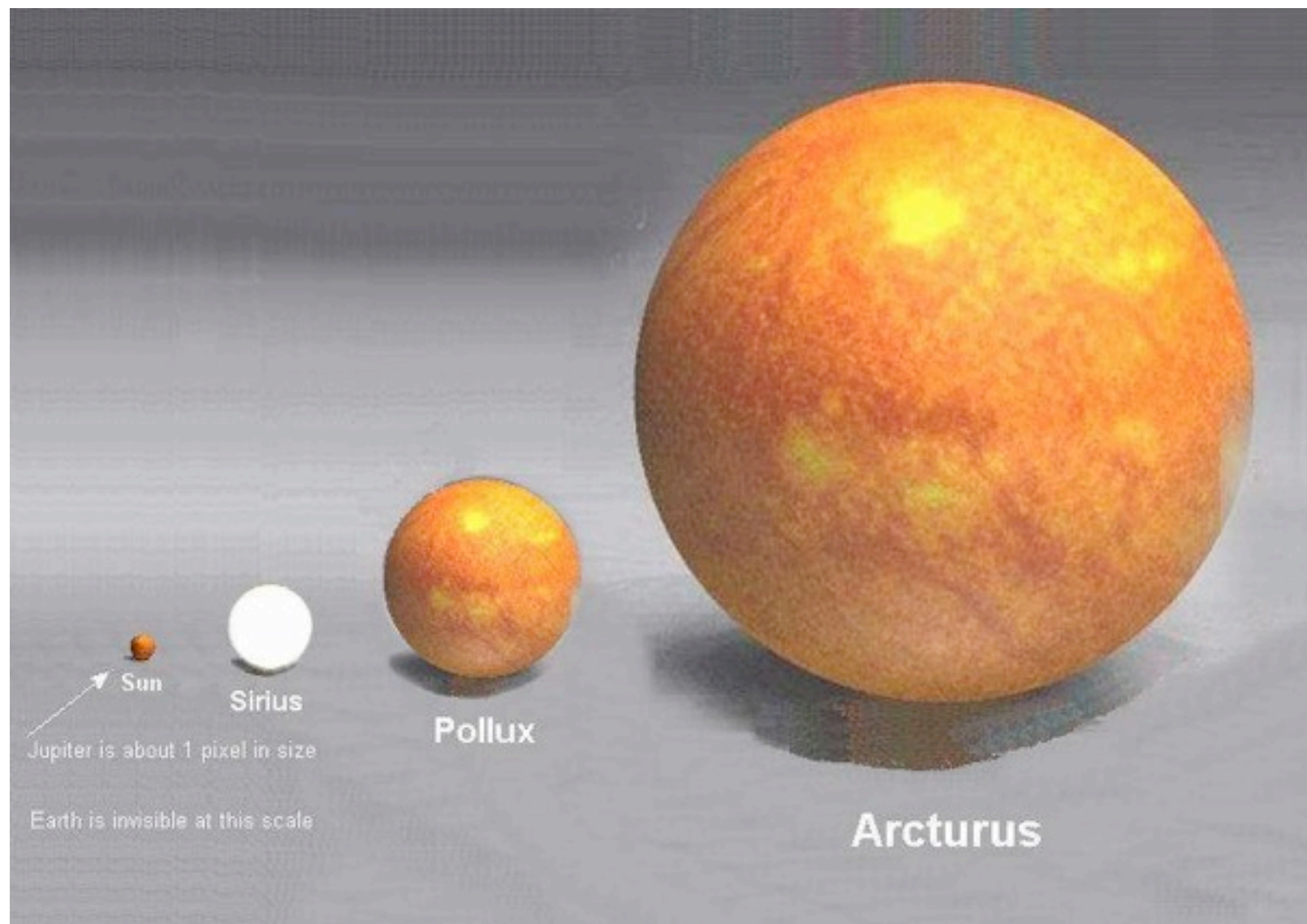
Dimensioni dei pianeti e
distanza al Sole

Pianeti e distanze a confronto

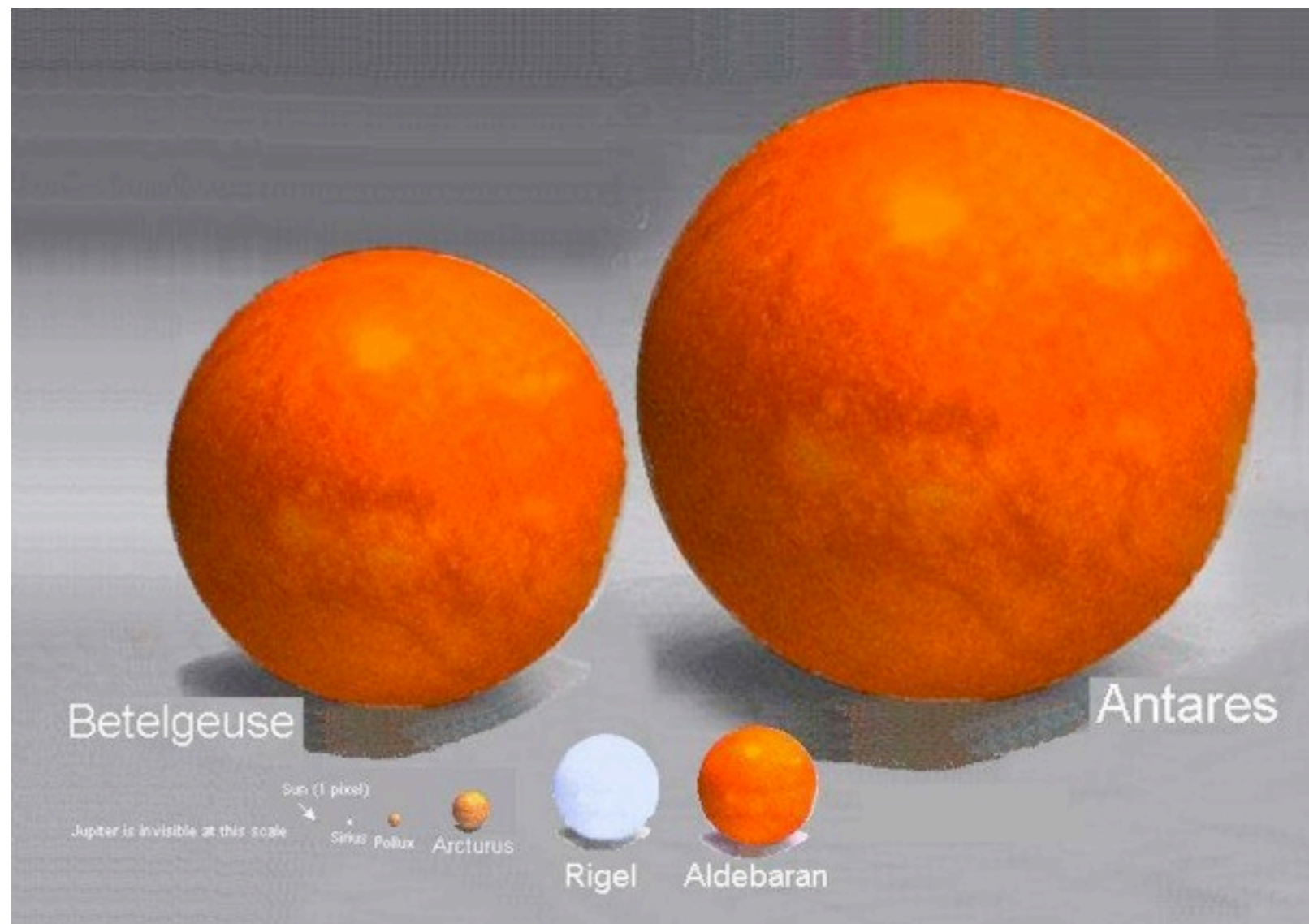
Stelle a confronto



Stelle a confronto



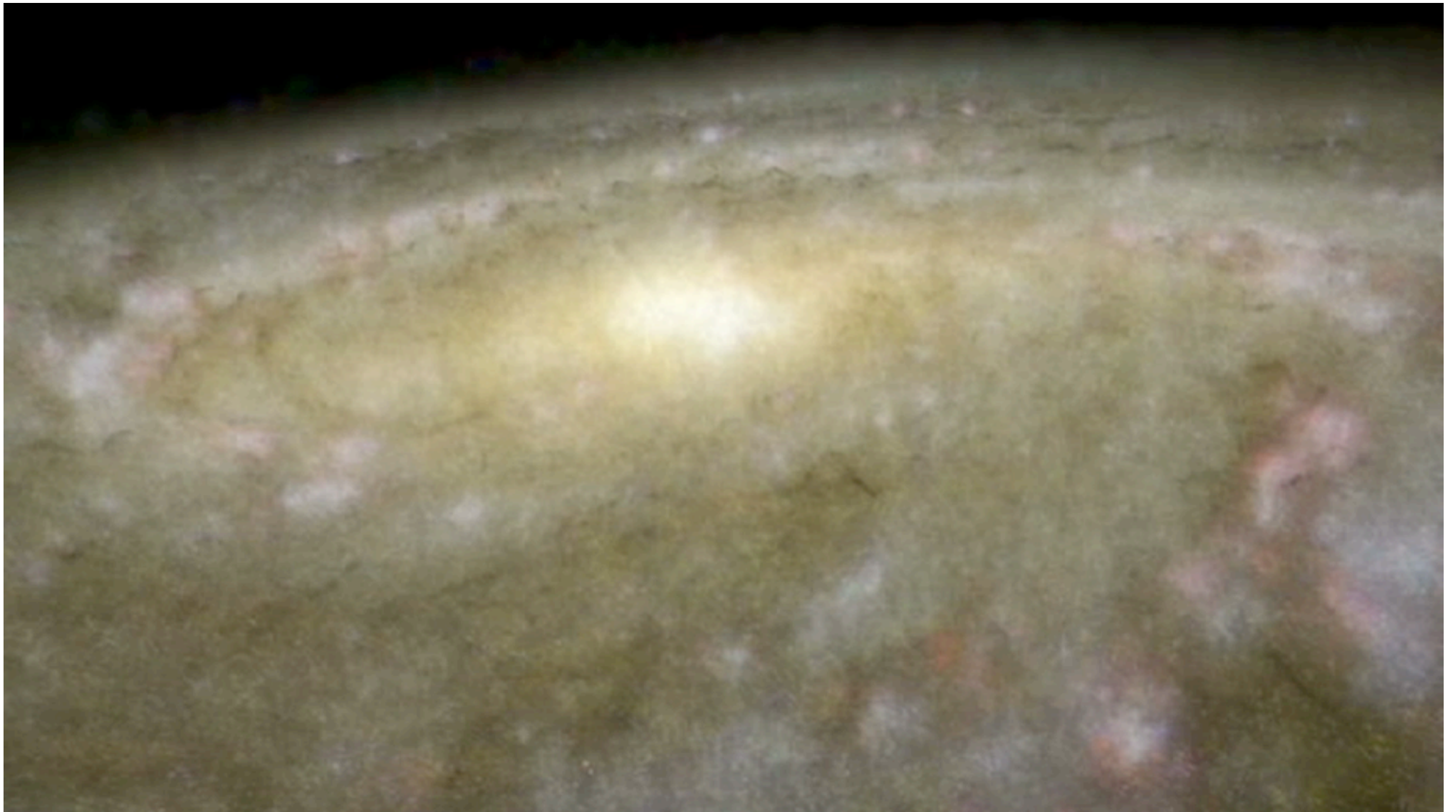
Stelle a confronto



Distanze a confronto in “tempo-luce”

Luna	1 secondo-luce
Sole	8 minuti-luce
Saturno	1 ora-luce
Plutone	4 ore-luce
Stella più vicina	4 anni-luce
Centro galattico	26'000 anni-luce
Diametro Via Lattea	100'000 anni-luce
Galassia Andromeda	$2.6 \cdot 10^6$ anni-luce
Ammasso della Vergine	$60 \cdot 10^6$ anni-luce
Dimensione dell'universo	$10-15 \cdot 10^9$ anni-luce

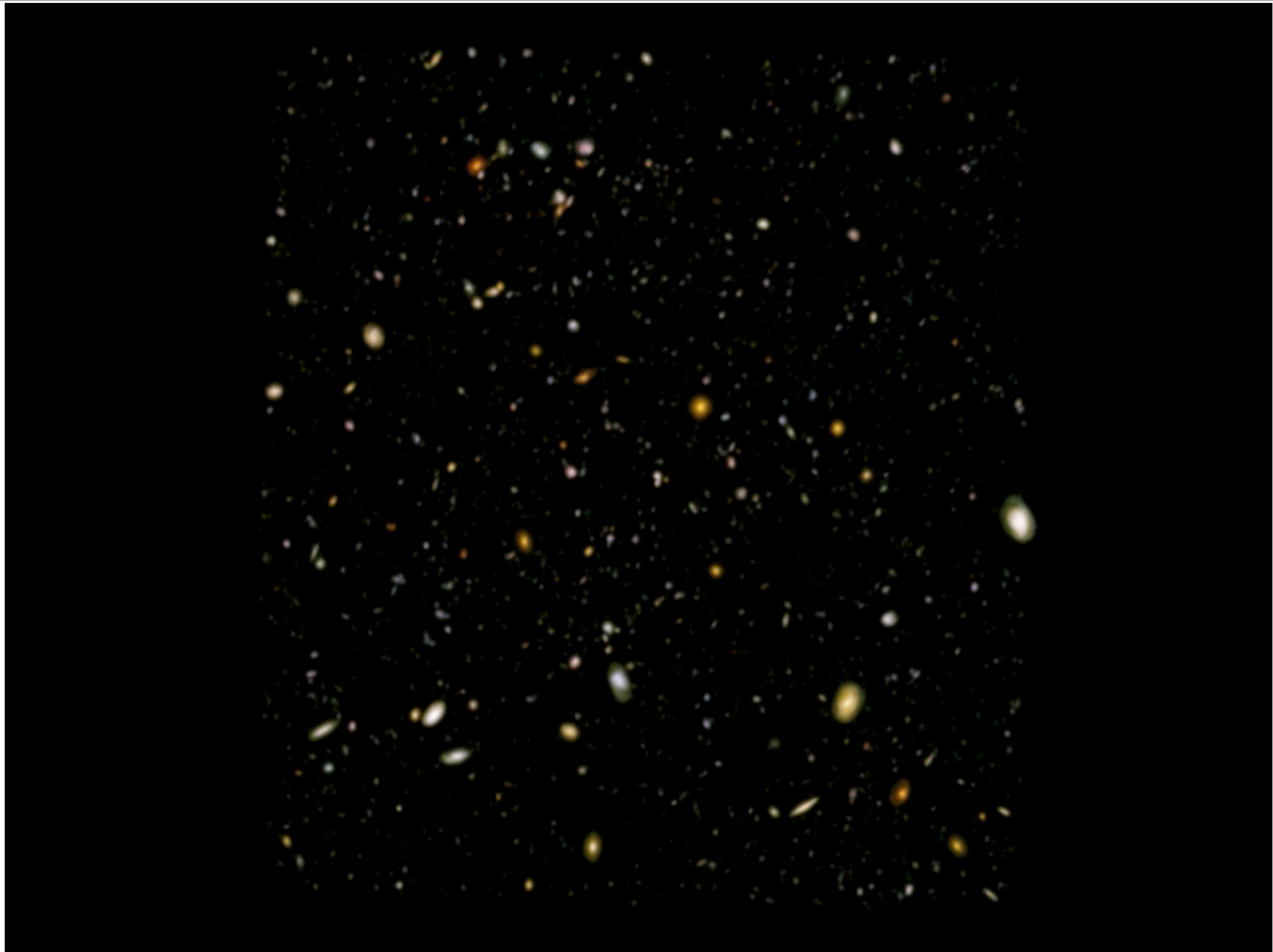
Viaggio dalla Terra verso l'ammasso della Vergine



Viaggio attraverso 95% dell'universo in 1 minuto: The Hubble Ultra Deep Field



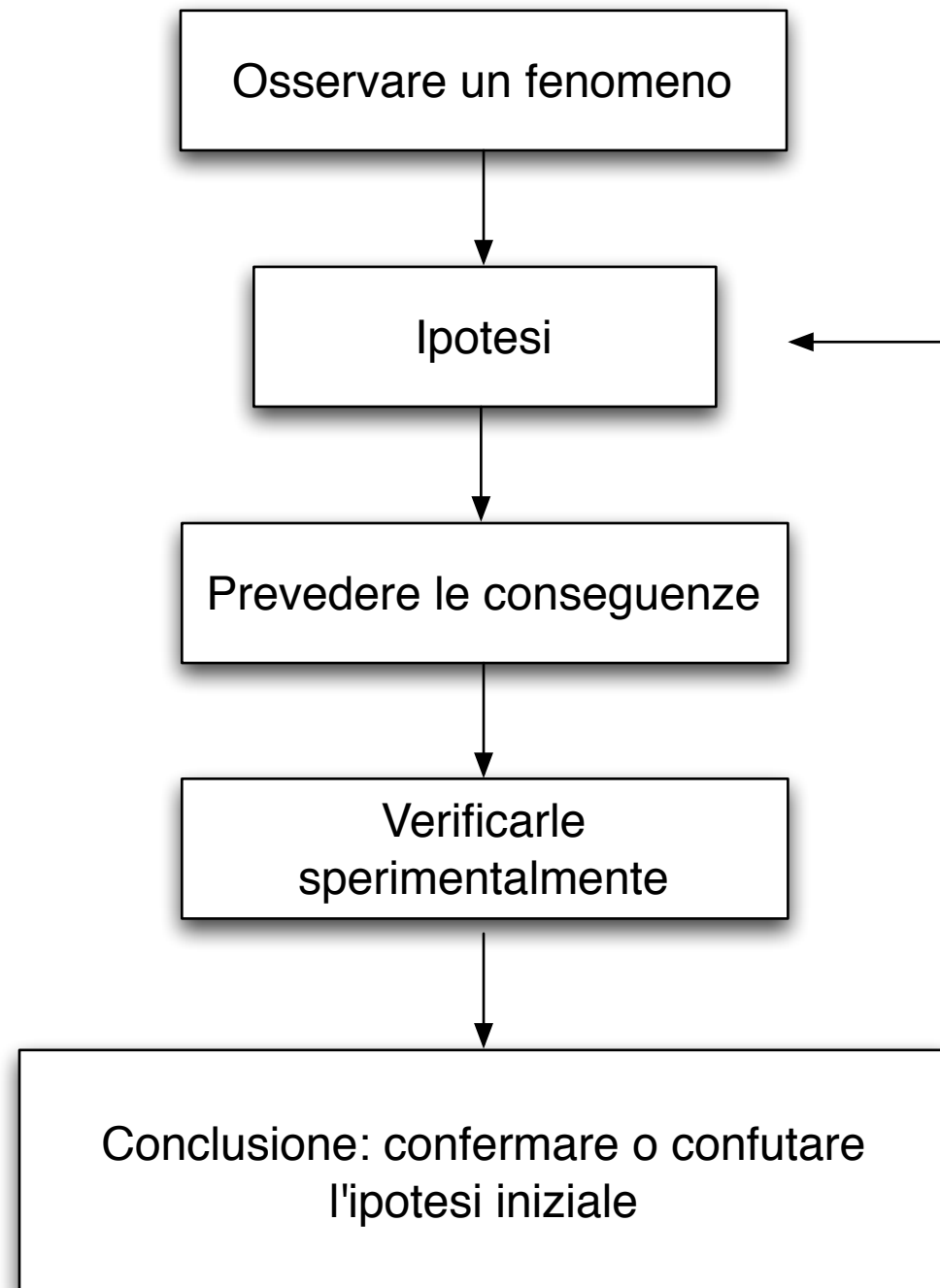
Viaggio attraverso 95% dell'universo in 1 minuto: The Hubble Ultra Deep Field



Viaggio attraverso 95% dell'universo in 1 minuto: The Hubble Ultra Deep Field



Il metodo scientifico



Difficoltà con l'astronomia

Coerenza e umiltà

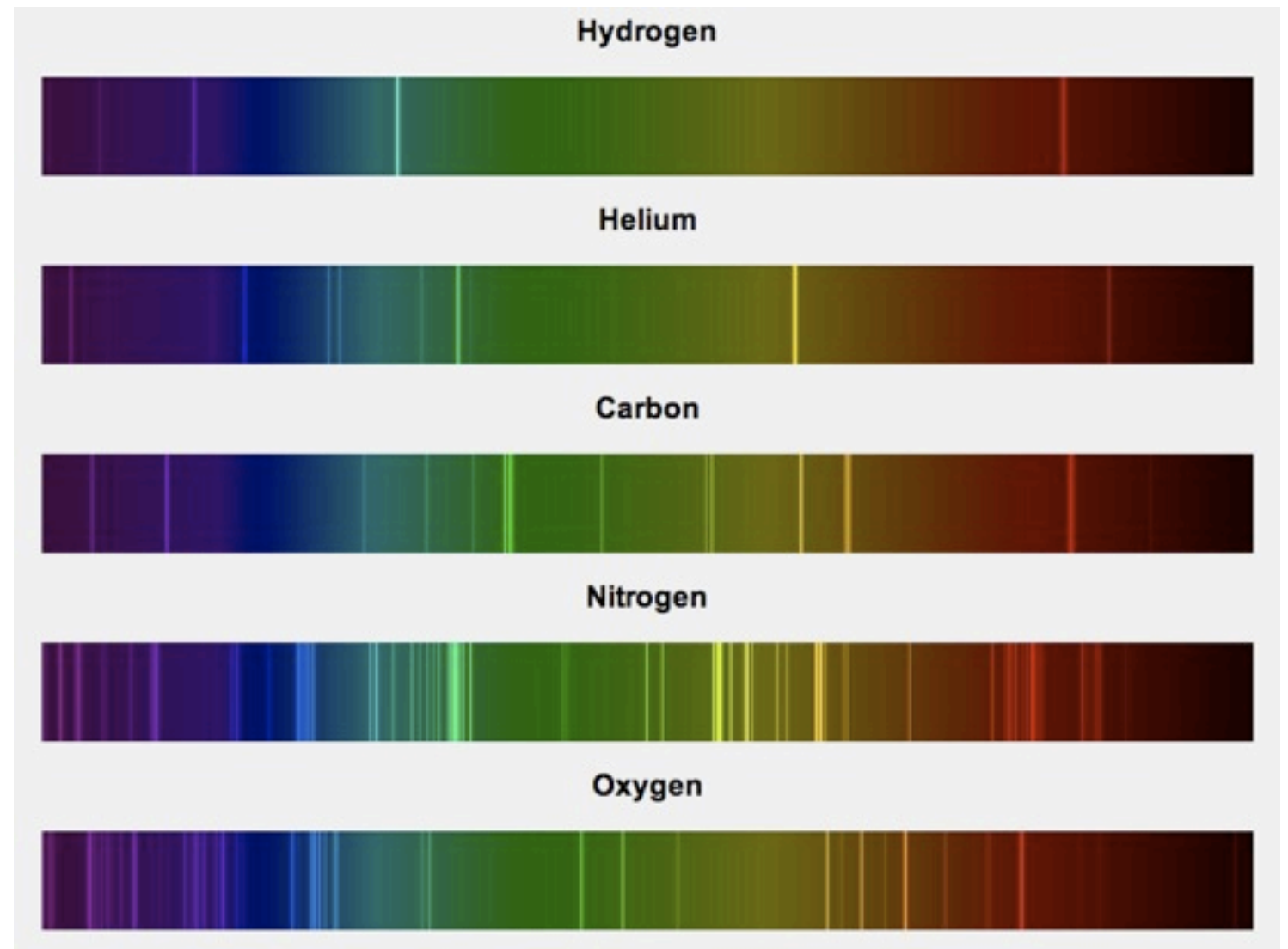
Auguste Comte, famoso filosofo francese, scrisse in 1835, a proposito delle stelle:

“Nous ne saurons jamais étudier, par aucun moyen leur composition chimique ou leur structure minéralogique”...

Auguste Comte, famoso filosofo francese, scrisse in 1835, a proposito delle stelle:

“Nous ne saurons jamais étudier, par aucun moyen leur composition chimique ou leur structure minéralogique”...

Eppure, alla stessa epoca, Fraunhofer cominciava ad adoperare il spettroscopio per studiare la composizione del Sole....



Capitolo 2:

Vita e morte delle stelle, formazioni dei pianeti



Capitolo 2:

Vita e morte delle stelle, formazioni dei pianeti

- Tempo di vita stellare.



Capitolo 2:

Vita e morte delle stelle, formazioni dei pianeti

- Tempo di vita stellare.
- Quantità fondamentale: la massa.



Capitolo 2:

Vita e morte delle stelle, formazioni dei pianeti

- Tempo di vita stellare.
- Quantità fondamentale: la massa.
- Analogia con il carburante di una macchina:

$$T_{\text{viaggio}} = M_{\text{carburante}} / T_{\text{asso consumo}}$$

$$T_{\text{vita}} = M_{\text{gas in fusione}} / \text{Luminosità}$$

$\Rightarrow$

$$T_{\text{vita}} = 10^{10} M_{\text{sun}} / L_{\text{sun}} \text{ [anni]}$$



Relazione Massa-Luminosità

Equilibrio idrostatico

1. dare esempi di tempo di vita di alcune stelle:

0.01 Msun $\rightarrow 10^{16}$ anni

0.1 Msun $\rightarrow 10^{13}$ anni

1 Msun $\rightarrow 10^{10}$ anni

10 Msun $\rightarrow 10^7$ anni

60 Msun $\rightarrow 5 \cdot 10^4$ anni: pochissimo !

2. per le più piccole, questo tempo supera l'età dell'universo.

Le stelle massicce hanno bisogno di interni molto più caldi. Il tasso reac. nucleari è molto sensibile a T , quindi molto più luminose

2. se Pressure finisce $\rightarrow$ la stella si comprime

3. Se Pressure aumenta (gigante rosse) $\rightarrow$ la stella si espande

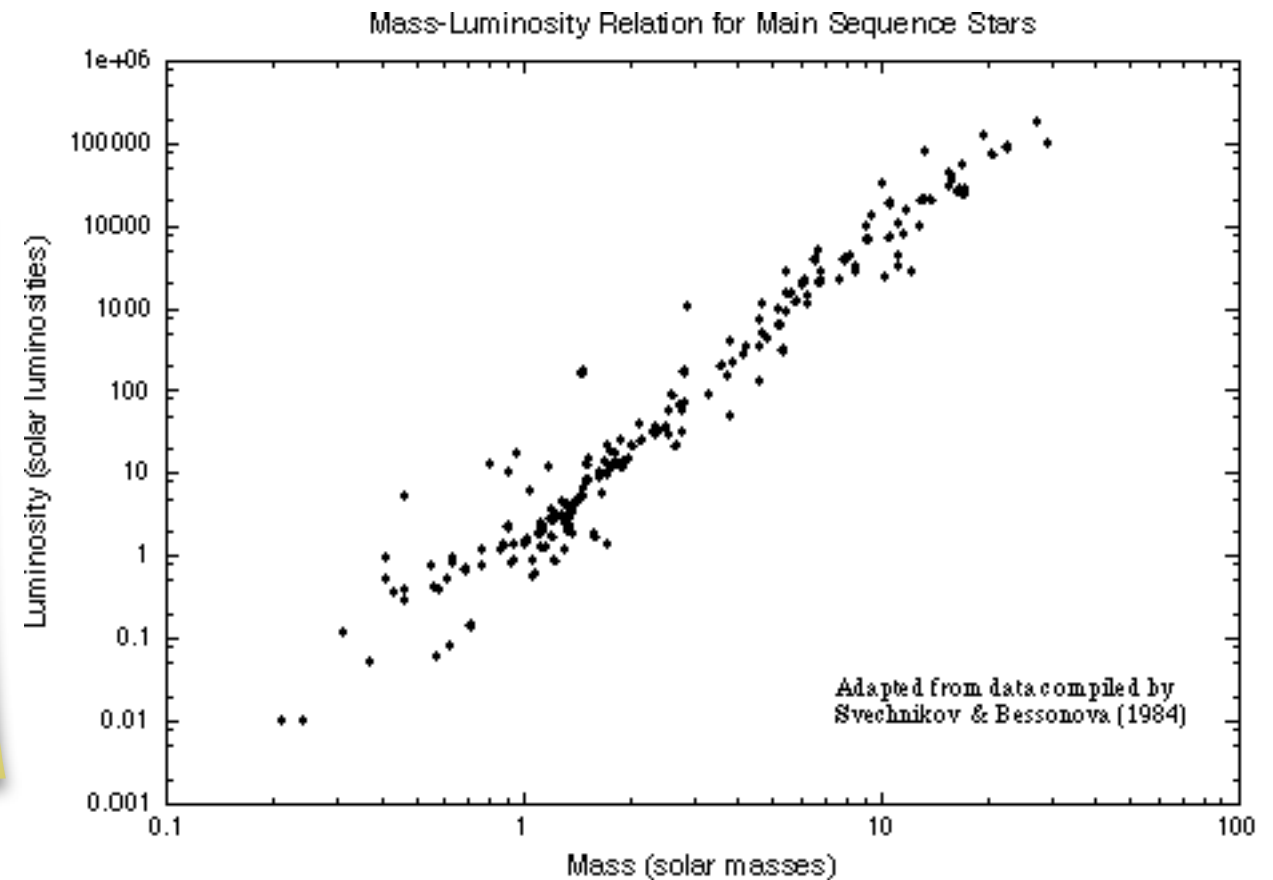
Relazione Massa-Luminosità

Equilibrio idrostatico

- $M/L \sim M^p$ (con $p = 3 - 4$)

1. dare esempi di tempo di vita di alcune stelle:
0.01 Msun $\rightarrow 10^{16}$ anni
0.1 Msun $\rightarrow 10^{13}$ anni
1 Msun $\rightarrow 10^{10}$ anni
10 Msun $\rightarrow 10^7$ anni
60 Msun $\rightarrow 5 \cdot 10^4$ anni: pochissimo!

2. per le più piccole, questo tempo supera l'età dell'universo.



Le stelle massicce hanno bisogno di interni molto più caldi. Il tasso reac. nucleari è molto sensibile a T , quindi molto più luminose

2. se Pressure finisce $\rightarrow$ la stella si comprime

3. Se Pressure aumenta (gigante rosse) $\rightarrow$ la stella si espande

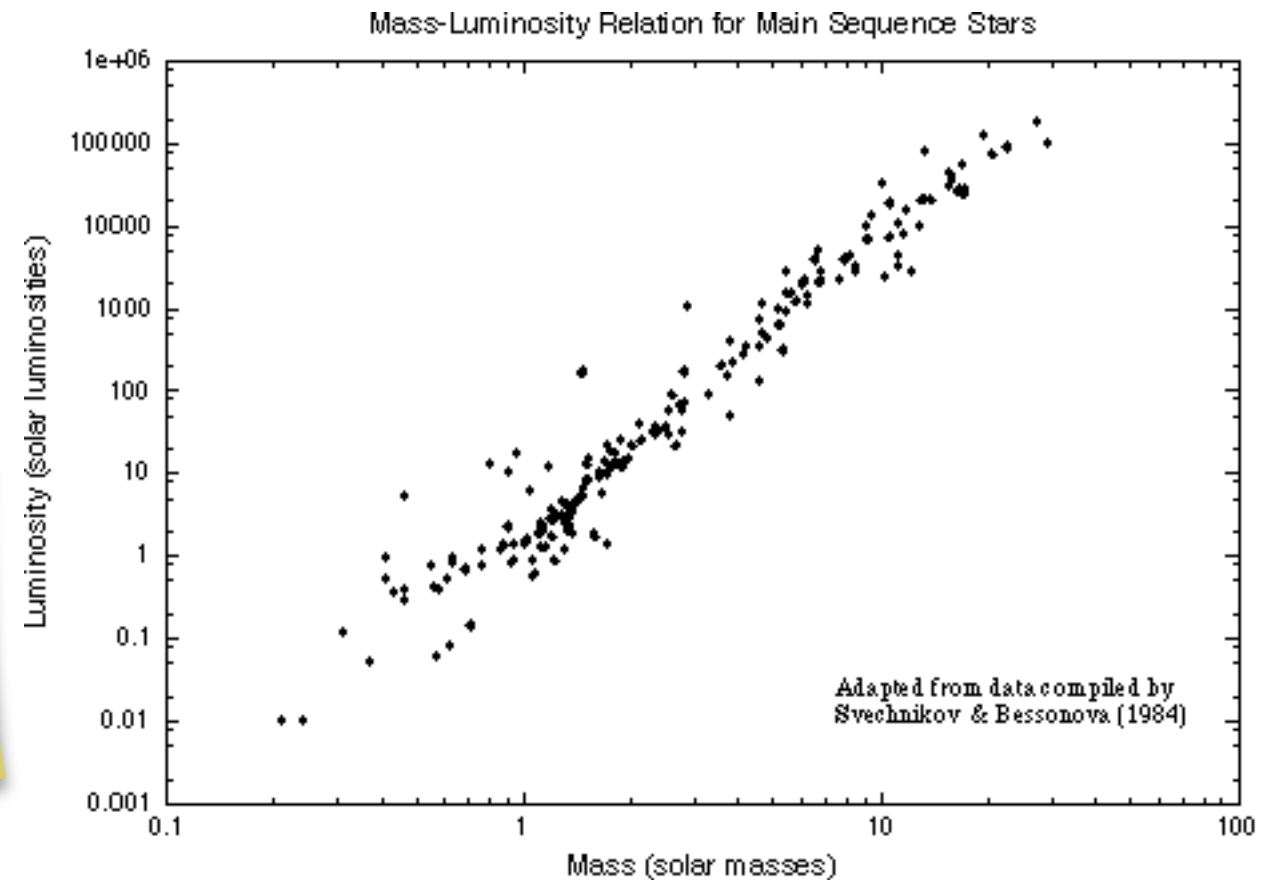
Relazione Massa-Luminosità

Equilibrio idrostatico

- $M/L \sim M^p$ (con $p = 3 - 4$)

1. dare esempi di tempo di vita di alcune stelle:
0.01 Msun $\rightarrow 10^{16}$ anni
0.1 Msun $\rightarrow 10^{13}$ anni
1 Msun $\rightarrow 10^{10}$ anni
10 Msun $\rightarrow 10^7$ anni
60 Msun $\rightarrow 5 \cdot 10^4$ anni: pochissimo!

2. per le più piccole, questo tempo supera l'età dell'universo.

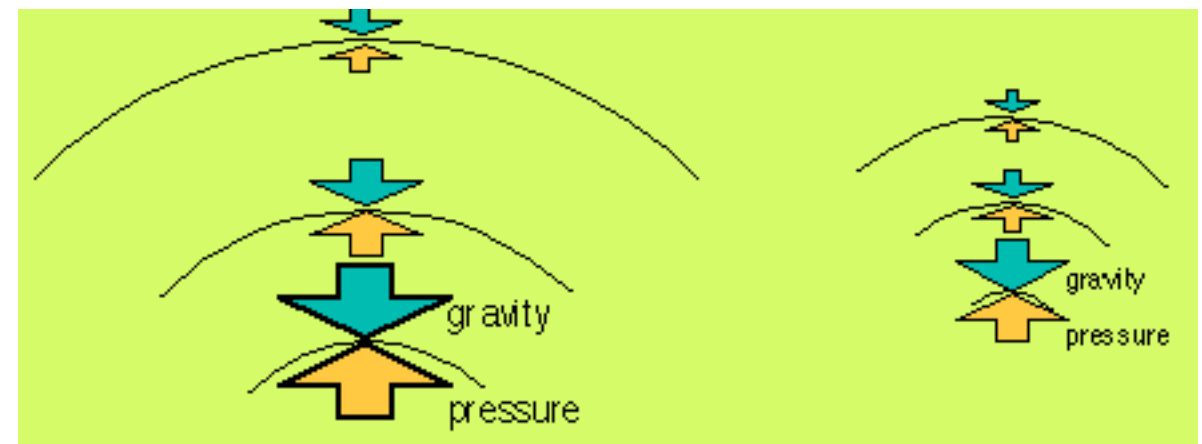


- Perché una stella è stabile?

Le stelle massicce hanno bisogno di interni molto più caldi. Il tasso reac. nucleari è molto sensibile a T , quindi molto più luminose

2. se Pressure finisce $\rightarrow$ la stella si comprime

3. Se Pressure aumenta (gigante rosse) $\rightarrow$ la stella si espande



Lo schema di base



Lo schema di base

1. Nube Molecolare gigante.



Lo schema di base

1. Nube Molecolare gigante.
2. Sequenza principale, formazione di pianeti.



Lo schema di base

1. Nube Molecolare gigante.
2. Sequenza principale, formazione di pianeti.
3. Gigante rossa.



Lo schema di base

1. Nube Molecolare gigante.
2. Sequenza principale, formazione di pianeti.
3. Gigante rossa.
4. Nebulosa planetaria o Supernova.



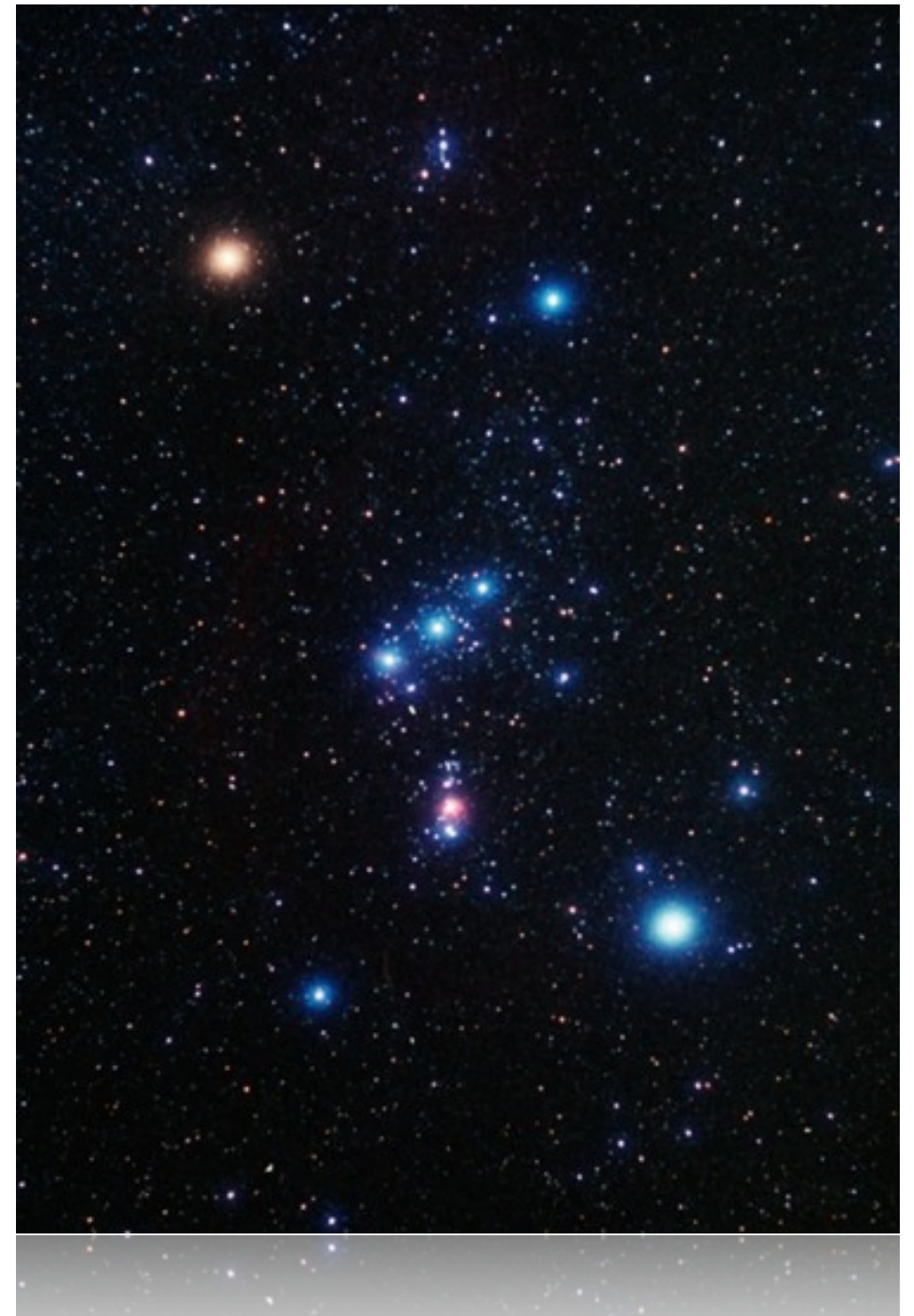
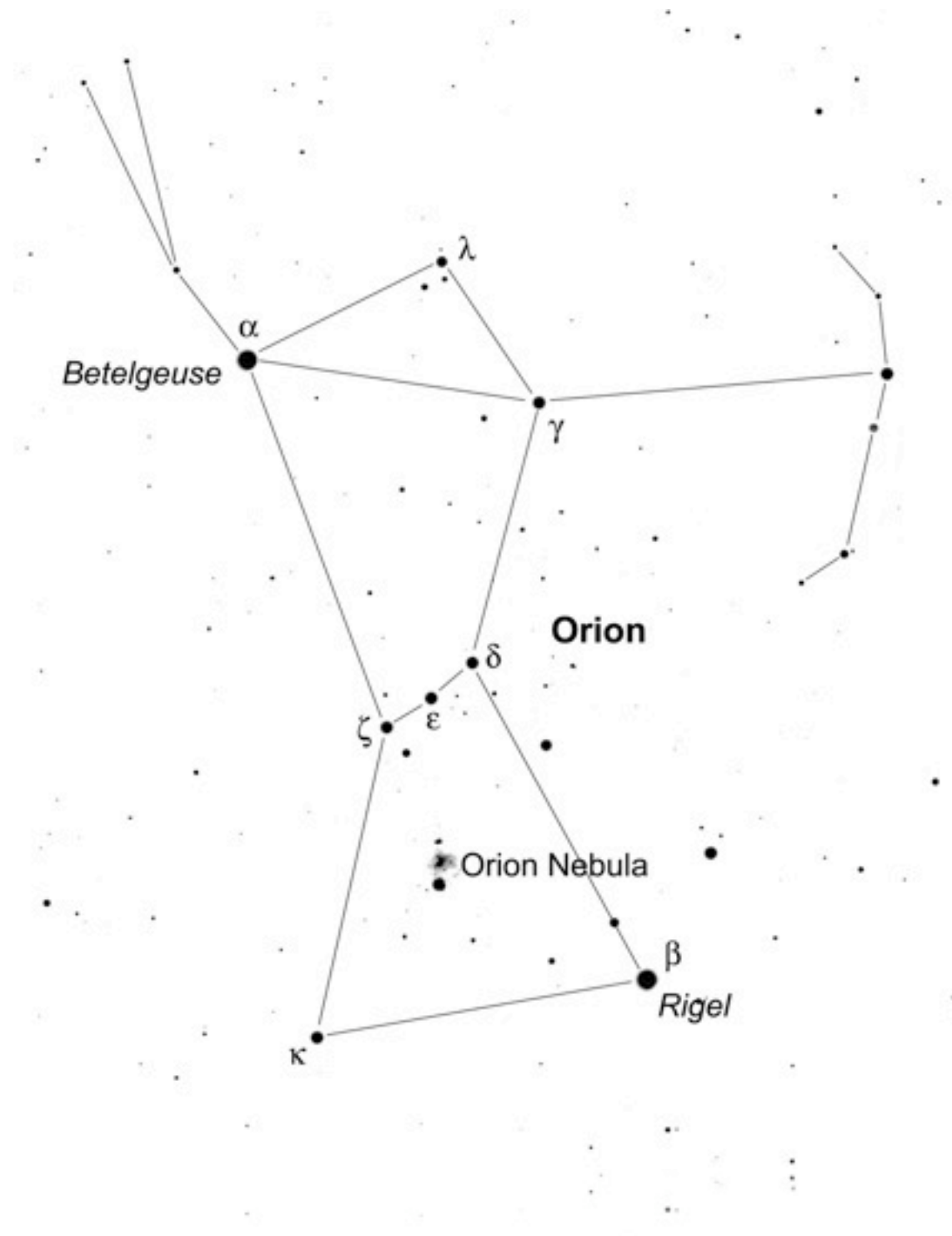
Lo schema di base

1. Nube Molecolare gigante.
2. Sequenza principale, formazione di pianeti.
3. Gigante rossa.
4. Nebulosa planetaria o Supernova.
5. Residuo stellare.



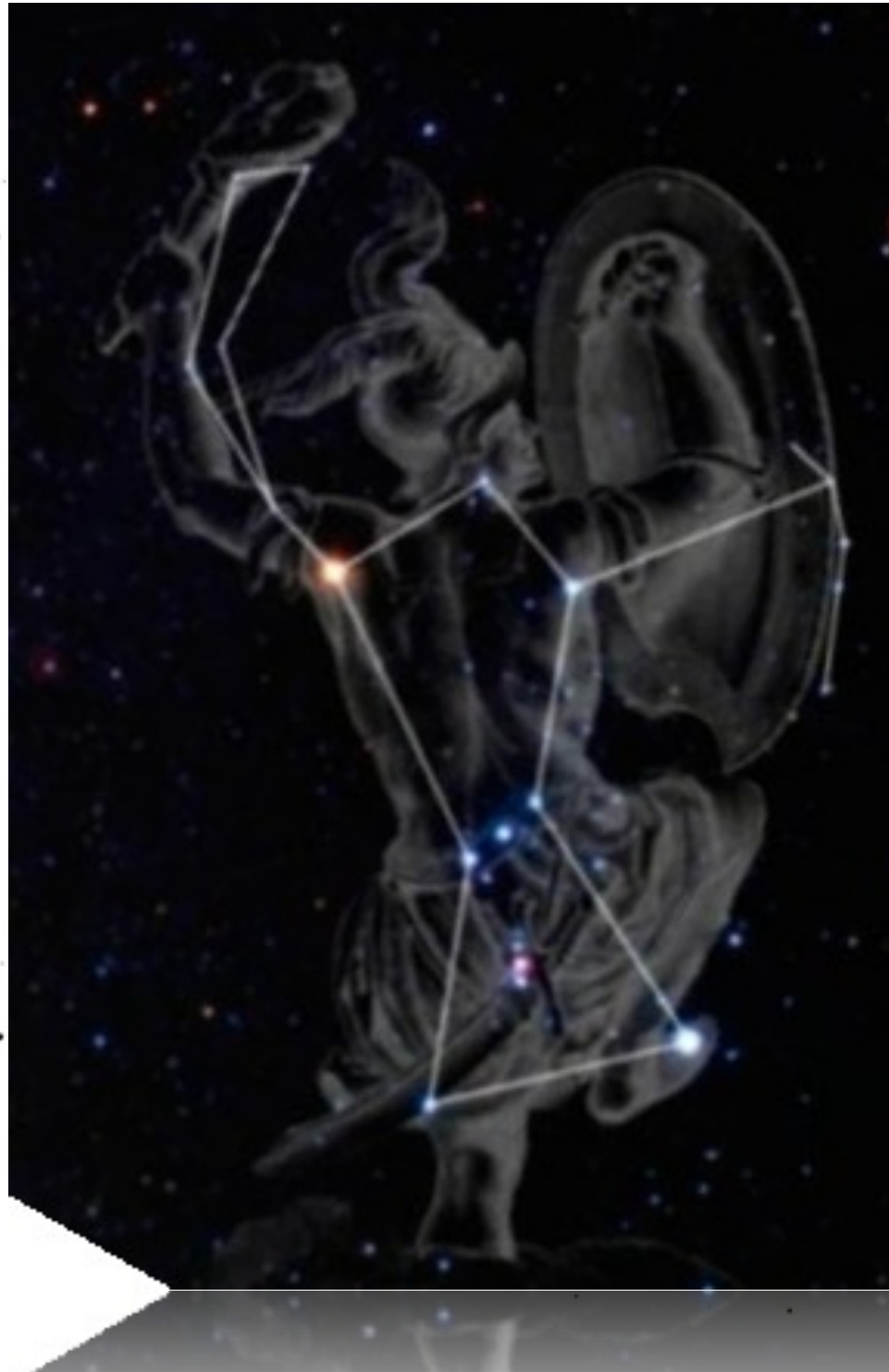
Fase 1: Nube molecolare gigante

La costellazione di Orione



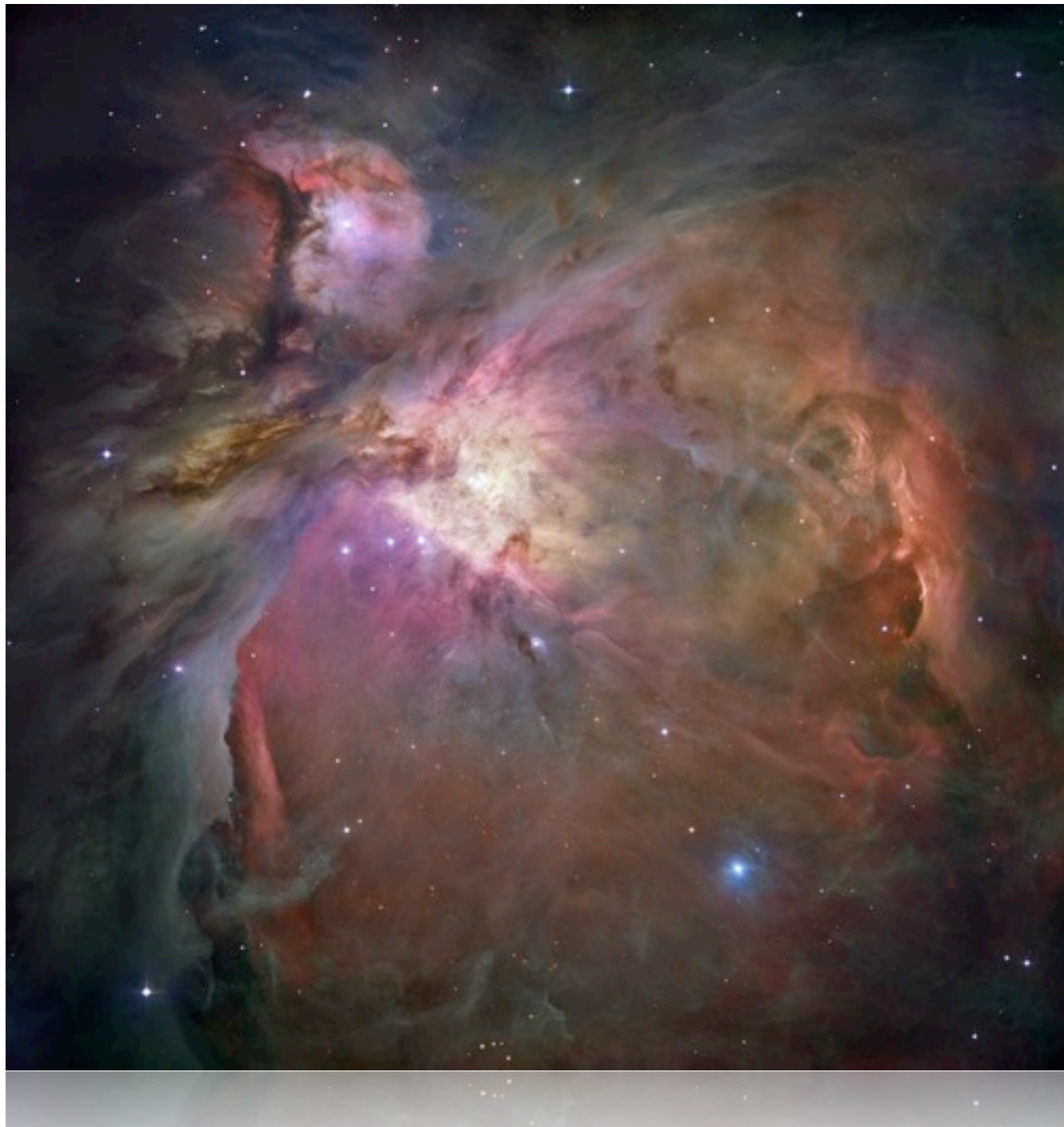
Fase 1: Nube molecolare gigante

La costellazione di Orione



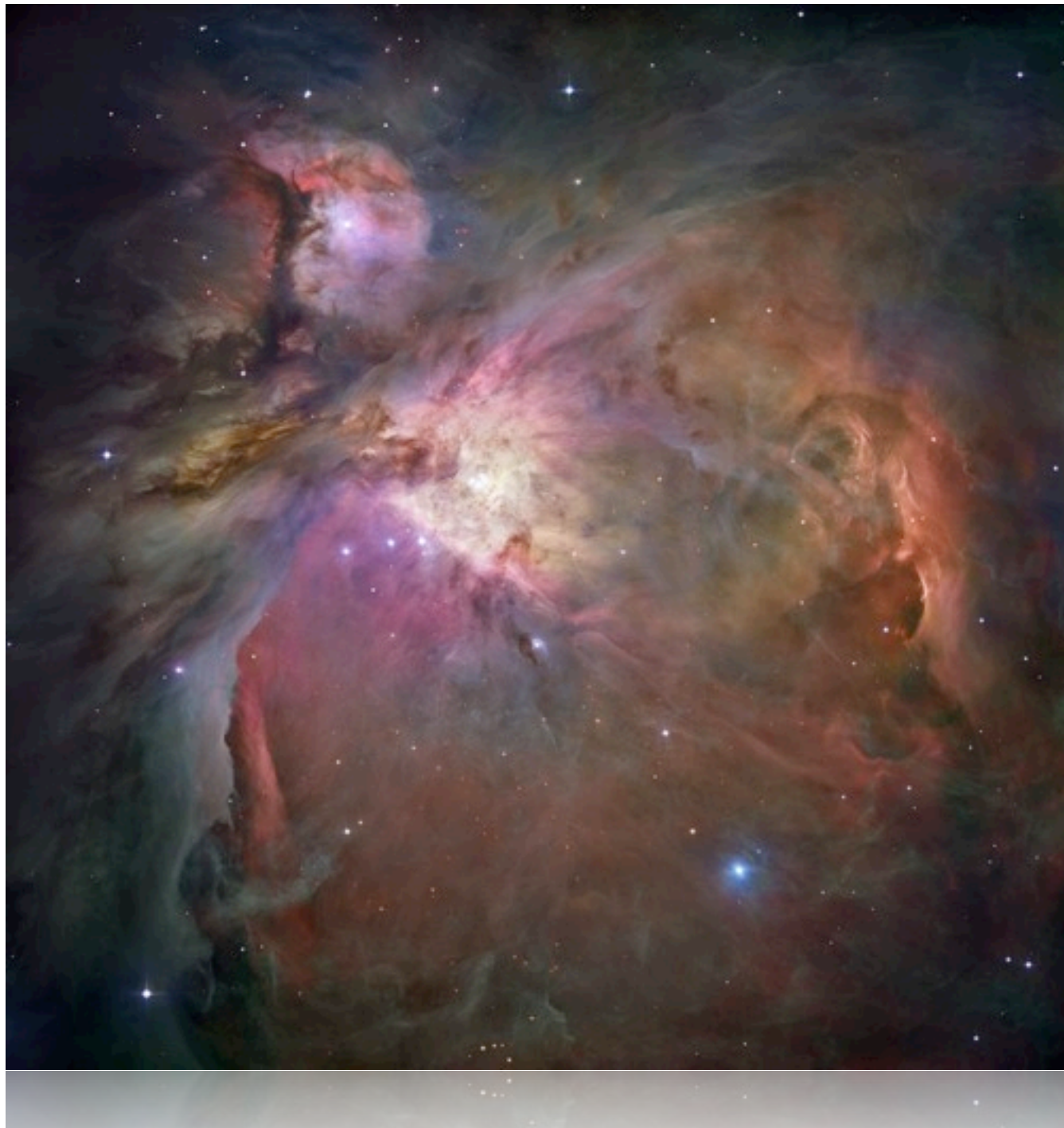
Fase 1: Nube molecolare gigante

La nebulosa di Orione



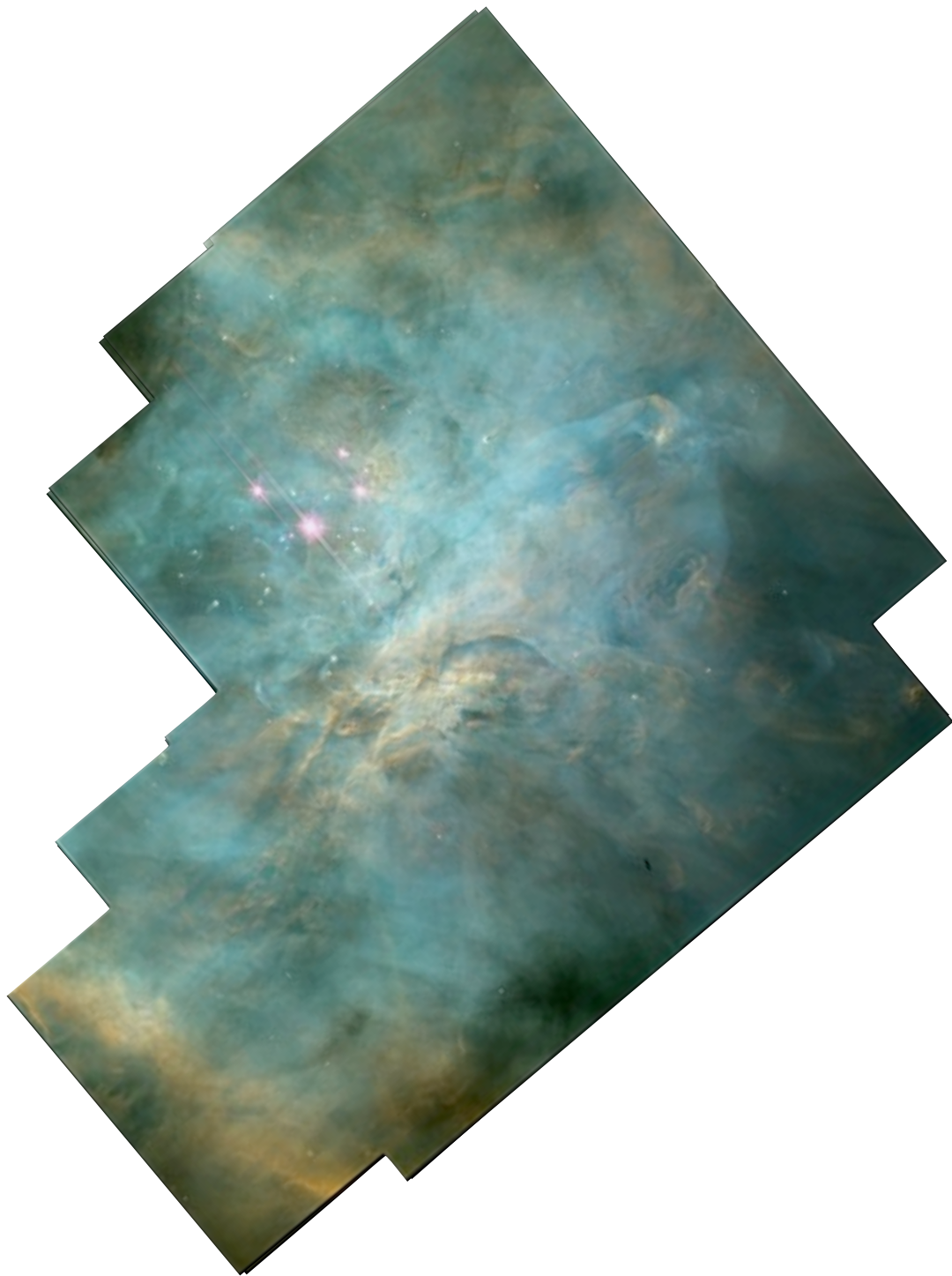
Fase 1: Nube molecolare gigante

La nebulosa di Orione



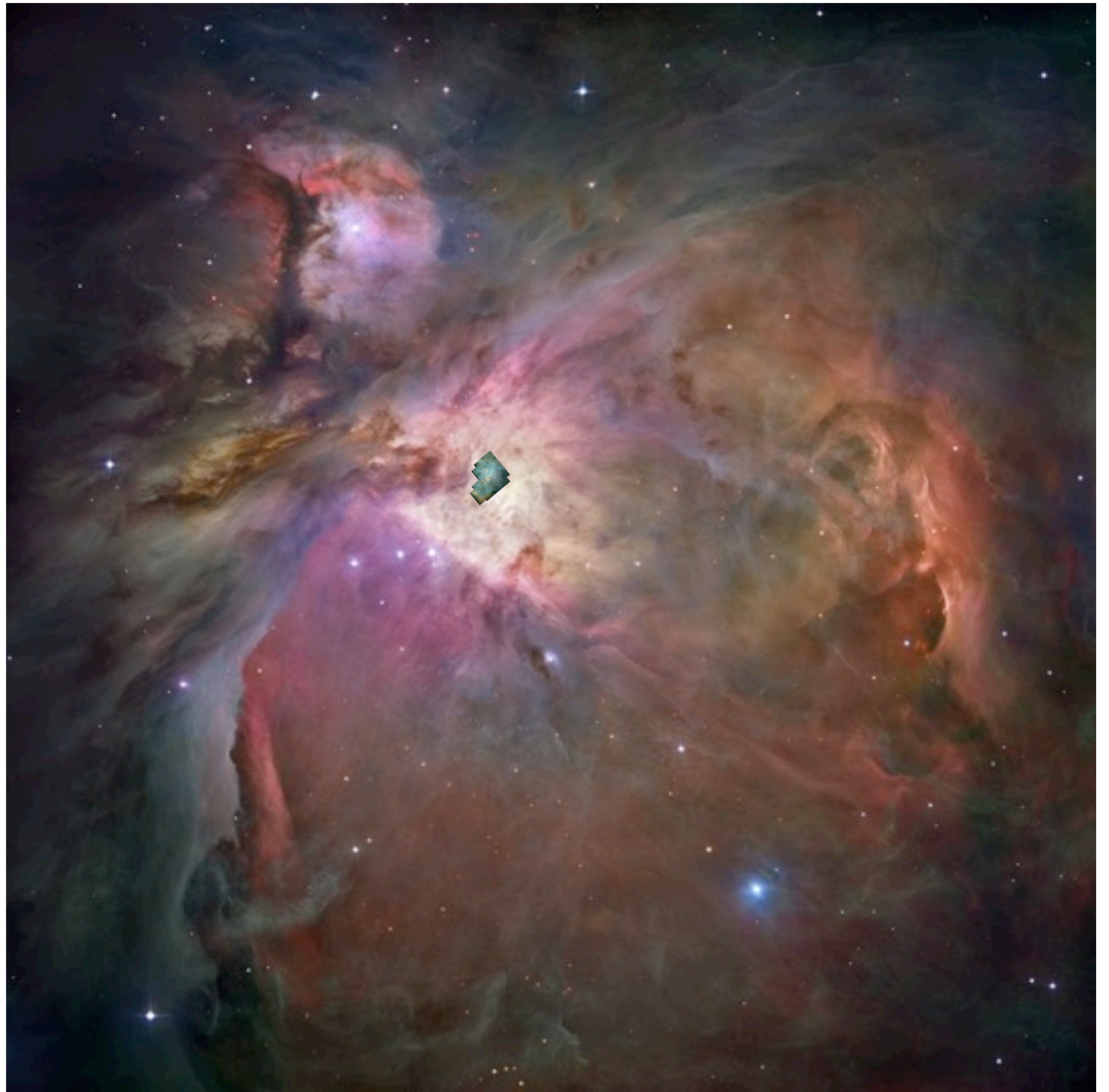
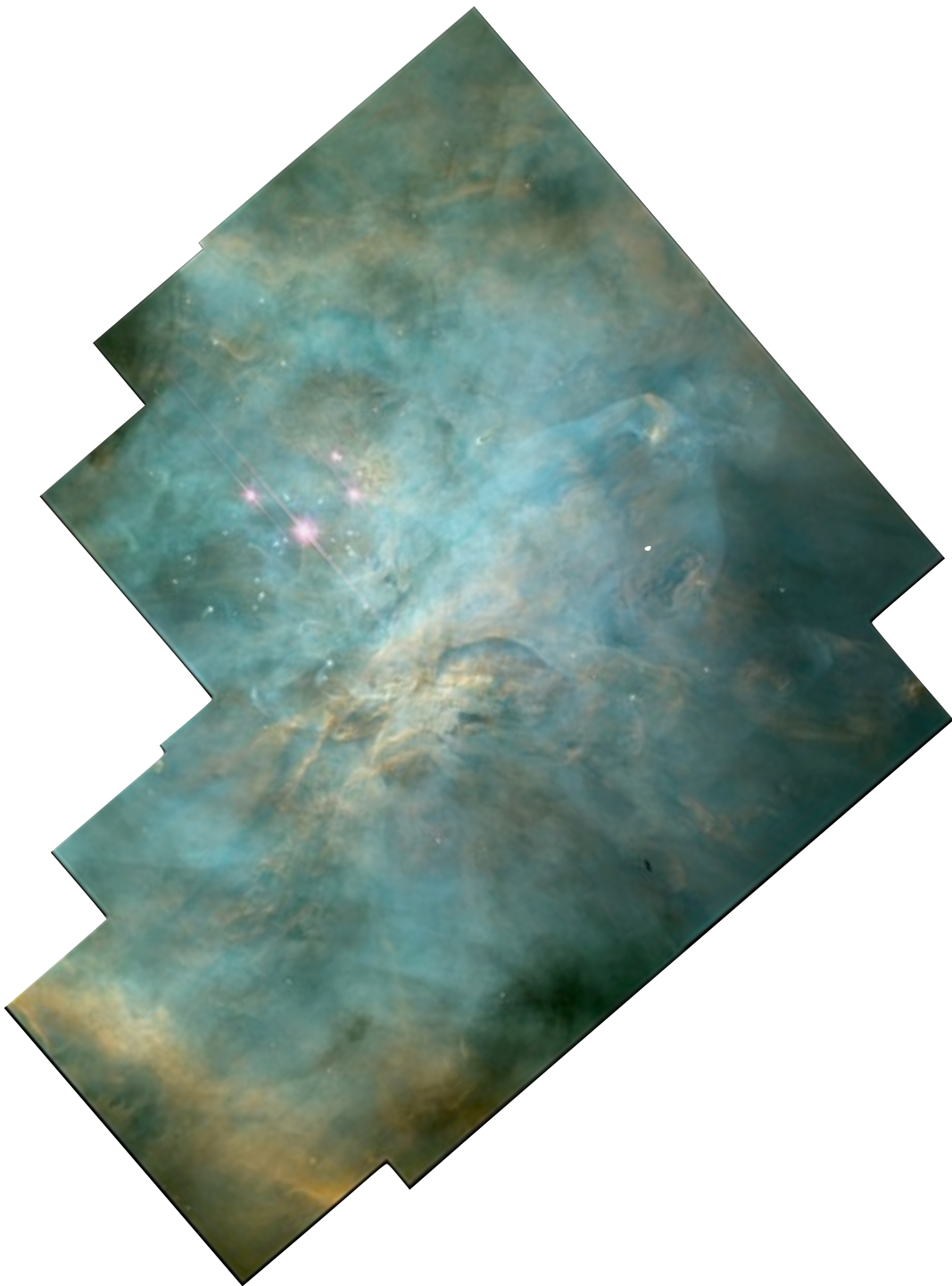
Fase 1: Nube molecolare gigante

Le stelle del trapezio in Orione



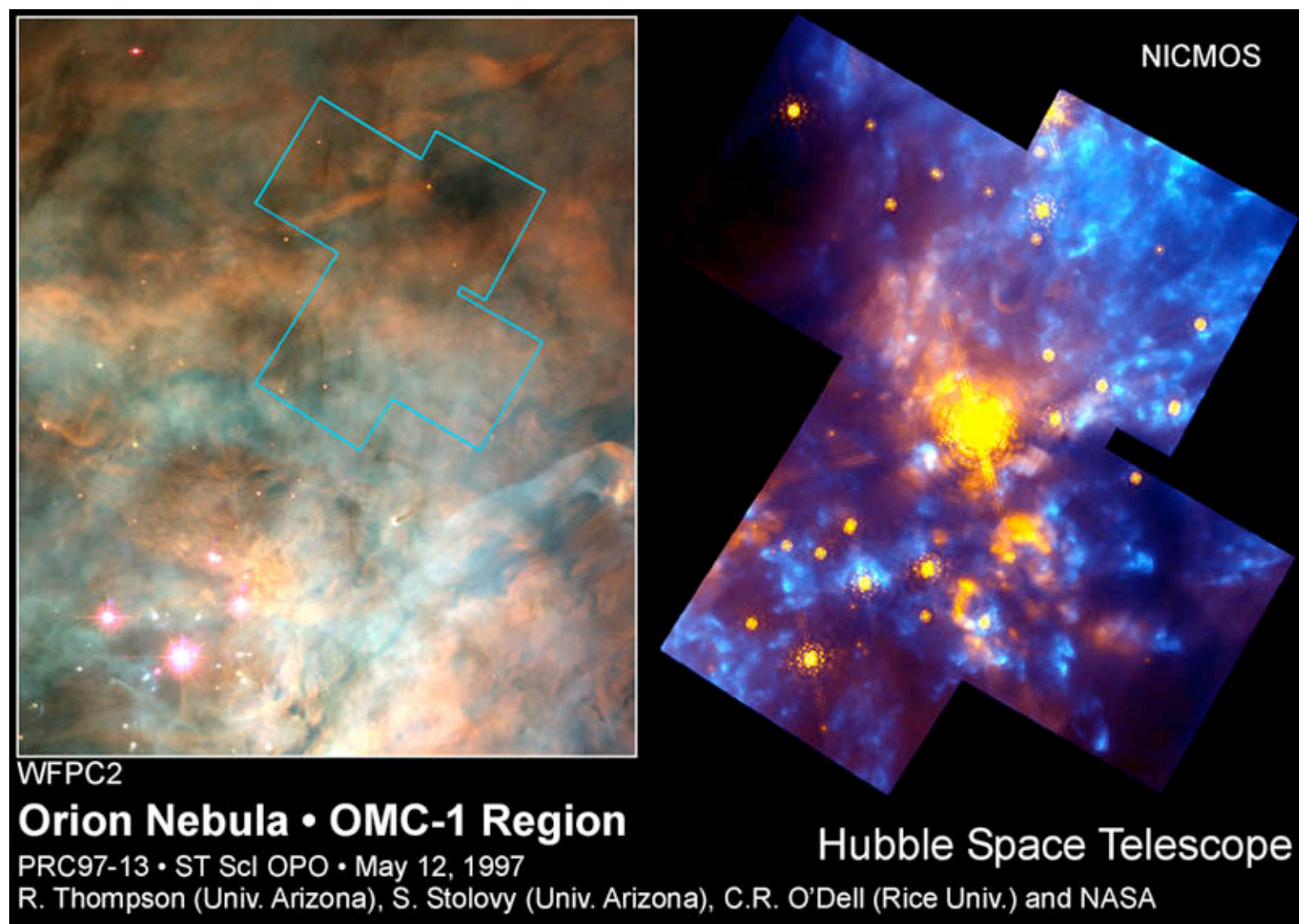
Fase 1: Nube molecolare gigante

Le stelle del trapezio in Orione



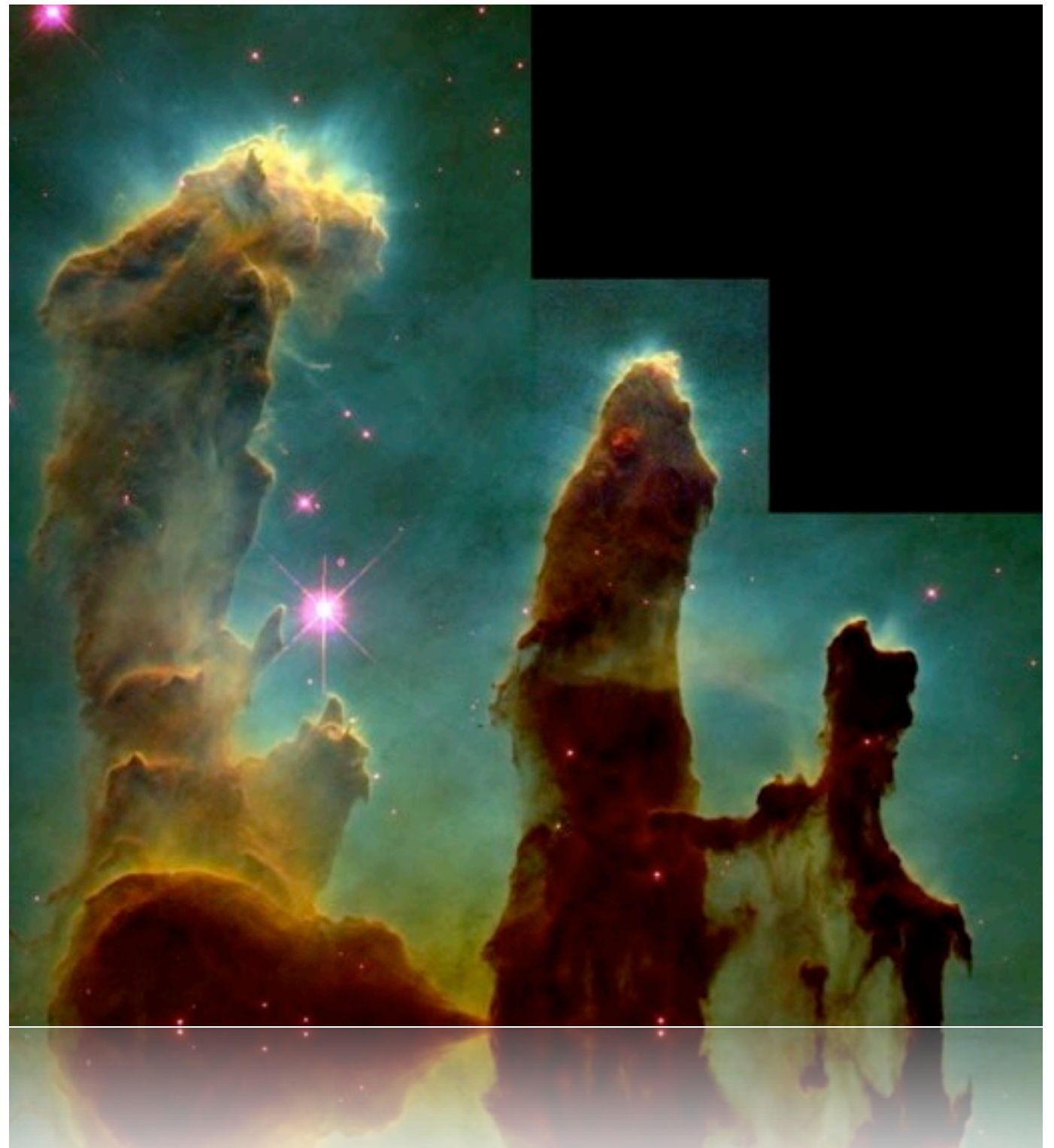
Fase 1-b: Proto-stelle

Immagini in luce visibile (WFPC 2) e infrarossa (NICMOS) del telescopio spaziale Hubble.



Pilastri della creazione in M16

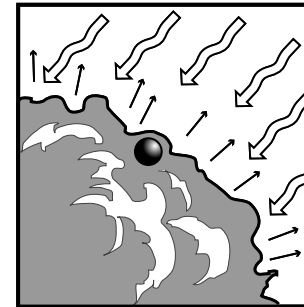
Evaporazione della polvere
attorno alle proto-stelle
nella nebulosa dell'Aquila



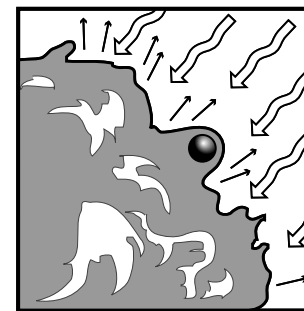
Pilastri della creazione in M16

Evaporazione della polvere
attorno alle proto-stelle
nella nebulosa dell'Aquila

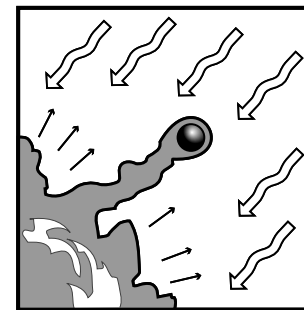
Stellar EGGs in M16



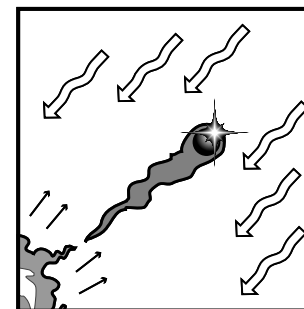
The surface of a molecular cloud is illuminated by intense ultraviolet radiation from nearby hot stars. The radiation evaporates material off of the surface of the cloud.



As the cloud is slowly eaten away by the ultraviolet radiation, a denser than average globule of gas begins to be uncovered.

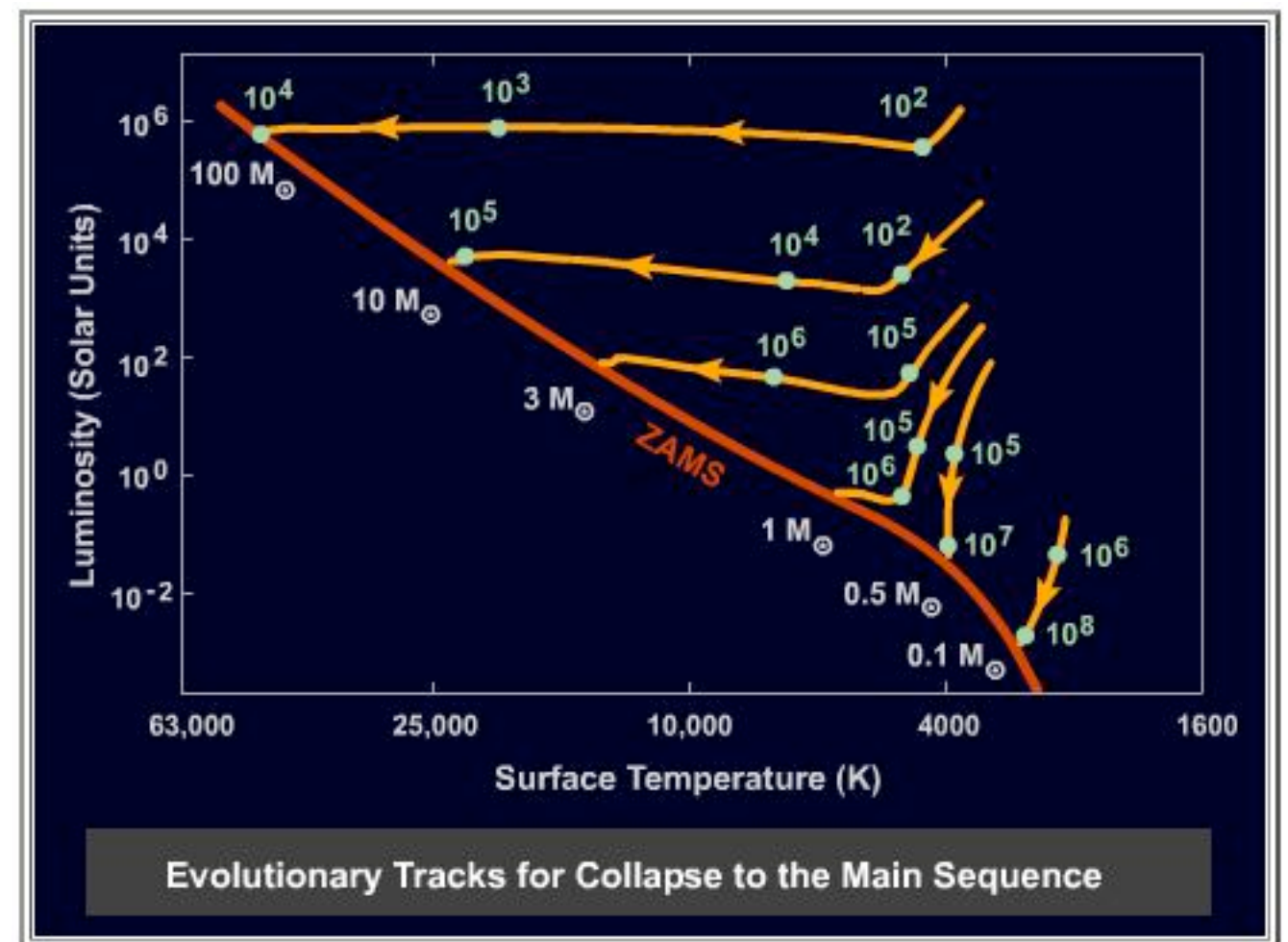


The EGG has now been largely uncovered. The shadow of the EGG protects a column of gas behind it, giving it a finger-like appearance.



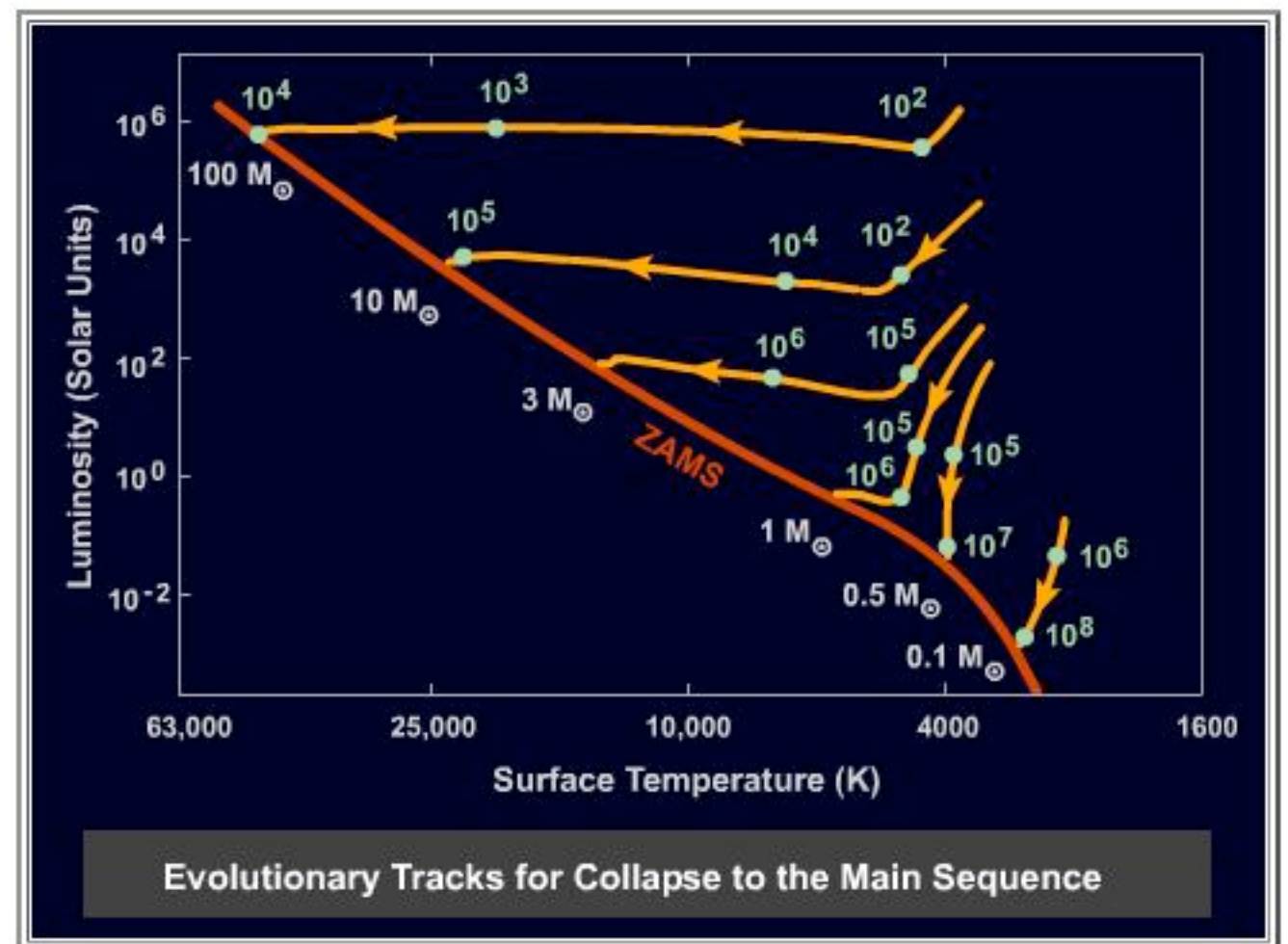
Eventually the EGG may become totally separated from the molecular cloud in which it formed. As the EGG itself slowly evaporates, the star within is uncovered and may appear sitting on the front surface of the EGG.

Fase 2: Nascita della stella e sequenza principale



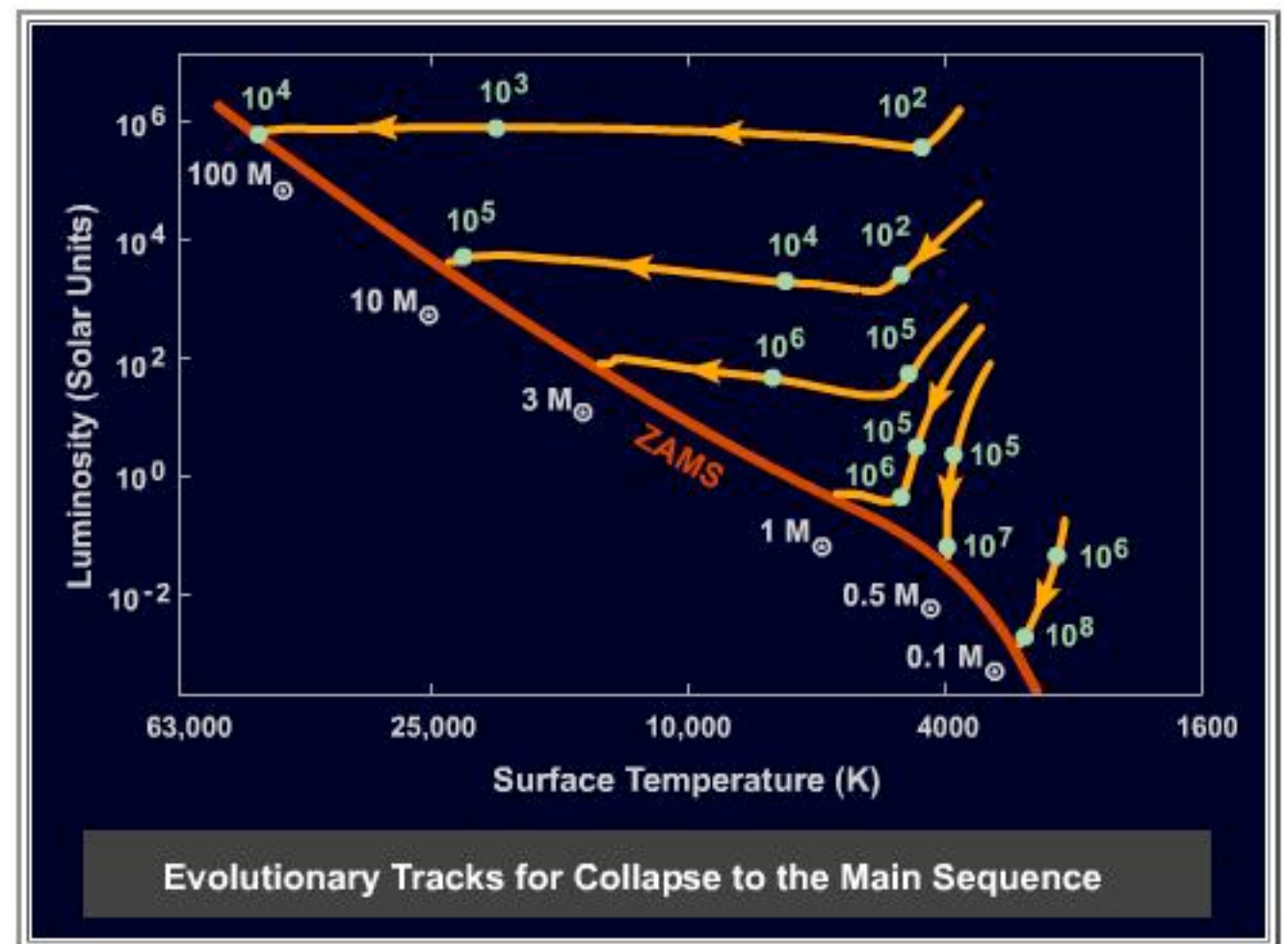
Fase 2: Nascita della stella e sequenza principale

- Quando la proto-stella si è sufficientemente compressa, iniziano le reazioni nucleari di fusione al centro.



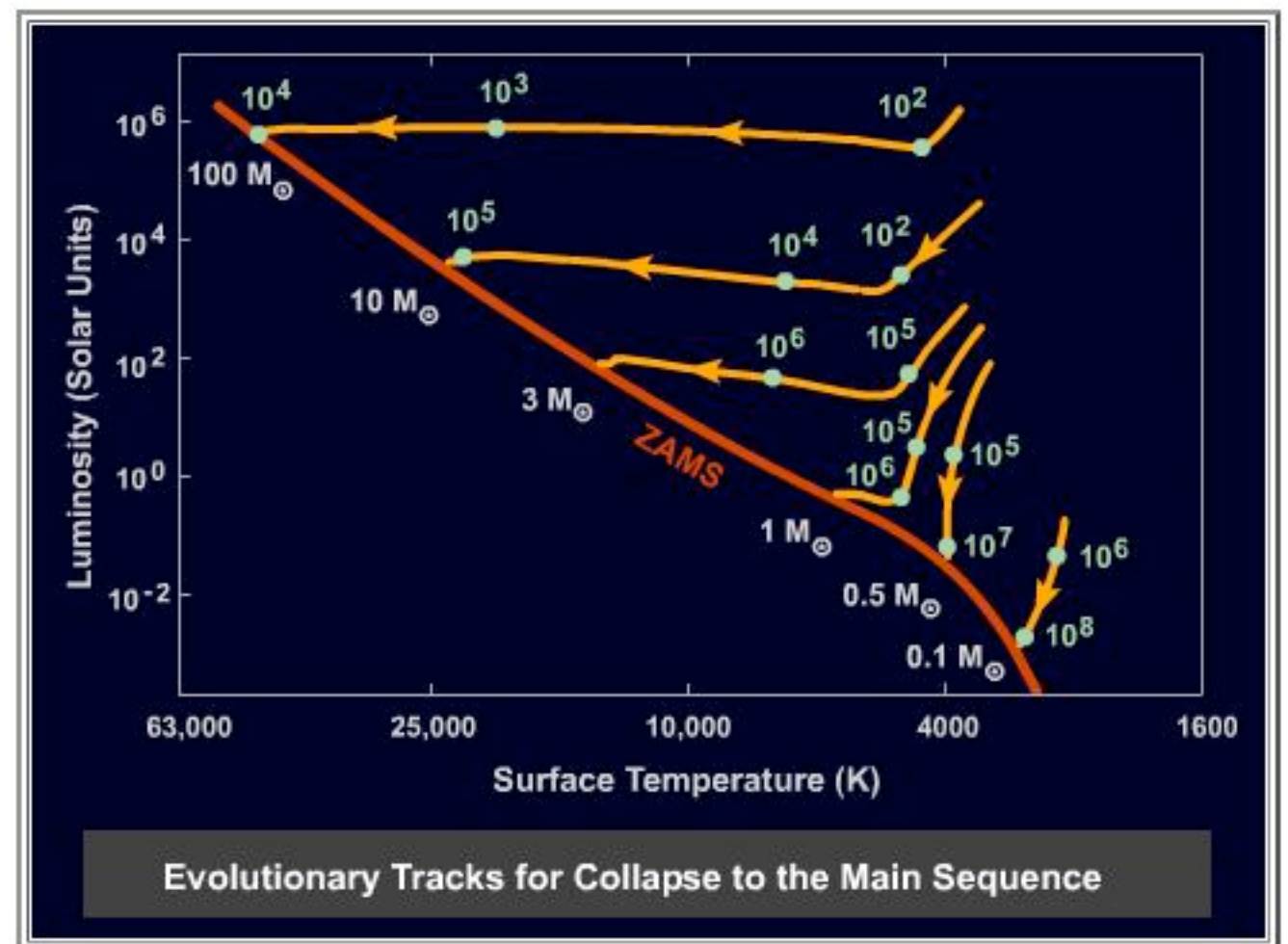
Fase 2: Nascita della stella e sequenza principale

- Quando la proto-stella si è sufficientemente compressa, iniziano le reazioni nucleari di fusione al centro.
- Il collasso della nube si ferma e una stella è nata ...



Fase 2: Nascita della stella e sequenza principale

- Quando la proto-stella si è sufficientemente compressa, iniziano le reazioni nucleari di fusione al centro.
- Il collasso della nube si ferma e una stella è nata ...
- Rimarrà il 90% della sua vita sulla “sequenza principale”



Fase 2: Nascita della stella e sequenza principale

- Quando la proto-stella si è sufficientemente compressa, iniziano le reazioni nucleari di fusione al centro.
- Il collasso della nube si ferma e una stella è nata ...
- Rimarrà il 90% della sua vita sulla “sequenza principale”



Diagramma Hertzsprung-Russell

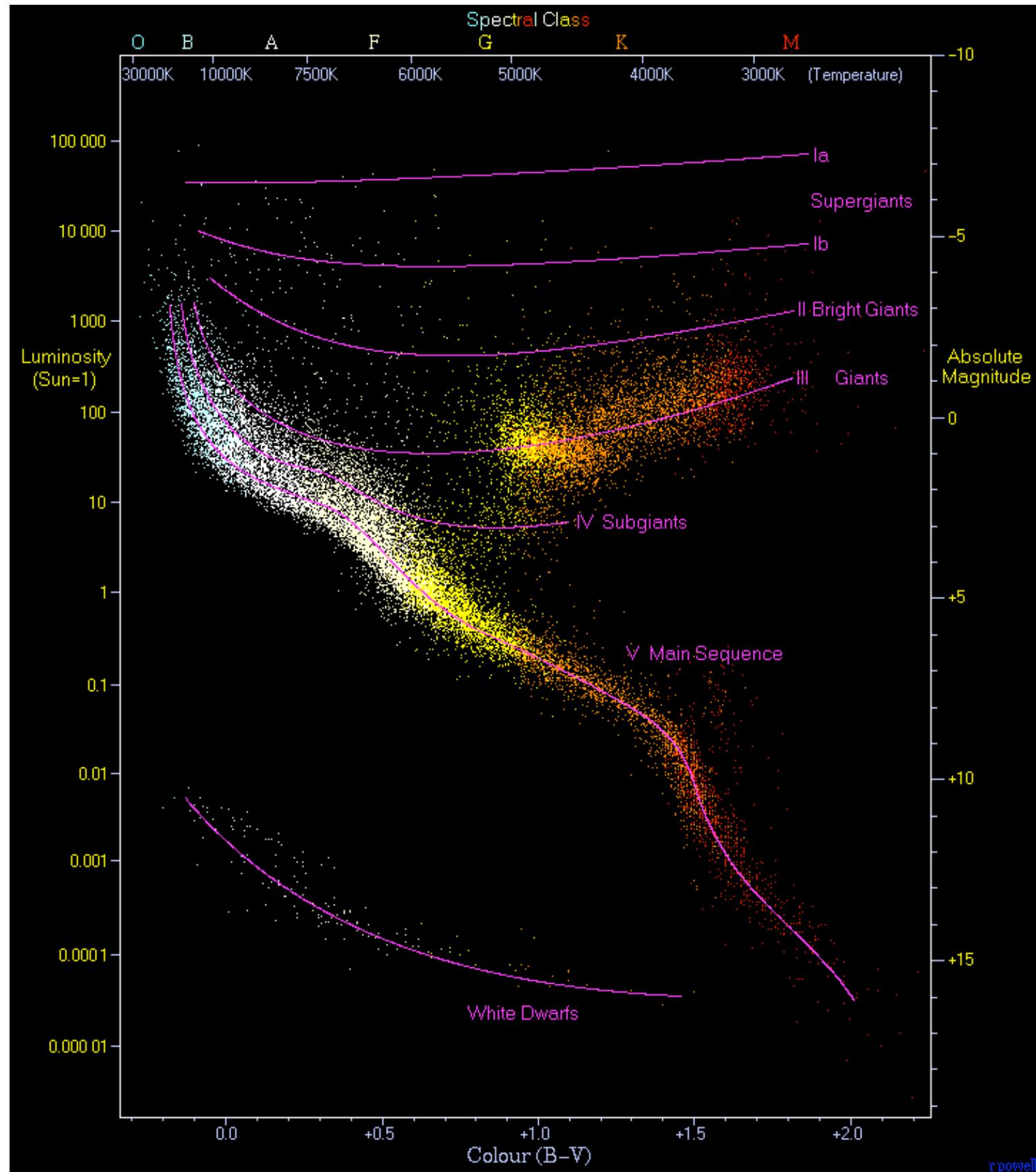
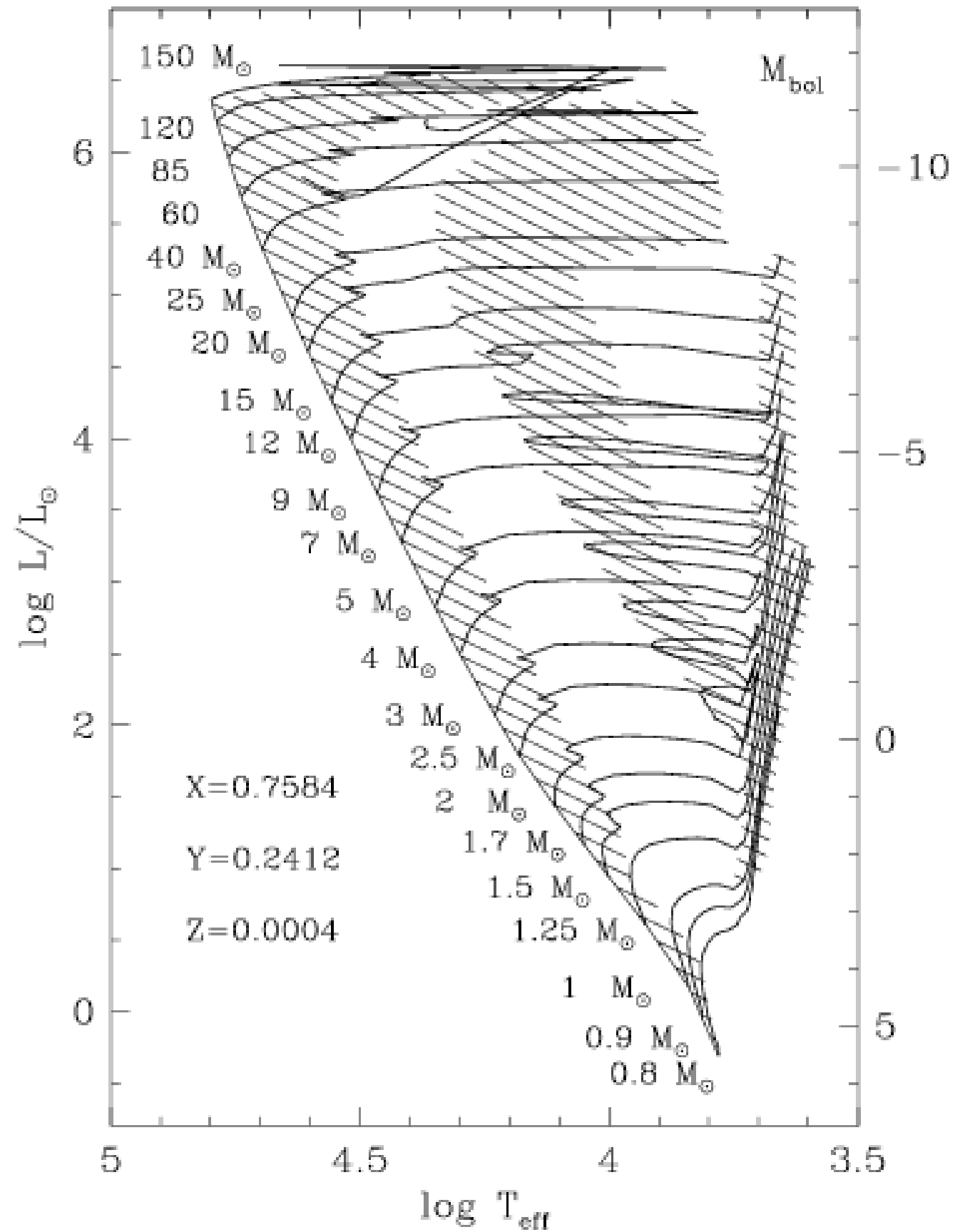
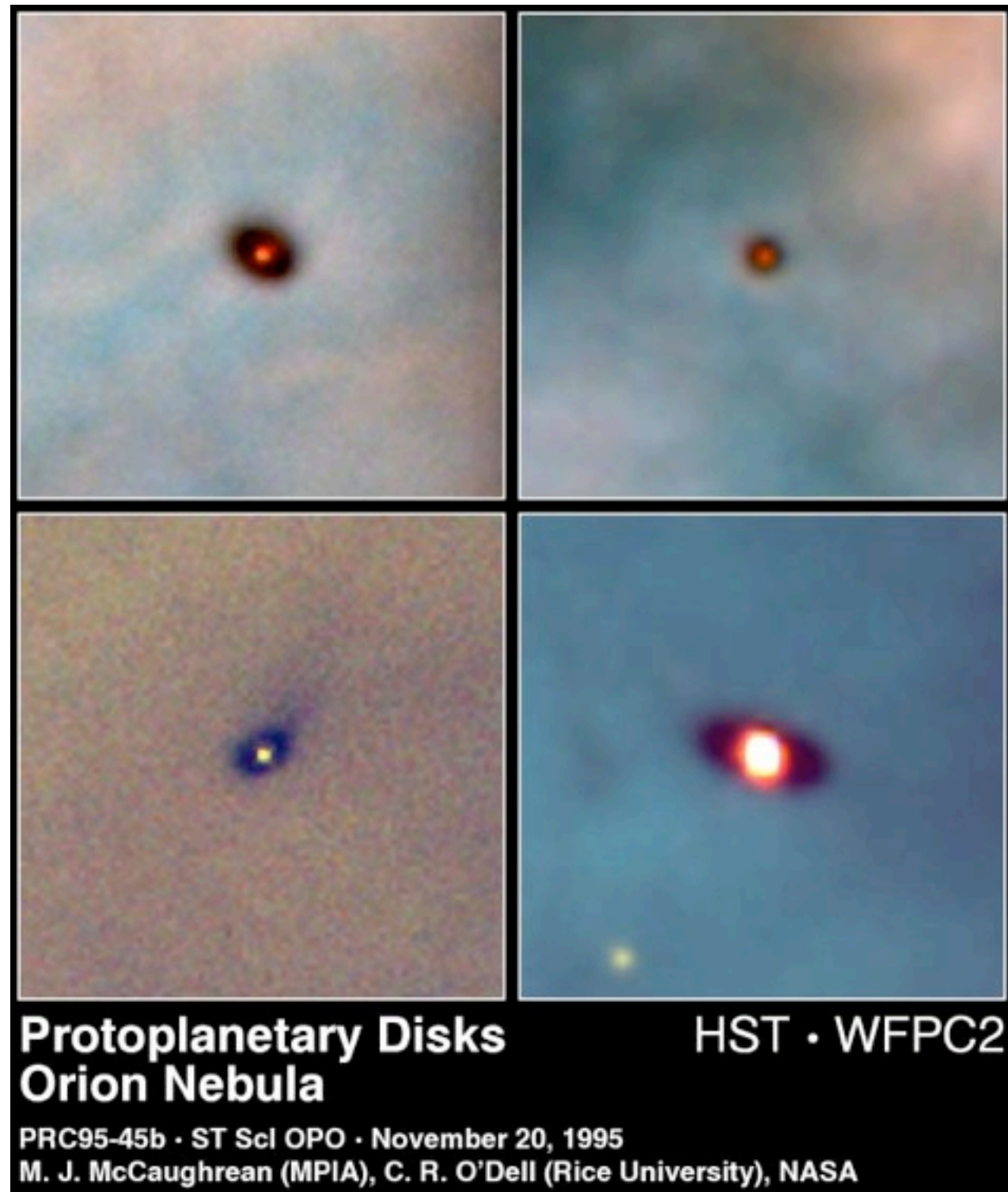


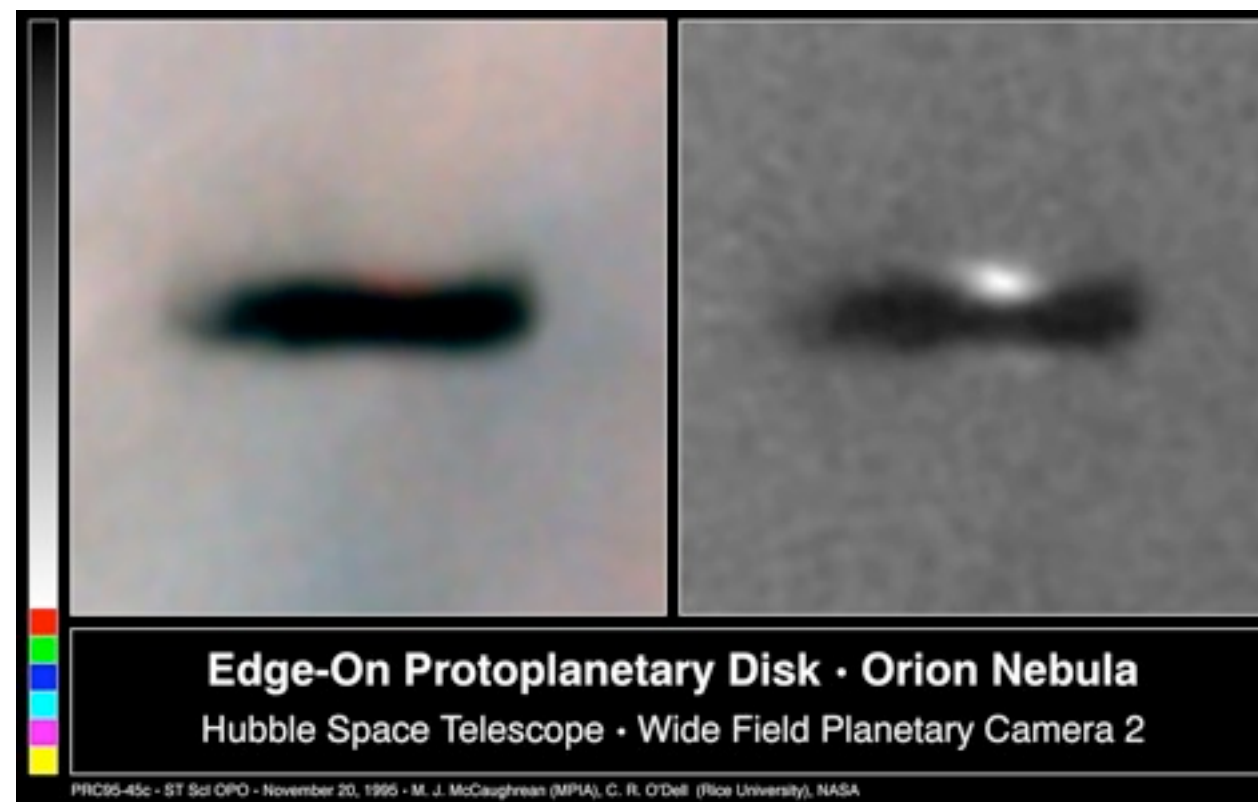
Diagramma Hertzsprung-Russell



Fase 2-b: Formazione di dischi proto-planetari



Fase 2-b: Formazione di dischi proto-planetari



Formazione dei pianeti

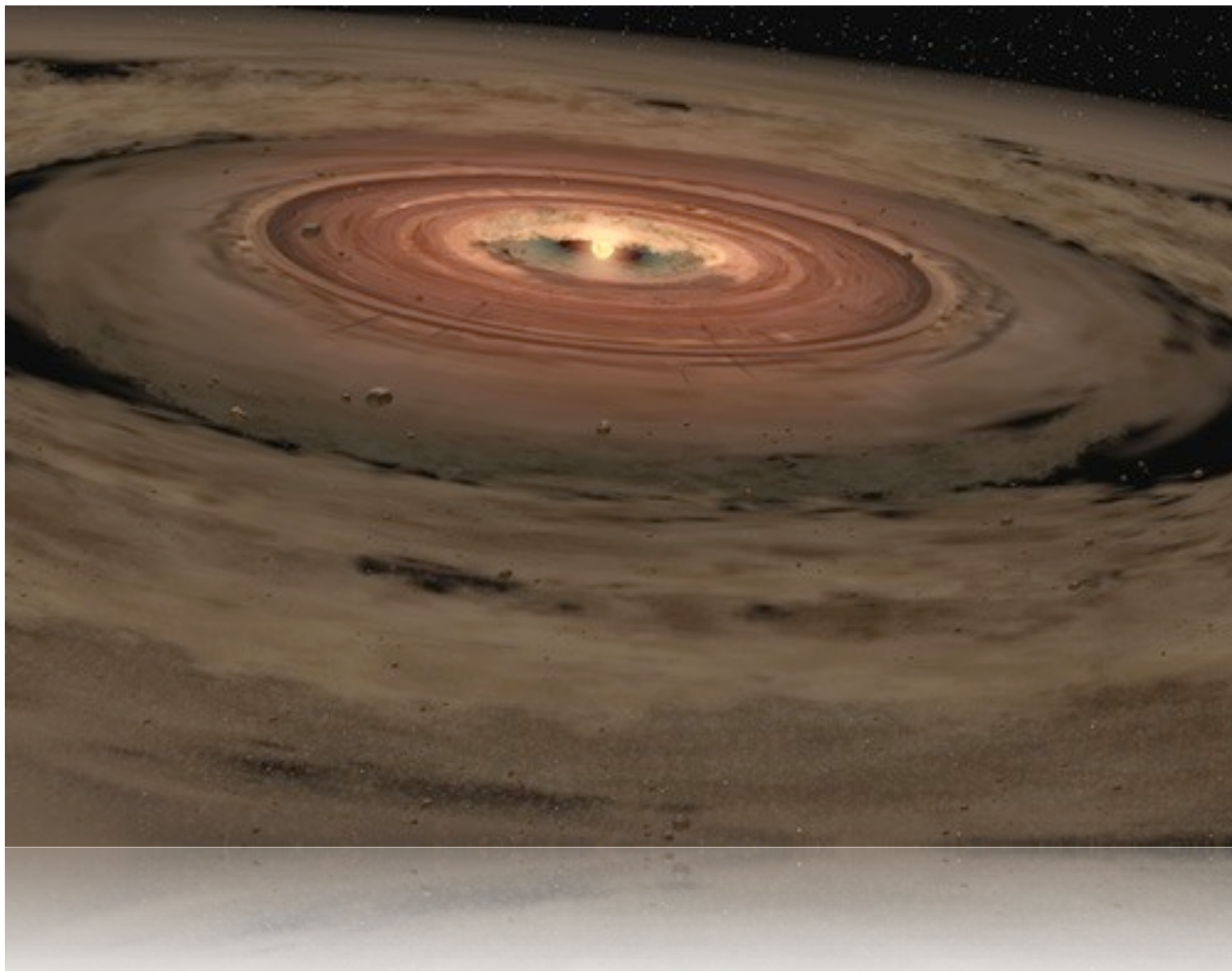


Flared Proto-Planetary Disc
(Artist's Impression)

ESO Press Photo 36/06 (28 September 2006)
ESO Press Photo 36/06 (28 September 2006)

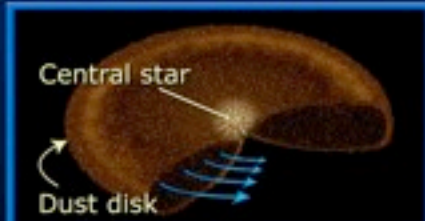
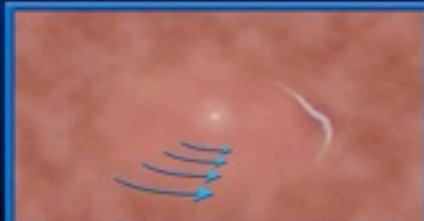
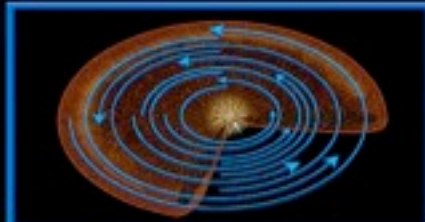


Formazione dei pianeti



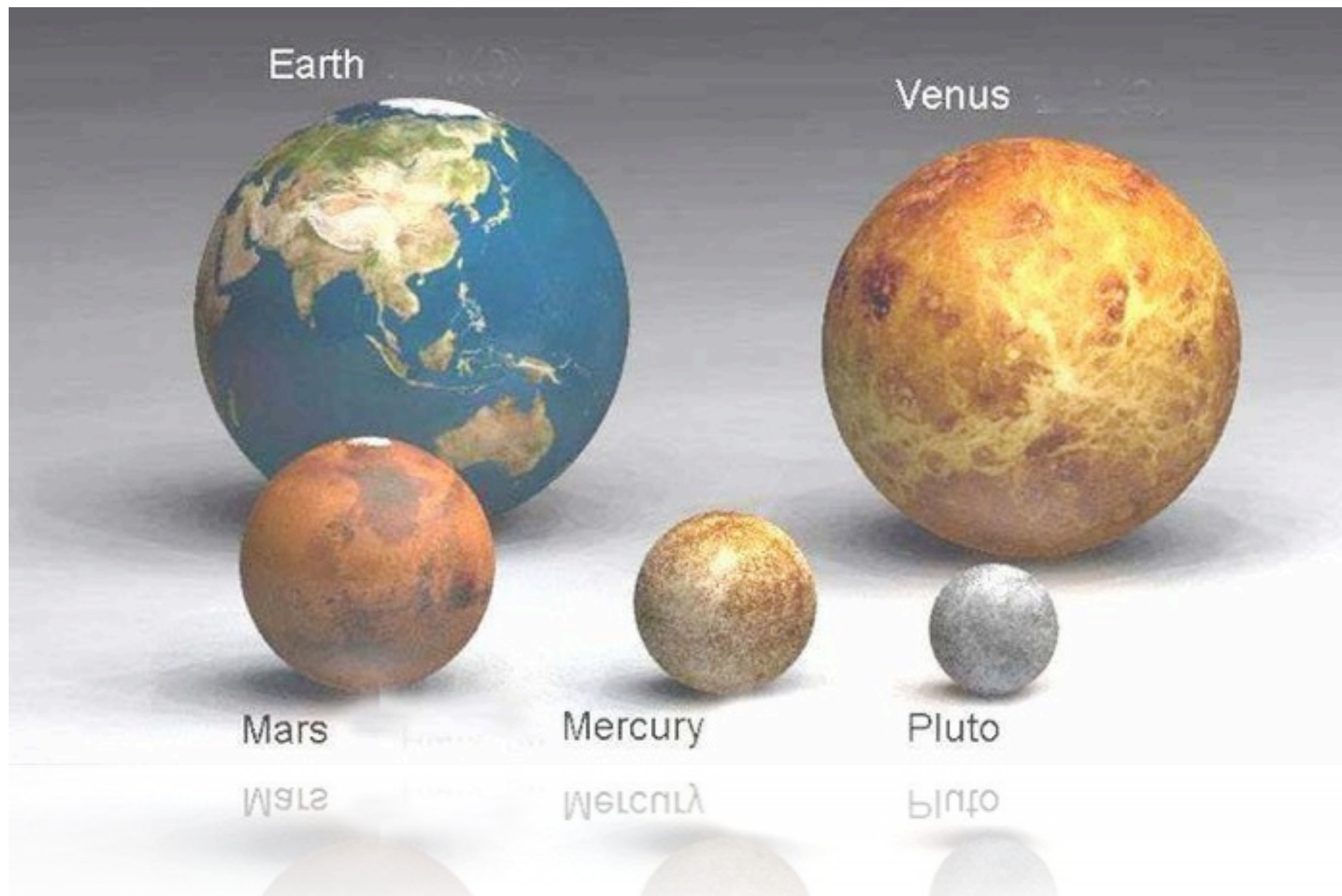
Formazione dei pianeti

TWO PLANET FORMATION SCENARIOS

Accretion model	Gas-collapse model
 Central star Dust disk Orbiting dust grains accrete into "planetesimals" through nongravitational forces.	 A protoplanetary disk of gas and dust forms around a young star.
 Planetesimals grow, moving in near-coplanar orbits, to form "planetary embryos."	 Planet-formation nexus Gravitational disk instabilities form a clump of gas that becomes a self-gravitating planet.
 Gas-giant planets accrete gas envelopes before disk gas disappears.	 Gas giant Dust grains coagulate and sediment to the center of the protoplanet, forming a core.
 Gas-giant planets scatter or accrete remaining planetesimals and embryos.	 The planet sweeps out a wide gap as it continues to feed on gas in the disk.

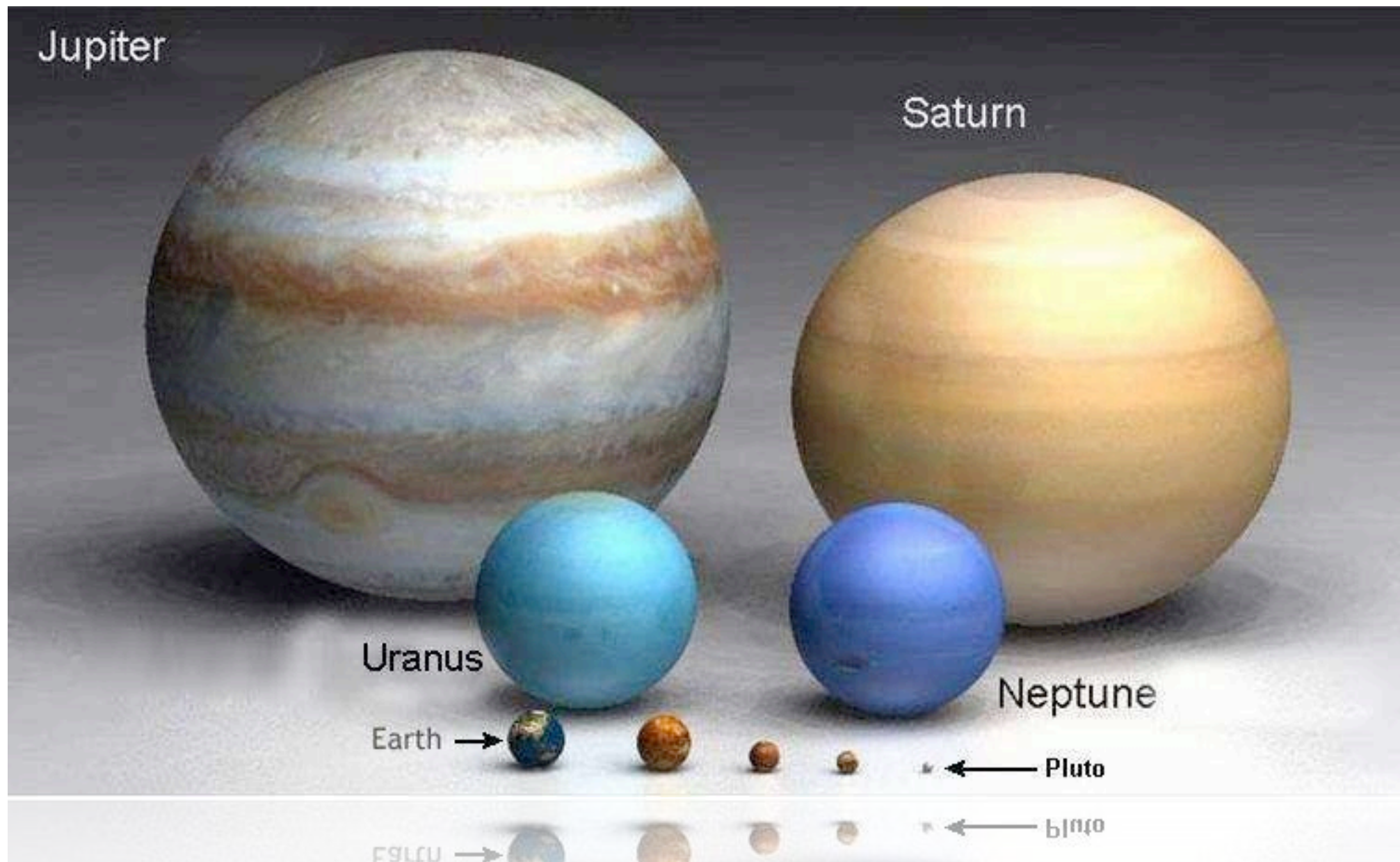
Teorie di formazione del nostro sistema solare

Pianeti interni: planetasimali, alta temperatura ➡ pianeti rocciosi



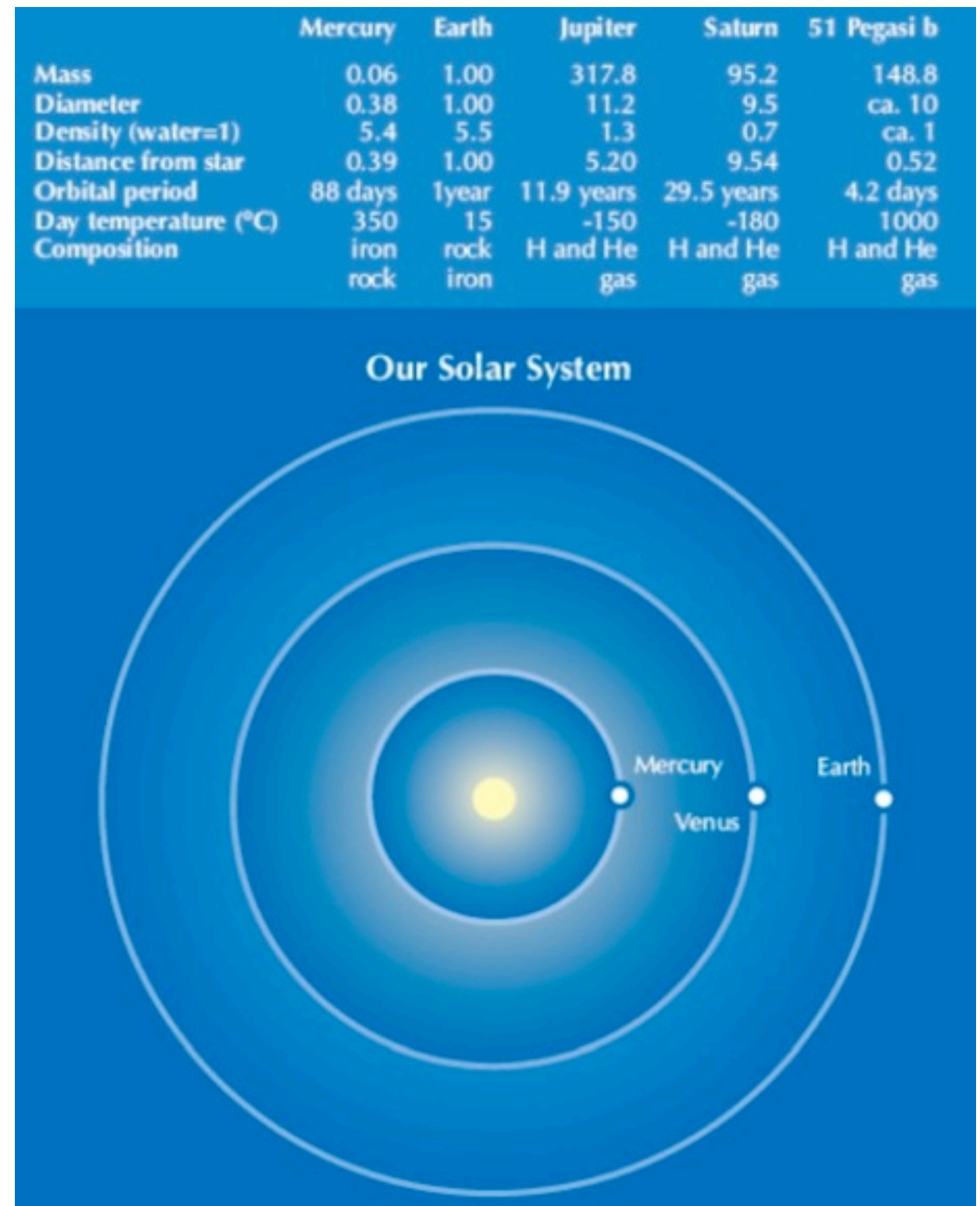
Teorie di formazione del nostro sistema solare

Pianeti esterni: planetasimali, bassa temperatura, grande serbatoio di gas ➡ giganti gassosi.



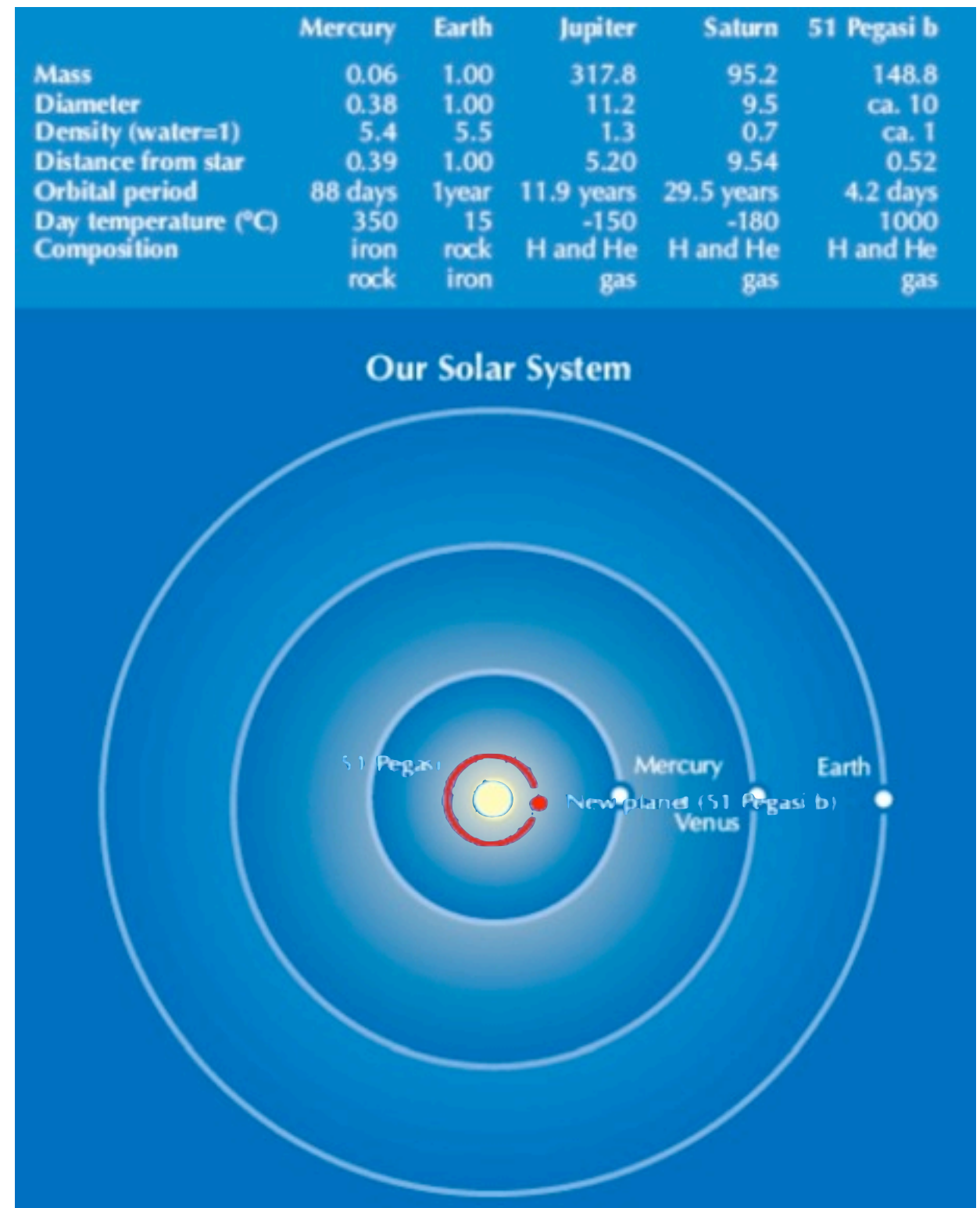
Nuove teorie di formazione dei pianeti

51 Pegasi b (Mayor & Queloz 1995)
primo pianeta extra-solare, attorno
ad una stella simile al nostro Sole



Nuove teorie di formazione dei pianeti

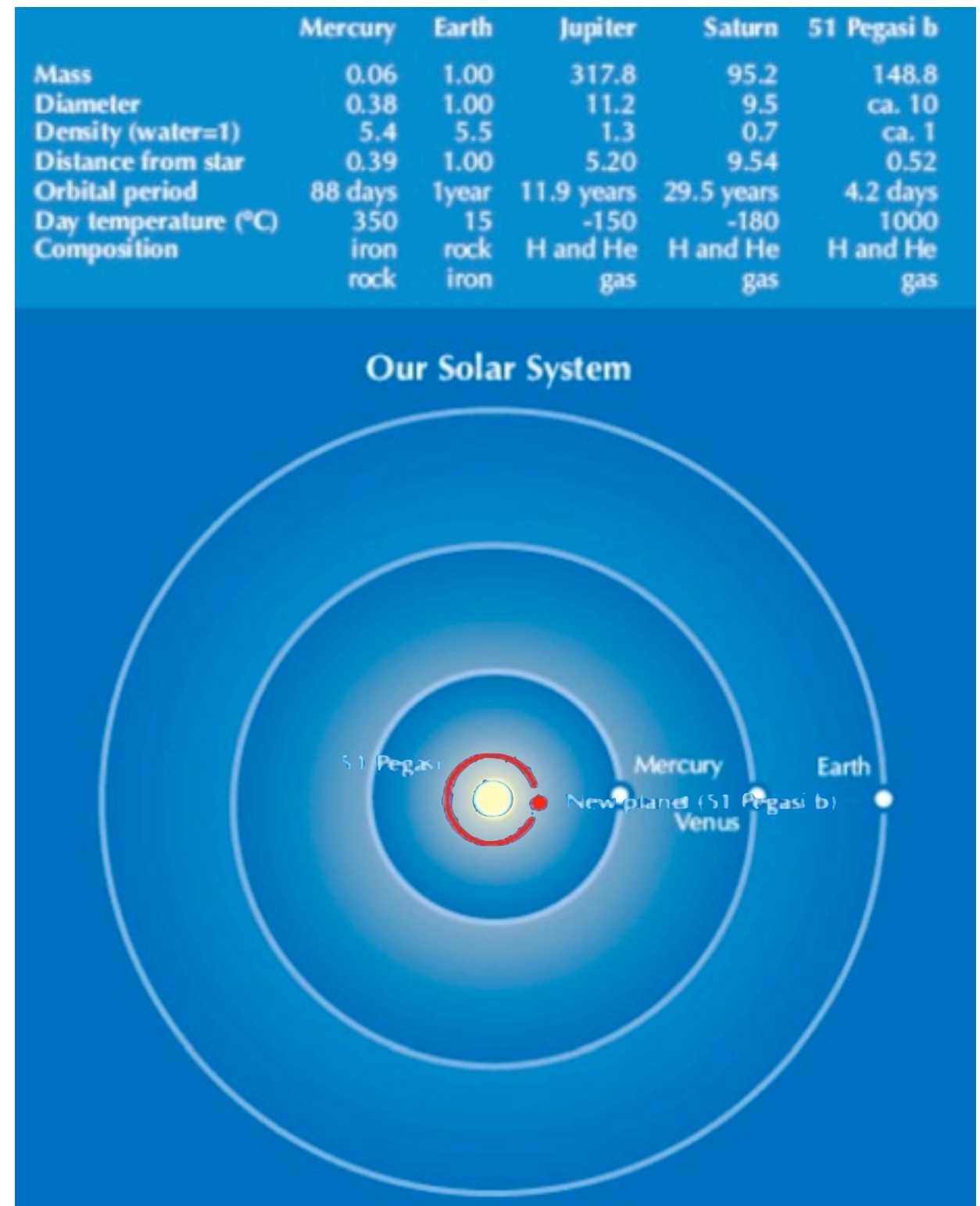
51 Pegasi b (Mayor & Queloz 1995)
primo pianeta extra-solare, attorno
ad una stella simile al nostro Sole



Nuove teorie di formazione dei pianeti

51 Pegasi b (Mayor & Queloz 1995)
primo pianeta extra-solare, attorno
ad una stella simile al nostro Sole

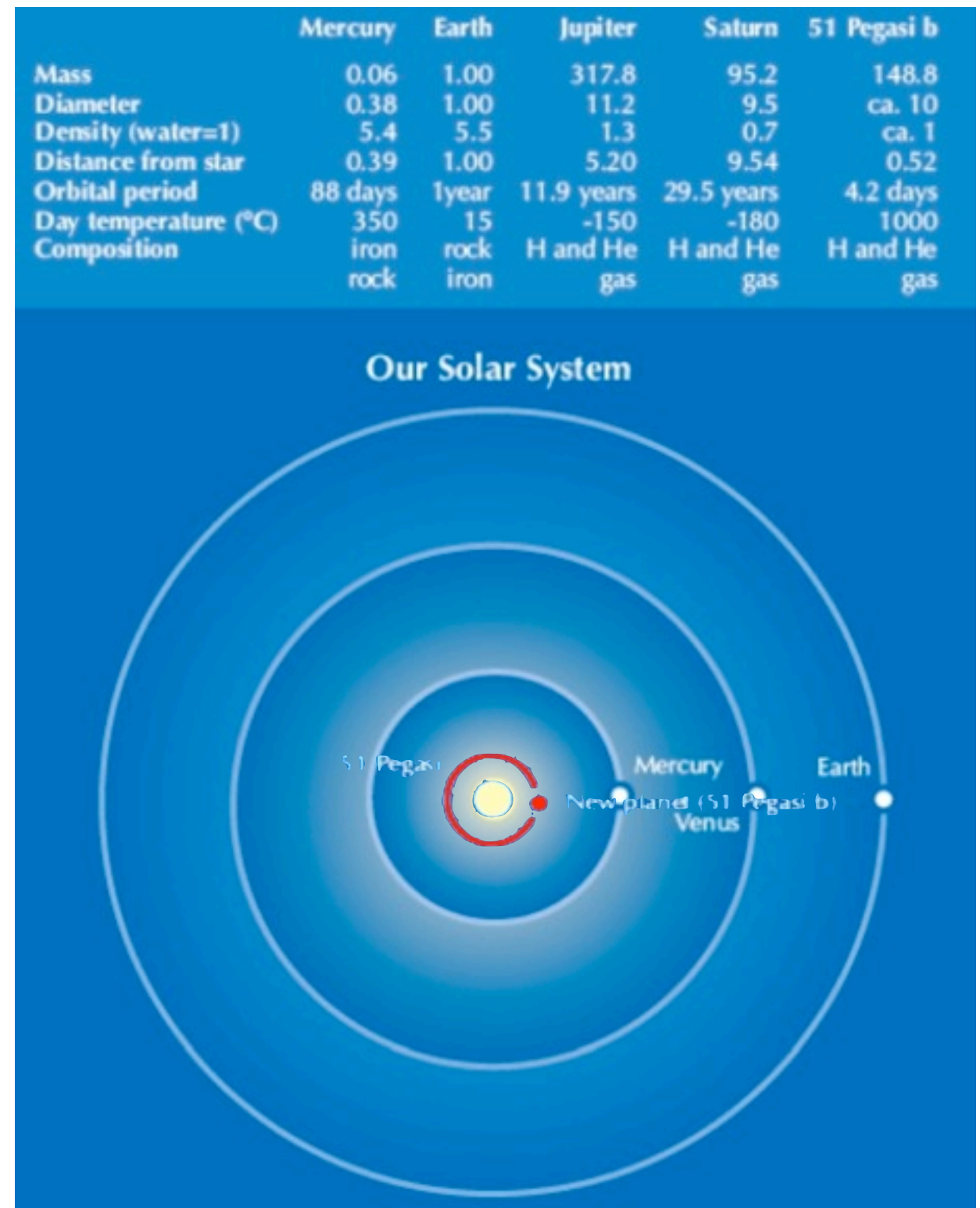
- Gigante di gas



Nuove teorie di formazione dei pianeti

51 Pegasi b (Mayor & Queloz 1995)
primo pianeta extra-solare, attorno
ad una stella simile al nostro Sole

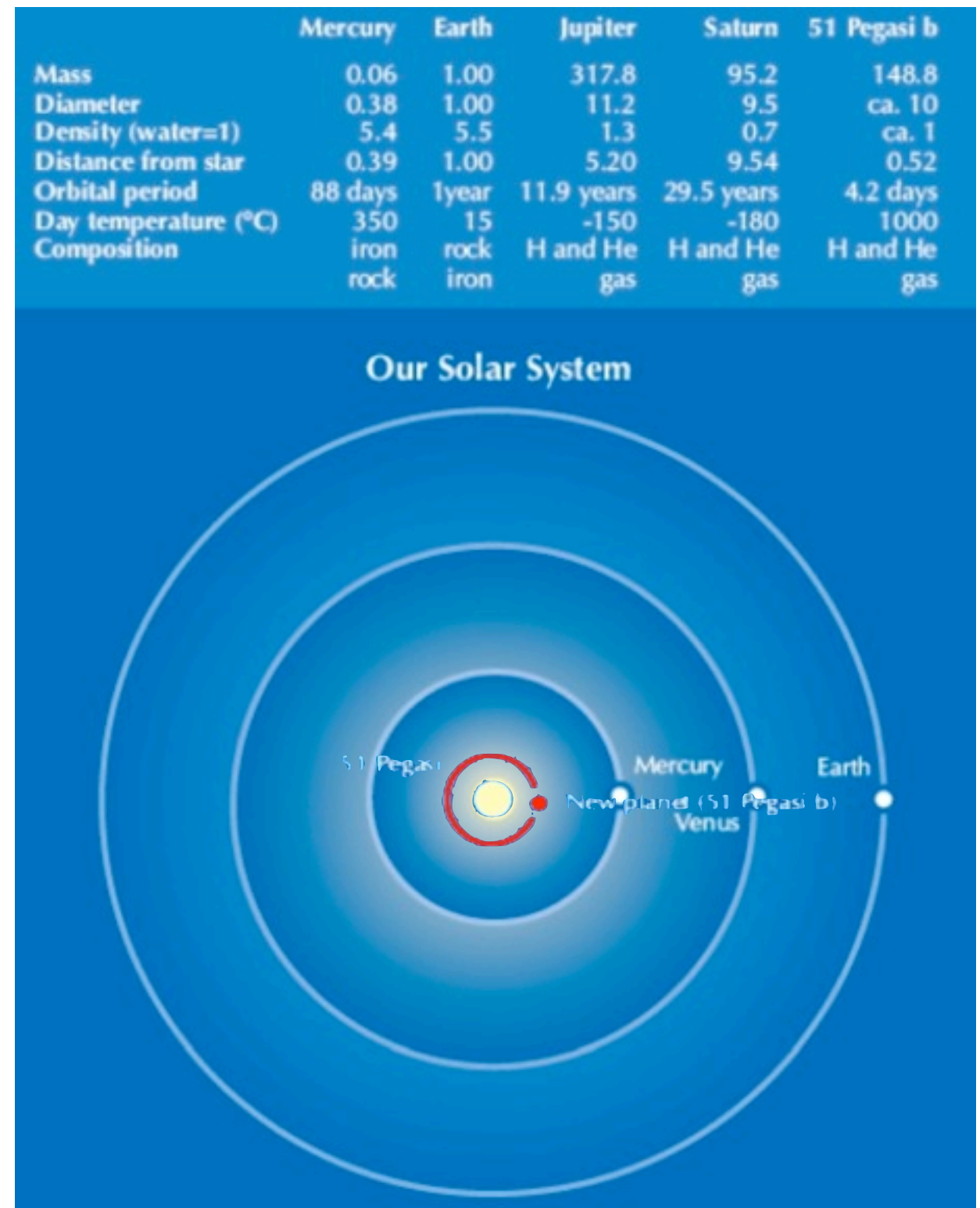
- Gigante di gas
- Massa: metà della massa di Giove



Nuove teorie di formazione dei pianeti

51 Pegasi b (Mayor & Queloz 1995)
primo pianeta extra-solare, attorno
ad una stella simile al nostro Sole

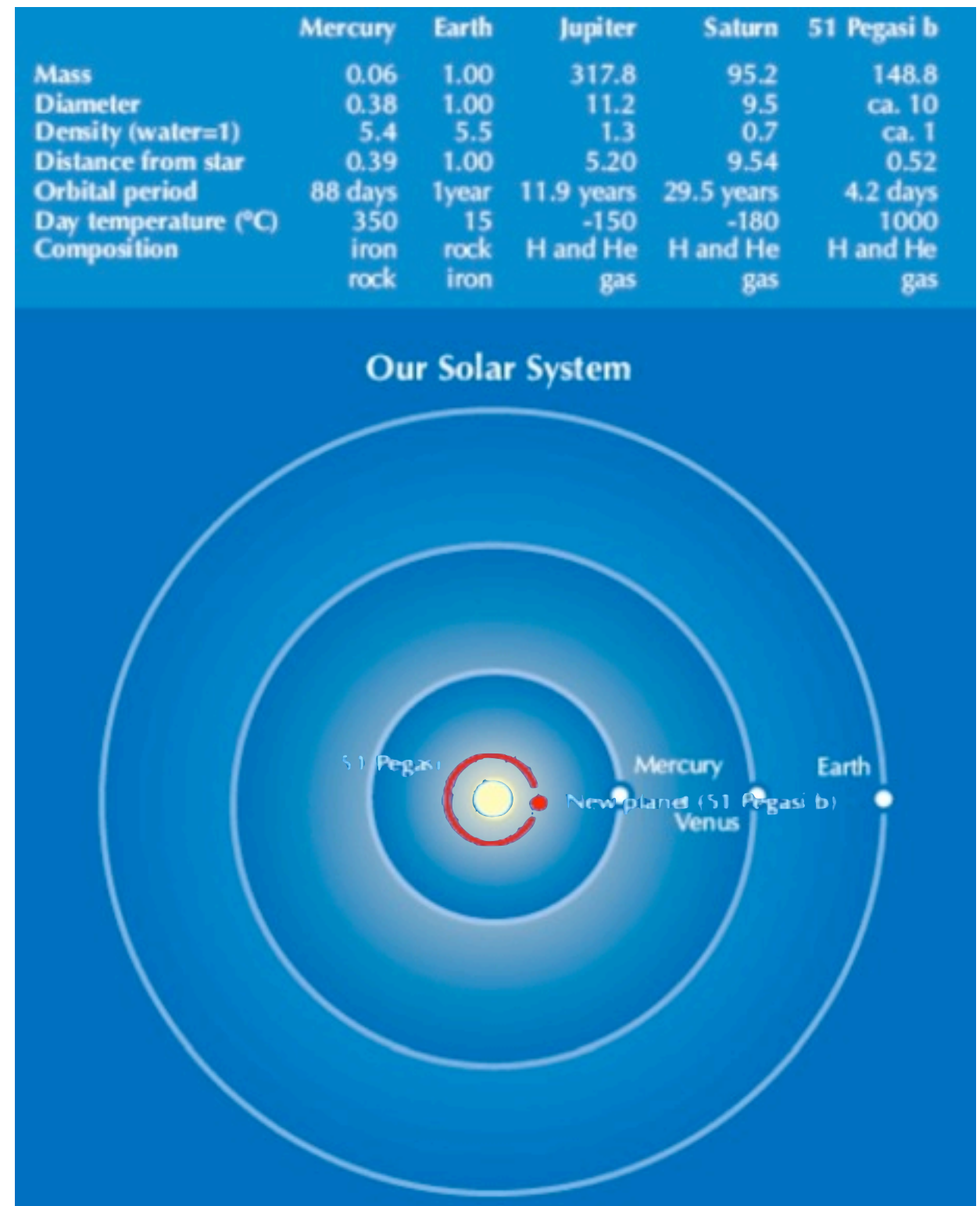
- Gigante di gas
- Massa: metà della massa di Giove
- Periodo orbitale: 4 giorni



Nuove teorie di formazione dei pianeti

51 Pegasi b (Mayor & Queloz 1995)
primo pianeta extra-solare, attorno
ad una stella simile al nostro Sole

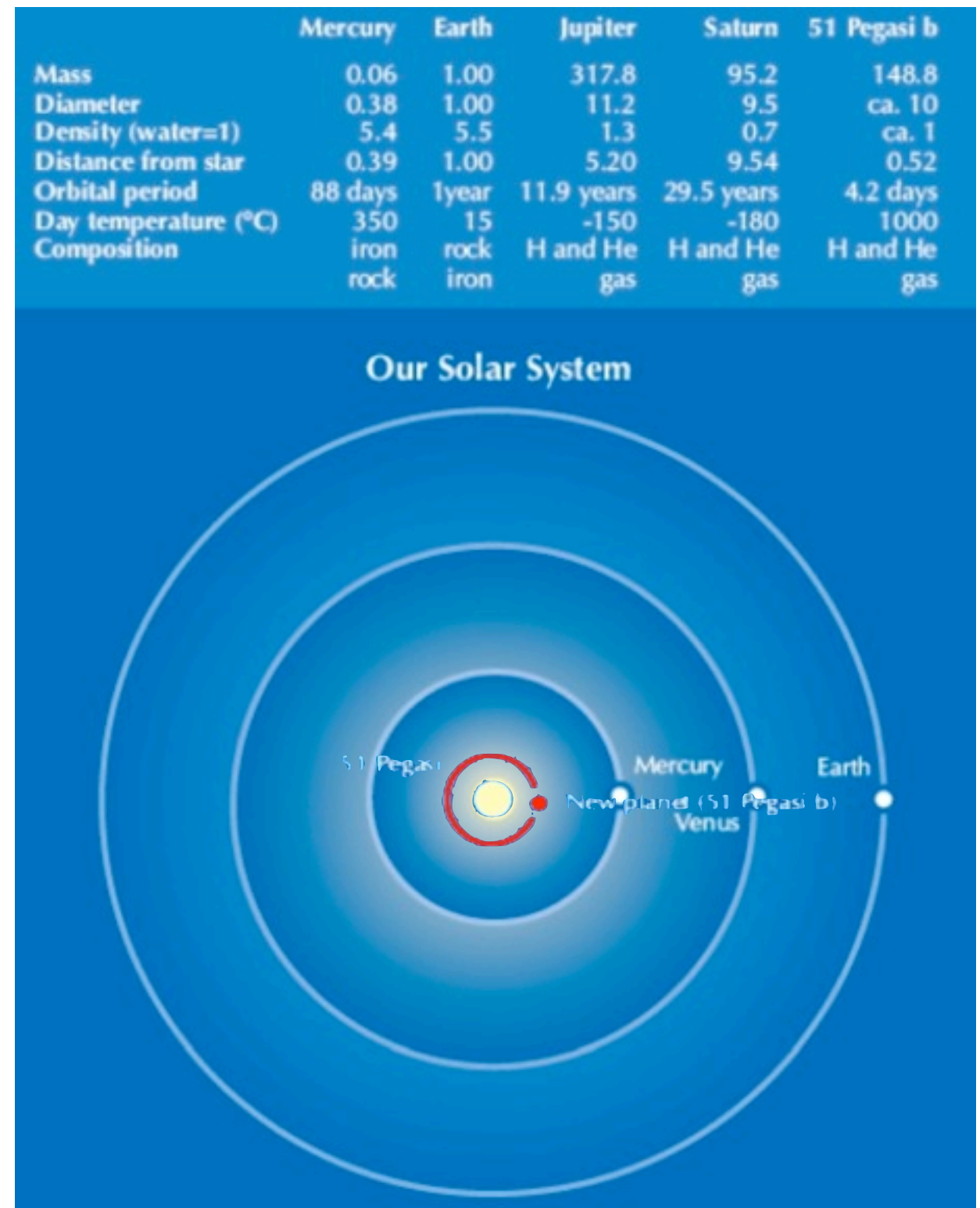
- Gigante di gas
- Massa: metà della massa di Giove
- Periodo orbitale: 4 giorni
- Distanza alla stella: 0.05 UA



Nuove teorie di formazione dei pianeti

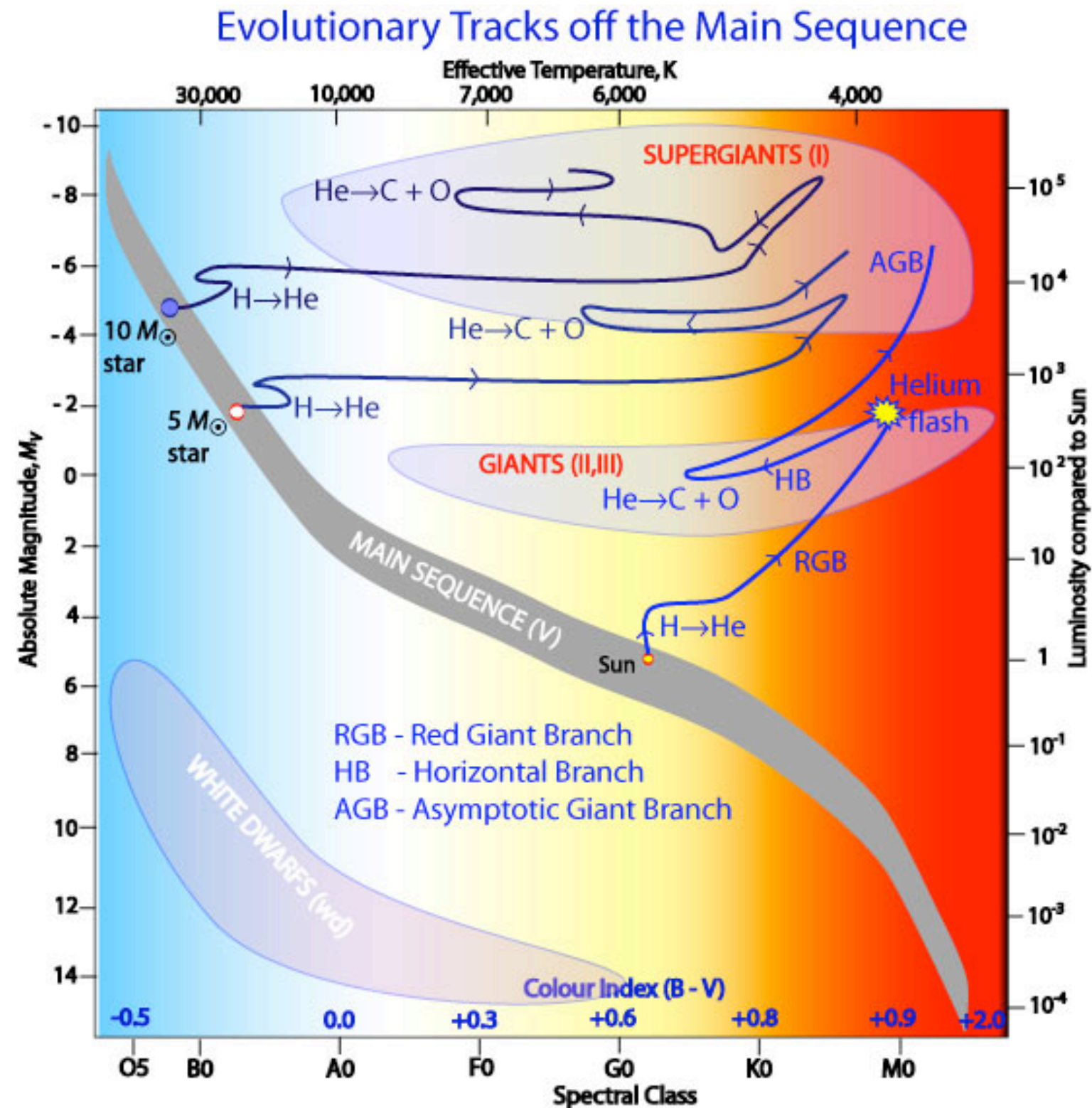
51 Pegasi b (Mayor & Queloz 1995)
primo pianeta extra-solare, attorno
ad una stella simile al nostro Sole

- Gigante di gas
- Massa: metà della massa di Giove
- Periodo orbitale: 4 giorni
- Distanza alla stella: 0.05 UA
- Migrazione ?

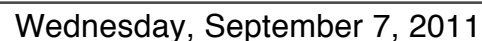


Fase 3: Gigante rossa

Percorso di una stella come il Sole nel diagramma HR:



a. Ramo delle giganti rosse (RGB)

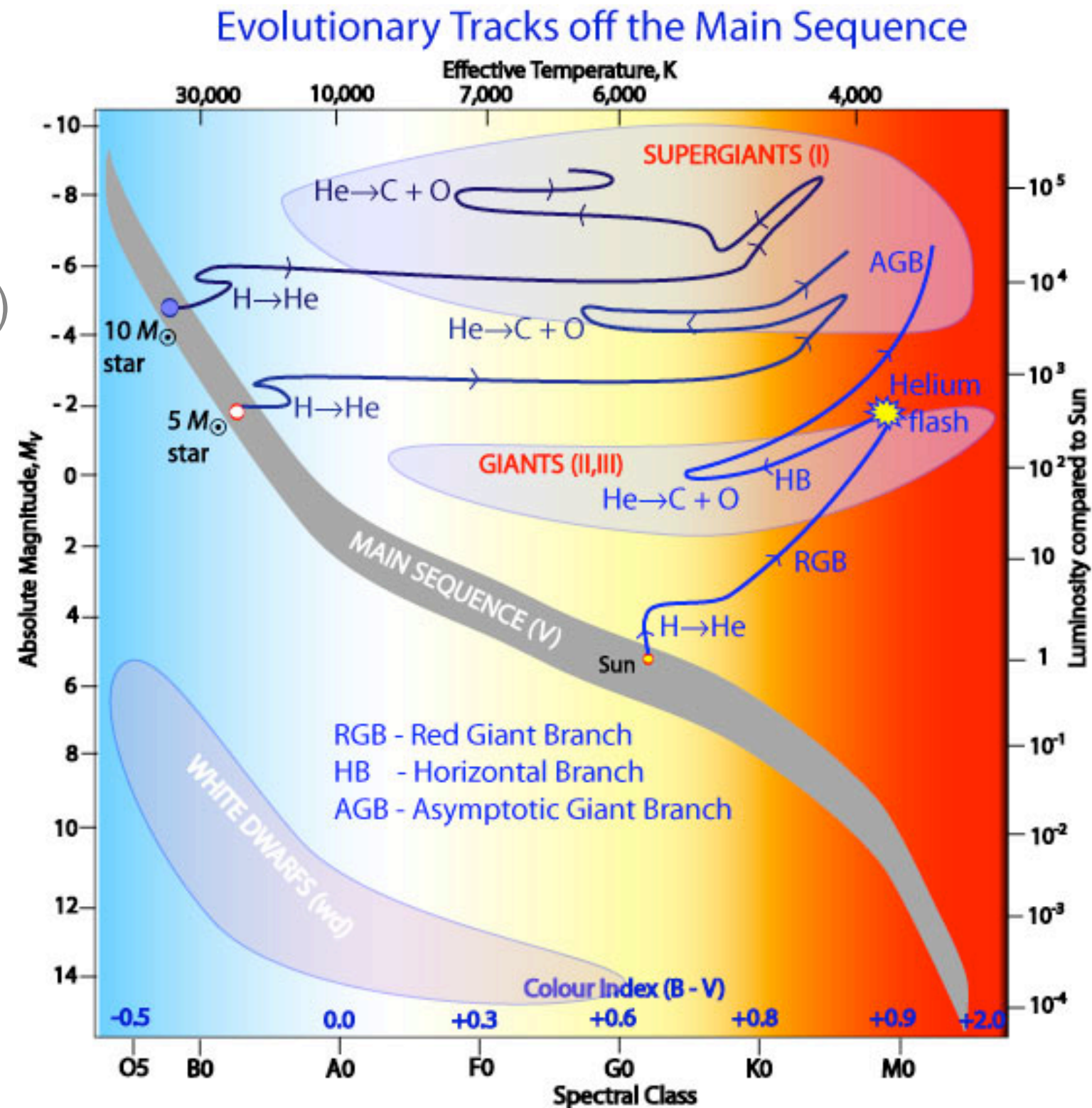


Fase 3: Gigante rossa

Percorso di una stella come il Sole nel diagramma HR:

a. Ramo delle giganti rosse (RGB)

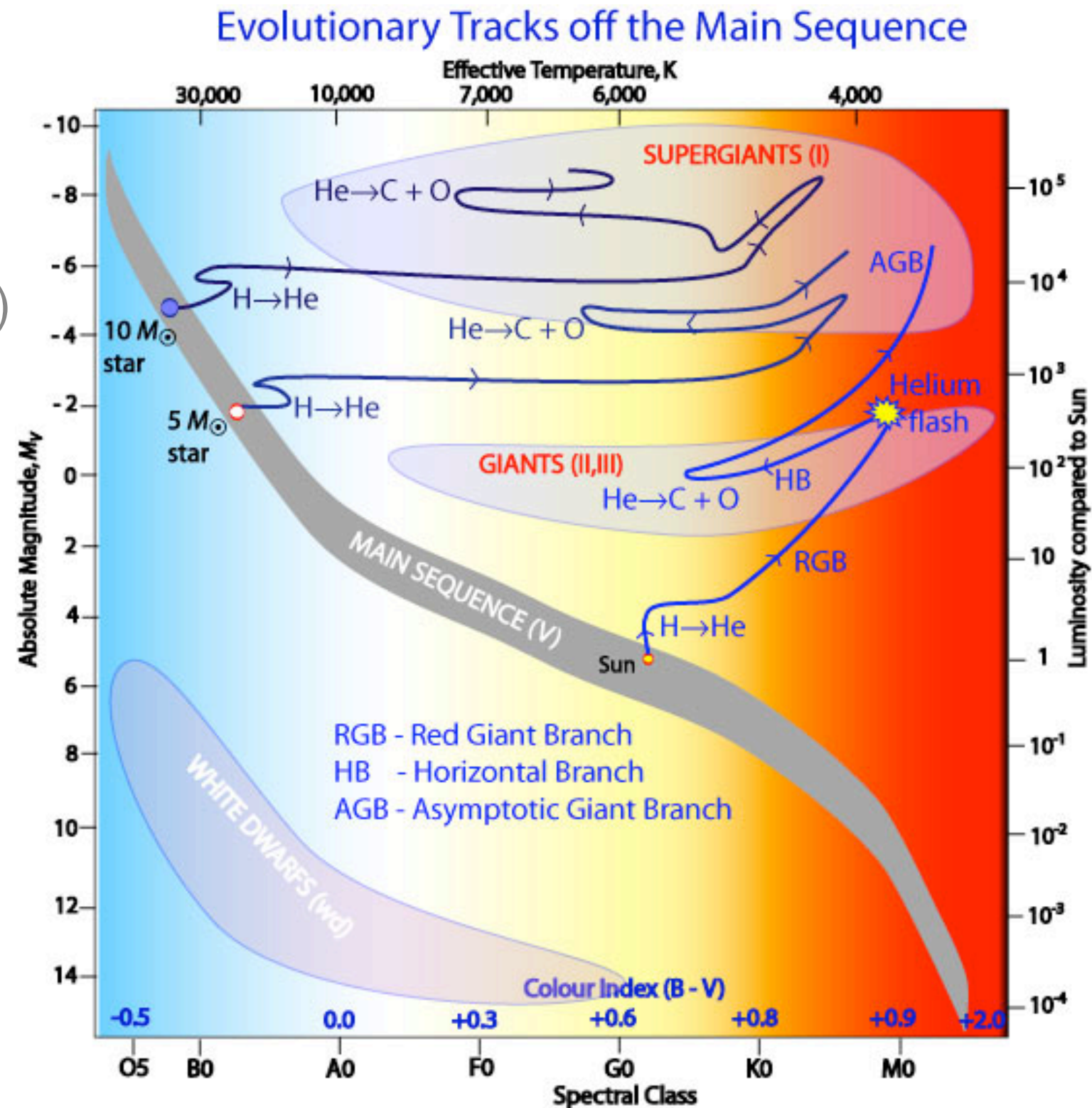
b. Ramo orizzontale (HB)



Fase 3: Gigante rossa

Percorso di una stella come il Sole nel diagramma HR:

- a. Ramo delle giganti rosse (RGB)
- b. Ramo orizzontale (HB)
- c. Ramo asintotico (AGB)



Fase 3: Gigante rossa

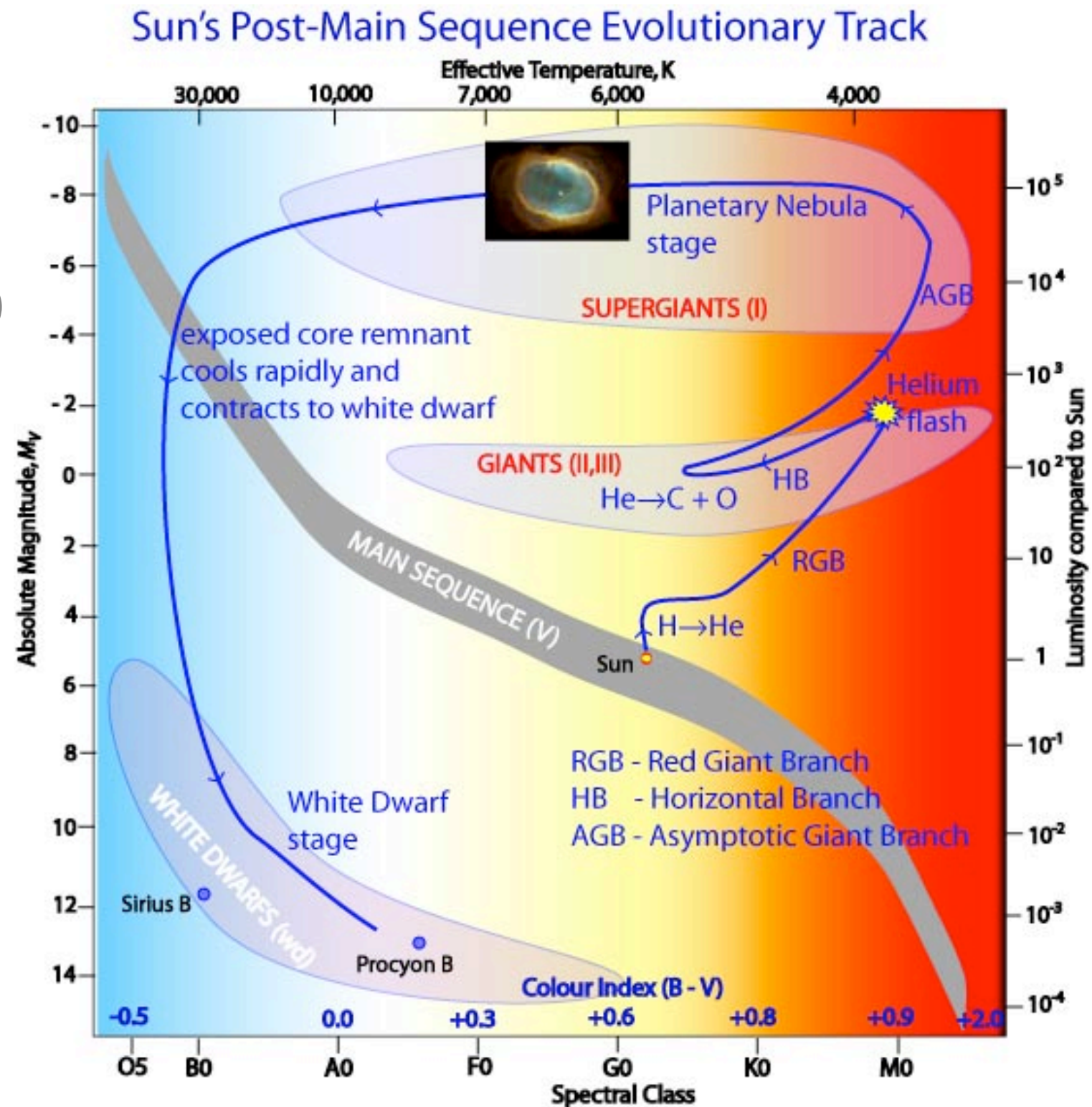
Percorso di una stella come il Sole nel diagramma HR:

a. Ramo delle giganti rosse (RGB)

b. Ramo orizzontale (HB)

c. Ramo asintotico (AGB)

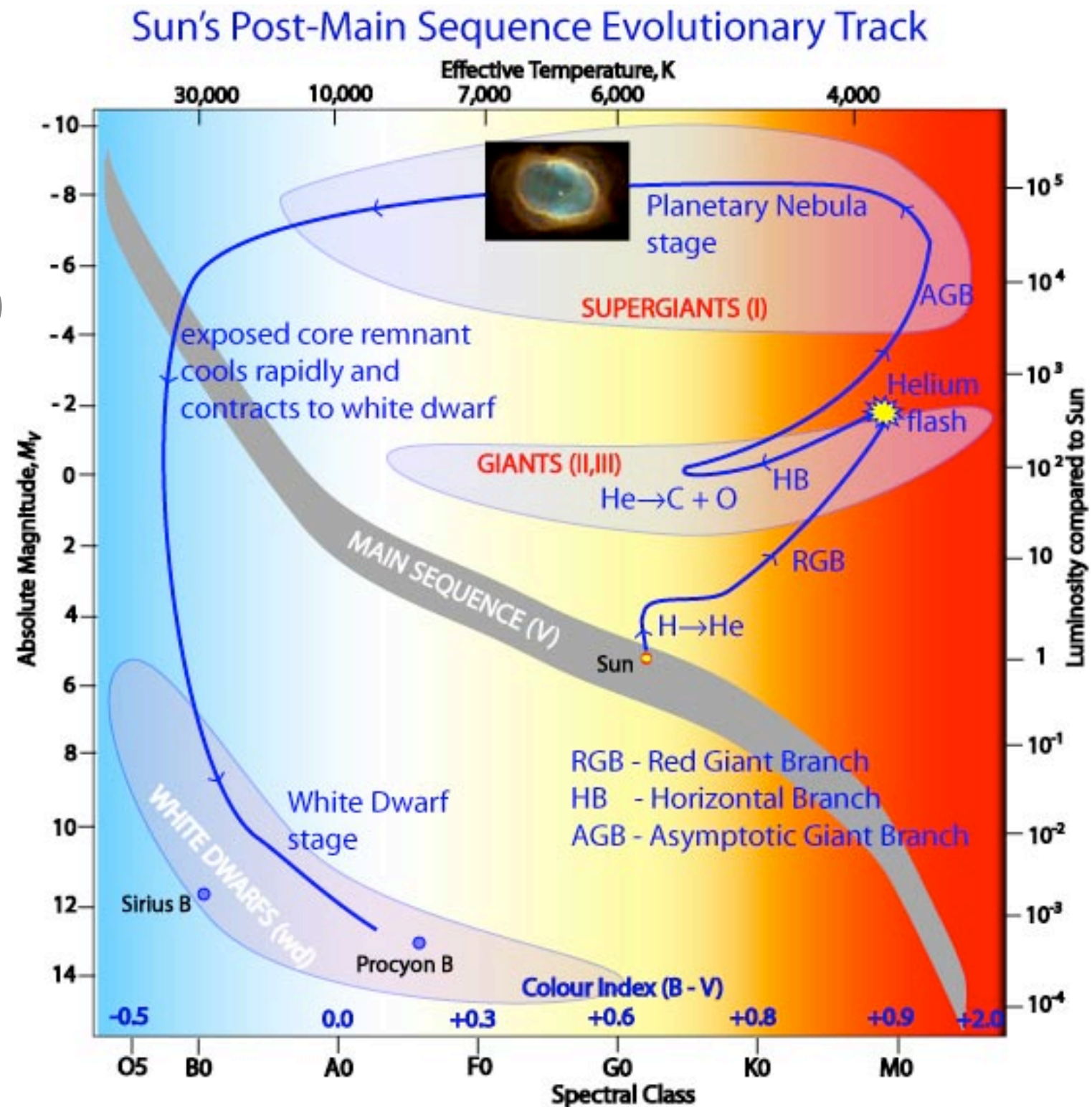
4. Nebulosa planetaria



Fase 3: Gigante rossa

Percorso di una stella come il Sole nel diagramma HR:

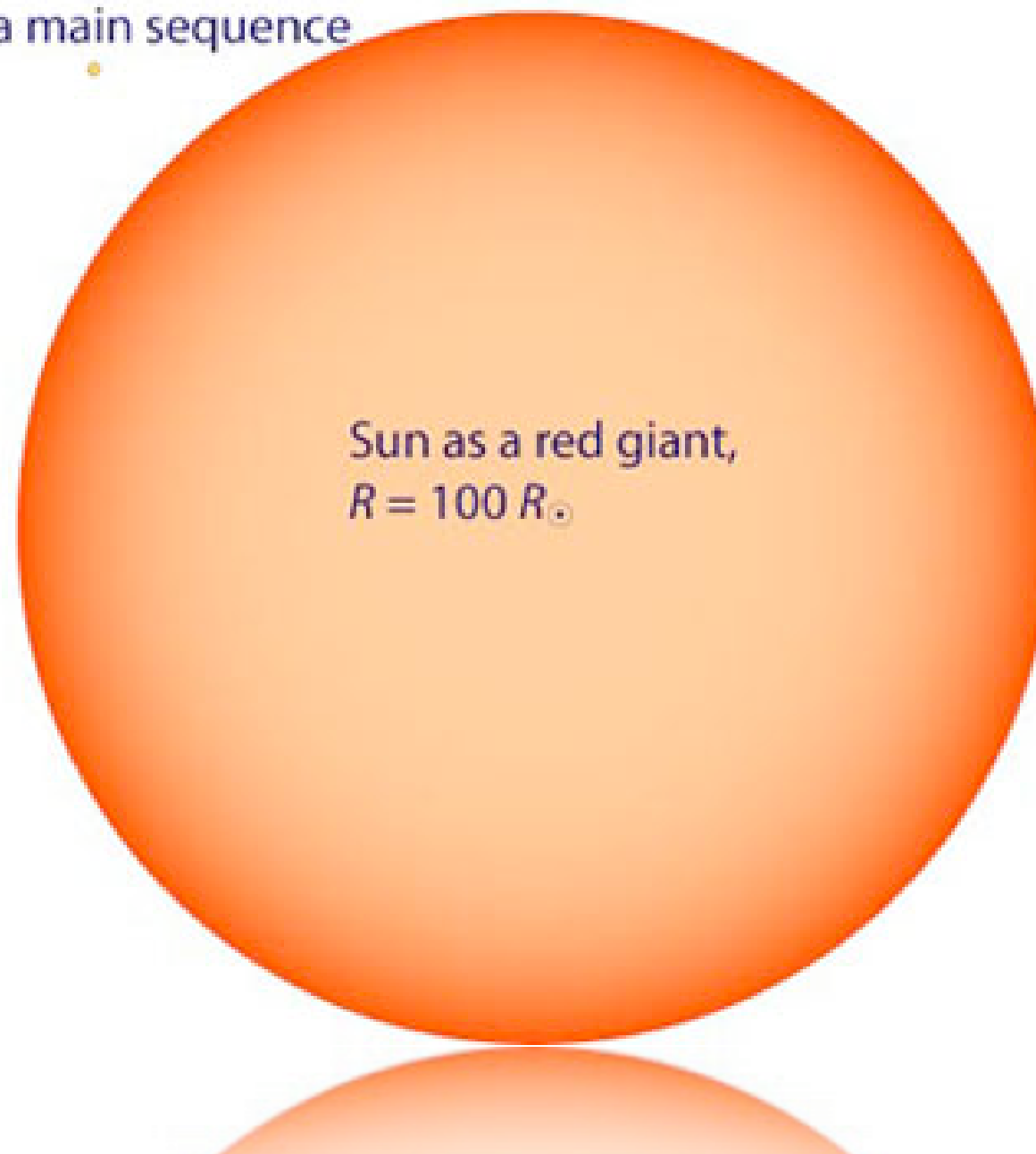
- a. Ramo delle giganti rosse (RGB)
- b. Ramo orizzontale (HB)
- c. Ramo asintotico (AGB)
4. Nebulosa planetaria
5. Nana bianca



Ramo delle giganti rosse

Comparison in size of Sun as a main sequence star
and a red giant

Sun as a main sequence
star

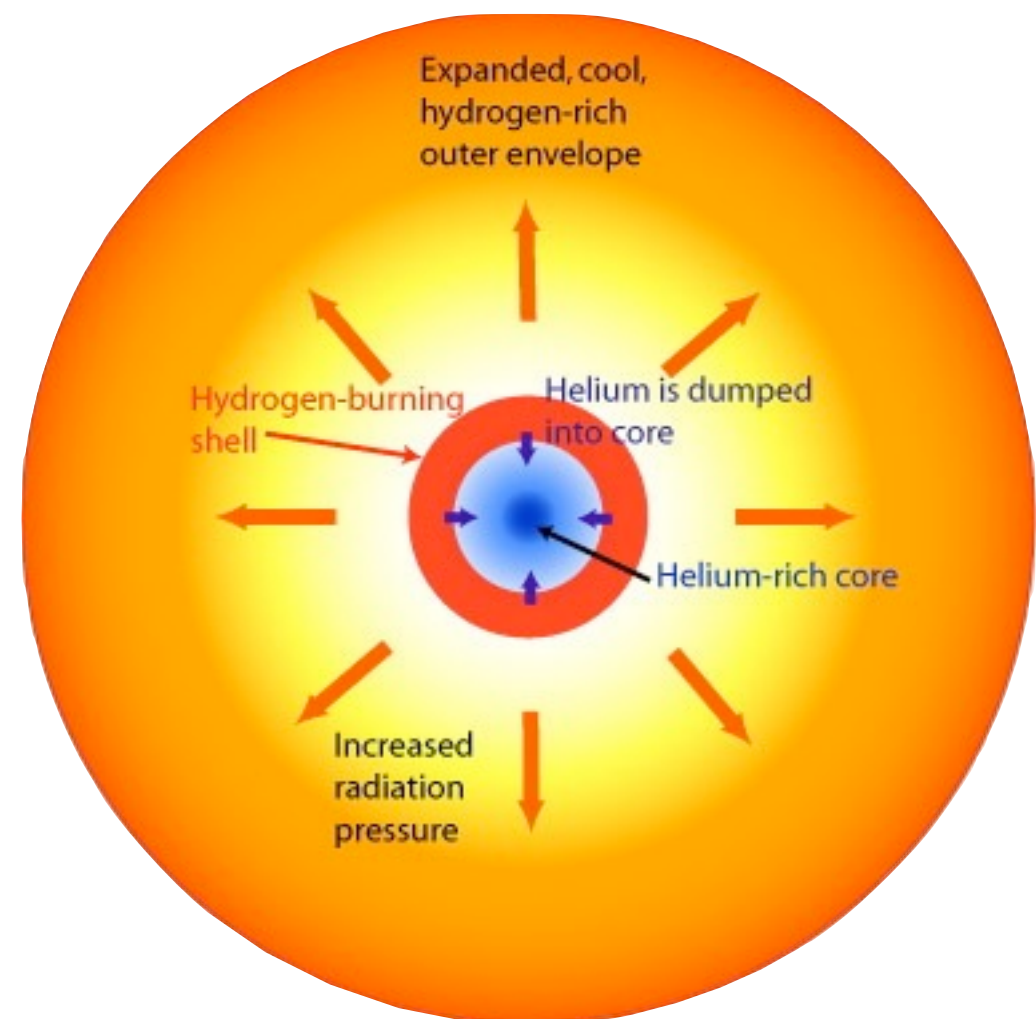


Sun as a red giant,
 $R = 100 R_{\odot}$

Ramo delle giganti rosse

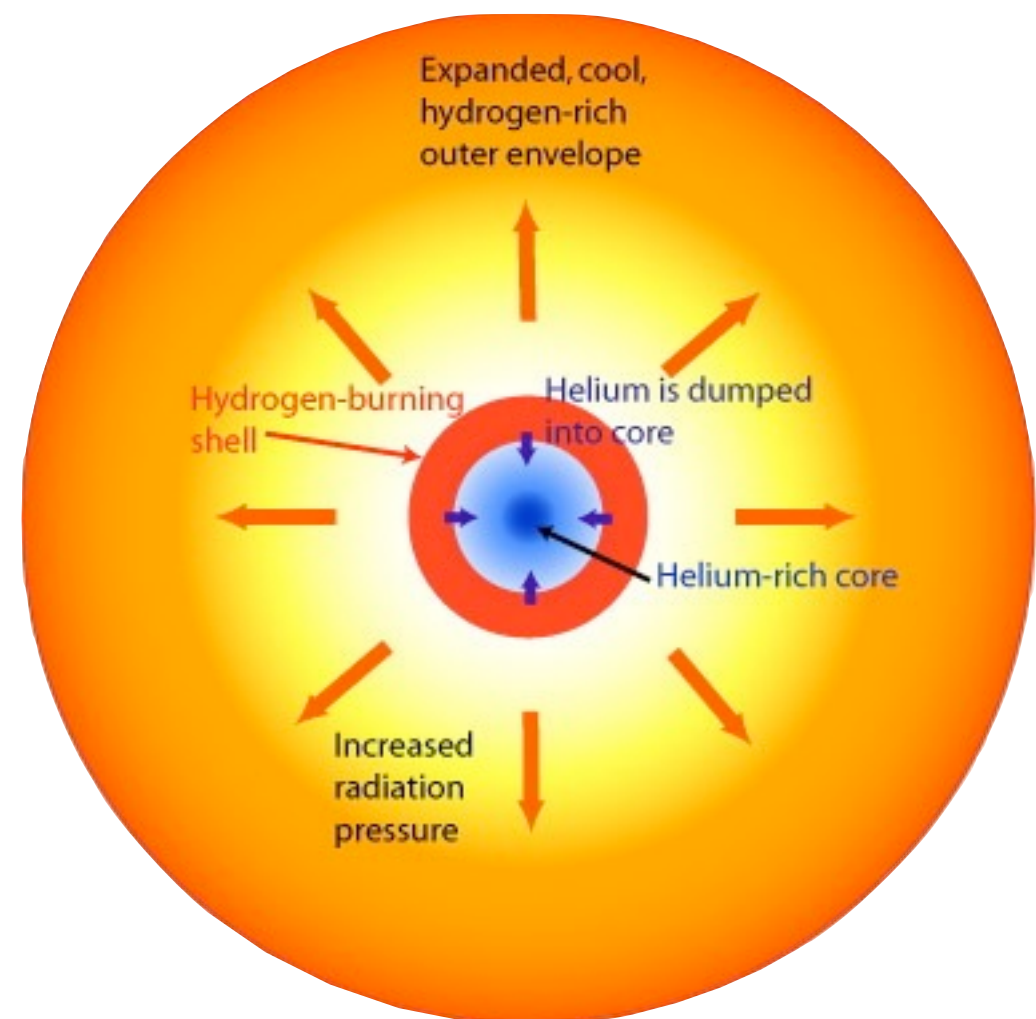


Ramo delle giganti rosse: Hydrogen-burning shell



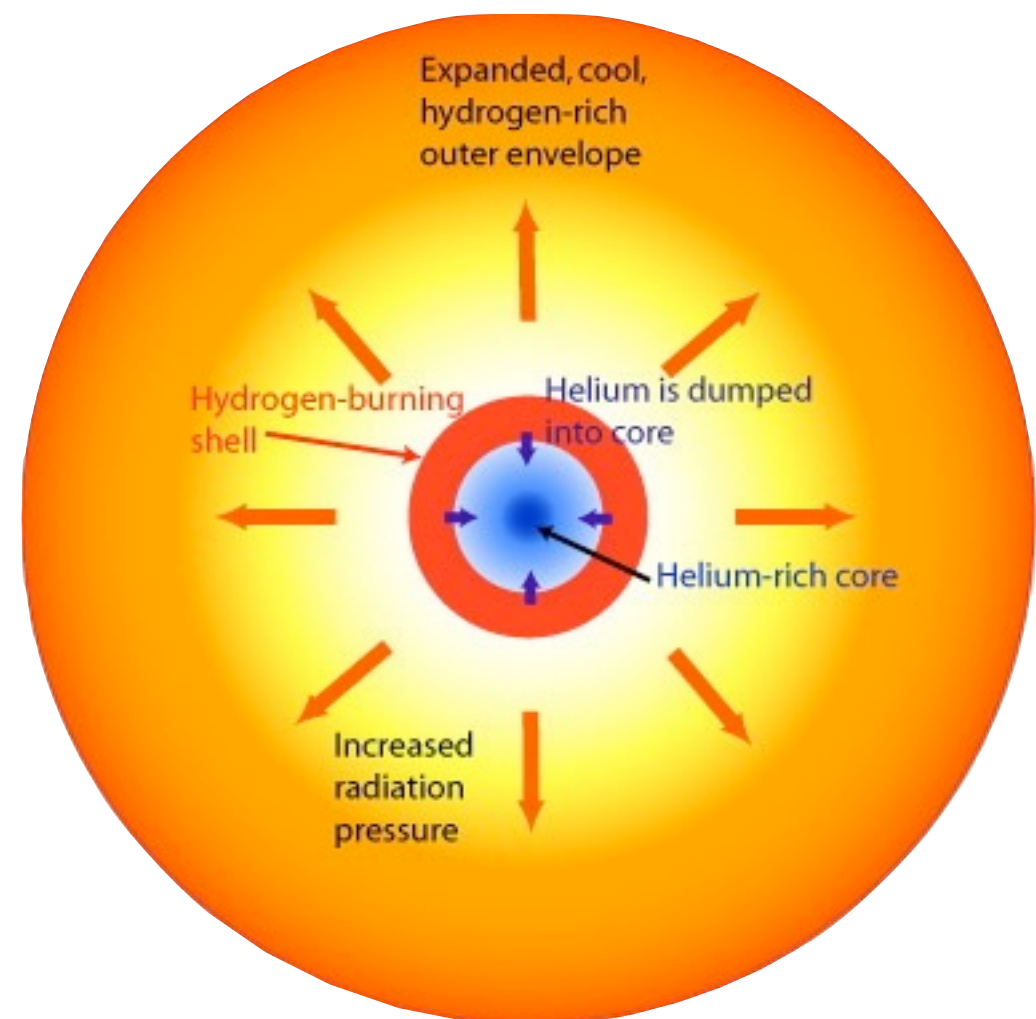
Ramo delle giganti rosse: Hydrogen-burning shell

- Durante la SP, l' H nel cuore fusionsa e crea He .



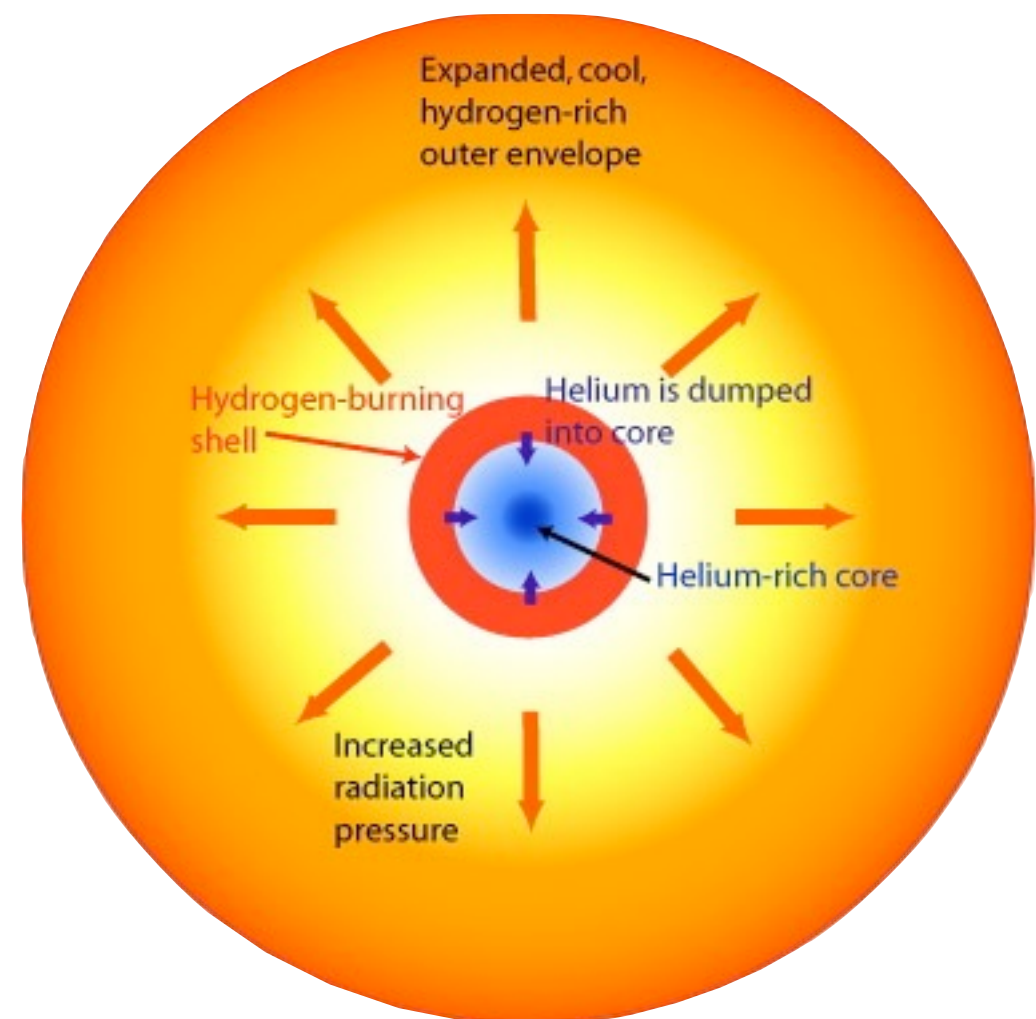
Ramo delle giganti rosse: Hydrogen-burning shell

- Durante la SP, l' H nel cuore fusionsa e crea He .
- Alla fine, il carburante nel cuore è esausto e la **fusione si ferma**.



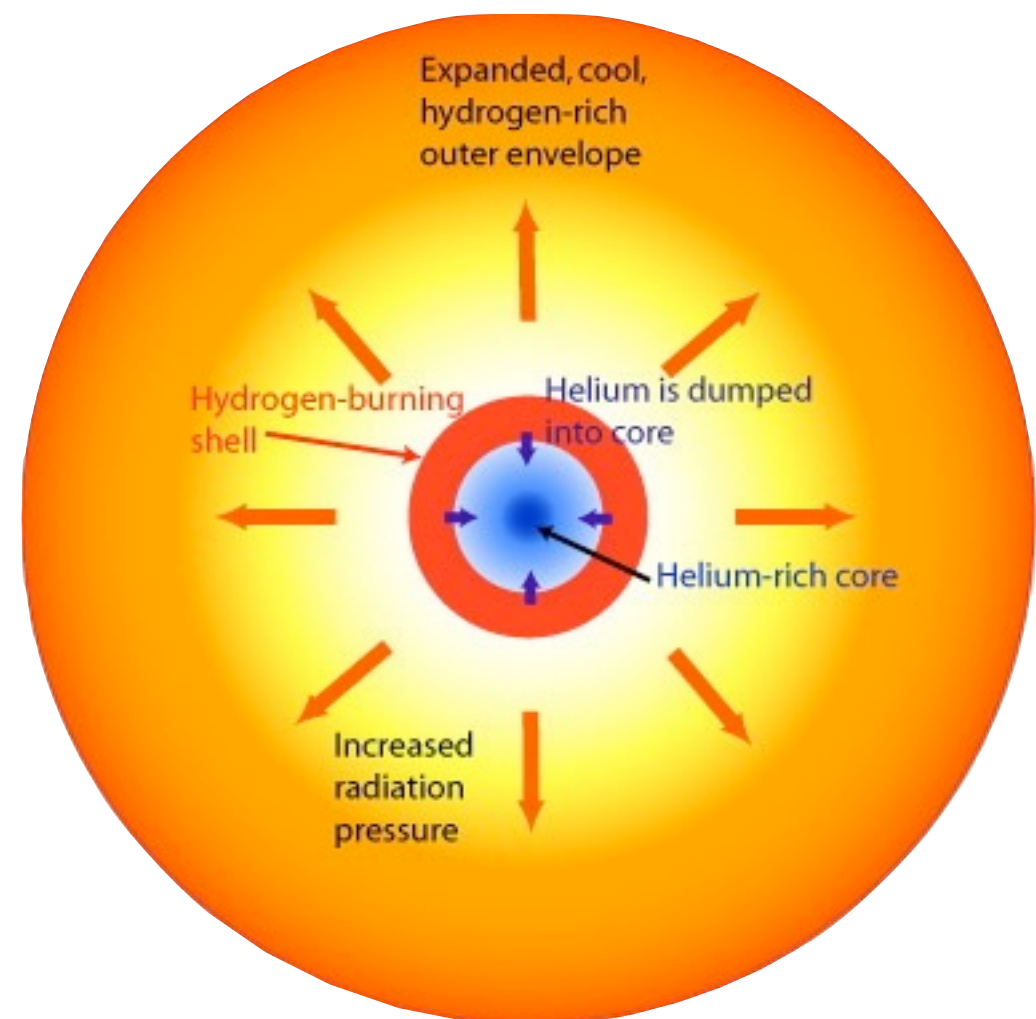
Ramo delle giganti rosse: Hydrogen-burning shell

- Durante la SP, l' H nel cuore fusionsa e crea He .
- Alla fine, il carburante nel cuore è esausto e la **fusione si ferma**.
- Il cuore si comprime e si riscalda.



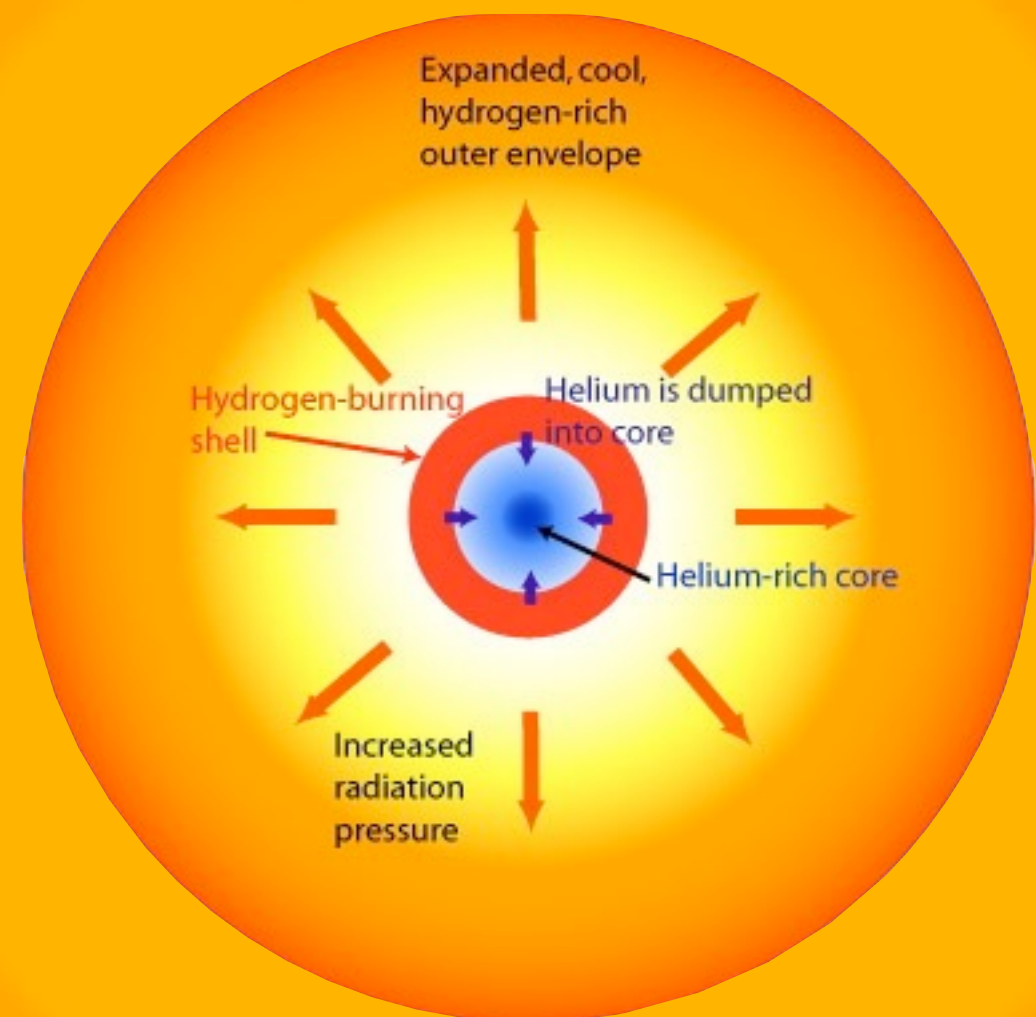
Ramo delle giganti rosse: Hydrogen-burning shell

- Durante la SP, l' H nel cuore fusionsa e crea He .
- Alla fine, il carburante nel cuore è esausto e la **fusione si ferma**.
- Il cuore si comprime e si riscalda.
- “Hydrogen-burning shell” ed espansione degli strati esterni.



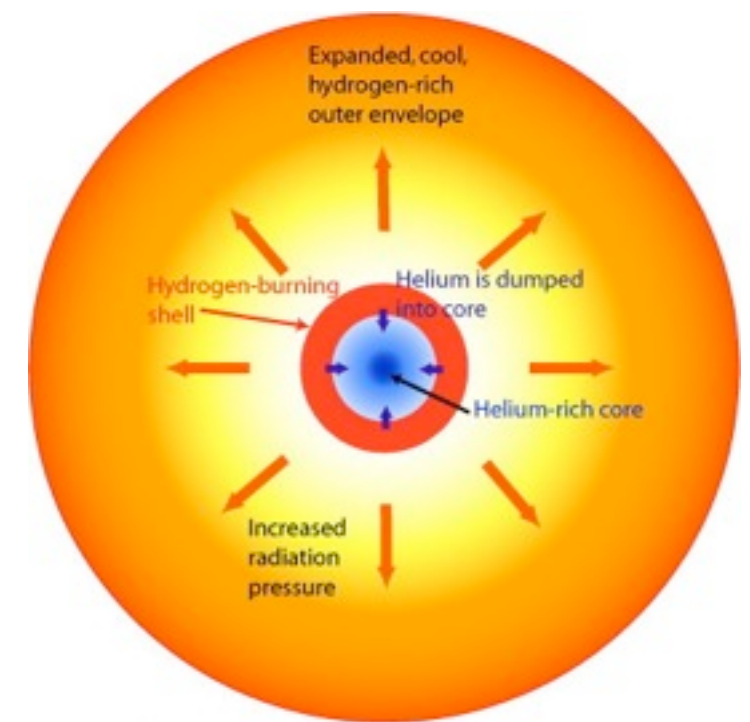
Ramo delle giganti rosse: Hydrogen-burning shell

- Durante la SP, l'*H* nel cuore fusionsa e crea *He*.
- Alla fine, il carburante nel cuore è esausto e la **fusione si ferma**.
- Il cuore si comprime e si riscalda.
- “Hydrogen-burning shell” ed espansione degli strati esterni.



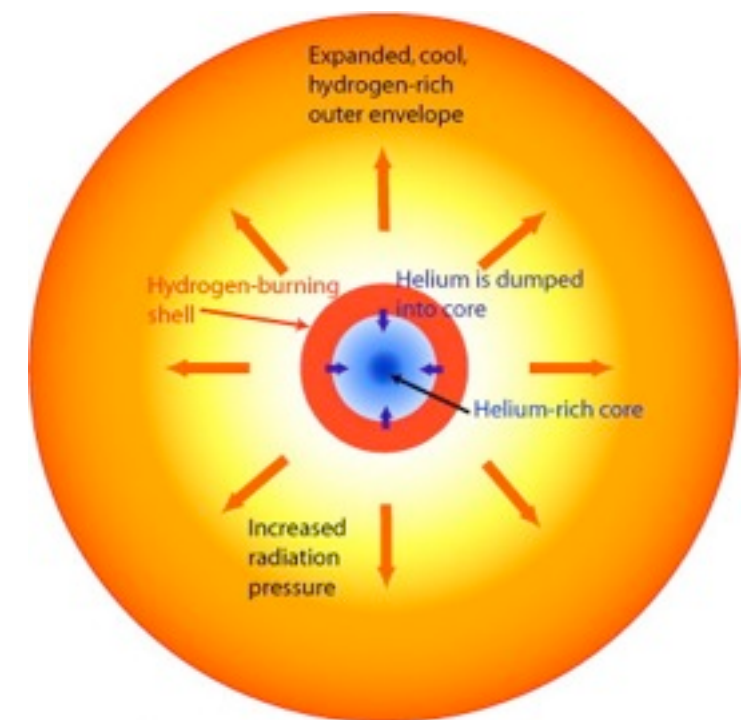
La stella diventa
una gigante rossa

Ramo delle giganti rosse: Hydrogen-burning shell



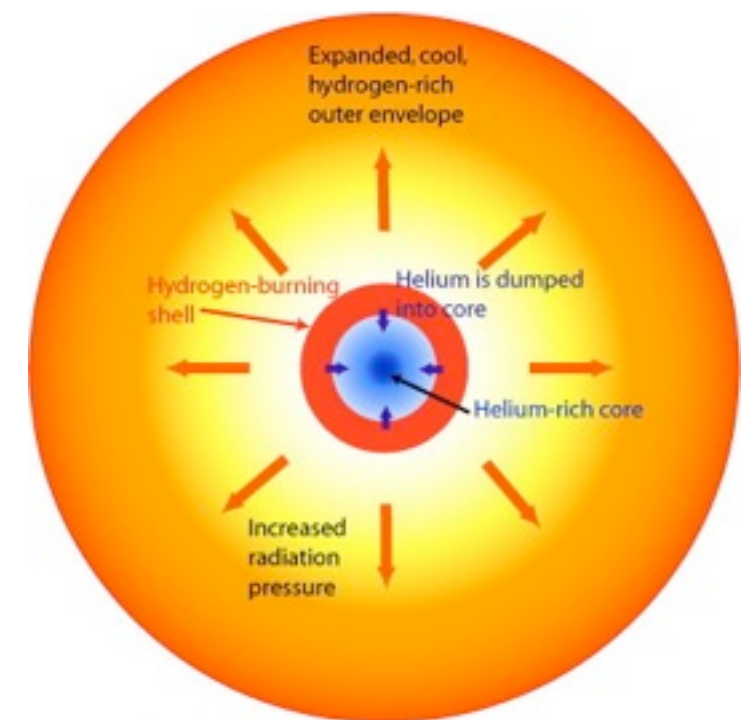
Ramo delle giganti rosse: Hydrogen-burning shell

- L'*He* si concentra nel cuore (niente fusione d'*He* ancora).



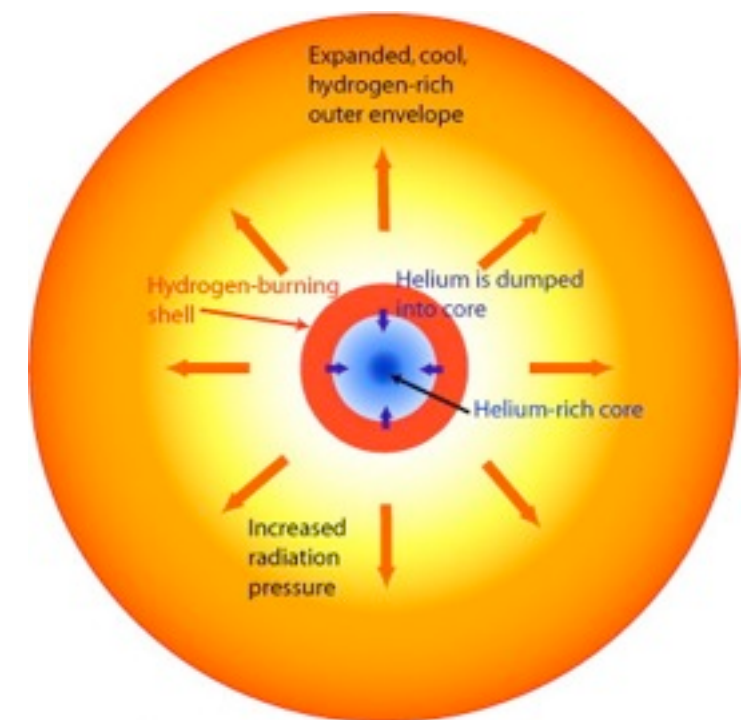
Ramo delle giganti rosse: Hydrogen-burning shell

- L'*He* si concentra nel cuore (niente fusione d'*He* ancora).
- Il cuore d'*He* diventa più massiccio, si comprime e si riscalda.



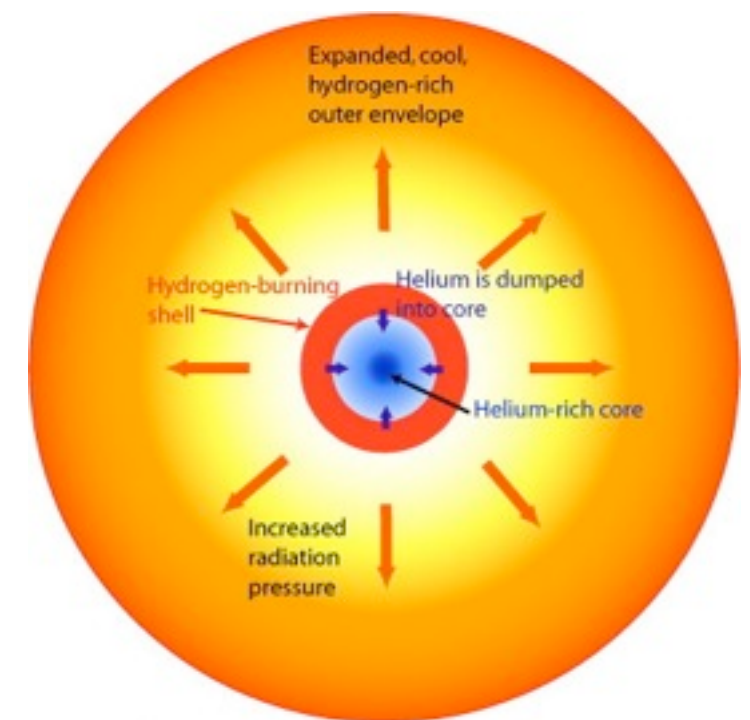
Ramo delle giganti rosse: Hydrogen-burning shell

- L'*He* si concentra nel cuore (niente fusione d'*He* ancora).
- Il cuore d'*He* diventa più massiccio, si comprime e si riscalda.
- La densità del cuore è tale che gli elettroni diventano **degenerati** (cuore incompressibile come un liquido): la compressione si ferma.



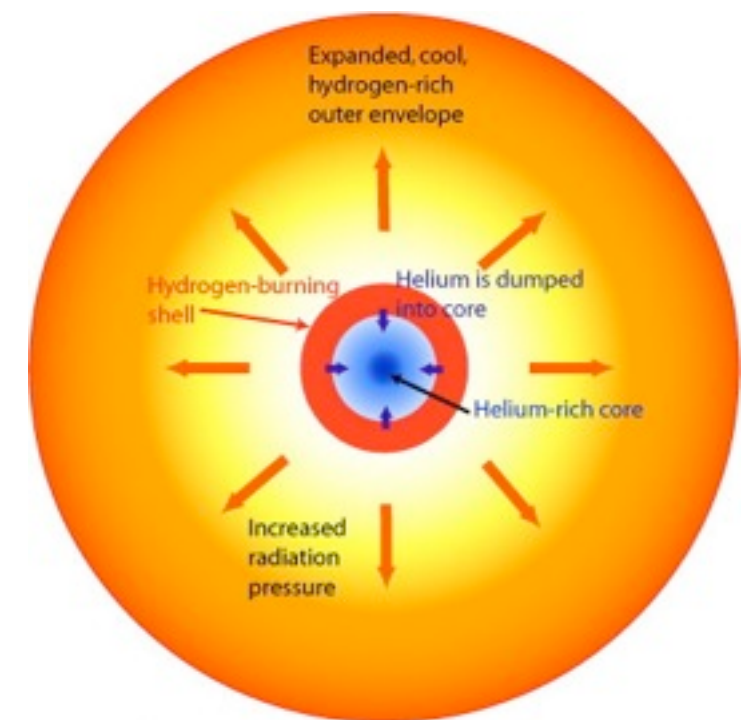
Ramo delle giganti rosse: Hydrogen-burning shell

- L'*He* si concentra nel cuore (niente fusione d'*He* ancora).
- Il cuore d'*He* diventa più massiccio, si comprime e si riscalda.
- La densità del cuore è tale che gli elettroni diventano **degenerati** (cuore incompressibile come un liquido): la compressione si ferma.
- “*H*-shell” continua di bruciare e il cuore degenerato continua a riscaldarsi (**senza espandersi**).

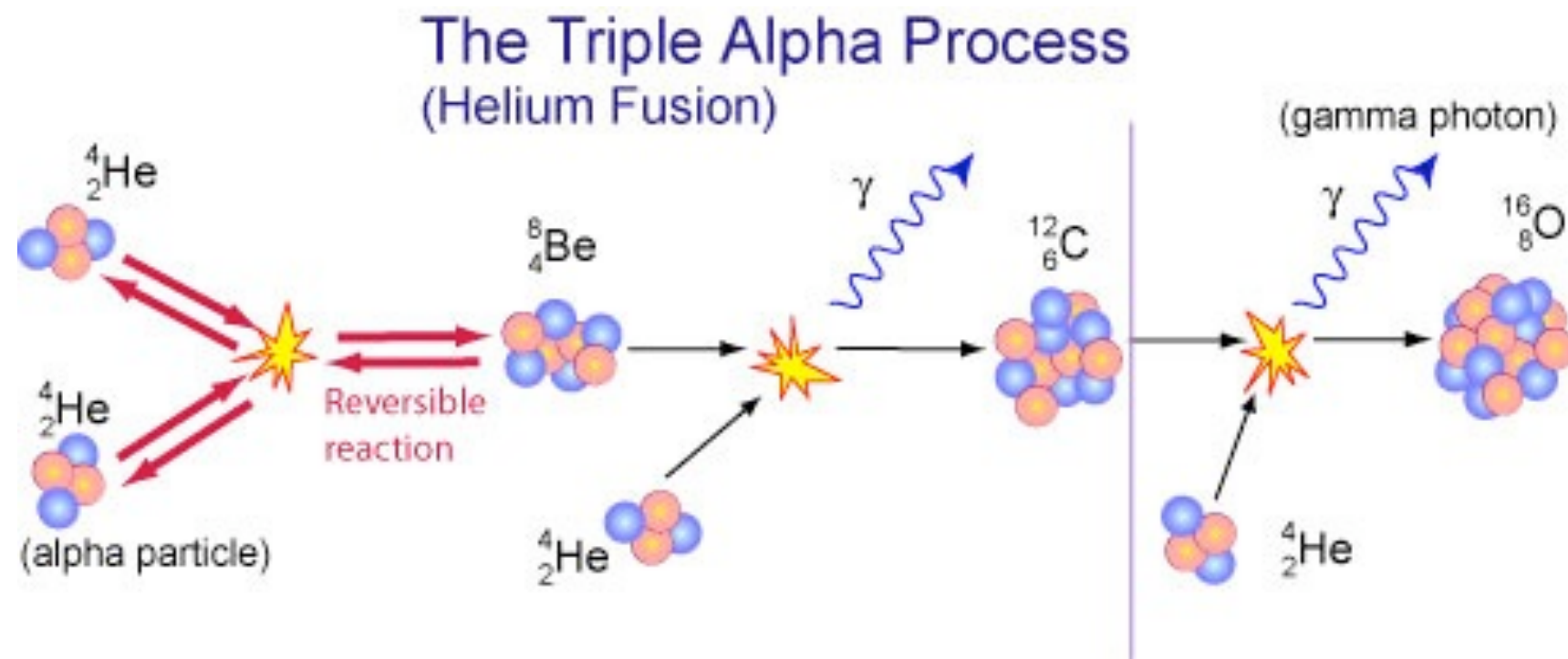


Ramo delle giganti rosse: Hydrogen-burning shell

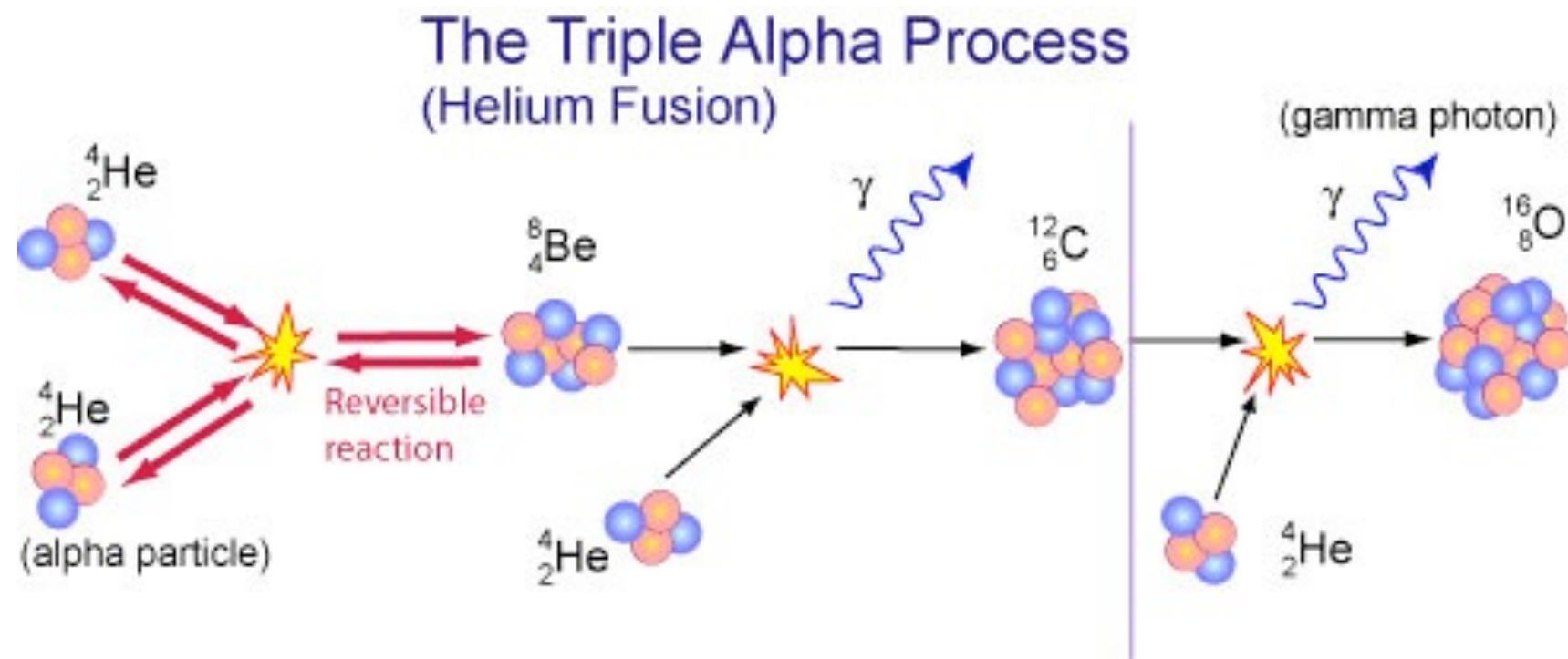
- L'*He* si concentra nel cuore (niente fusione d'*He* ancora).
- Il cuore d'*He* diventa più massiccio, si comprime e si riscalda.
- La densità del cuore è tale che gli elettroni diventano **degenerati** (cuore incompressibile come un liquido): la compressione si ferma.
- “*H*-shell” continua di bruciare e il cuore degenerato continua a riscaldarsi (**senza espandersi**).
- A $100 \cdot 10^6$ K, l'*He* può cominciare la fusione nucleare attraverso il “**triple alpha process**”.



Ramo delle giganti rosse: Triple alpha process



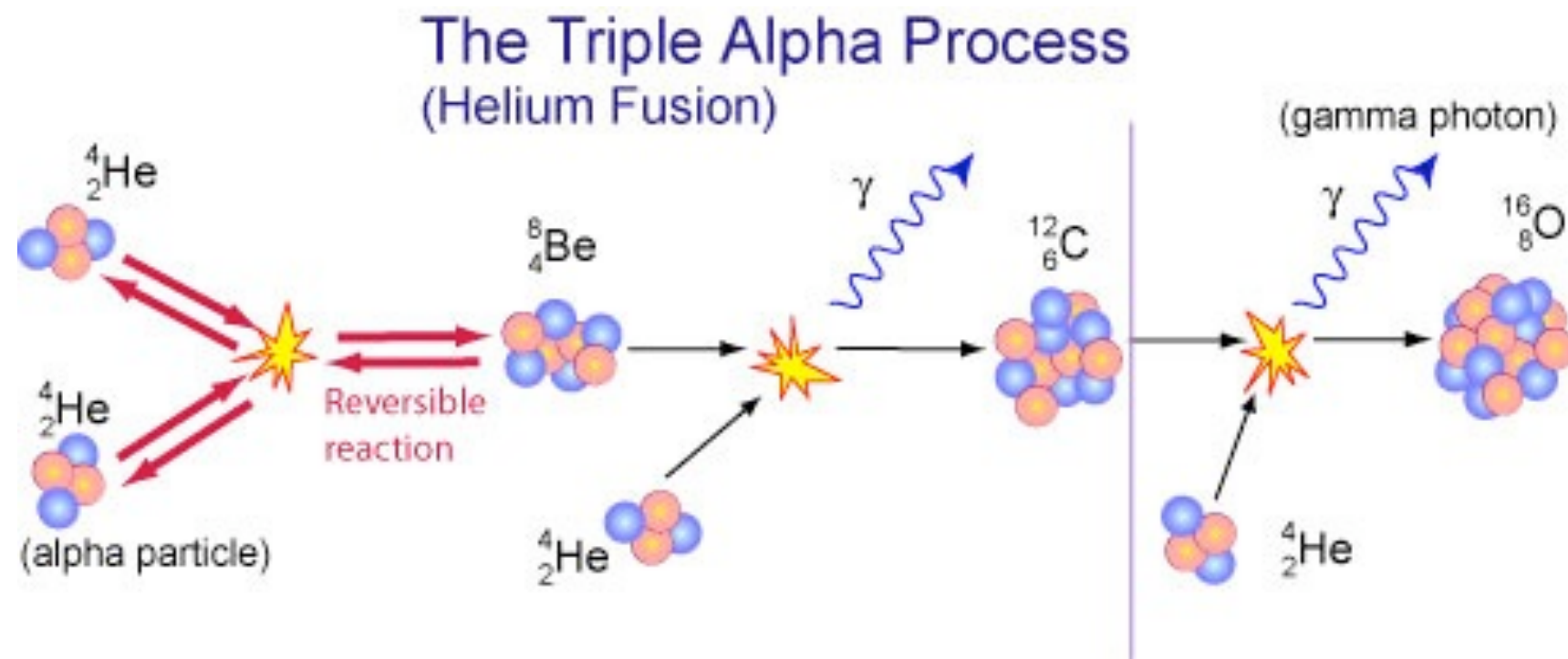
Ramo delle giganti rosse: Triple alpha process



- La temperatura del cuore continua ad aumentare, ma non si espande.

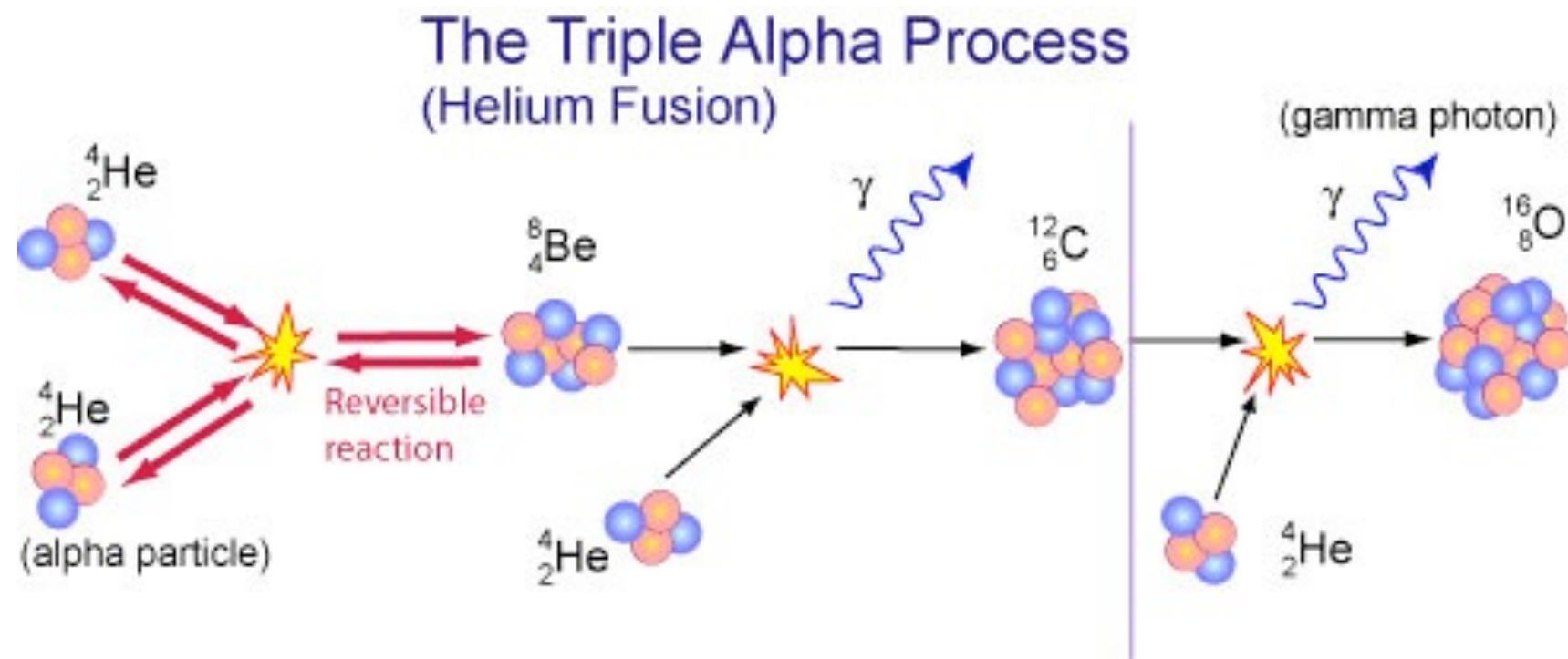
Ramo delle giganti rosse:

Triple alpha process



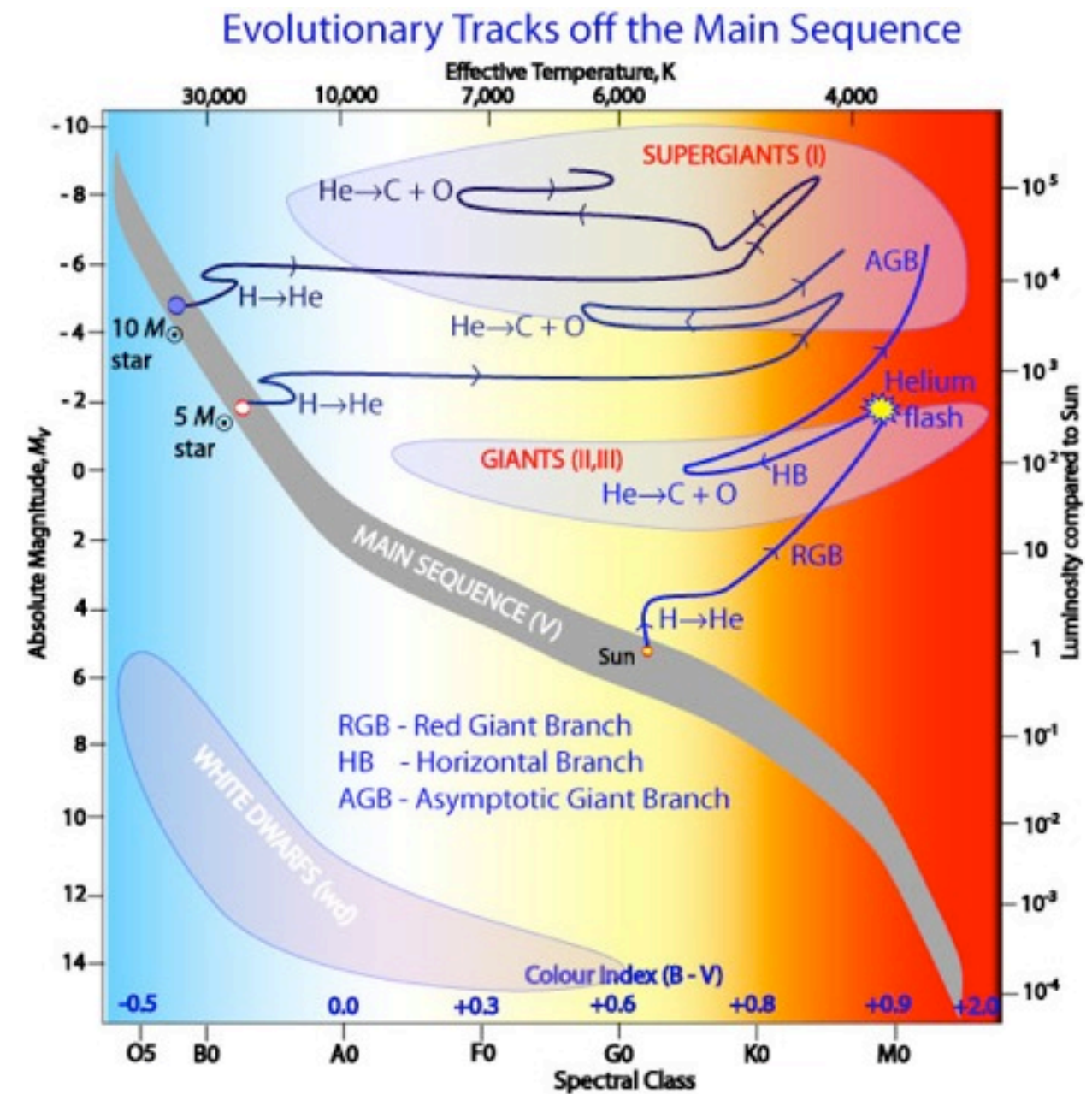
- La temperatura del cuore continua ad aumentare, ma non si espande.
- T più alte $\Rightarrow$ più "Triple α process" $\Rightarrow$ più Energia $\Rightarrow$ T più alte $\Rightarrow$ ecc...

Ramo delle giganti rosse: Triple alpha process



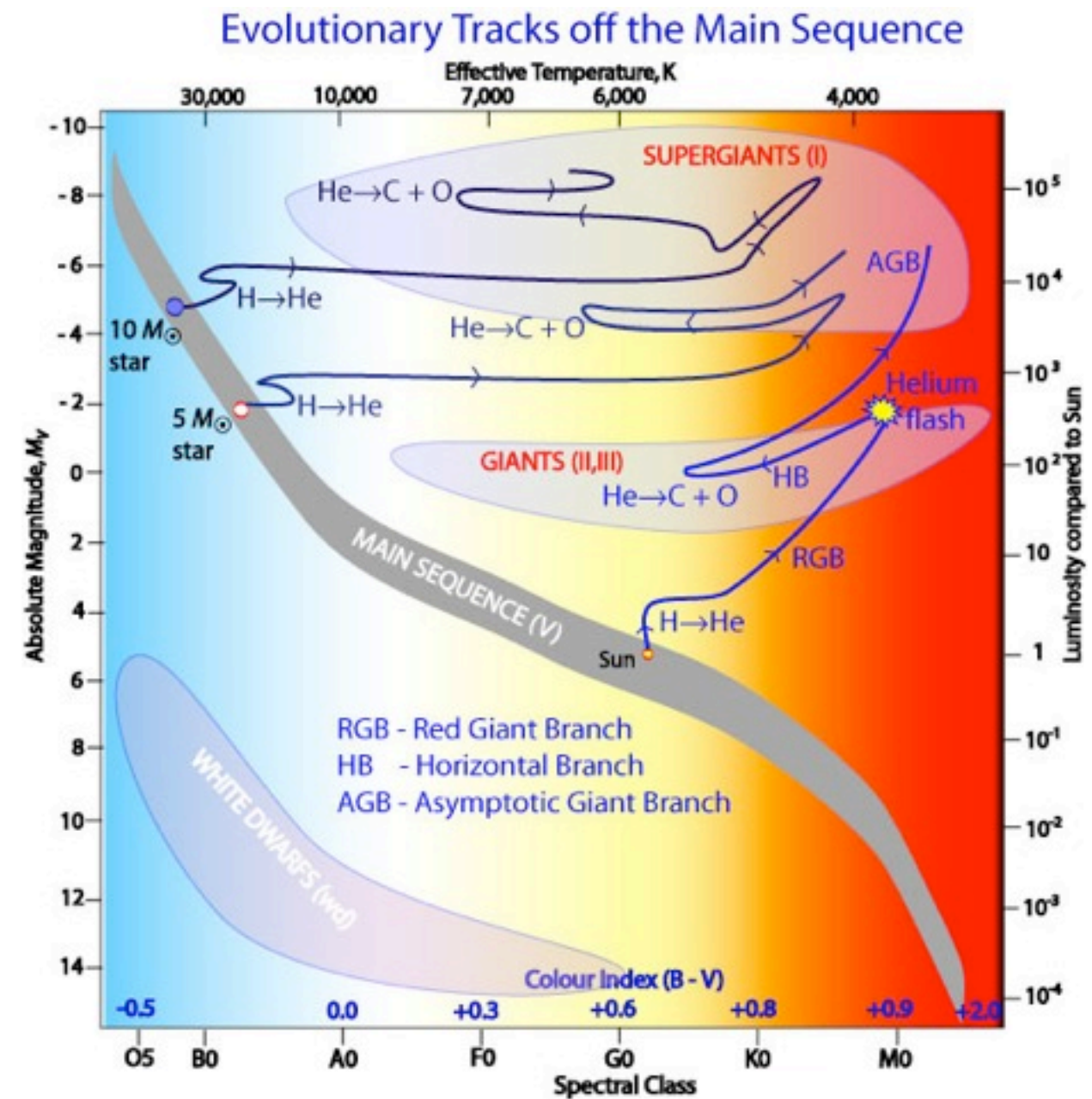
- La temperatura del cuore continua ad aumentare, ma non si espande.
- T più alte $\Rightarrow$ più “Triple α process” $\Rightarrow$ più Energia $\Rightarrow$ T più alte $\Rightarrow$ ecc...
- A $300 \cdot 10^6$ K $\Rightarrow$ Esplosione “He flash” $\Rightarrow$ fine della degenerescenza.

Ramo orizzontale: Fusione dell'elio



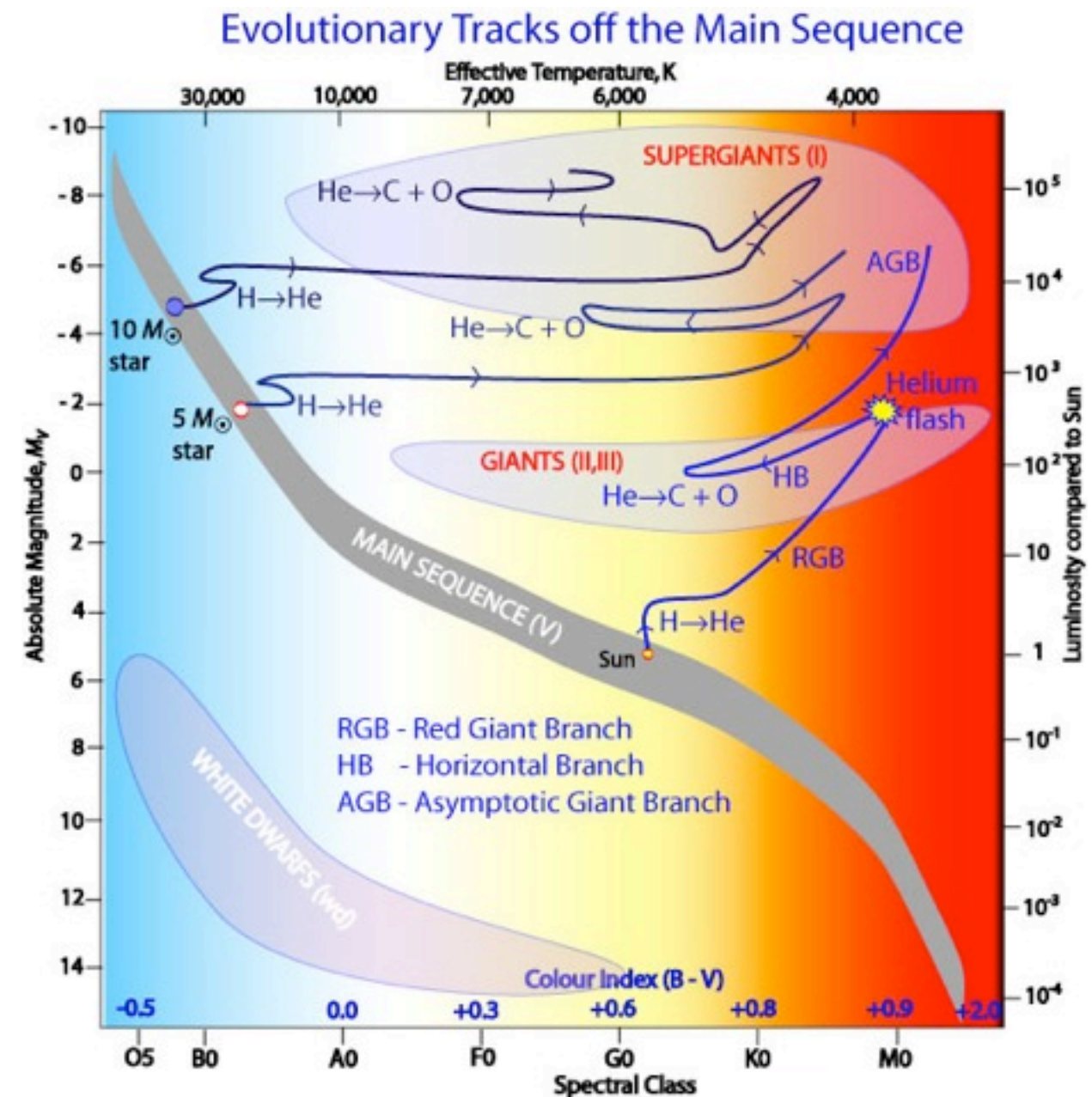
Ramo orizzontale: Fusione dell'elio

- Dopo l'*He* flash: fusione dell'*He* nel centro e fusione dell'*H* nel shell.



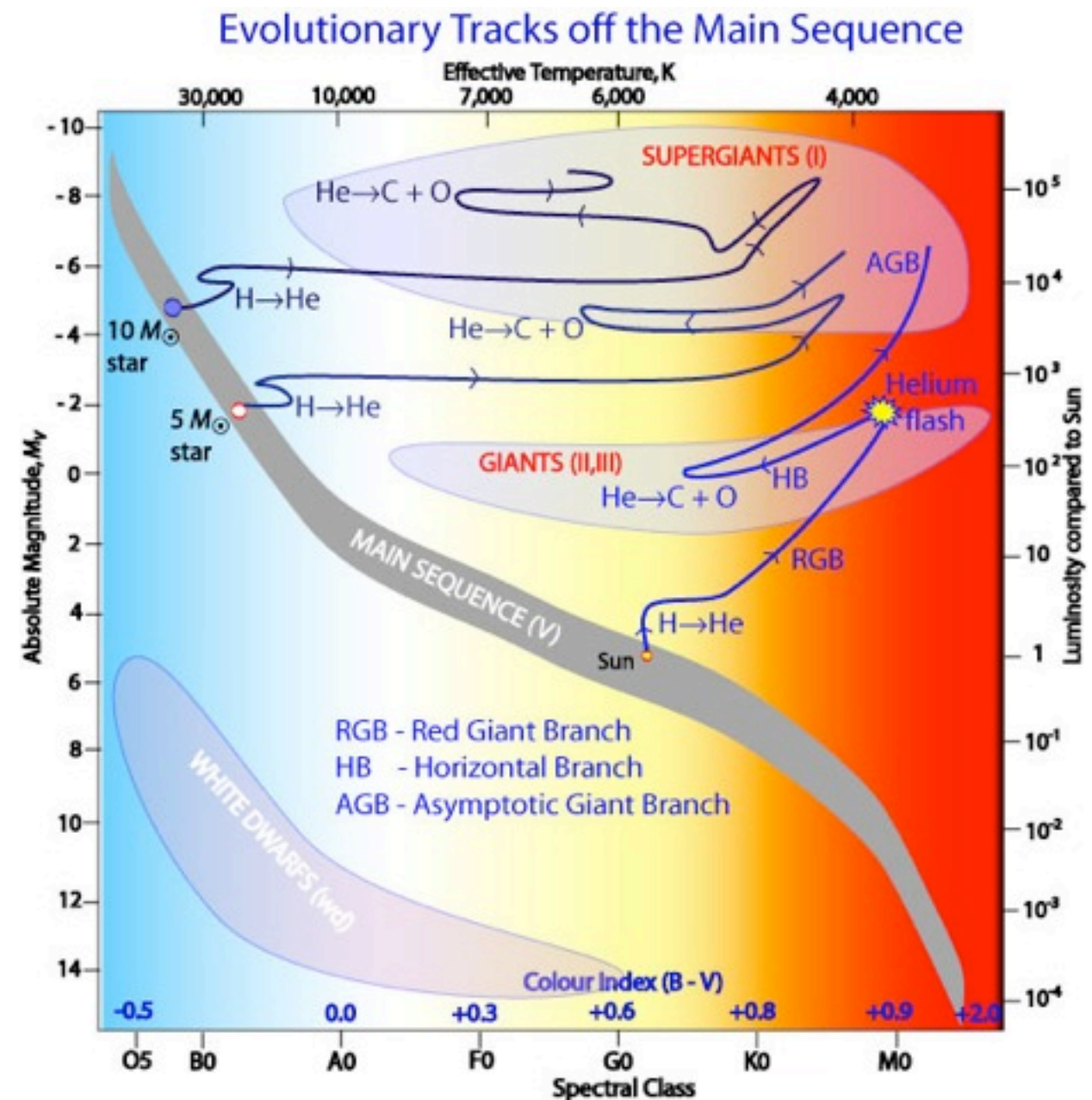
Ramo orizzontale: Fusione dell'elio

- Dopo l'*He* flash: fusione dell'*He* nel centro e fusione dell'*H* nel shell.
- Il nucleo (ricco di *C* e *O*) si espande e si raffredda.



Ramo orizzontale: Fusione dell'elio

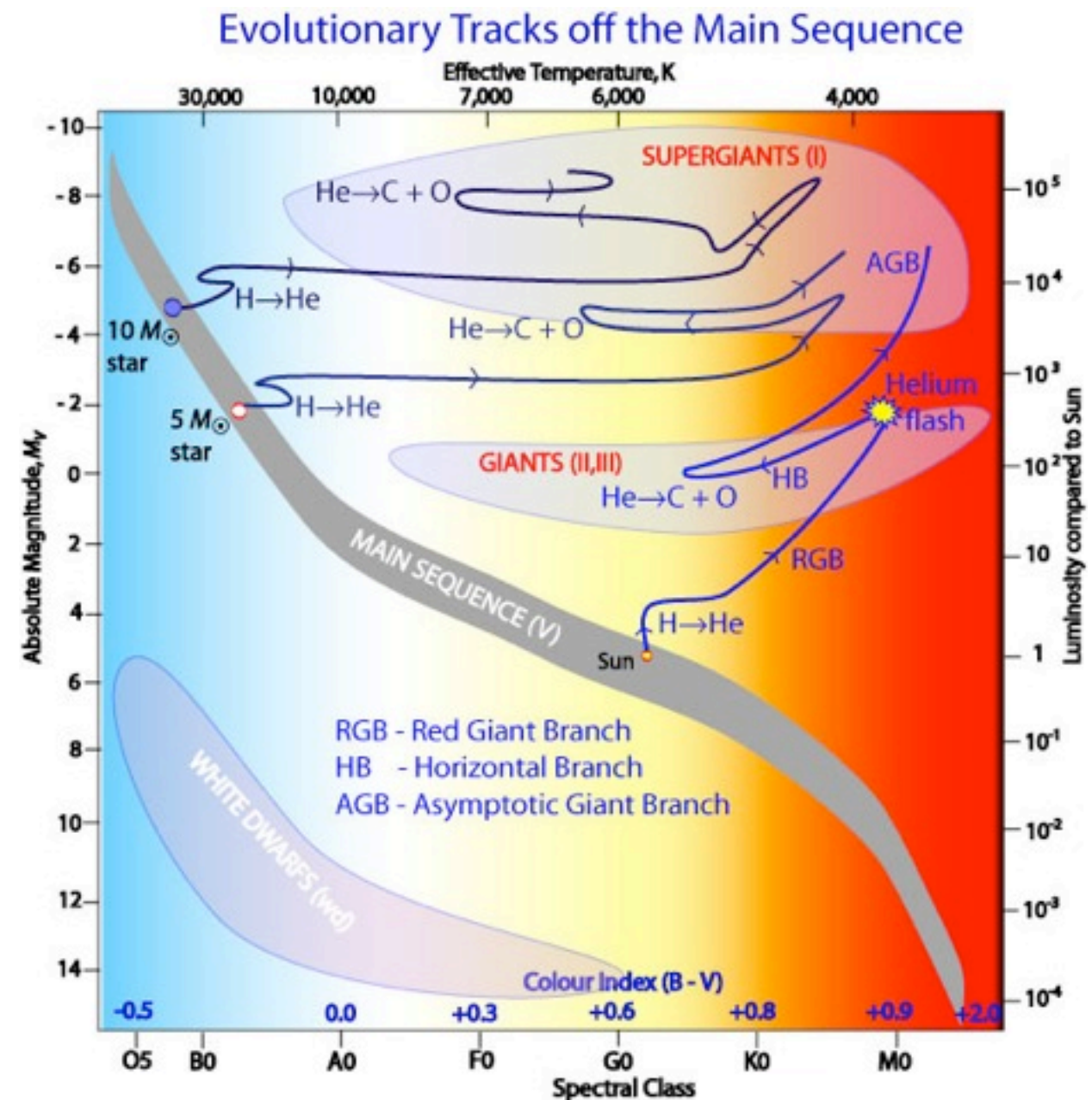
- Dopo l'*He* flash: fusione dell'*He* nel centro e fusione dell'*H* nel shell.
- Il nucleo (ricco di *C* e *O*) si espande e si raffredda.
- Strati esterni più caldi, dimensione globale minore $\Rightarrow L \sim \text{costante}$.



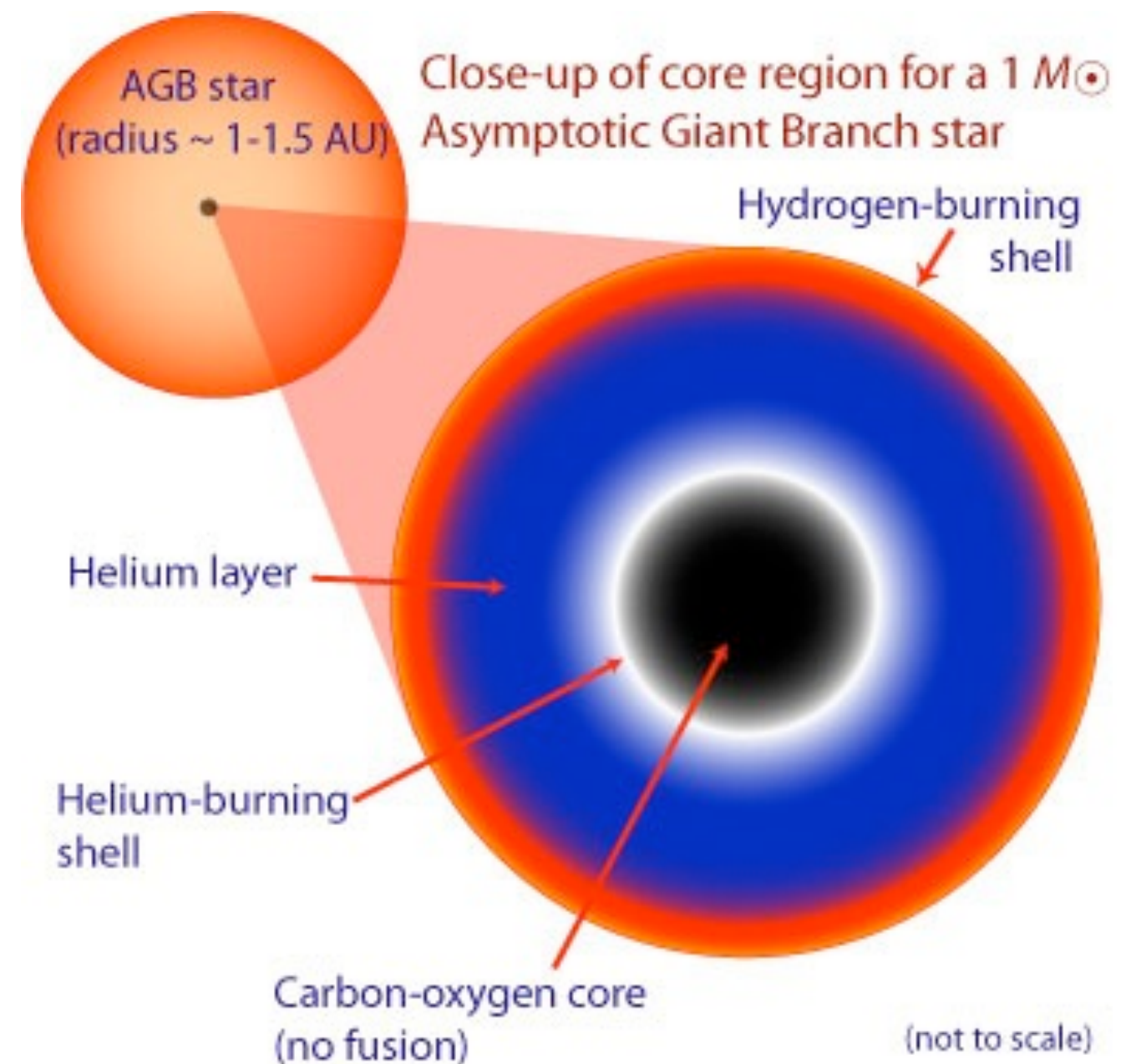
Ramo orizzontale: Fusione dell'elio

- Dopo l'*He* flash: fusione dell'*He* nel centro e fusione dell'*H* nel shell.
- Il nucleo (ricco di *C* e *O*) si espande e si raffredda.
- Strati esterni più caldi, dimensione globale minore $\Rightarrow L \sim \text{costante}$.

La stelle rimane sul HR per
alcuni 10^6 anni

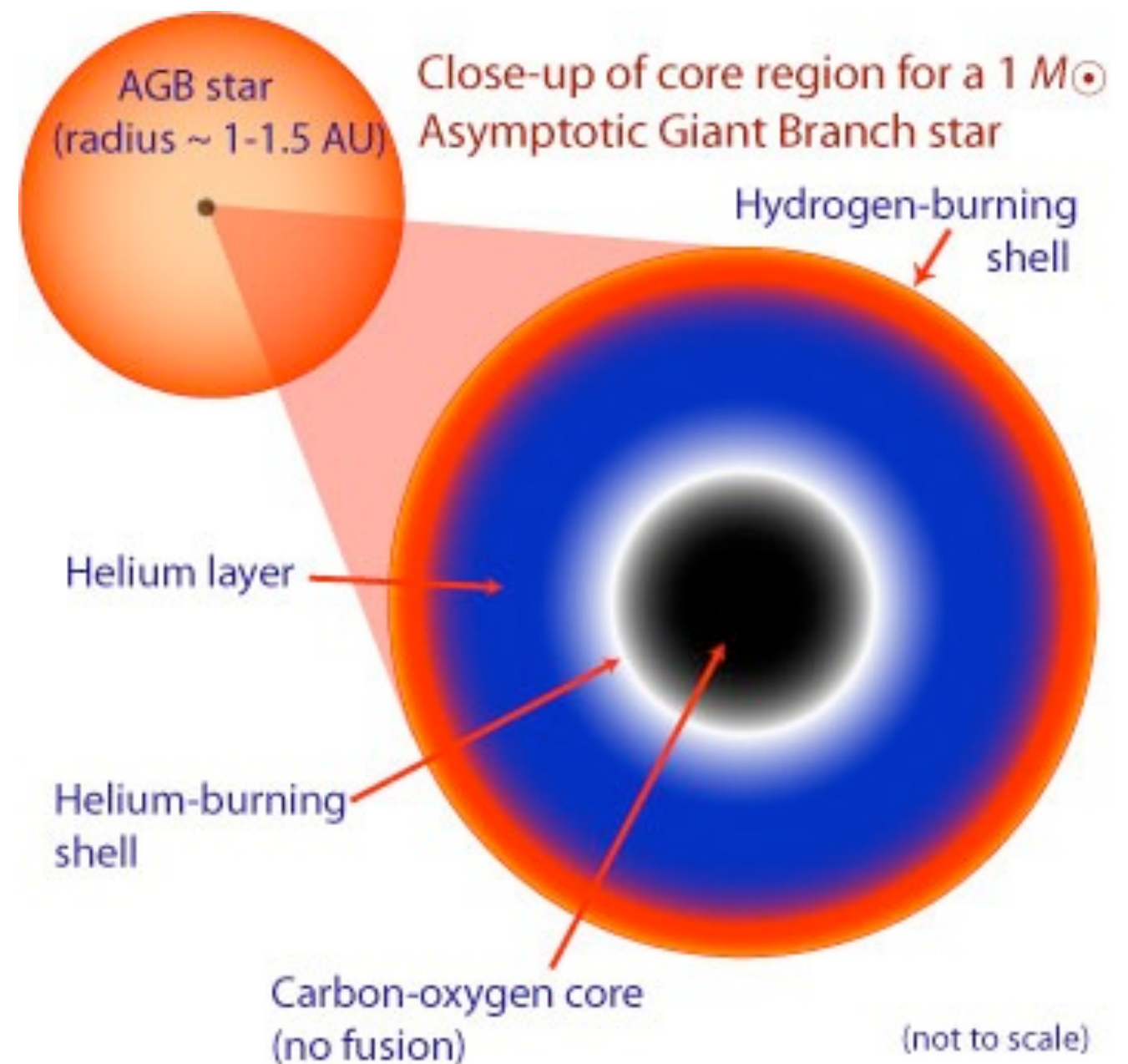


Ramo asintotico delle giganti: Helium-burning shell



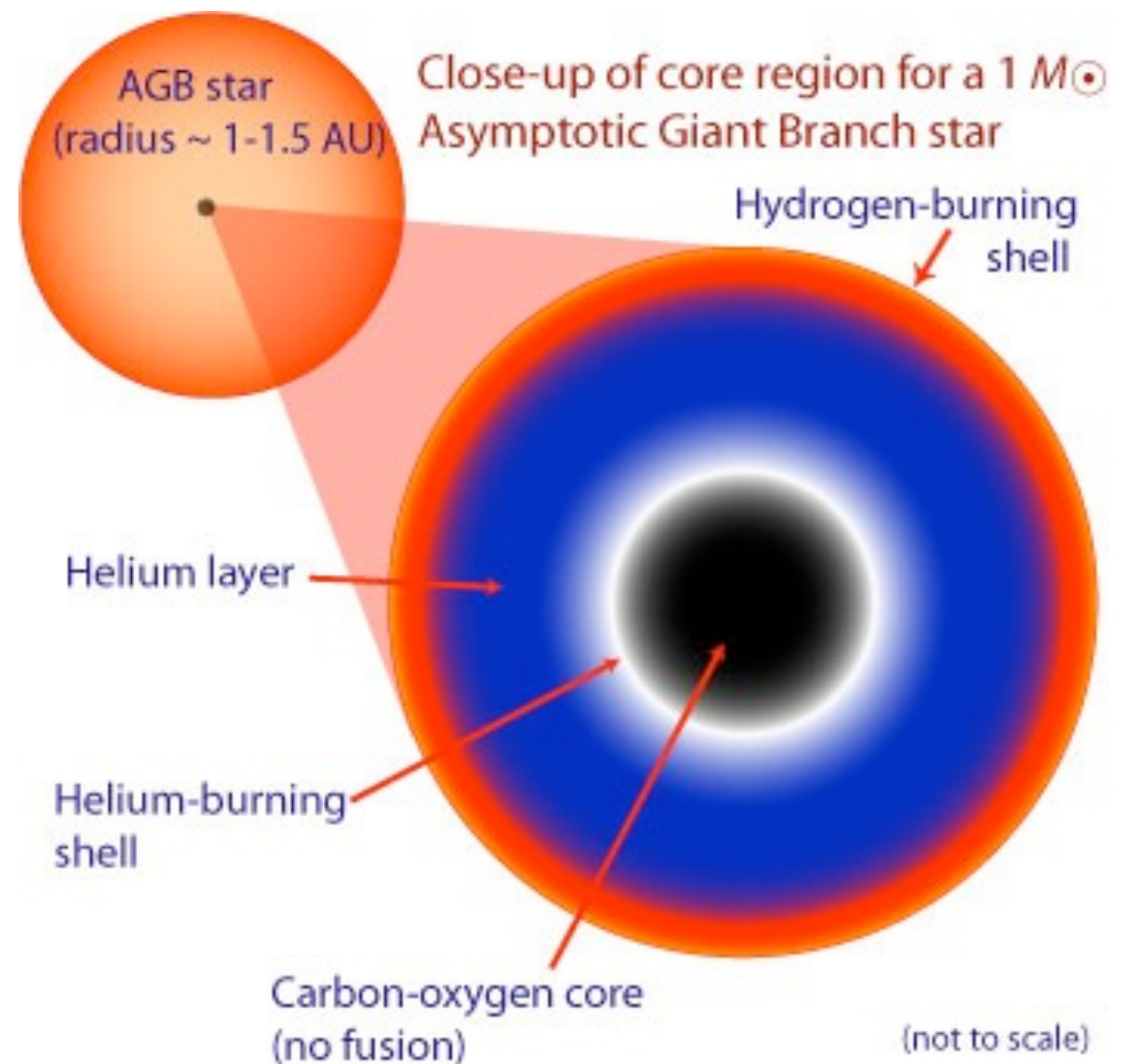
Ramo asintotico delle giganti: Helium-burning shell

- Alla fine della fusione dell'He nel cuore, esso si comprime e si riscalda.



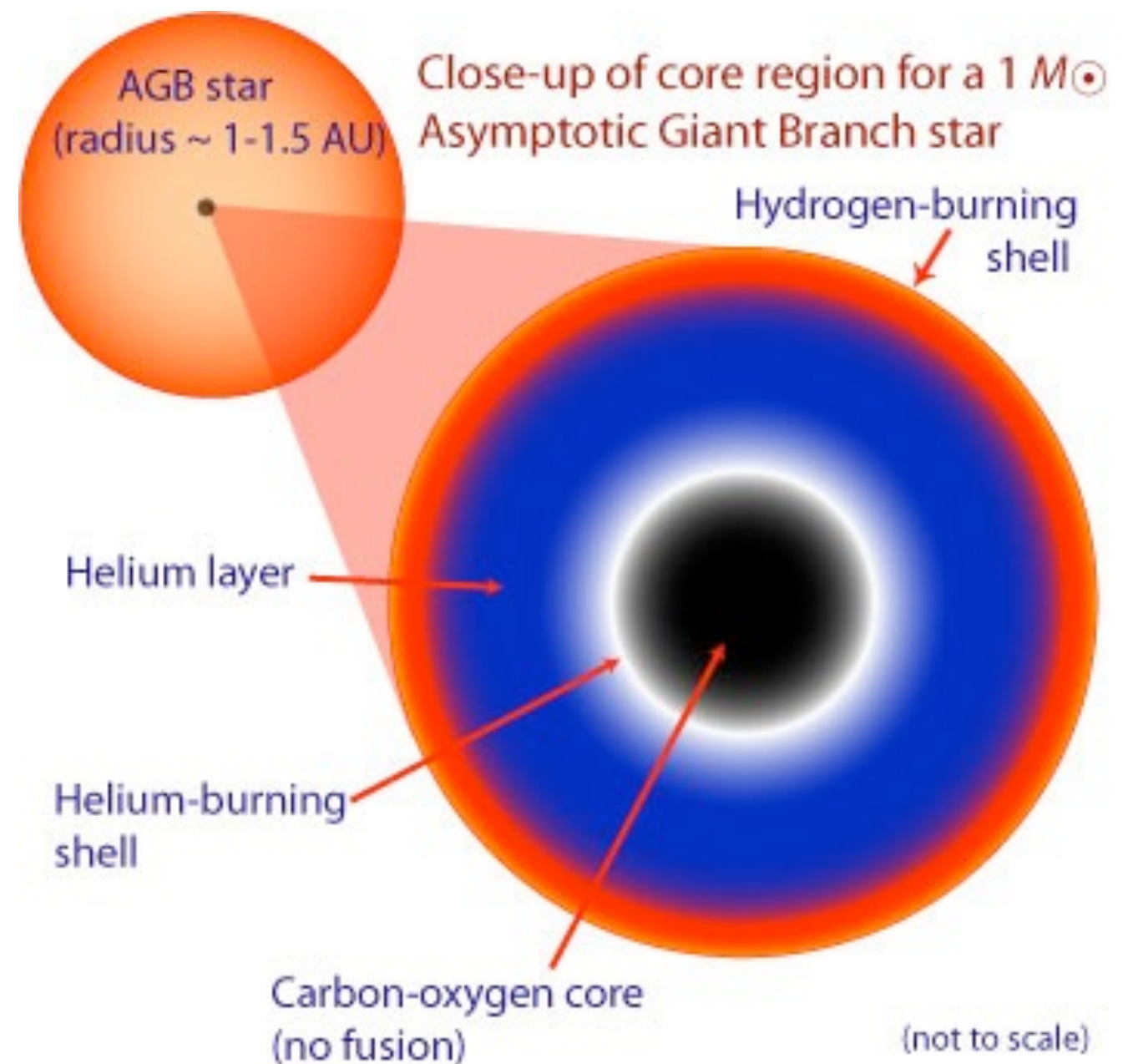
Ramo asintotico delle giganti: Helium-burning shell

- Alla fine della fusione dell'He nel cuore, esso si comprime e si riscalda.
- Helium-burning shell e Hydrogen-burning shell $\Rightarrow$ espansione fino a 1.5 AU (orbite di Marte).



Ramo asintotico delle giganti: Helium-burning shell

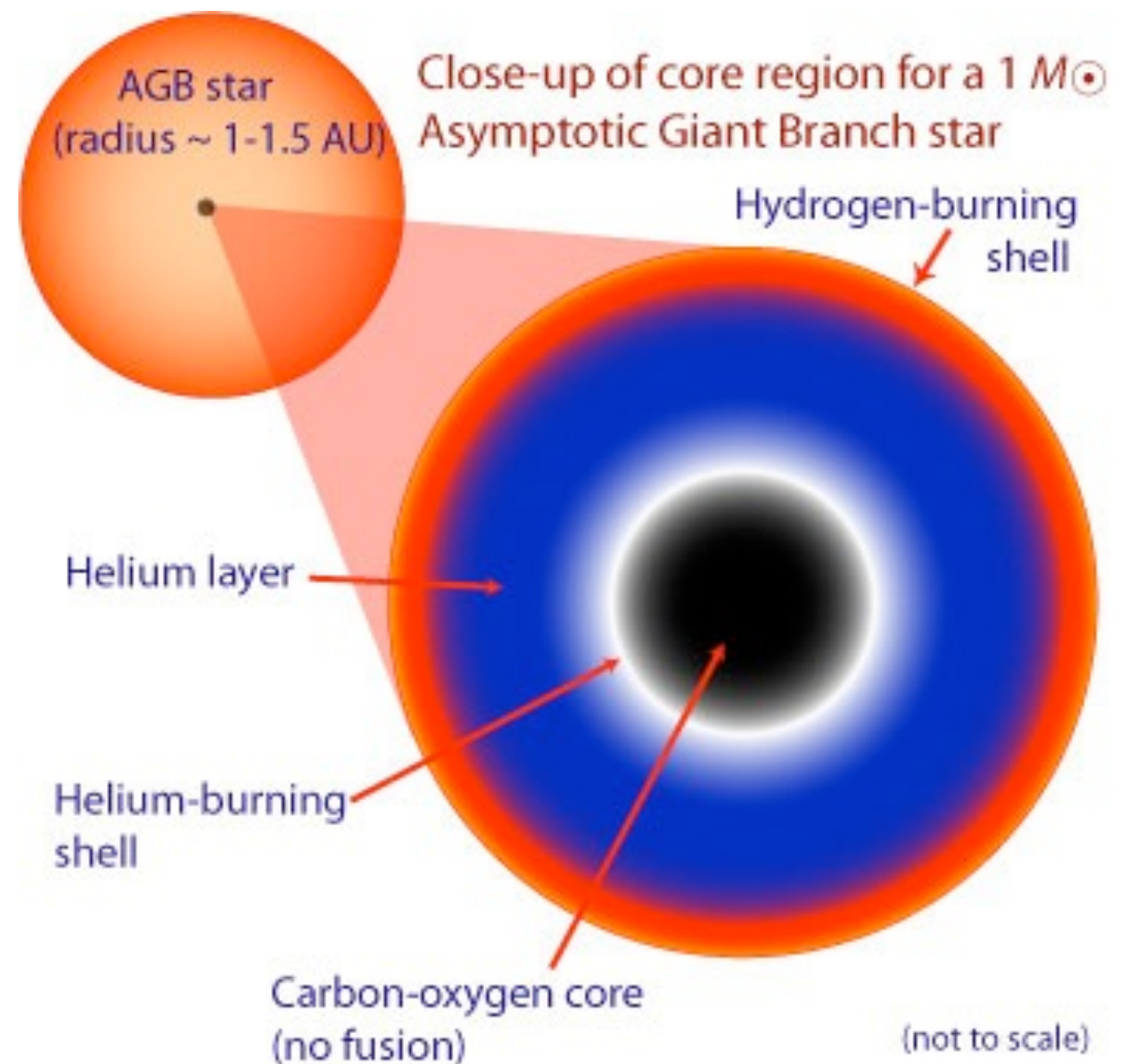
- Alla fine della fusione dell'He nel cuore, esso si comprime e si riscalda.
- Helium-burning shell e Hydrogen-burning shell $\Rightarrow$ espansione fino a 1.5 AU (orbite di Marte).
- In stelle come il Sole, la Temp. centrale non basta per fondere il carbonio e l'ossigeno.



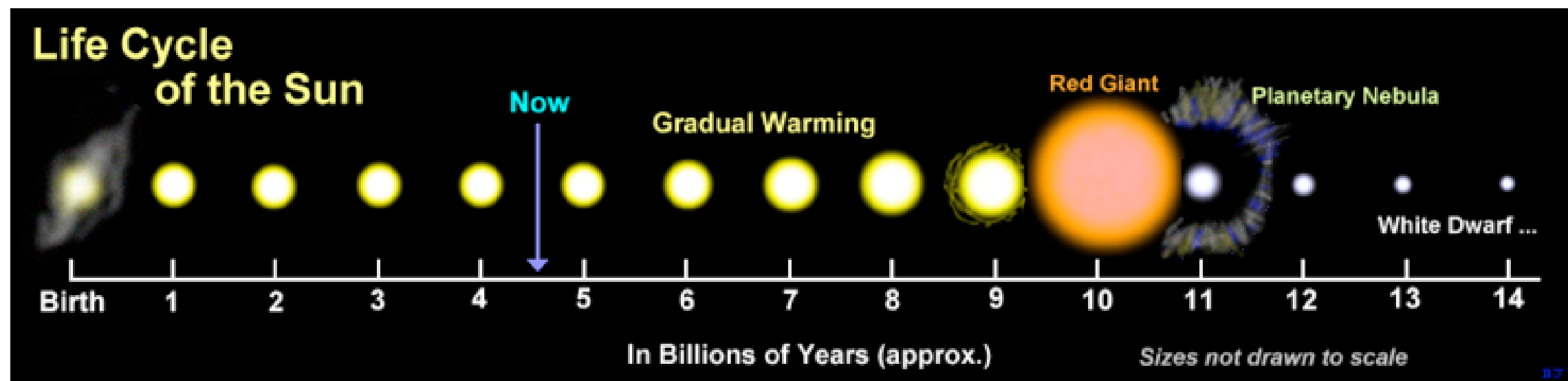
Ramo asintotico delle giganti: Helium-burning shell

- Alla fine della fusione dell'He nel cuore, esso si comprime e si riscalda.
- Helium-burning shell e Hydrogen-burning shell $\Rightarrow$ espansione fino a 1.5 AU (orbite di Marte).
- In stelle come il Sole, la Temp. centrale non basta per fondere il carbonio e l'ossigeno.

Vento stellare = $10^{-4} M_{\text{sun}}$ all'anno



La morte del Sole (e della Terra)



La morte del Sole (e della Terra)



La morte del Sole (e della Terra)



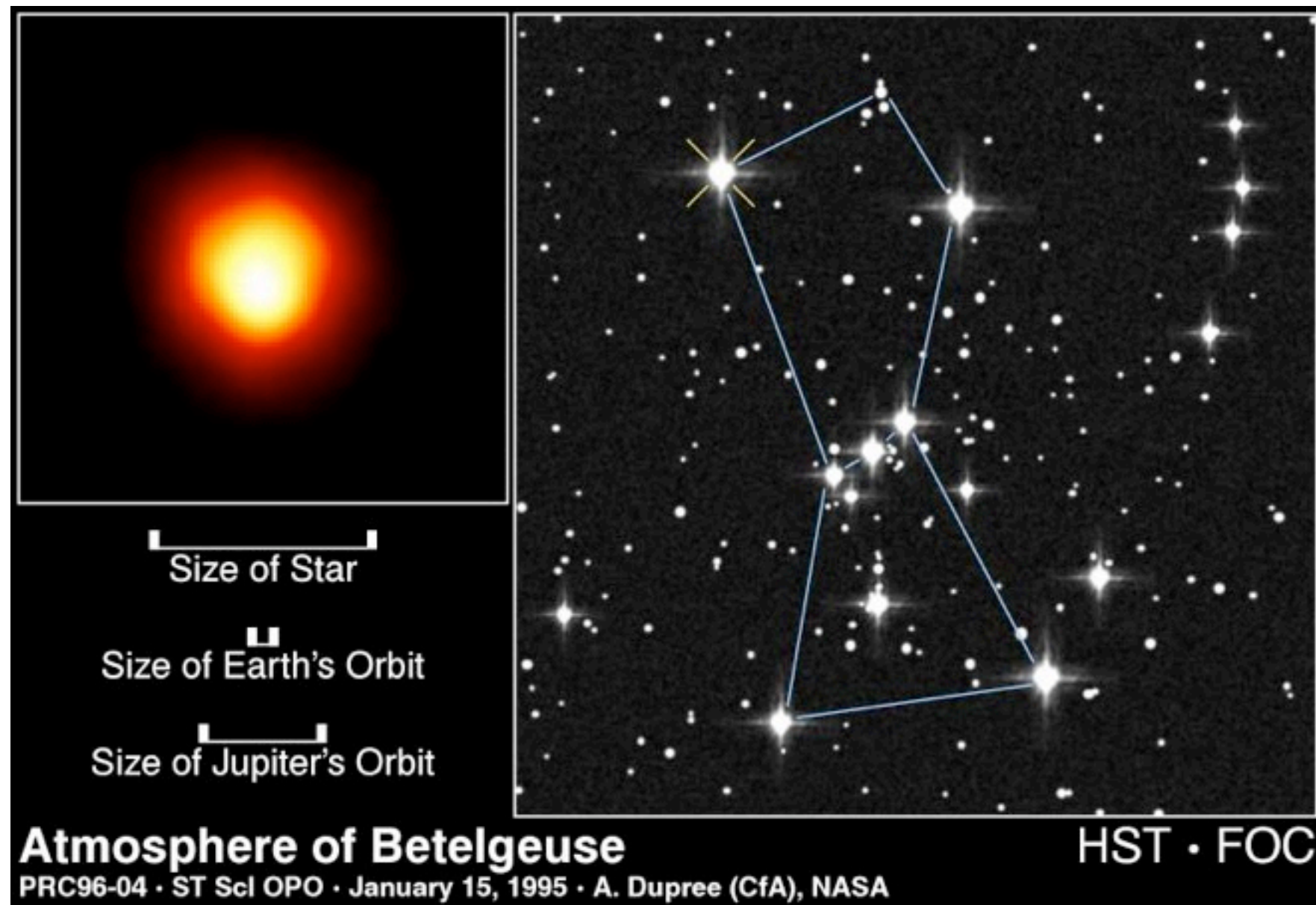
La morte del Sole (e della Terra)



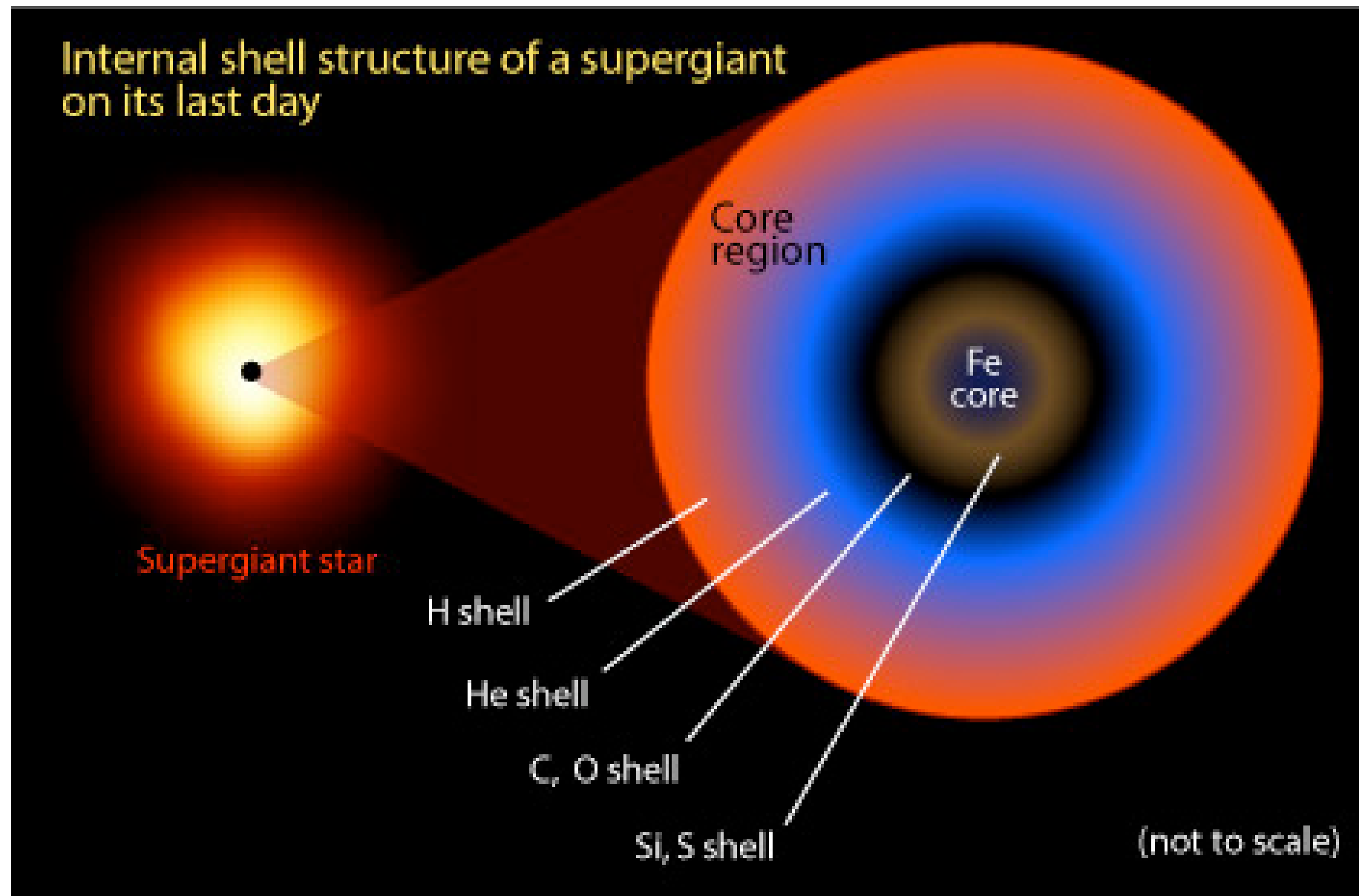
La morte del Sole (e della Terra)



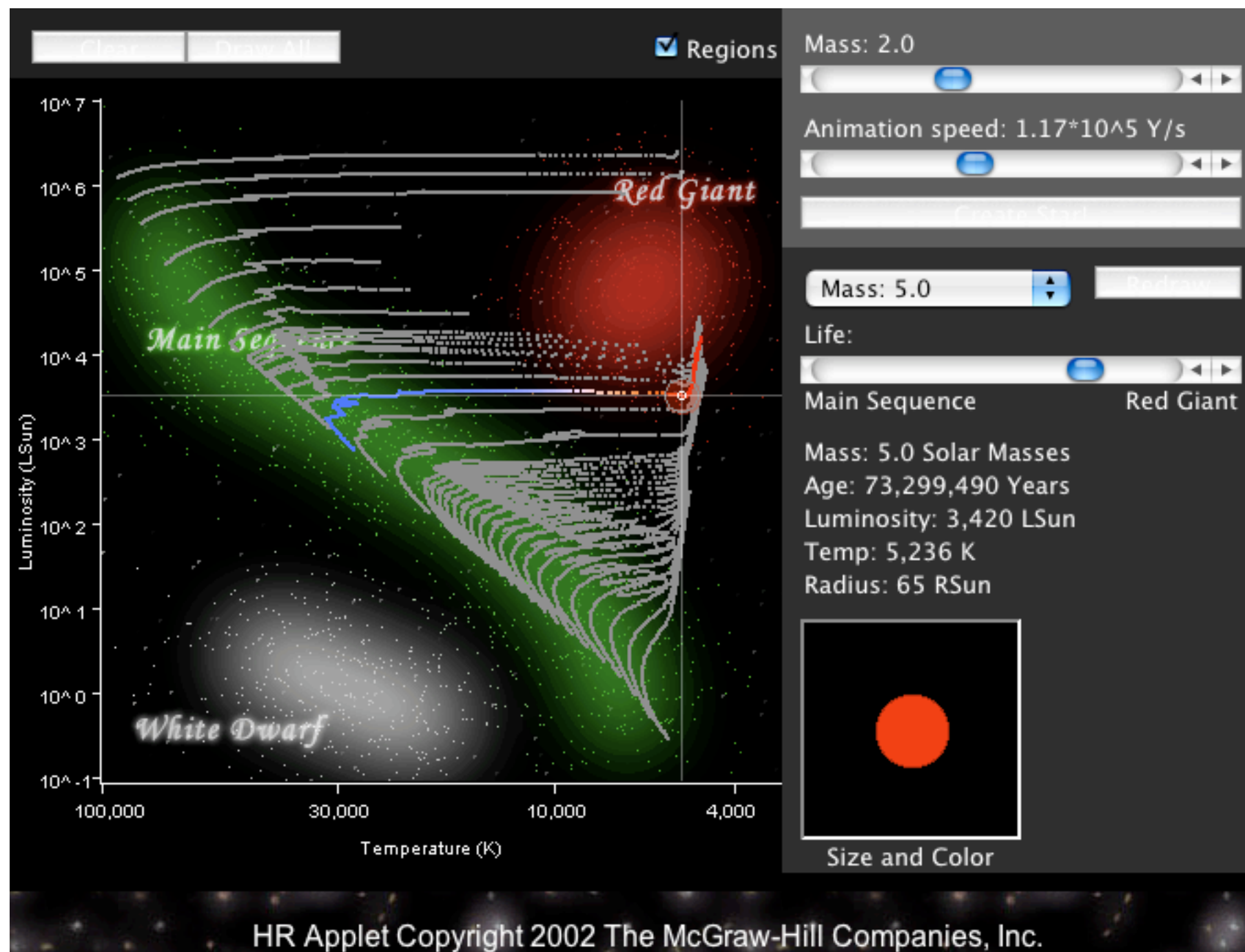
Evoluzione post-SP di stelle massicce



Evoluzione post-SP di stelle massicce

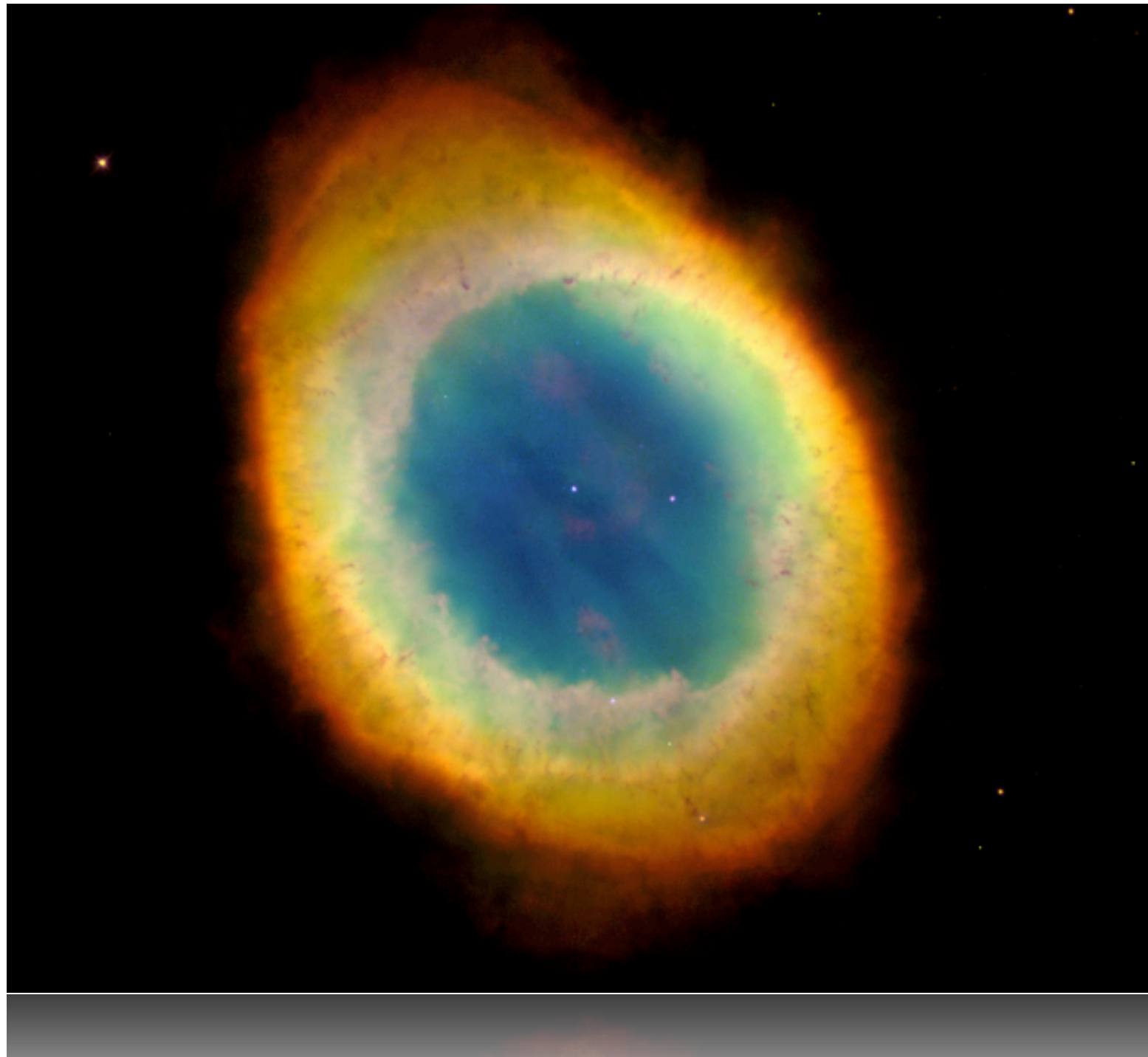


Evoluzione stellare nel diagramma HR



Fase 4: Nebulose planetarie

Restituzione dei nuclei pesanti al mezzo interstellare



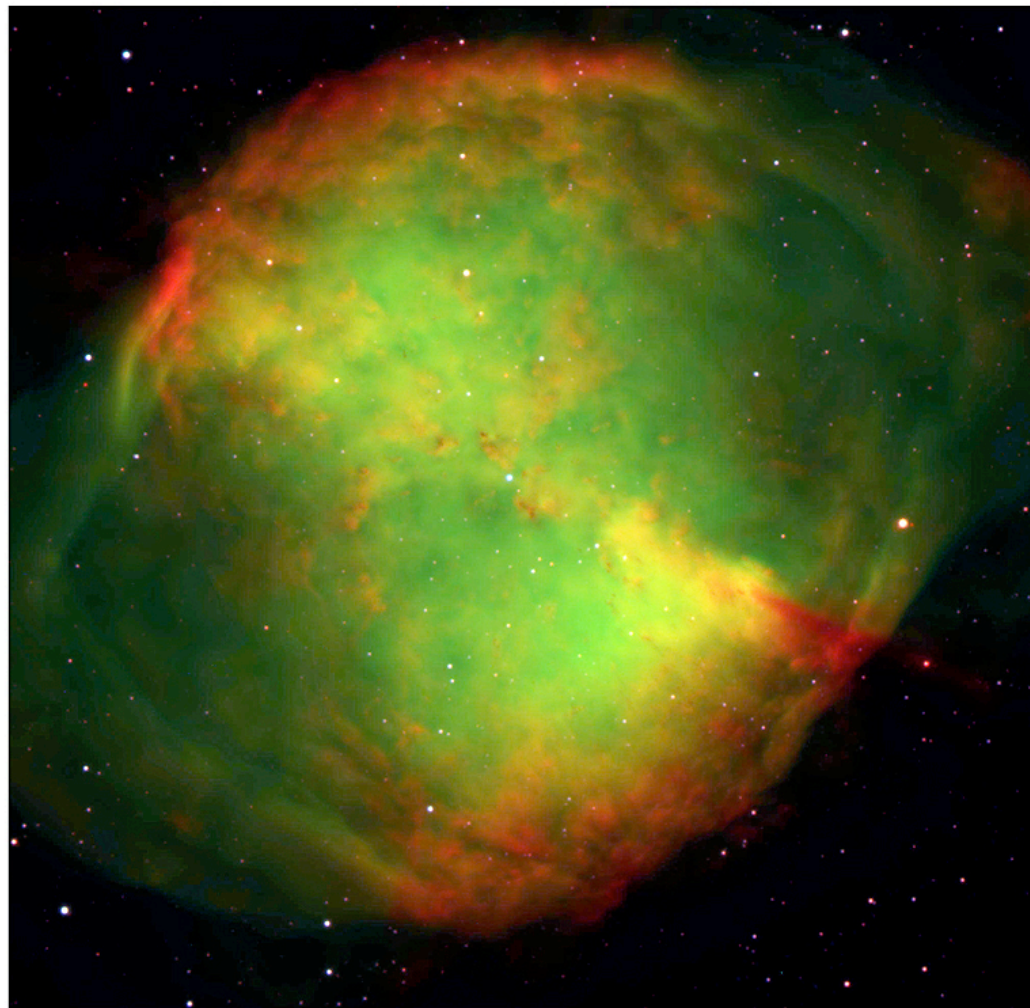
Fase 4: Nebulose planetarie

Restituzione dei nuclei pesanti al mezzo interstellare



Fase 4: Nebulose planetarie

Restituzione dei nuclei pesanti al mezzo interstellare



Planetary Nebula NGC 6853 (M 27) - VLT UT1+FORS1

ESO PR Photo 38a/98 (7 October 1998)

© ESO European Southern Observatory



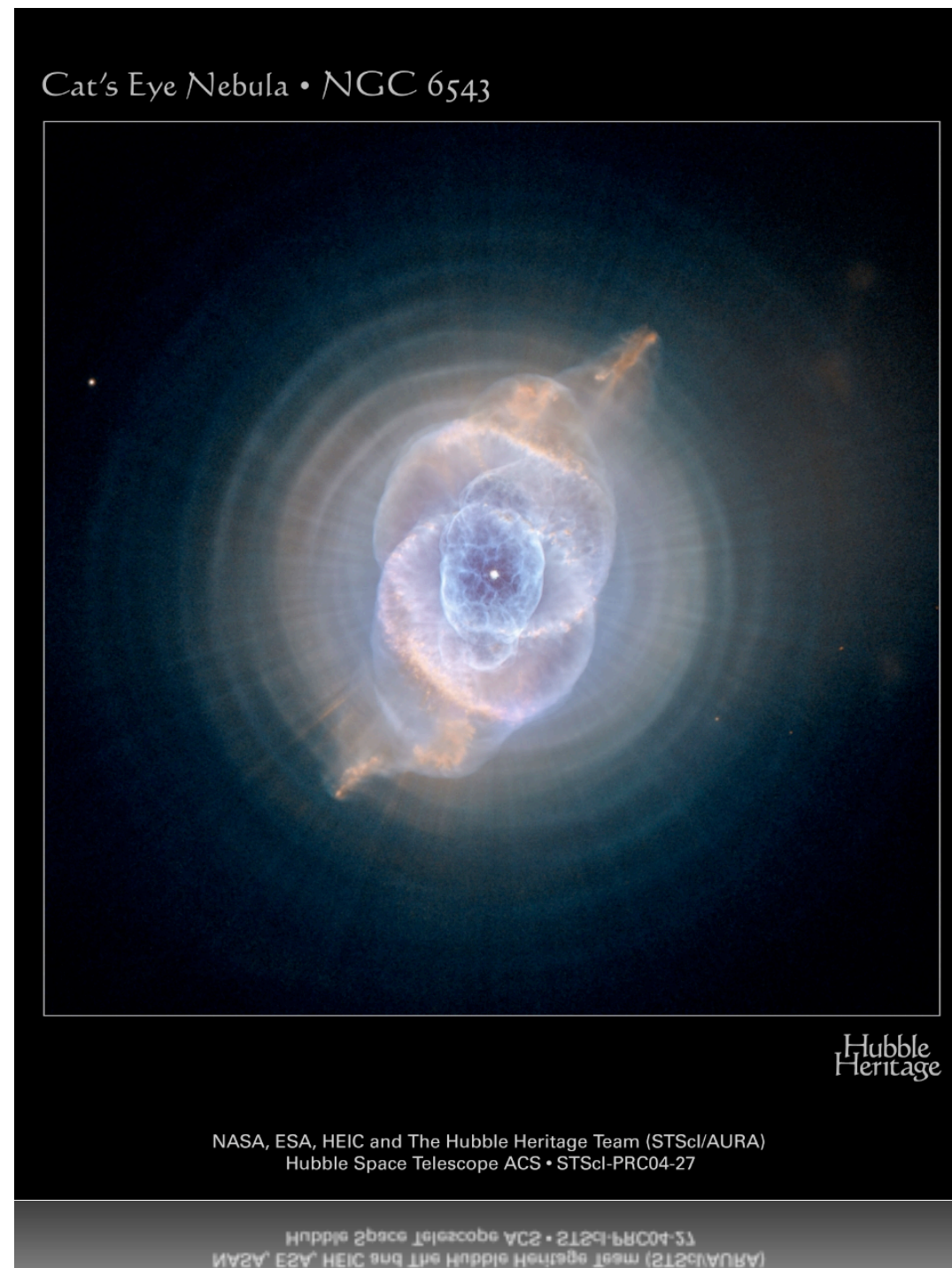
ESO PR Photo 38a/98 (7 October 1998)

© ESO European Southern Observatory



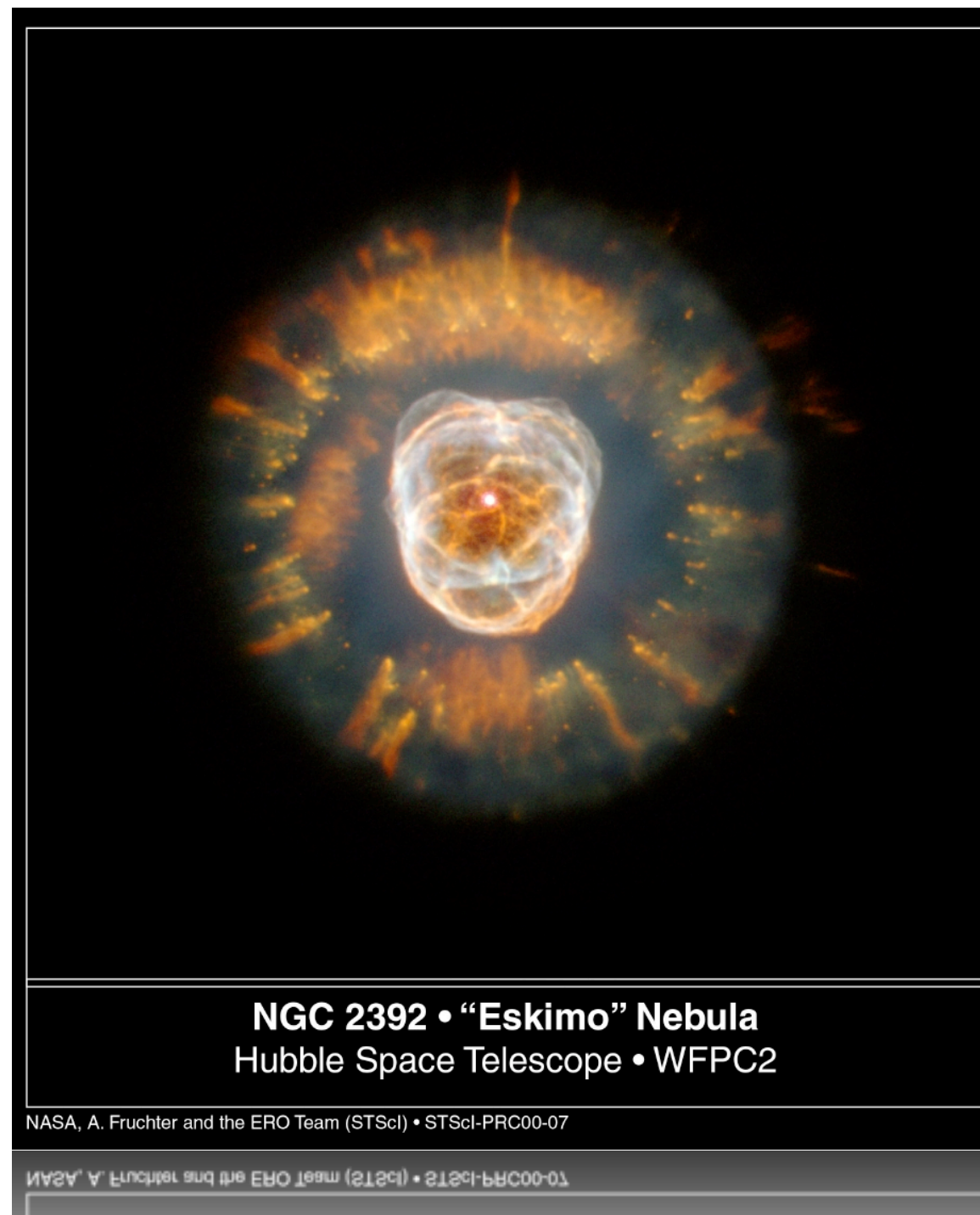
Fase 4: Nebulose planetarie

Restituzione dei nuclei pesanti al mezzo interstellare



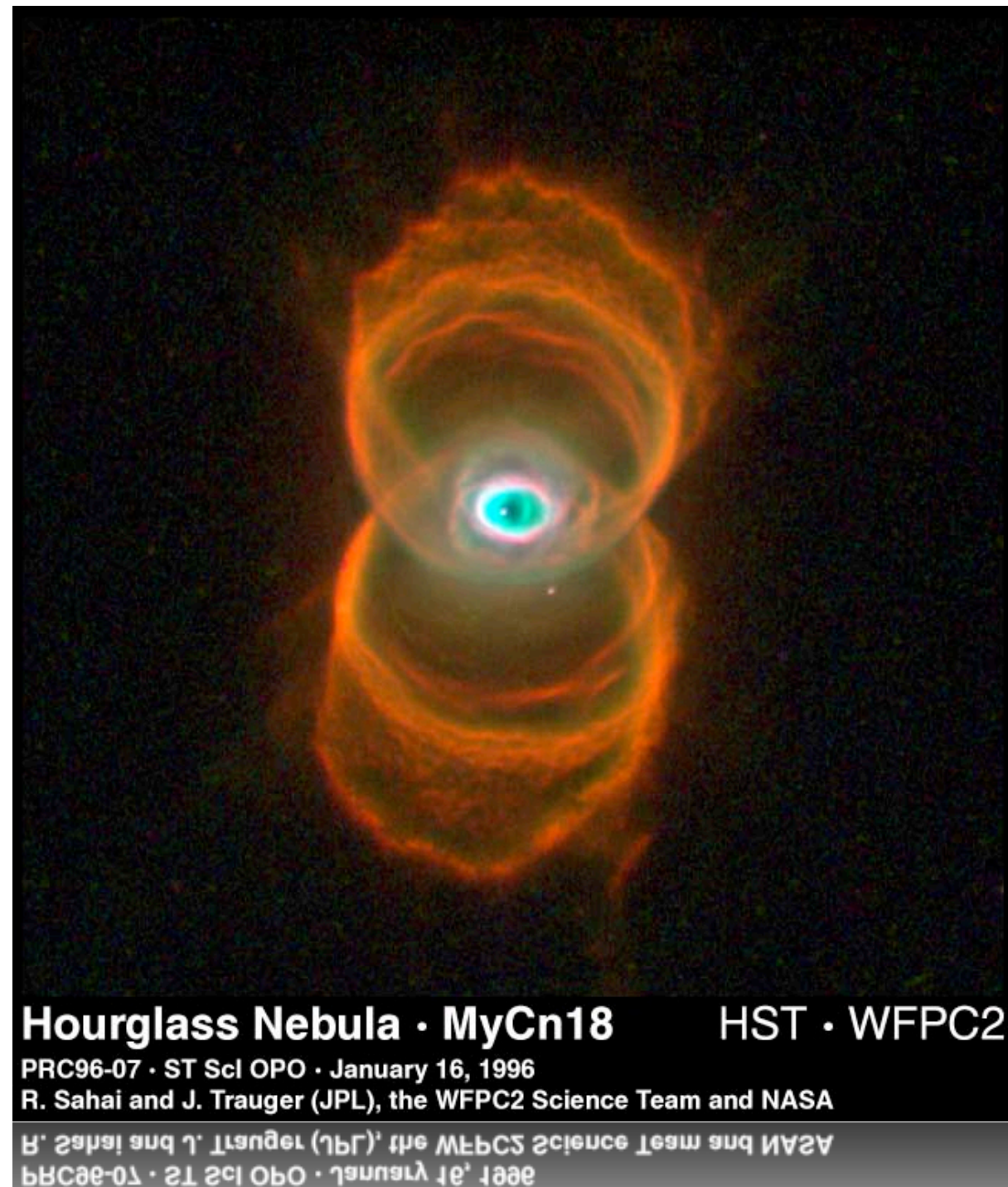
Fase 4: Nebulose planetarie

Restituzione dei nuclei pesanti al mezzo interstellare



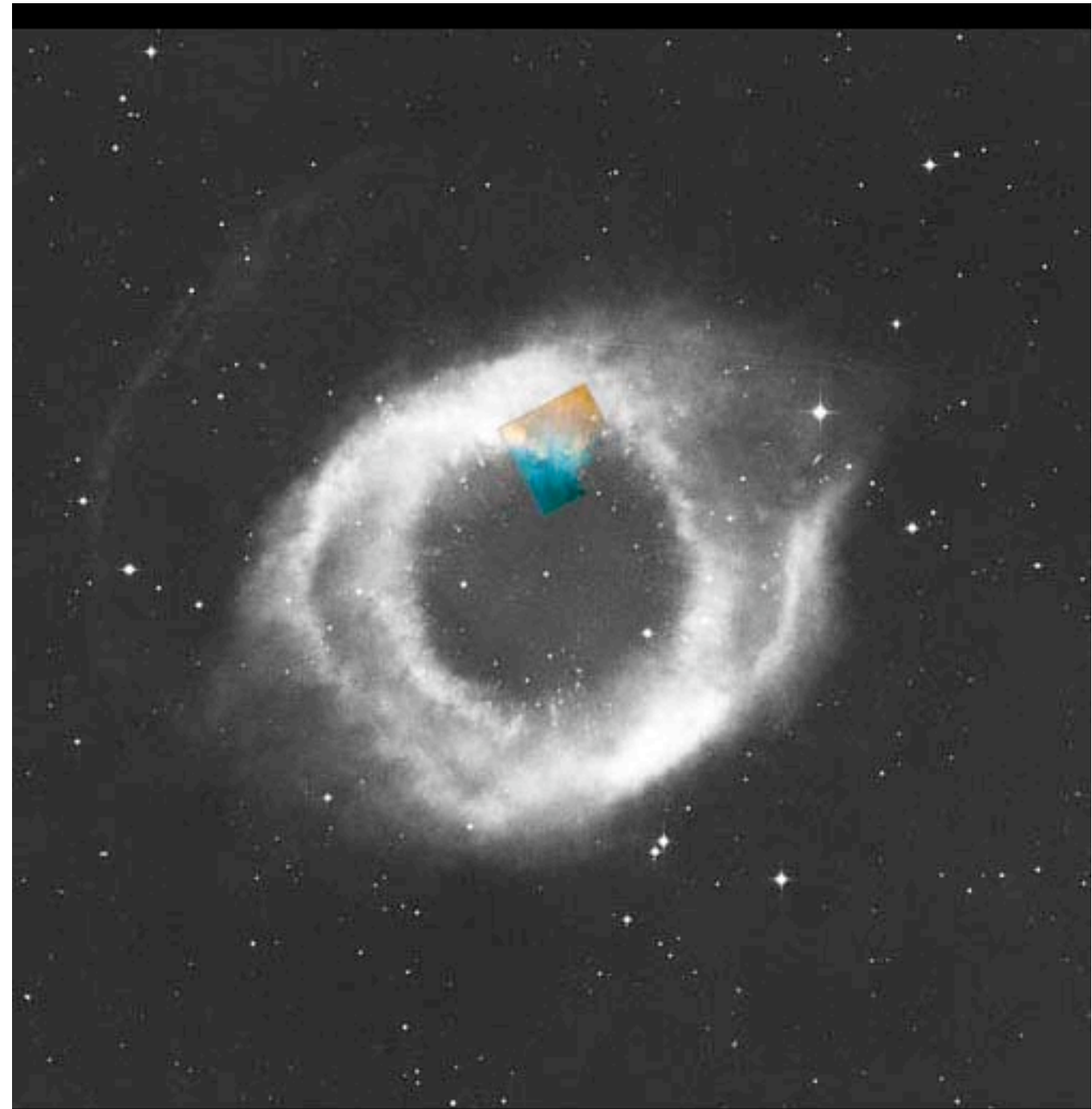
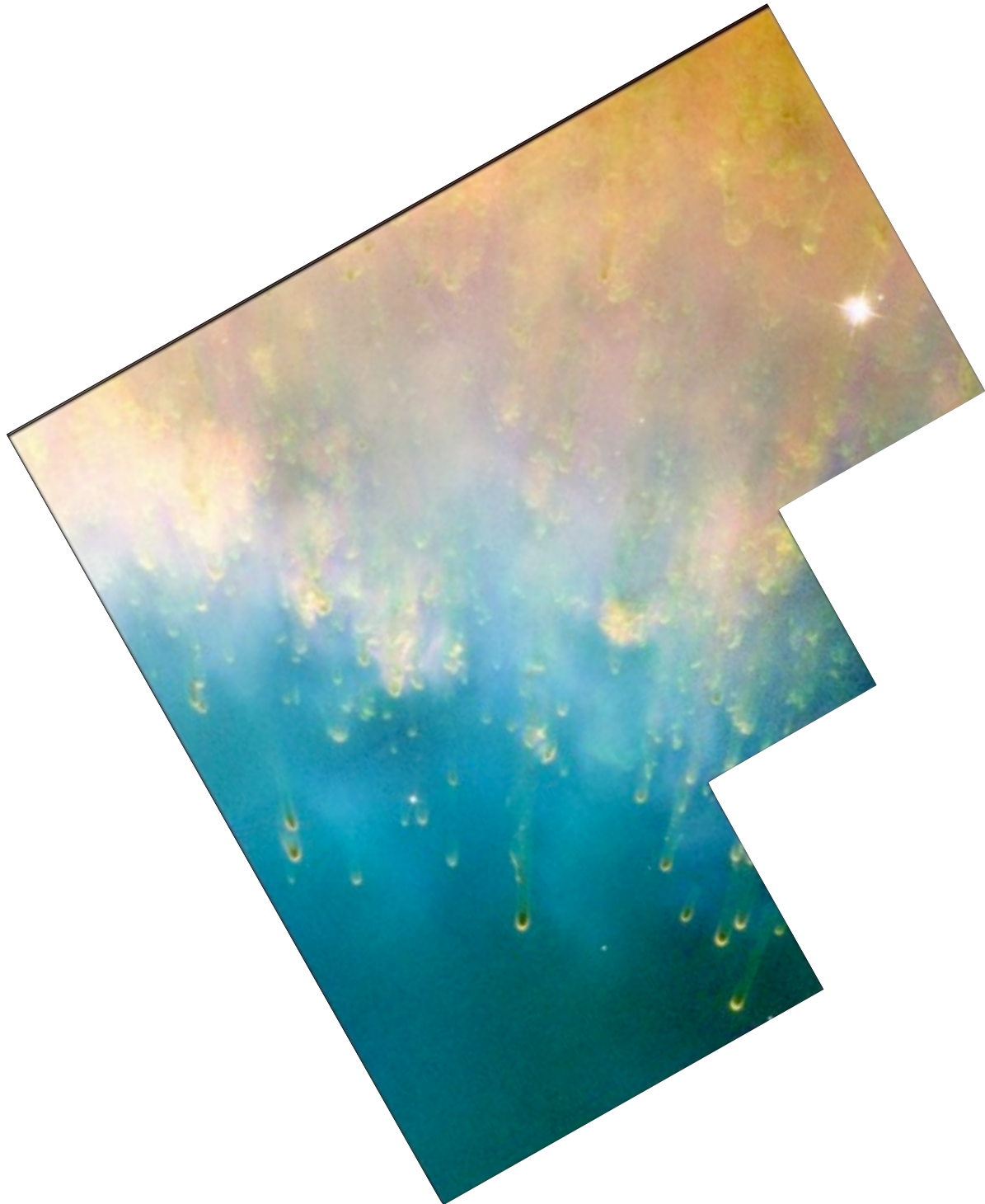
Fase 4: Nebulose planetarie

Restituzione dei nuclei pesanti al mezzo interstellare



Fase 4: Nebulose planetarie

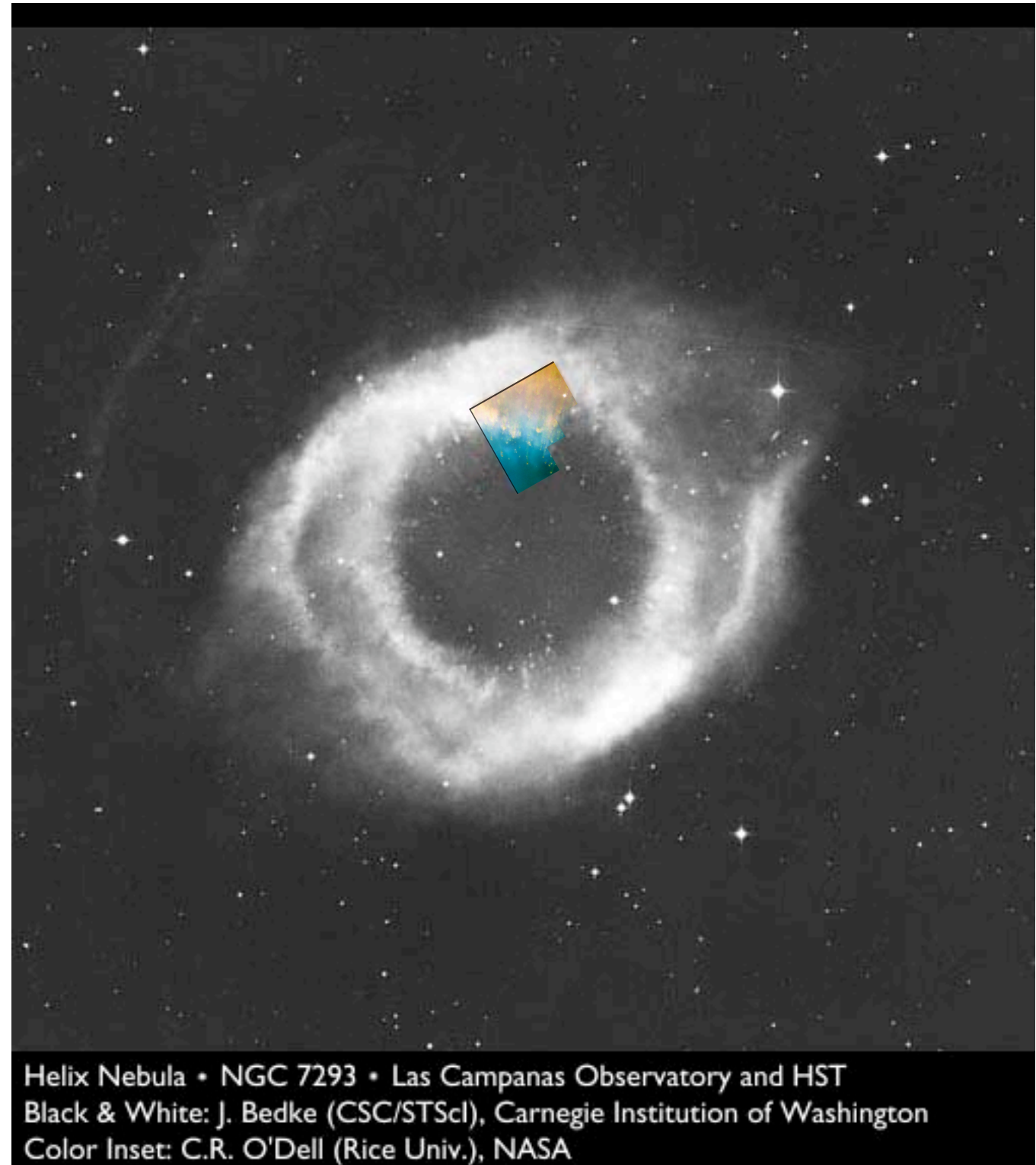
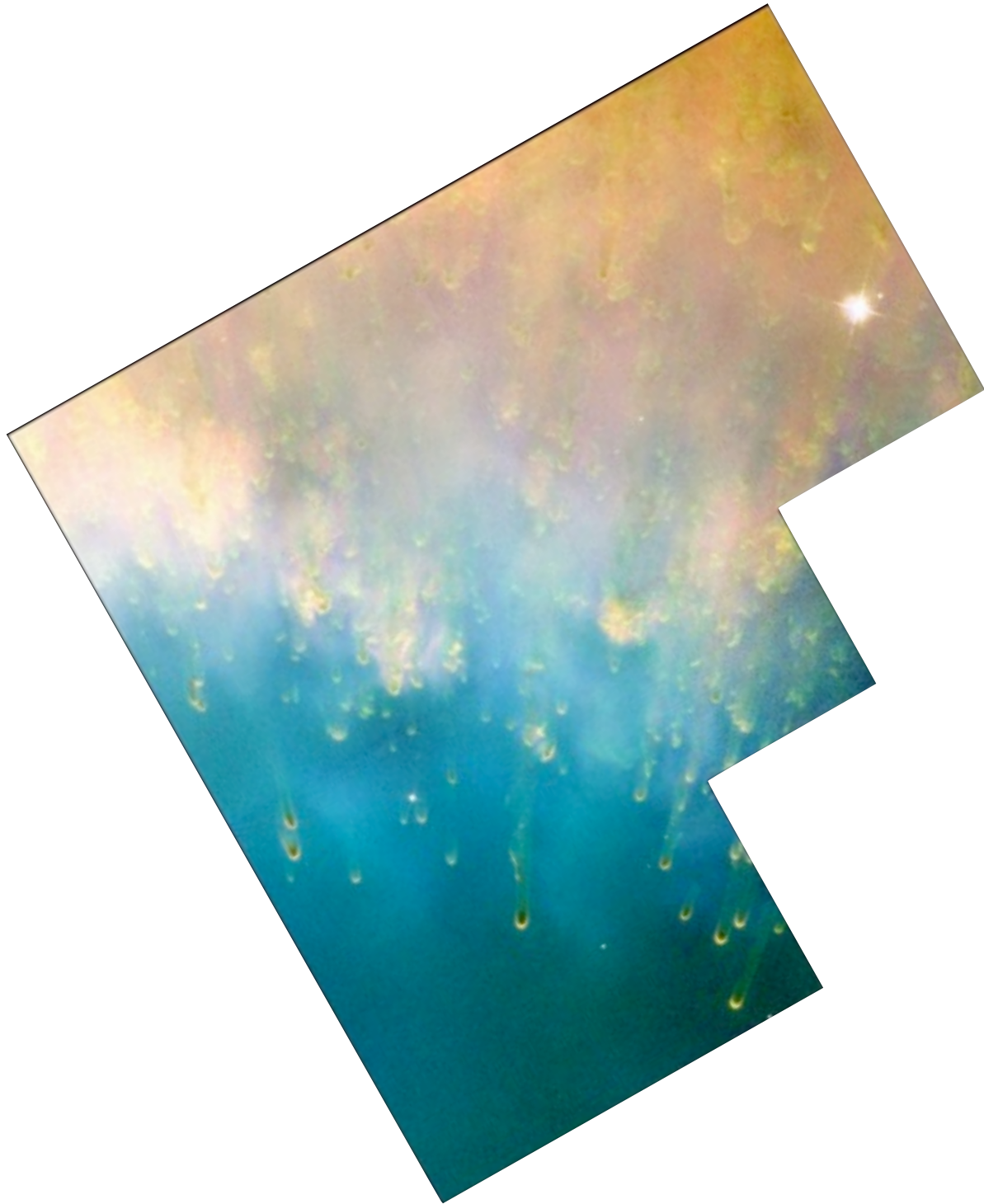
La nebulosa dell'elica, vista con HST



Helix Nebula • NGC 7293 • Las Campanas Observatory and HST
Black & White: J. Bedke (CSC/STScI), Carnegie Institution of Washington
Color Inset: C.R. O'Dell (Rice Univ.), NASA

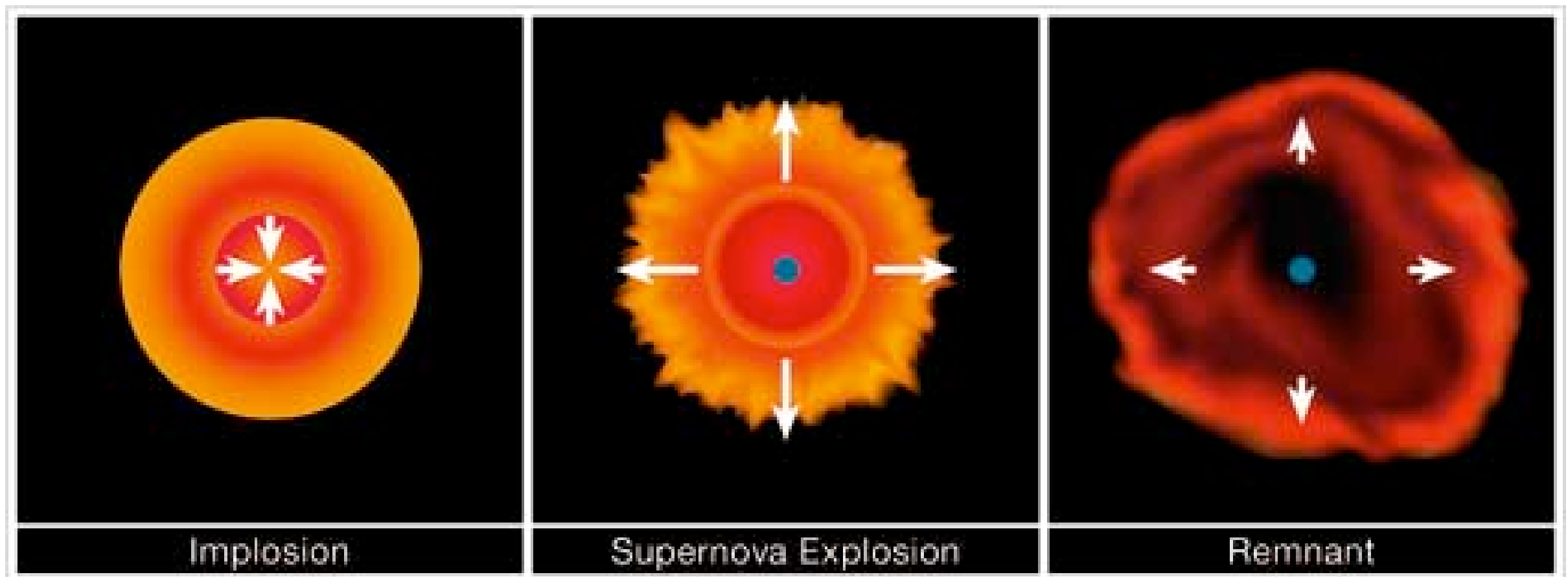
Fase 4: Nebulose planetarie

La nebulosa dell'elica, vista con HST



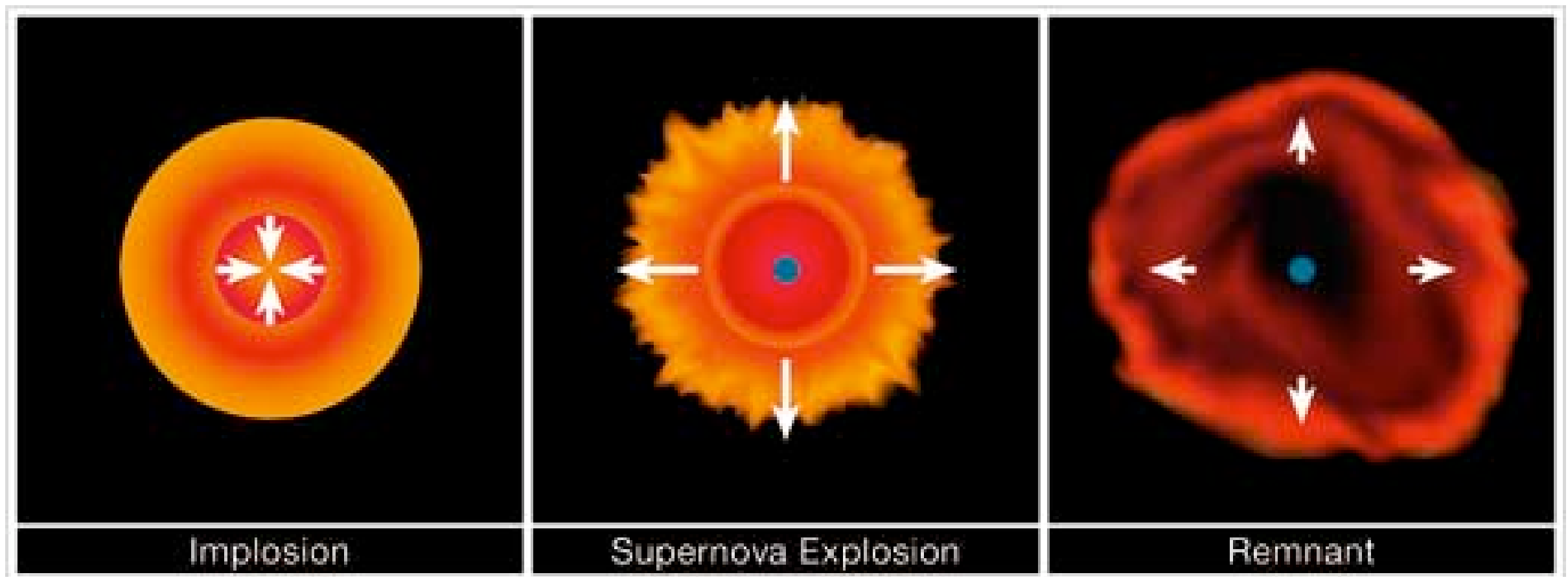
Helix Nebula • NGC 7293 • Las Campanas Observatory and HST
Black & White: J. Bedke (CSC/STScI), Carnegie Institution of Washington
Color Inset: C.R. O'Dell (Rice Univ.), NASA

Fase 4: Supernova



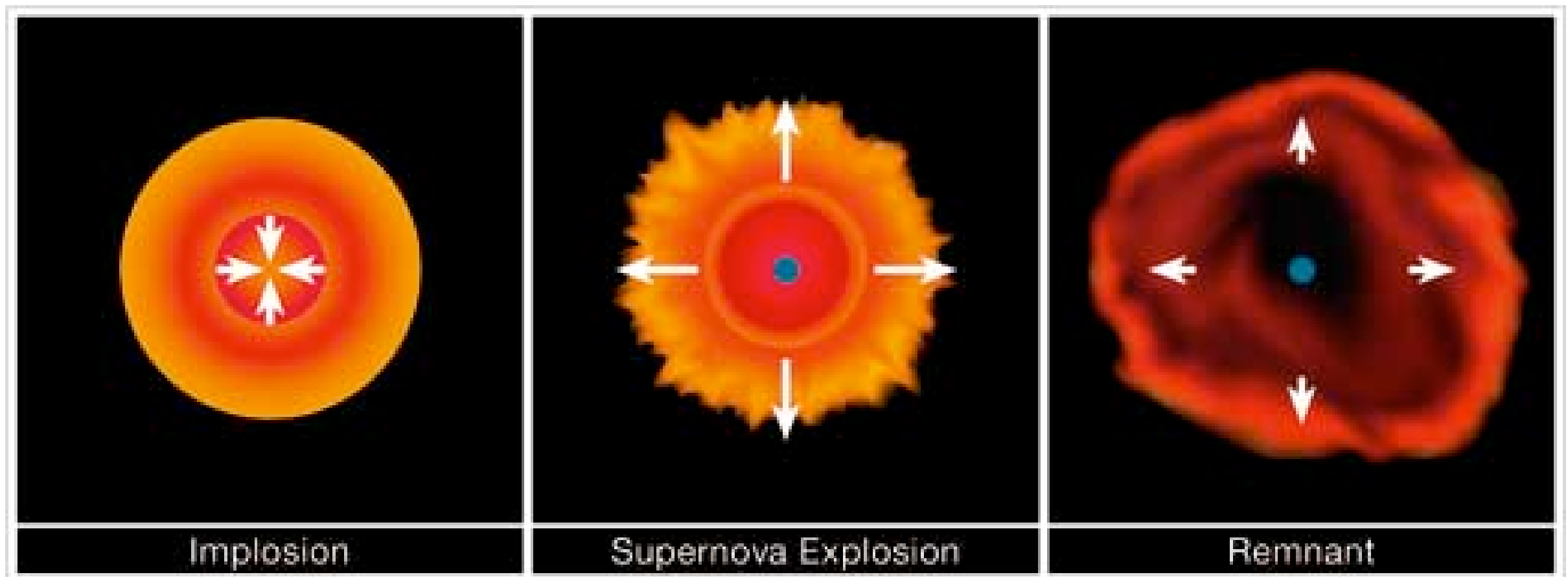
Fase 4: Supernova

- Per le rare stelle molto **massicce** (tra 8 e 50 M_{sun})



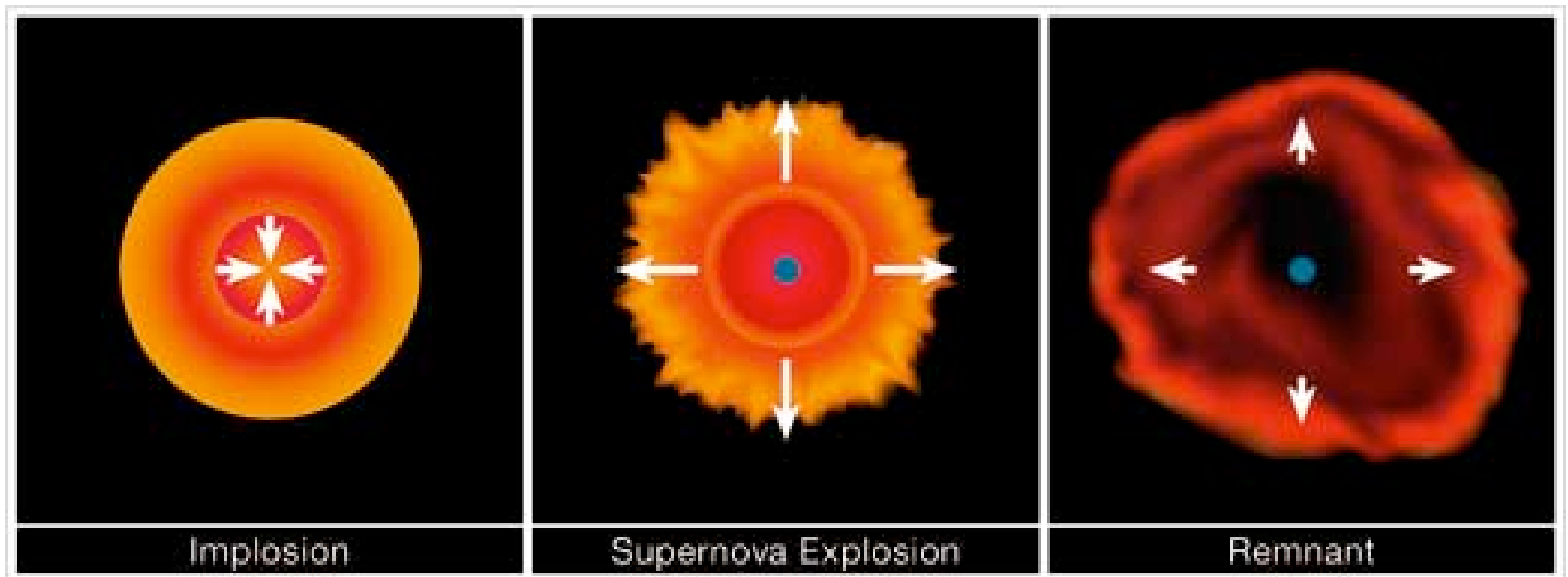
Fase 4: Supernova

- Per le rare stelle molto **massicce** (tra 8 e 50 M_{sun})



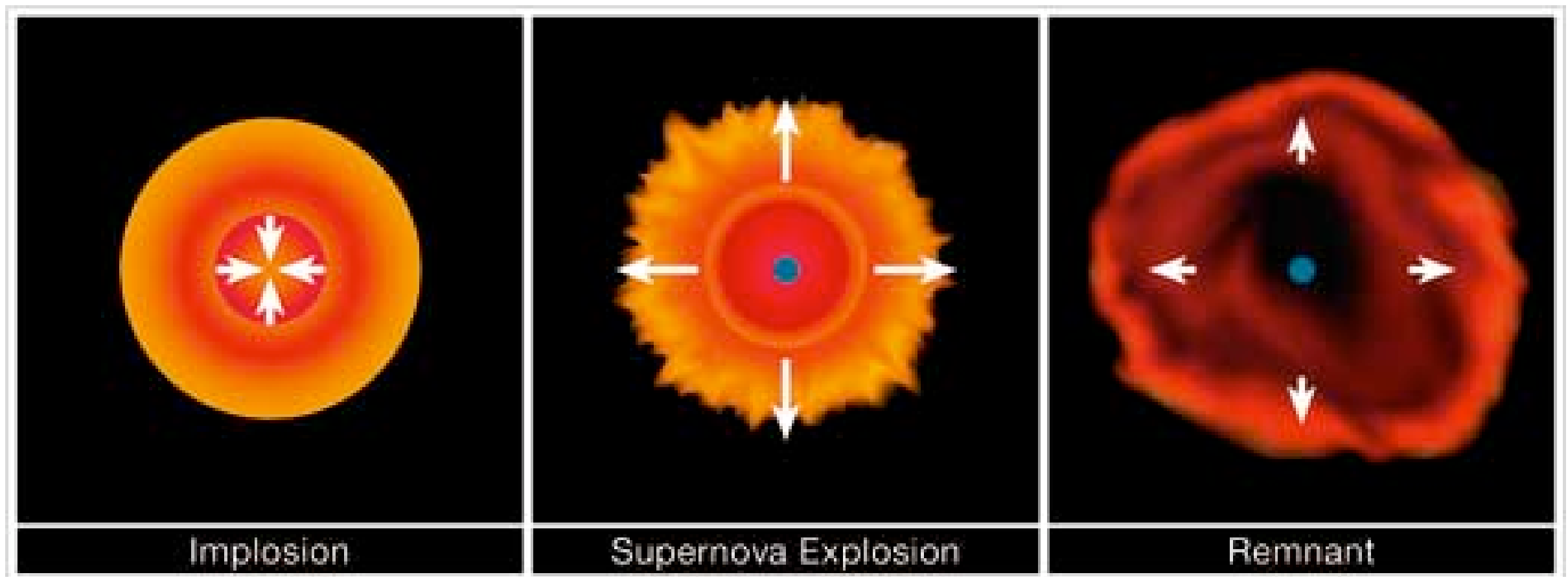
Fase 4: Supernova

- Per le rare stelle molto **massicce** (tra 8 e 50 M_{sun})



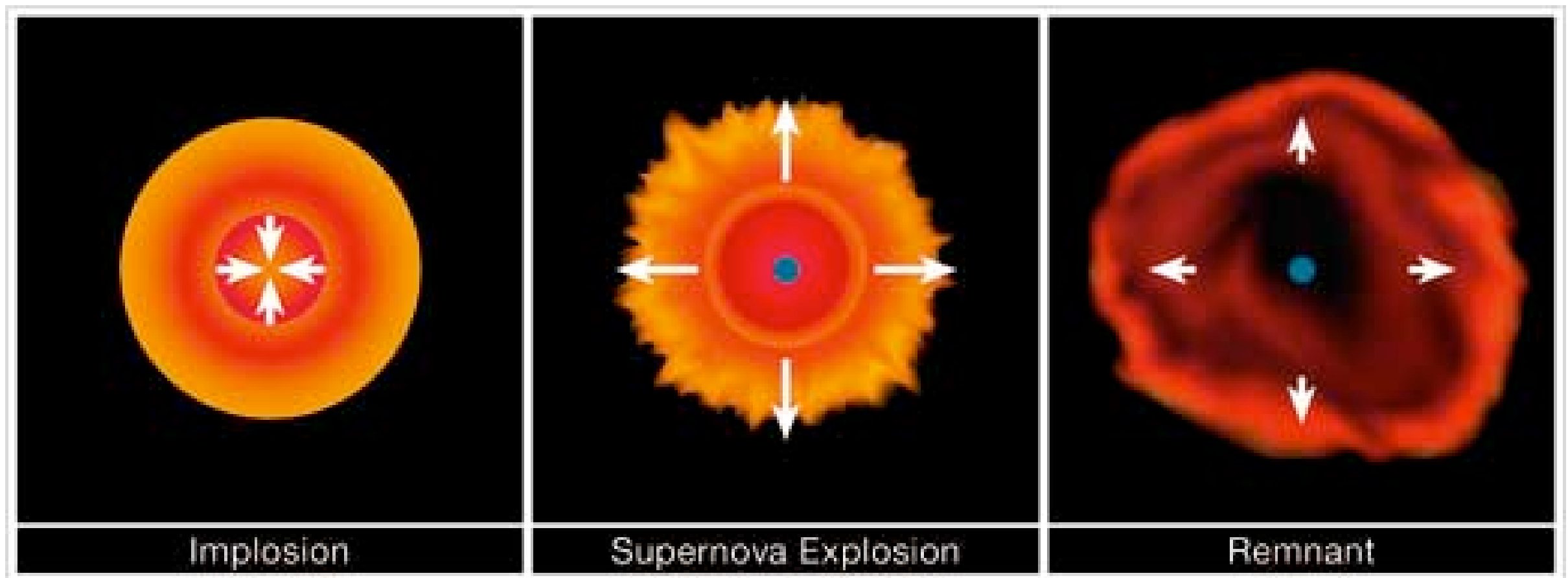
Fase 4: Supernova

- Per le rare stelle molto **massicce** (tra 8 e 50 M_{sun})



Fase 4: Supernova

- Per le rare stelle molto **massicce** (tra 8 e 50 M_{sun})



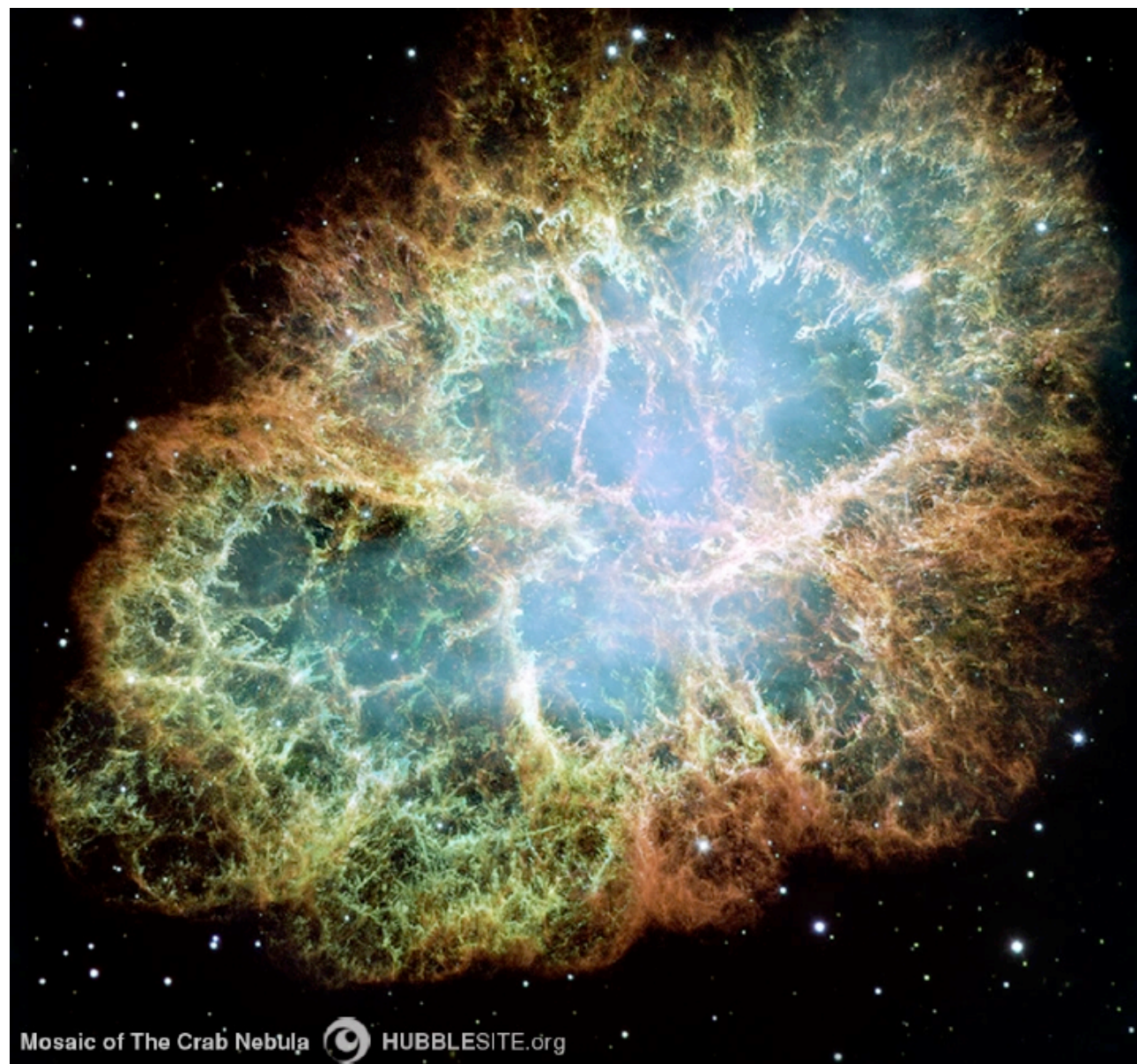
Fase 4: Supernova



Fase 4: Supernova



Fase 4: Supernova



Fase 4: Supernova



Fase 4: Supernova

Fase 5: Residui centrali

Fase 5: Residui centrali

- Massa del cuore

Fase 5: Residui centrali

- Massa del cuore
- Se $M_{\text{cuore}} < 1.4 M_{\text{sun}} \Rightarrow$ Nana bianca

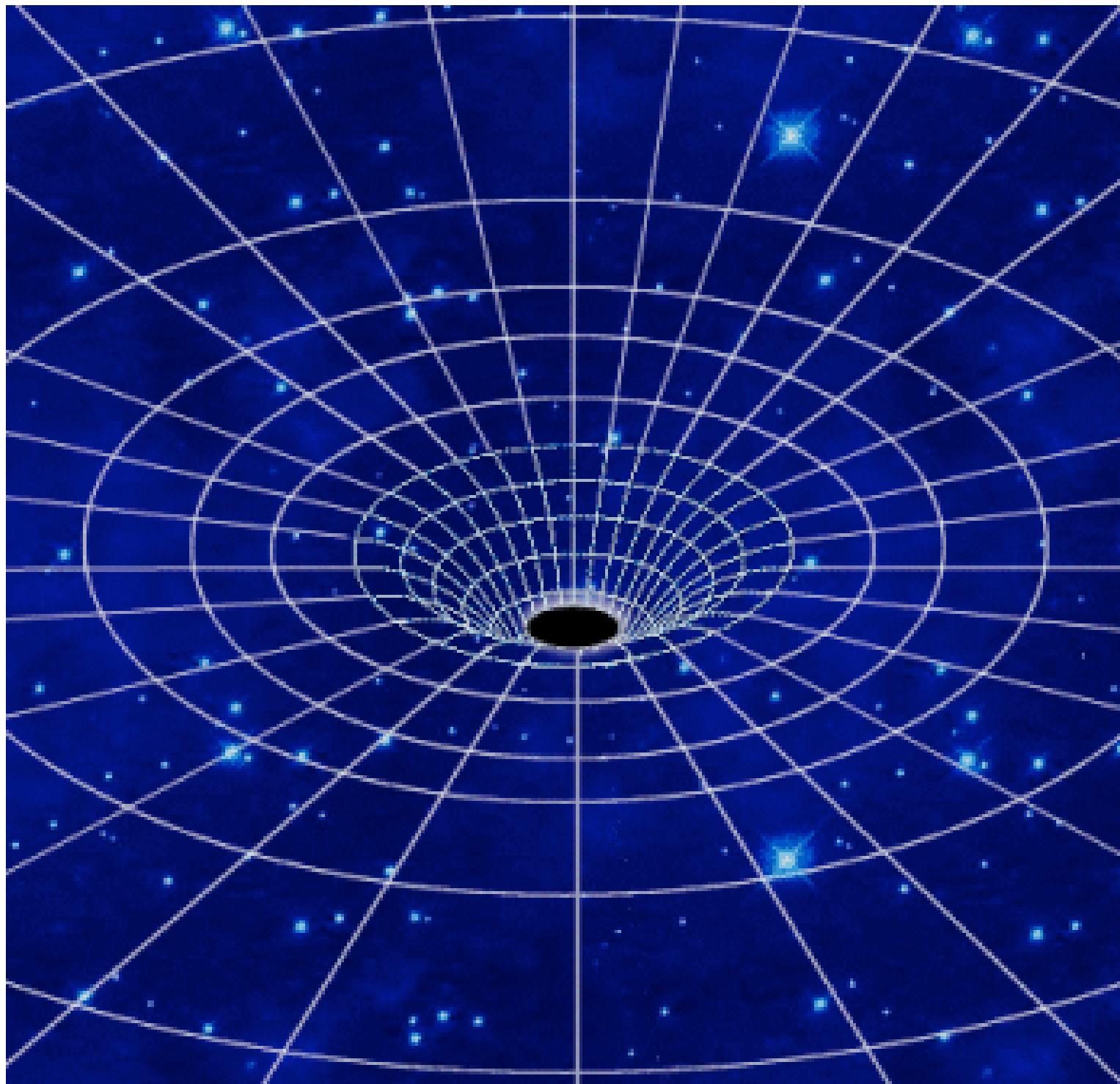
Fase 5: Residui centrali

- Massa del cuore
- Se $M_{\text{cuore}} < 1.4 M_{\text{sun}} \Rightarrow$ Nana bianca
- Se $1.4 M_{\text{sun}} < M_{\text{cuore}} < 3 M_{\text{sun}} \Rightarrow$ Stella a neutroni

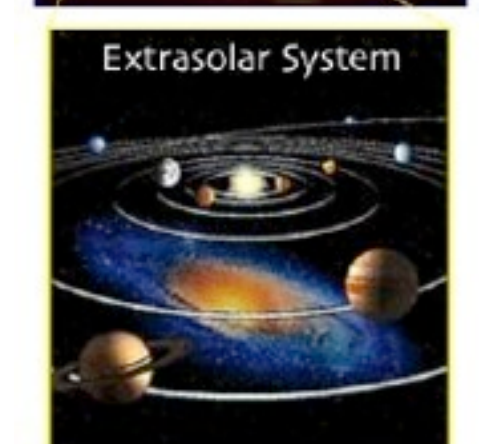
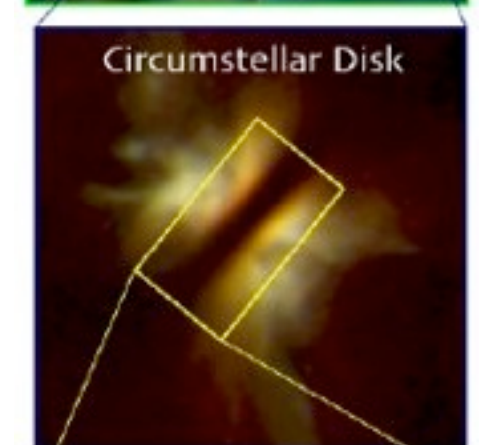
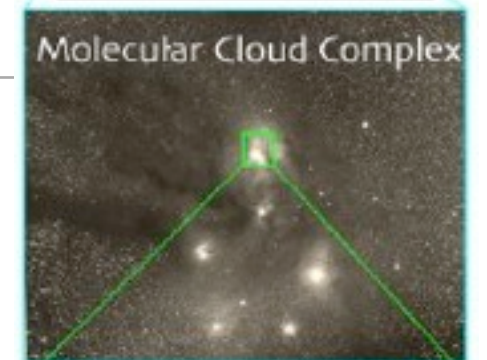
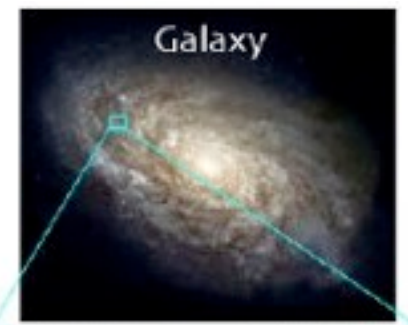
Fase 5: Residui centrali

- Massa del cuore
- Se $M_{\text{cuore}} < 1.4 M_{\text{sun}} \Rightarrow$ Nana bianca
- Se $1.4 M_{\text{sun}} < M_{\text{cuore}} < 3 M_{\text{sun}} \Rightarrow$ Stella a neutroni
- Se $M_{\text{cuore}} > 3 M_{\text{sun}} \Rightarrow$ Buco nero

Fase 5: Residui centrali

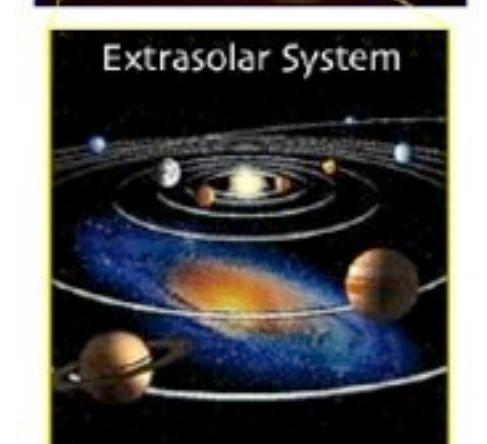
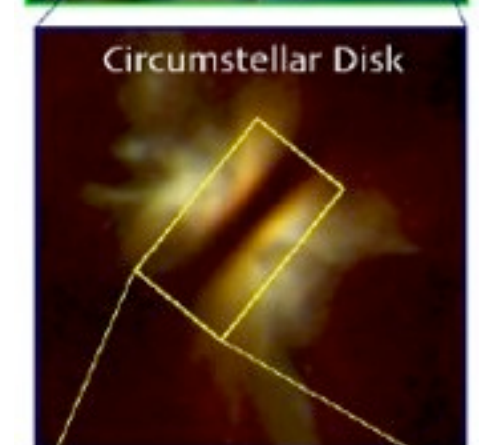
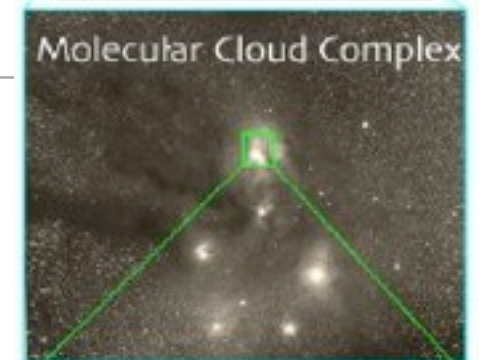
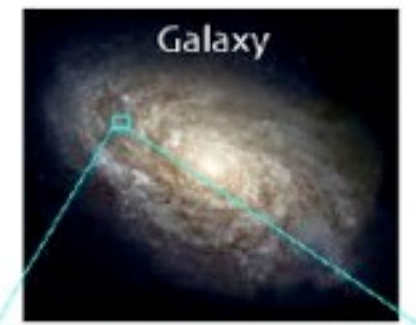


Riassunto e implicazioni per la vita



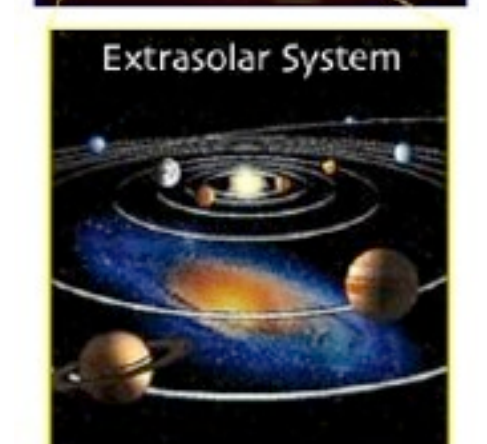
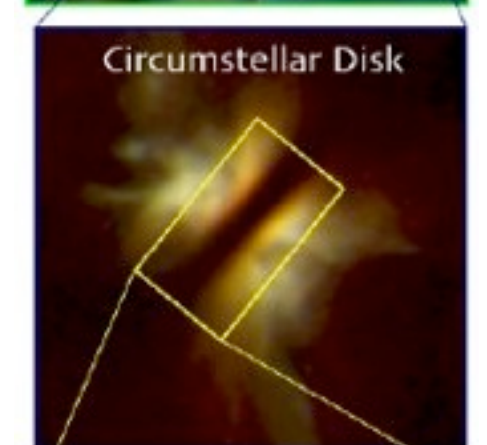
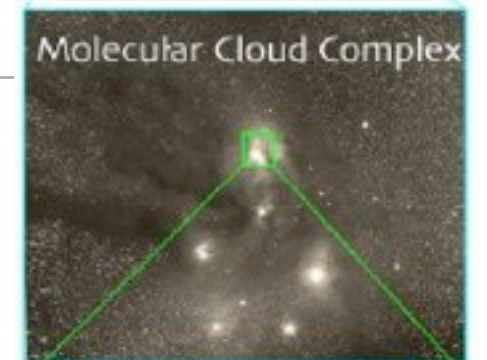
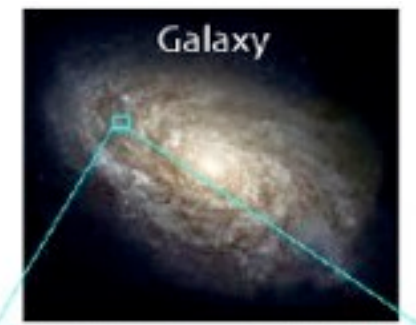
Riassunto e implicazioni per la vita

- Tutti gli atomi della Terra (tranne H e He) sono stati creati nelle stelle giganti o in supernove.



Riassunto e implicazioni per la vita

- Tutti gli atomi della Terra (tranne H e He) sono stati creati nelle stelle giganti o in supernove.
- La natura non supera U^{238} !



Riassunto e implicazioni per la vita

- Tutti gli atomi della Terra (tranne H e He) sono stati creati nelle stelle giganti o in supernove.
- La natura non supera U^{238} !
- Successi della nucleosintesi stellare.



Riassunto e implicazioni per la vita

- Tutti gli atomi della Terra (tranne H e He) sono stati creati nelle stelle giganti o in supernove.
- La natura non supera U^{238} !
- Successi della nucleosintesi stellare.
- Ritardo necessario tra la vita e l'inizio dell'universo.

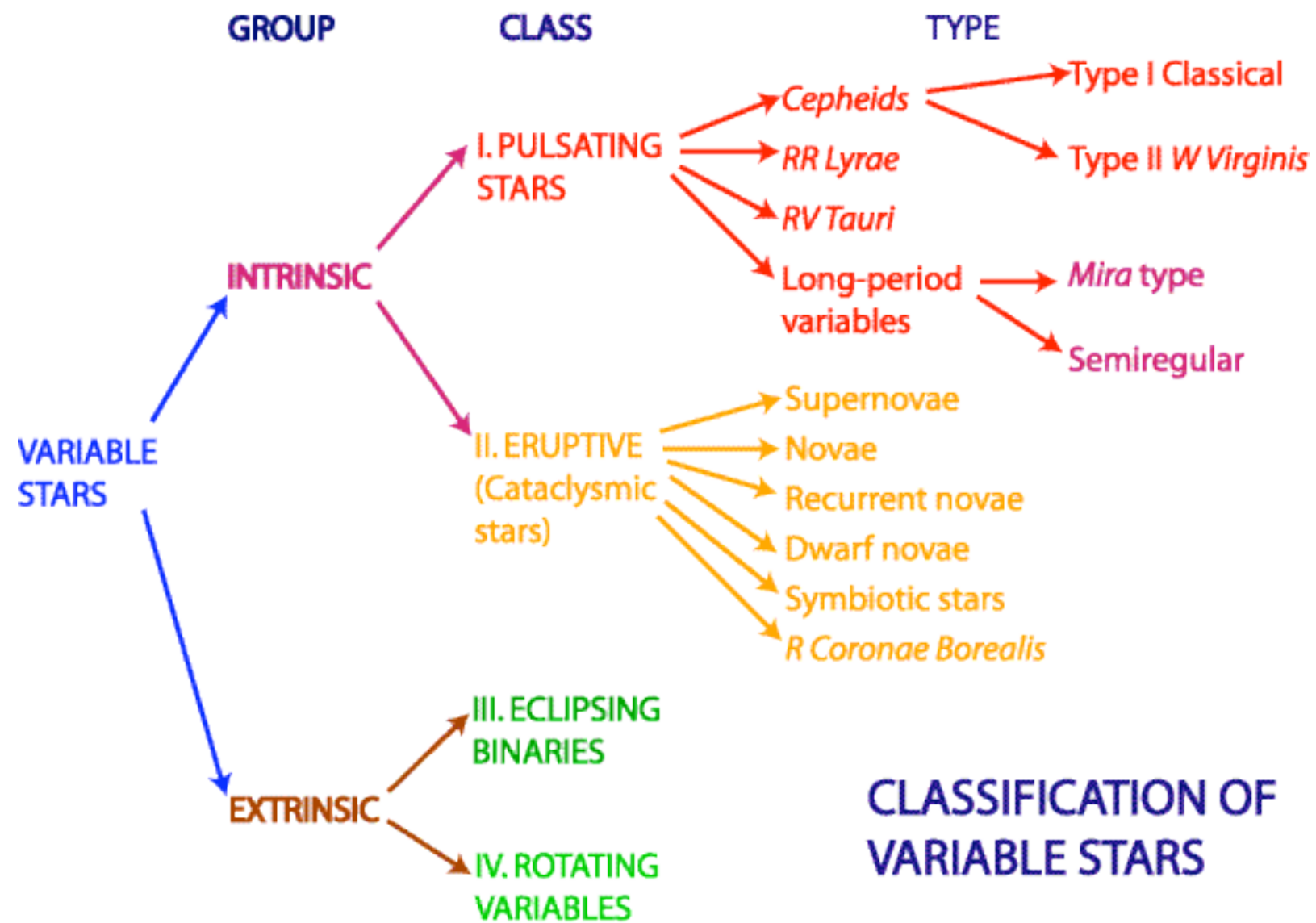


Riassunto e implicazioni per la vita

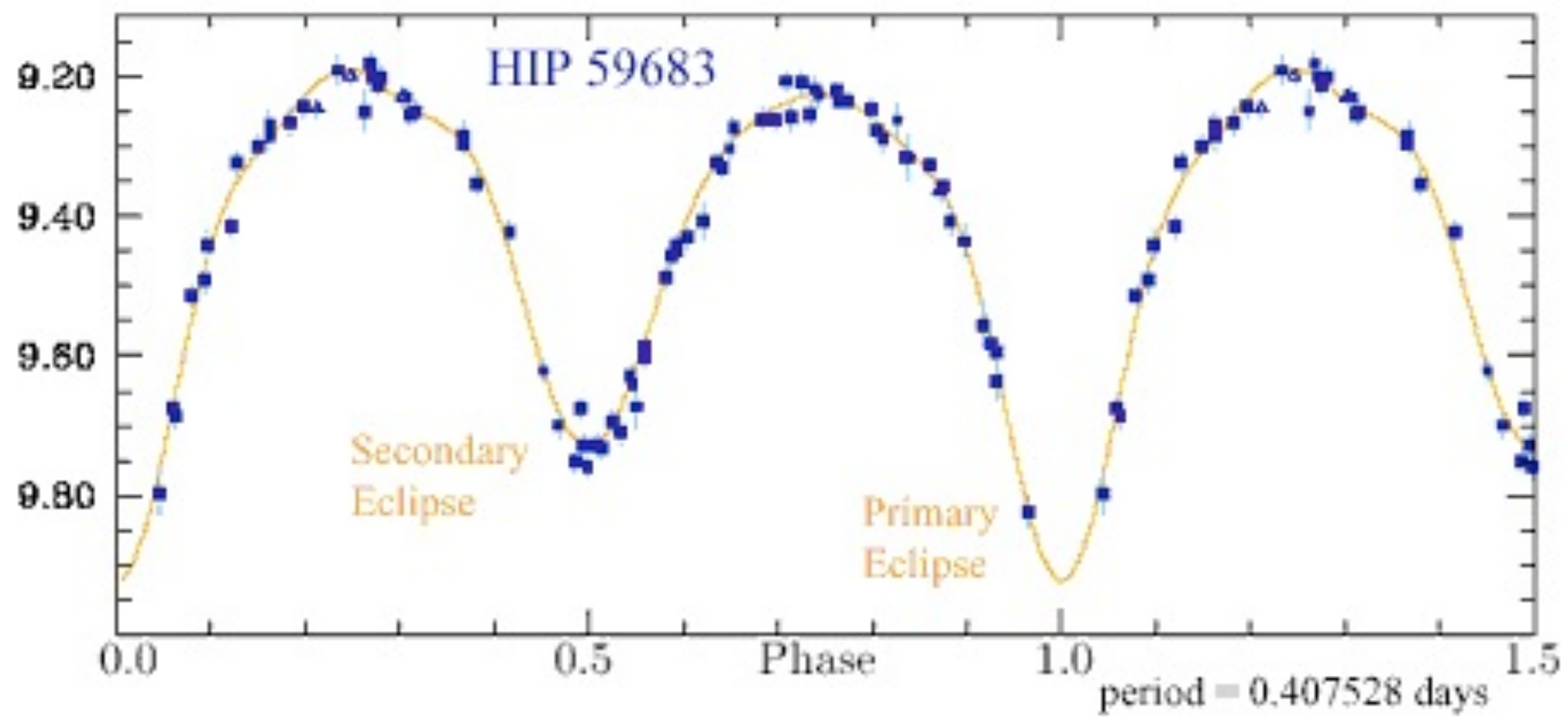
- Tutti gli atomi della Terra (tranne H e He) sono stati creati nelle stelle giganti o in supernove.
- La natura non supera U^{238} !
- Successi della nucleosintesi stellare.
- Ritardo necessario tra la vita e l'inizio dell'universo.
- Comete e stelle massicce: essenziali alla vita, ma anche mortali.



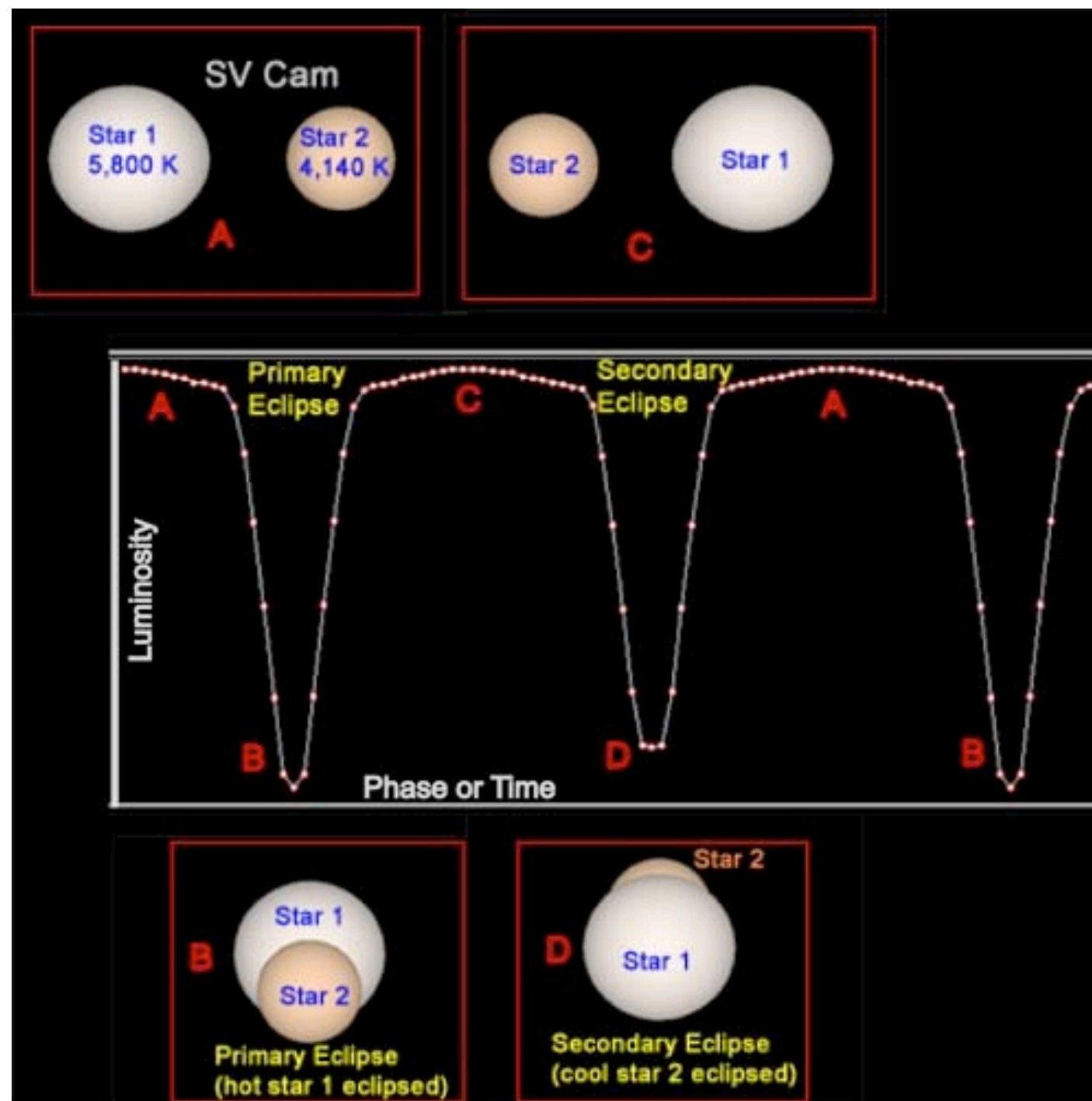
Stelle variabile



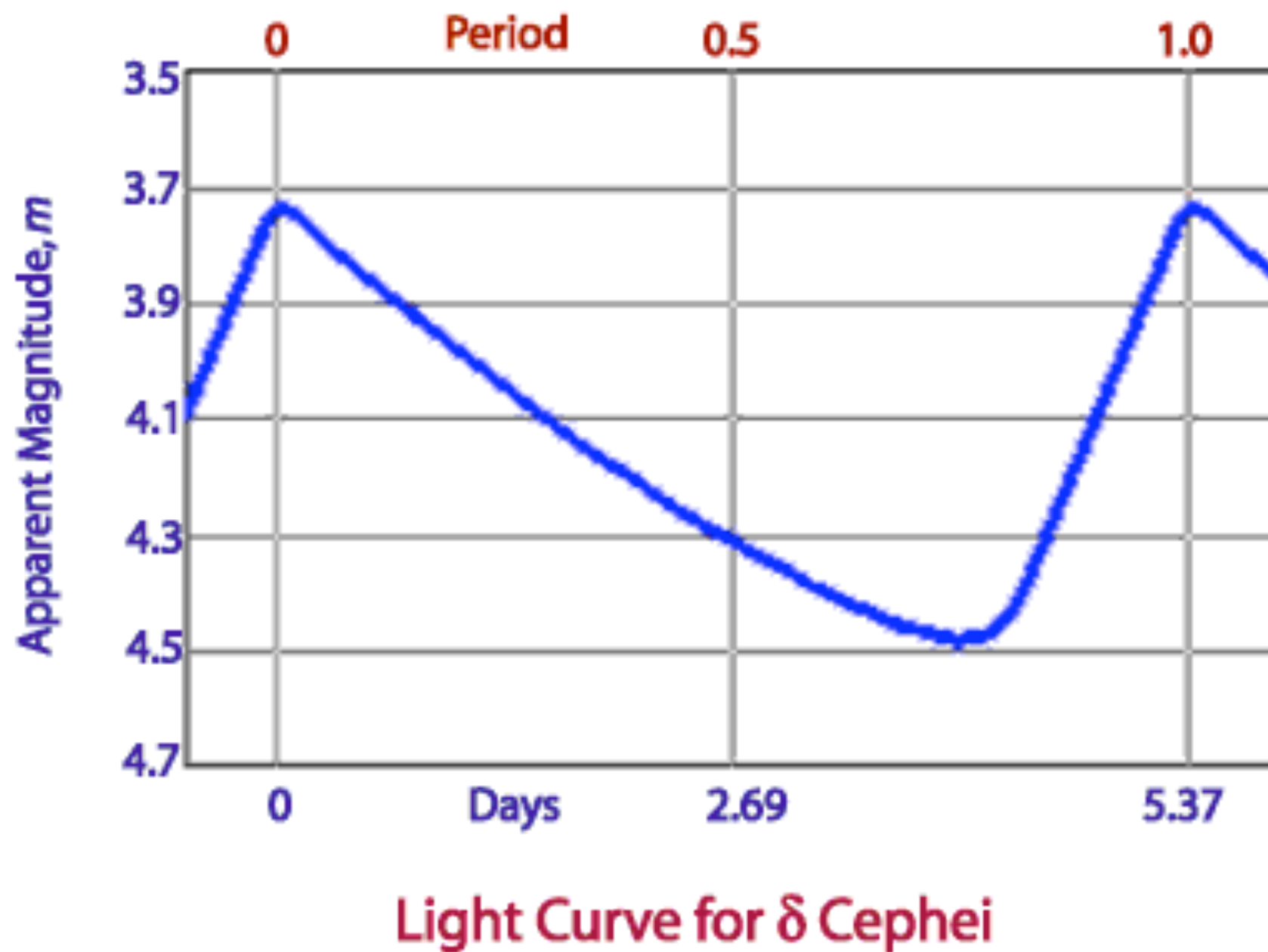
Binarie ad eclisse



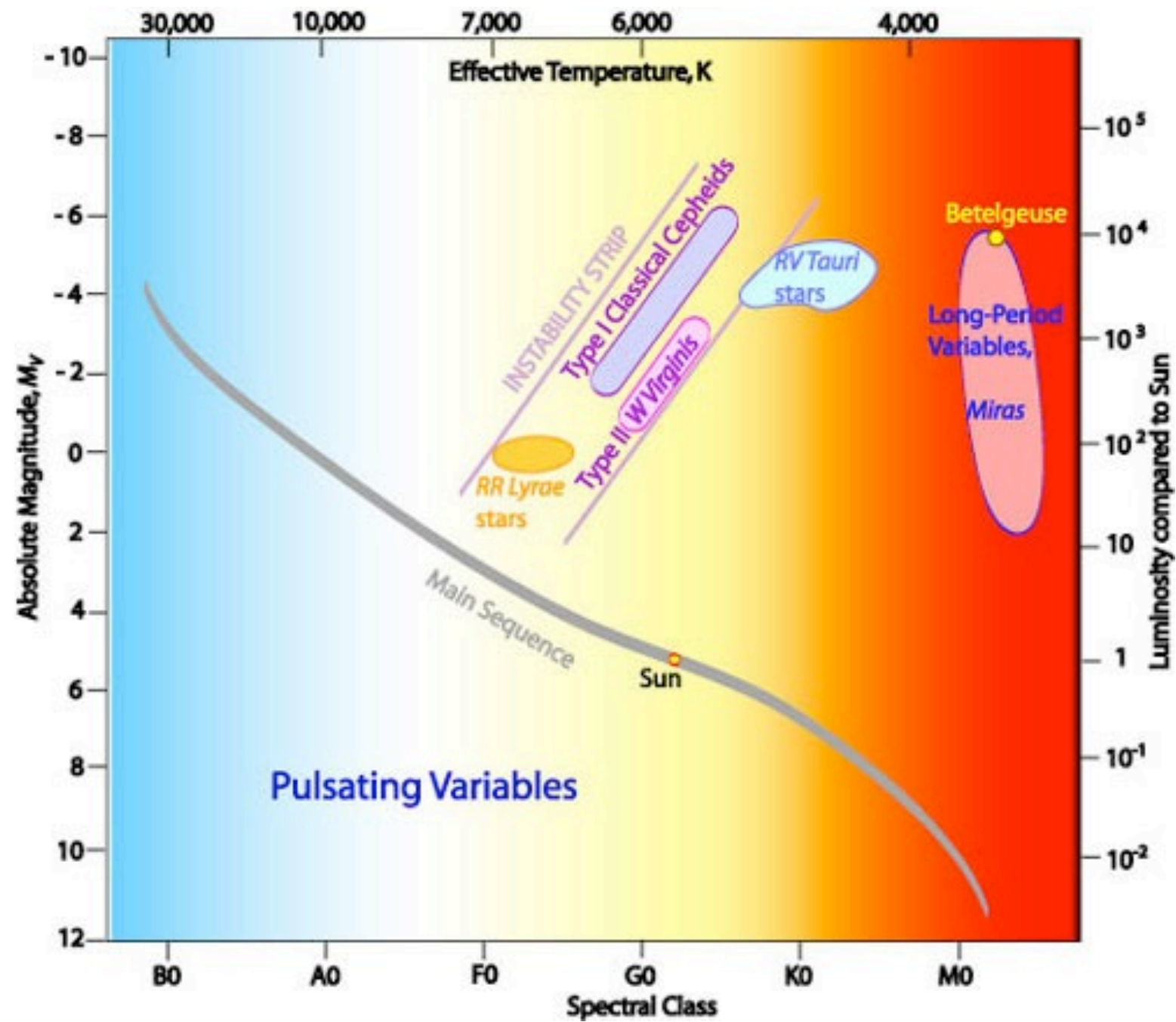
Binarie ad eclisse



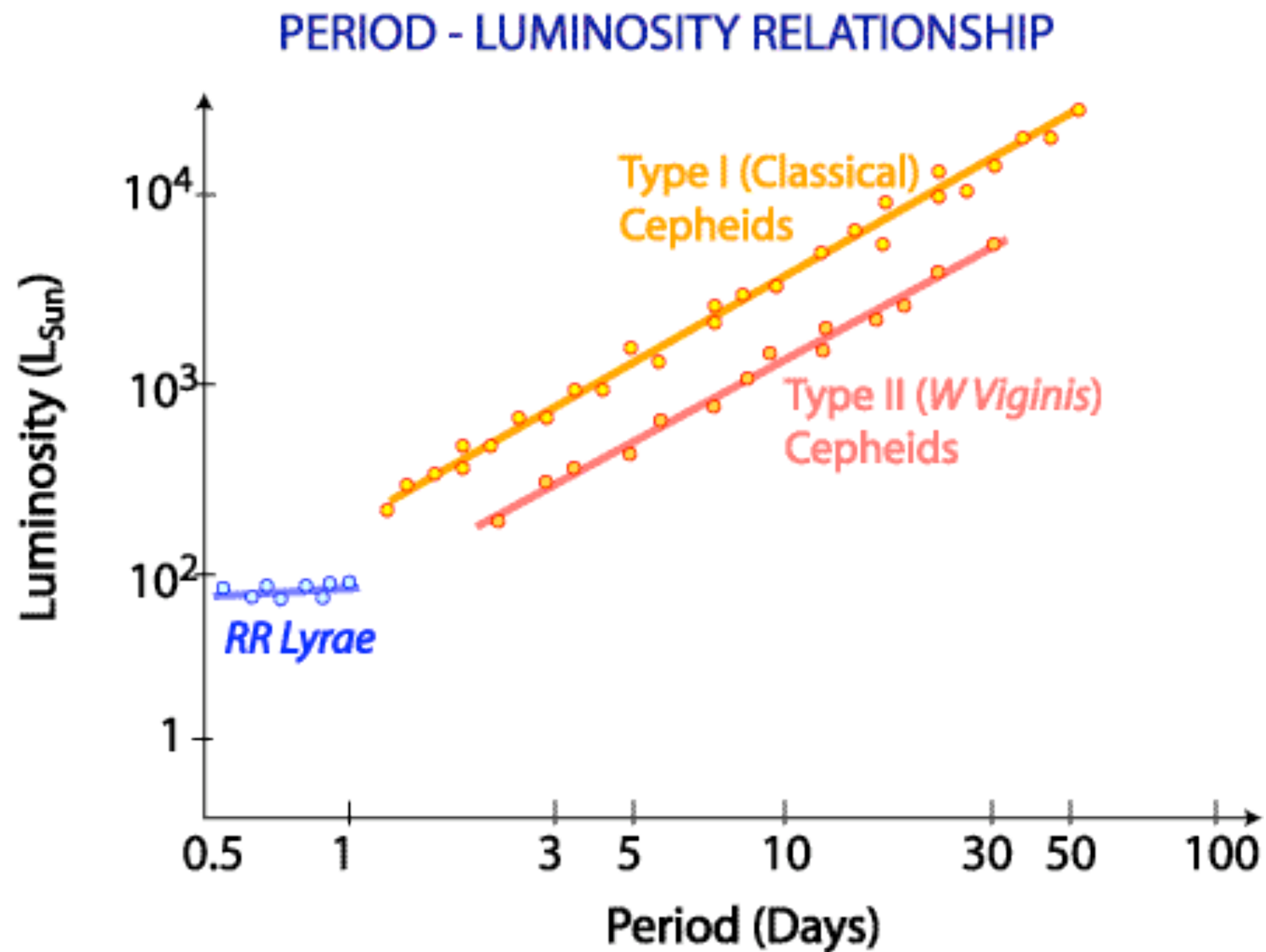
Stelle con pulsazione: variabile cefeide



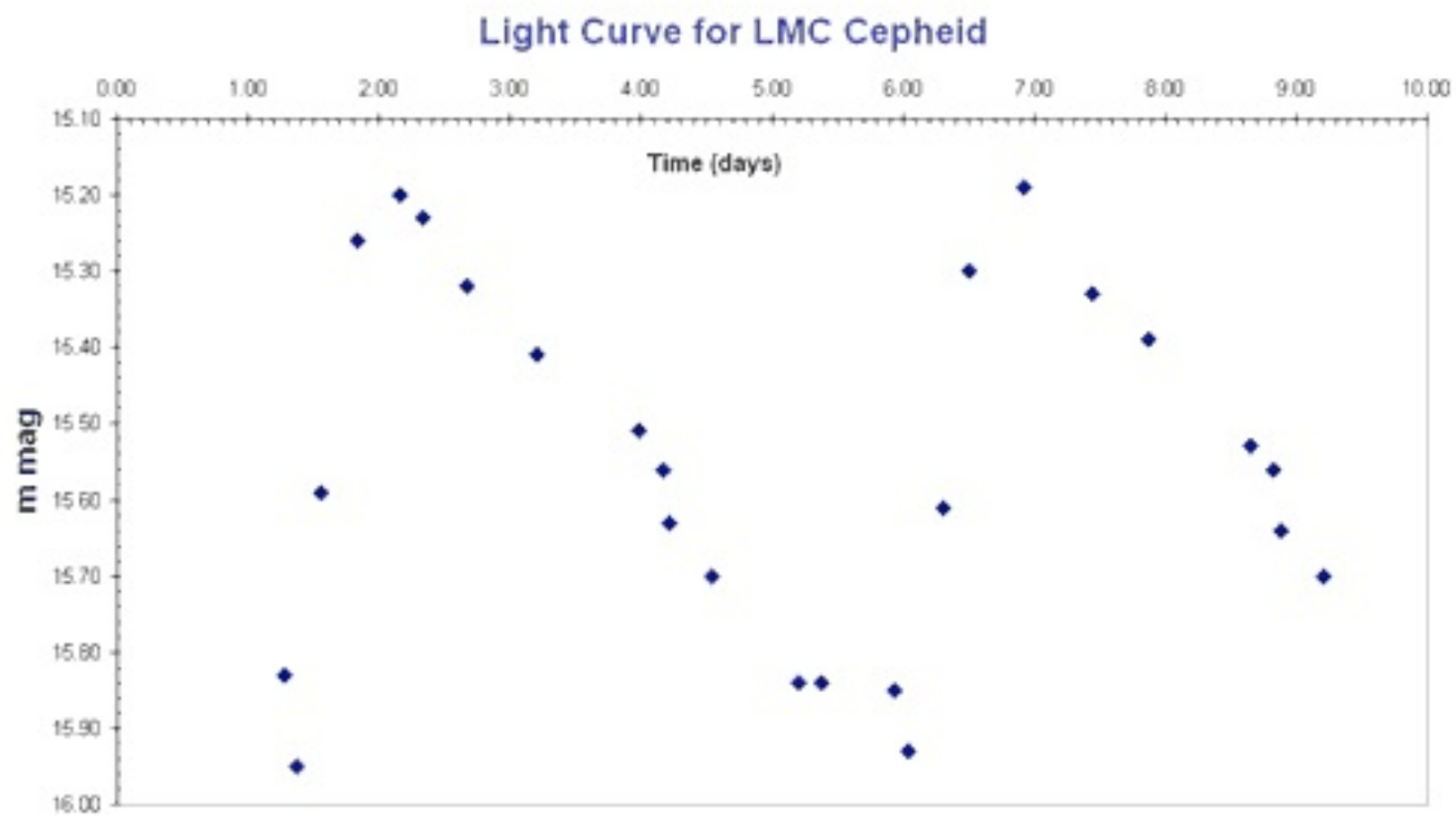
Stelle con pulsazione: variabile cefeide



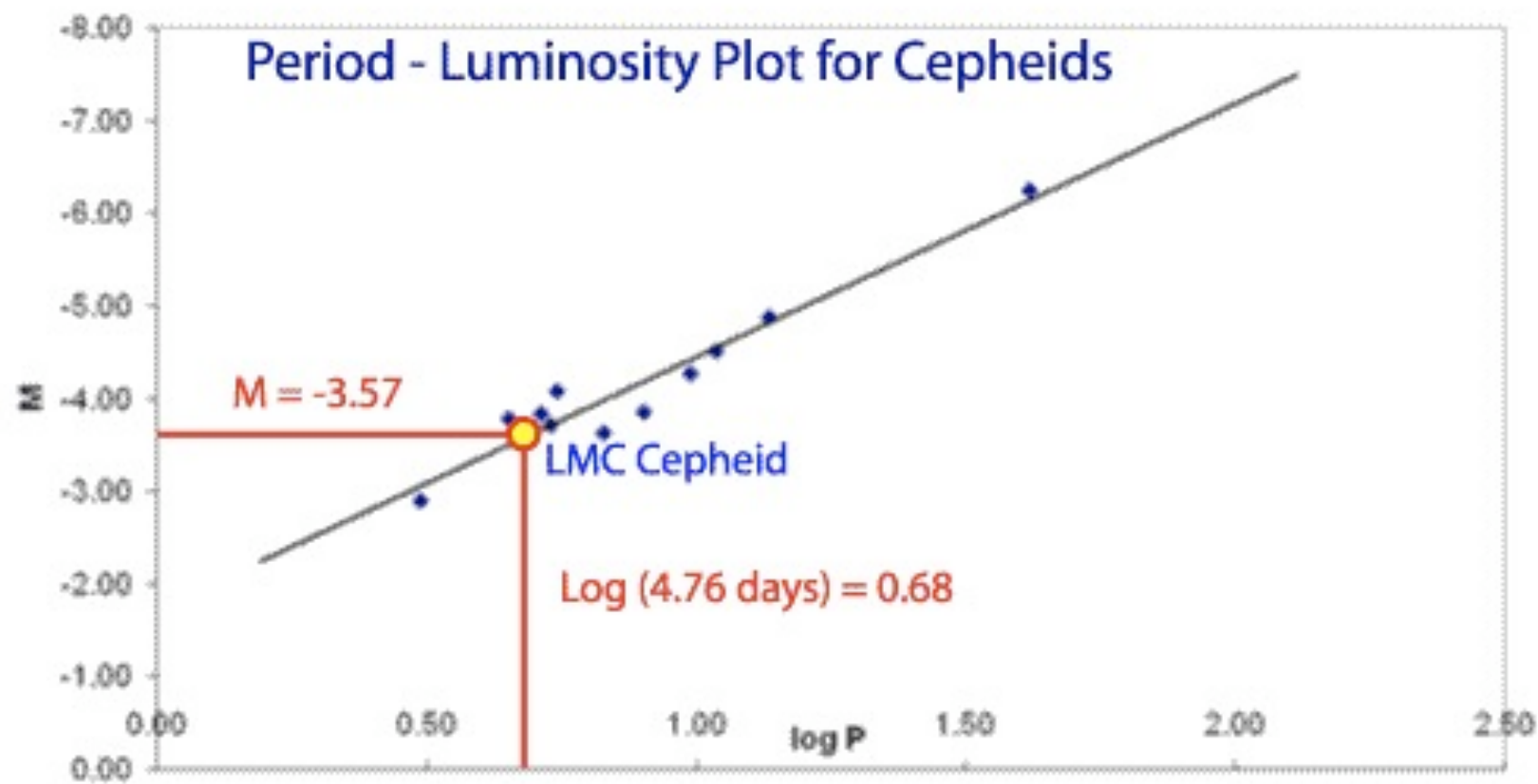
Calcolare la distanza delle cefeide



Calcolare la distanza delle cefeide

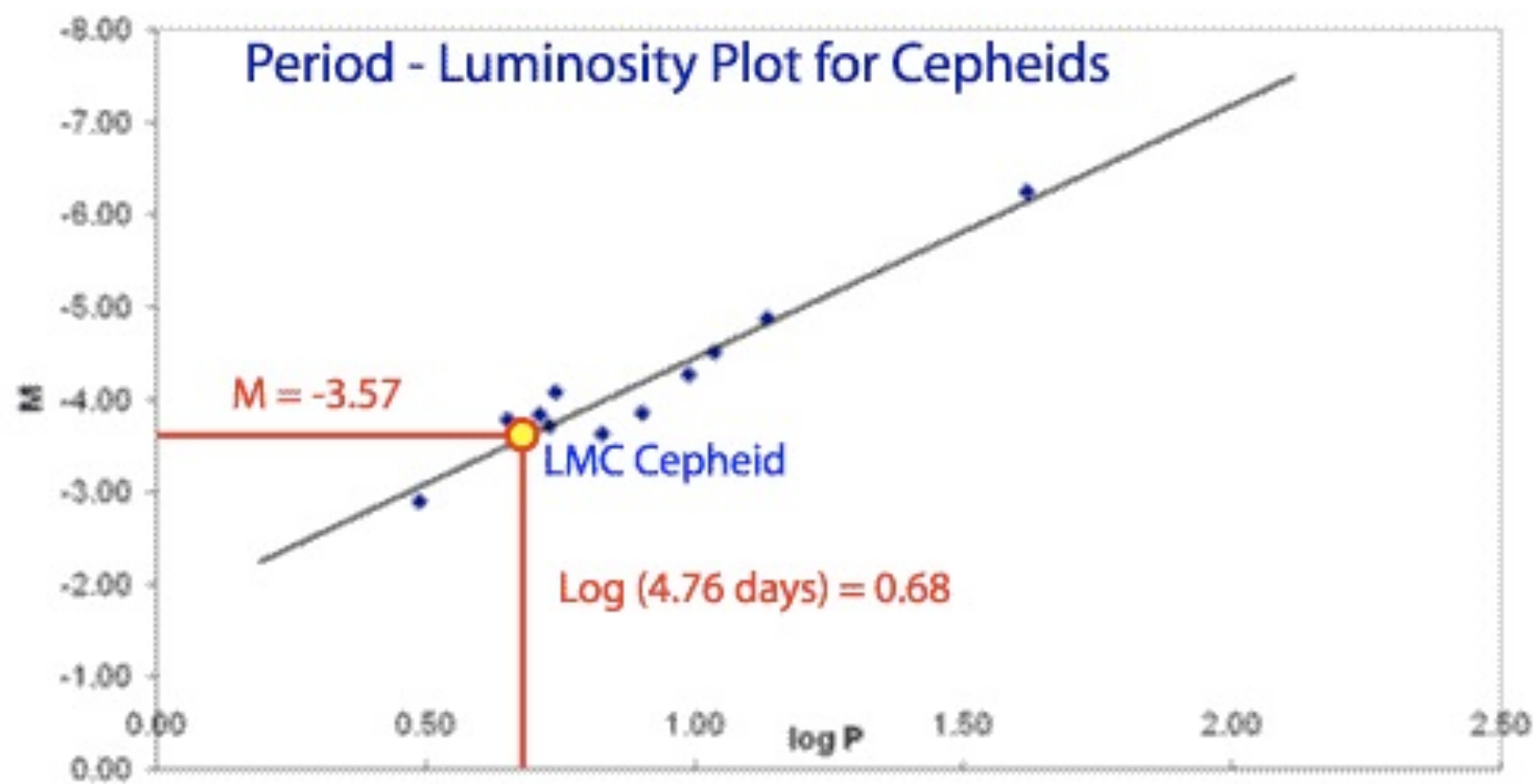


Calcolare la distanza delle cefeide



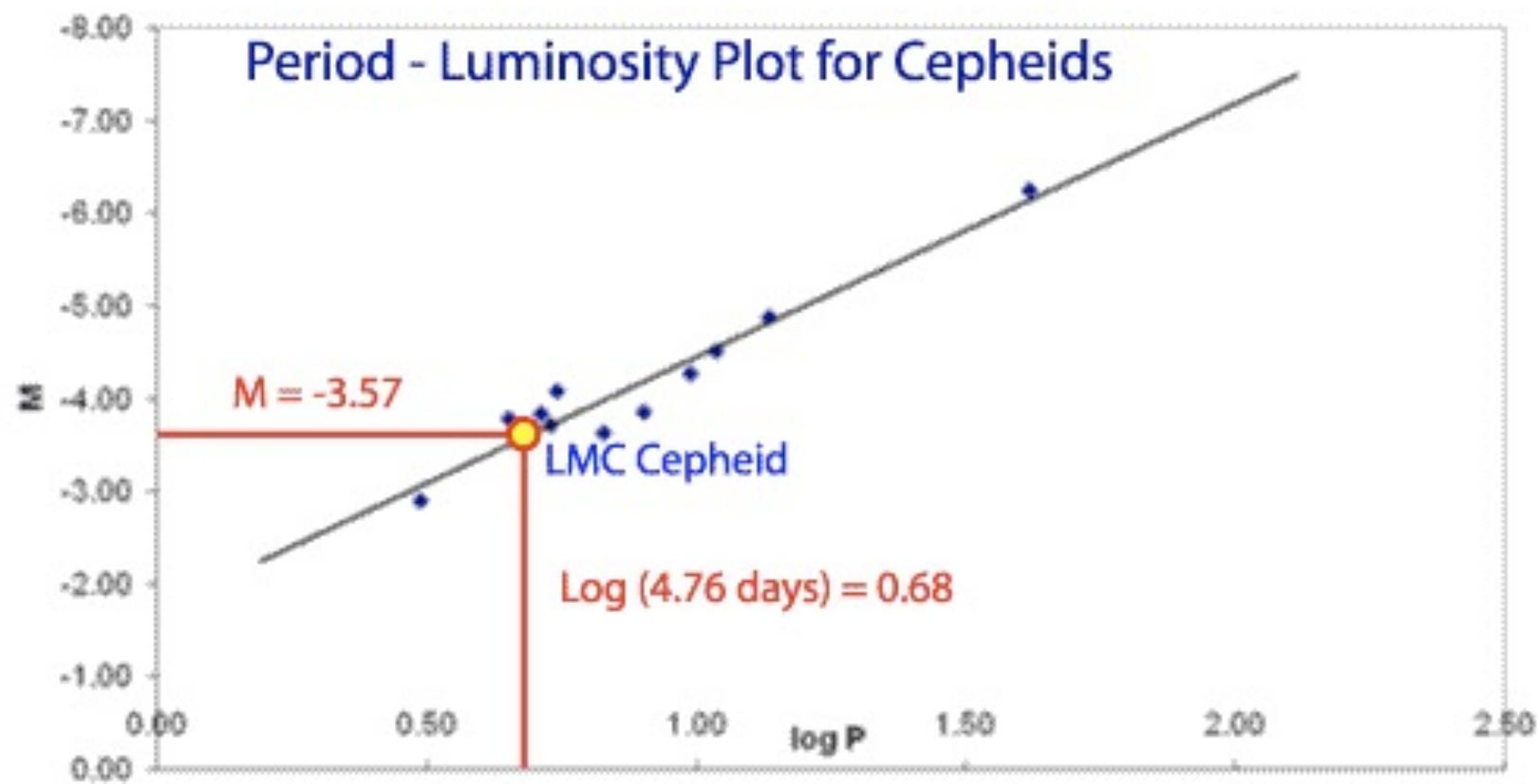
Calcolare la distanza delle cefeide

- magnitudine apparente media: $m = 15.56$



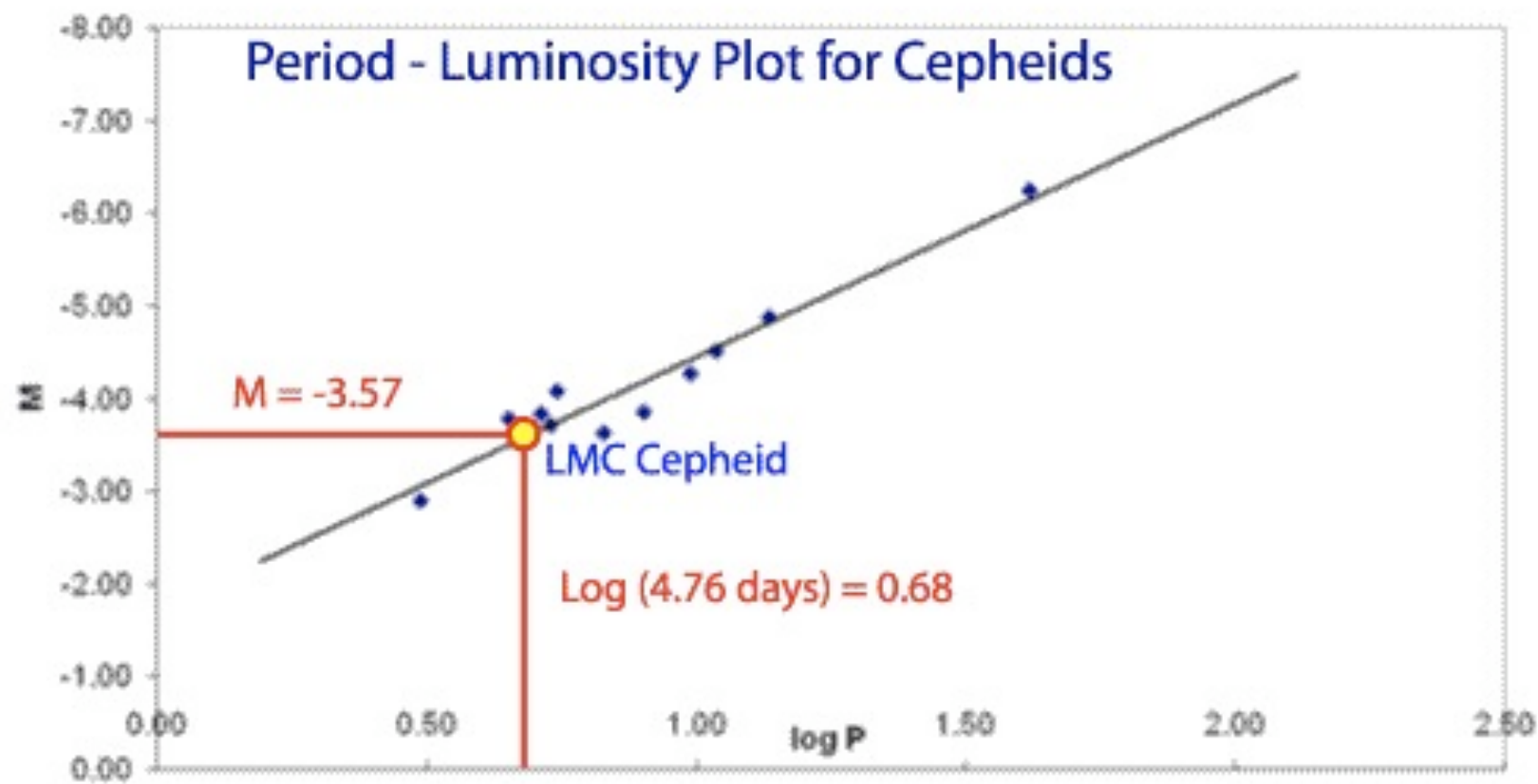
Calcolare la distanza delle cefeide

- magnitudine apparente media: $m = 15.56$



- $m - M = 5 \log (d/10) \Rightarrow$
 $d = 10^{(m-M+5)/5}$

Calcolare la distanza delle cefeide

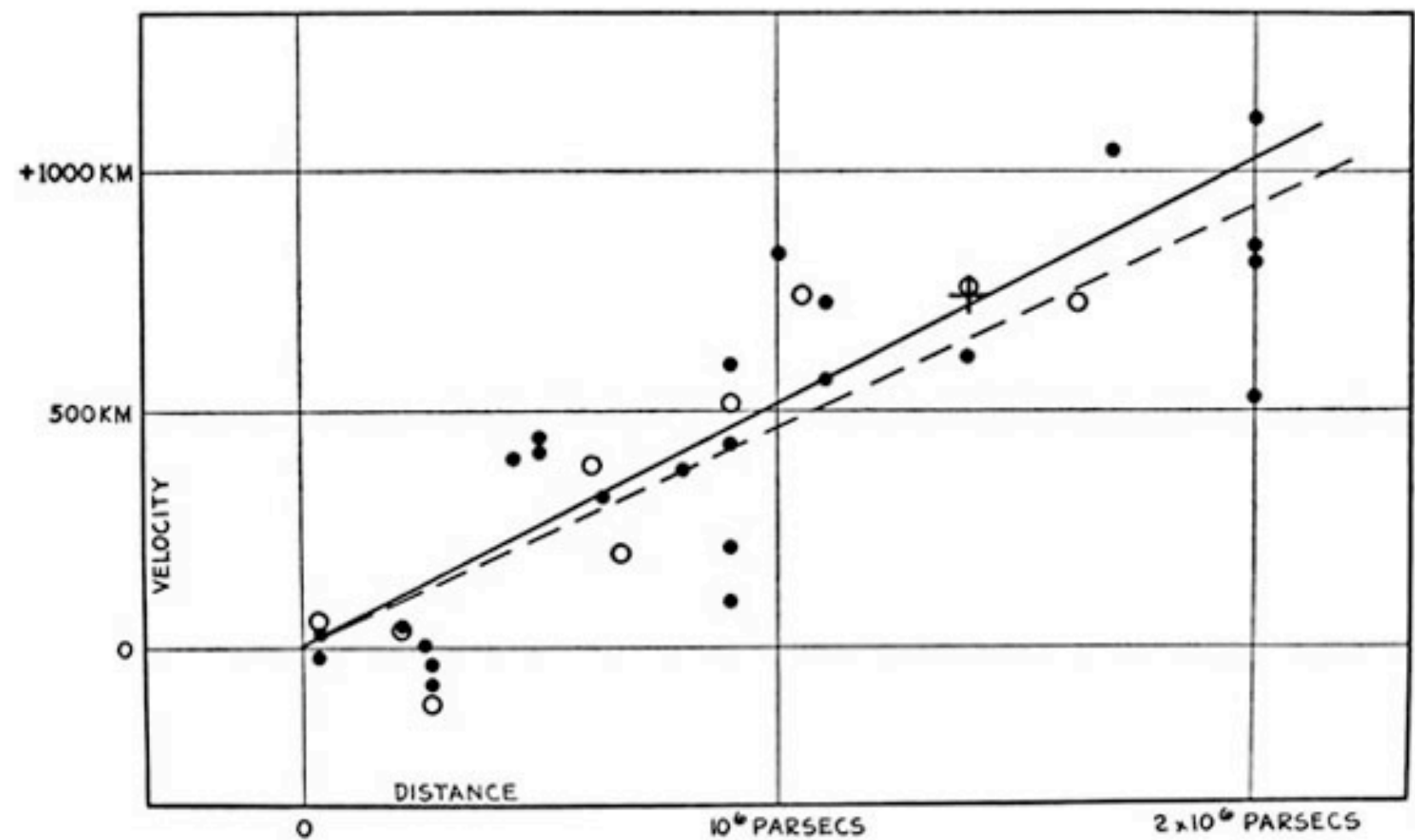


- magnitudine apparente media: $m = 15.56$
- $m - M = 5 \log (d/10) \Rightarrow$
 $d = 10^{(m-M+5)/5}$
- con $M = -3.57$,
 $d = 68'230 \text{ pc}$
 $d = 222'000 \text{ anni luce}$

Misurare H_0 con le cefeide

$$v = H_0 \cdot d$$

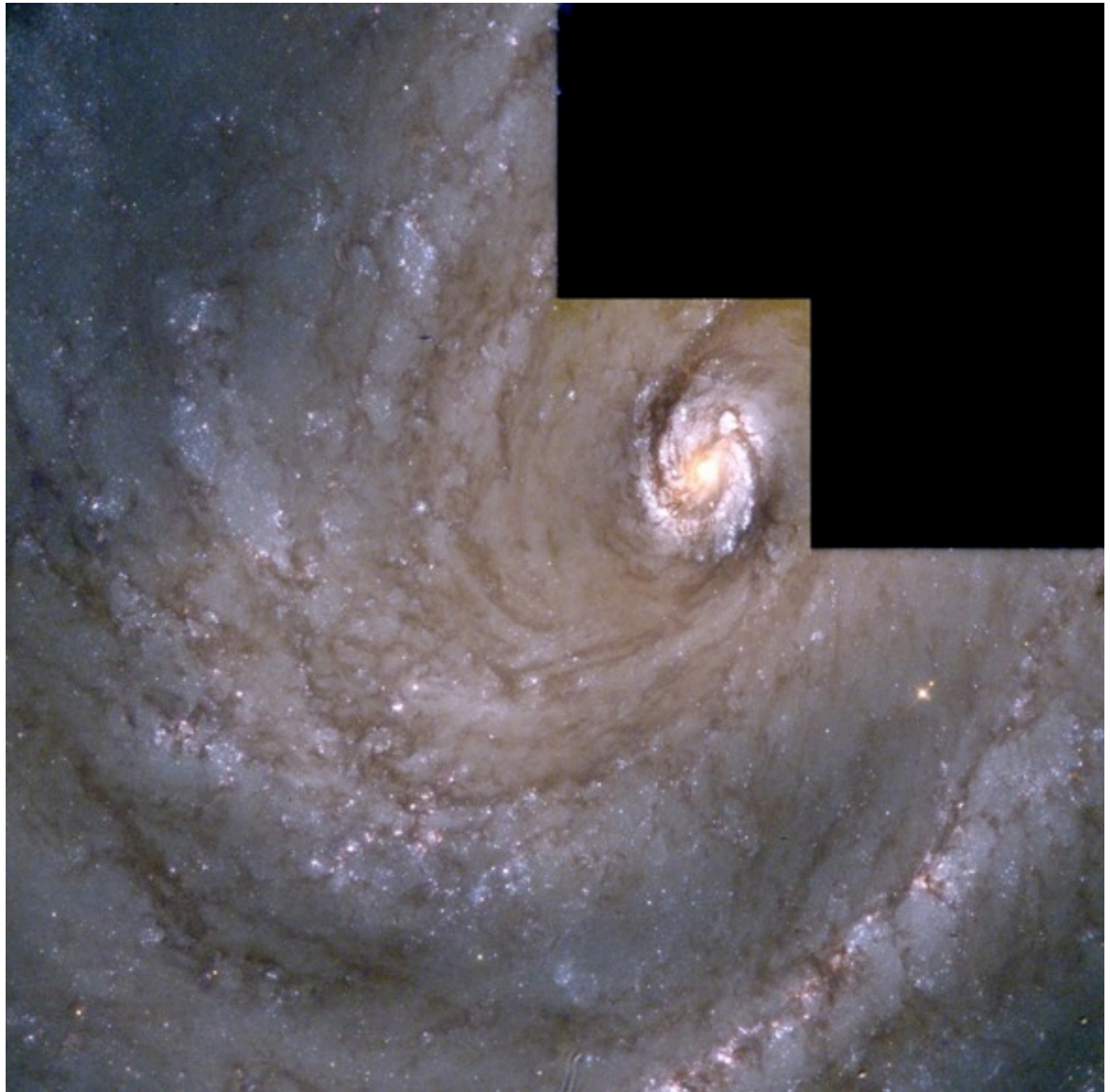
$$t_0 \approx 1/H_0$$



Misurare H_0 con le cefeide

$$v = H_0 \cdot d$$

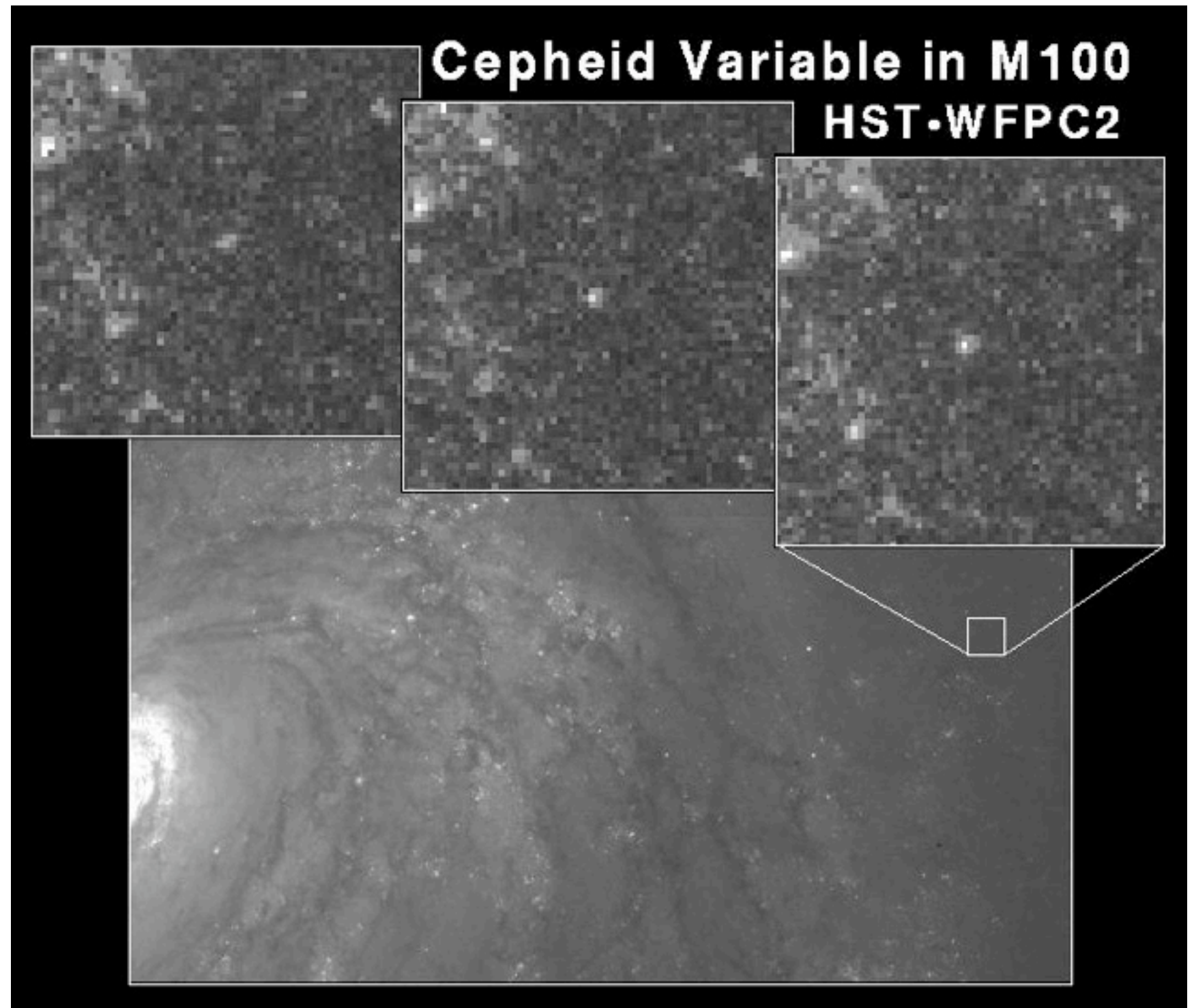
$$t_0 \approx 1/H_0$$



Misurare H_0 con le cefeide

$$v = H_0 \cdot d$$

$$t_0 \approx 1/H_0$$



Misurare H_0 con le cefeide

$$v = H_0 \cdot d$$

$$t_0 \approx 1/H_0$$

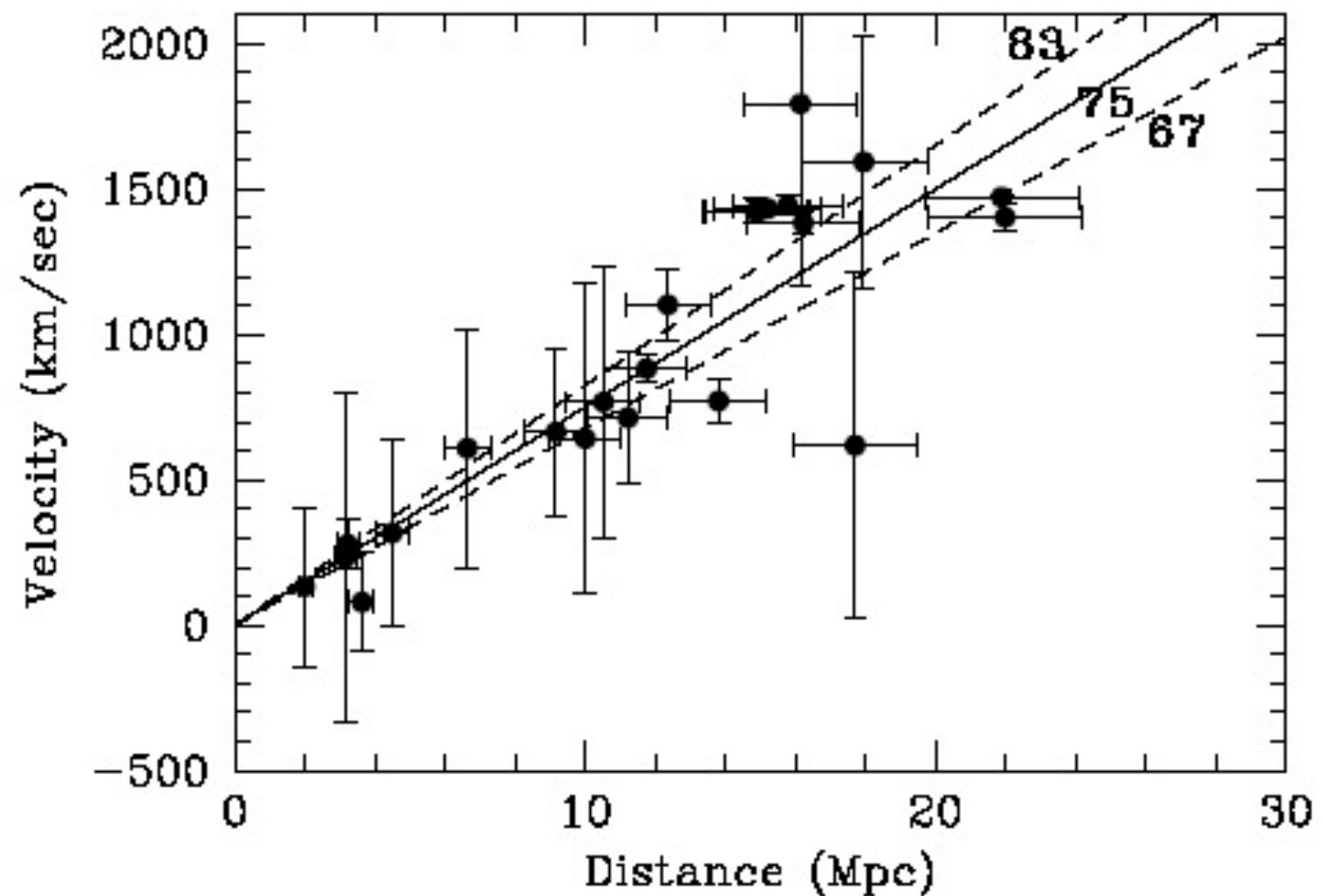
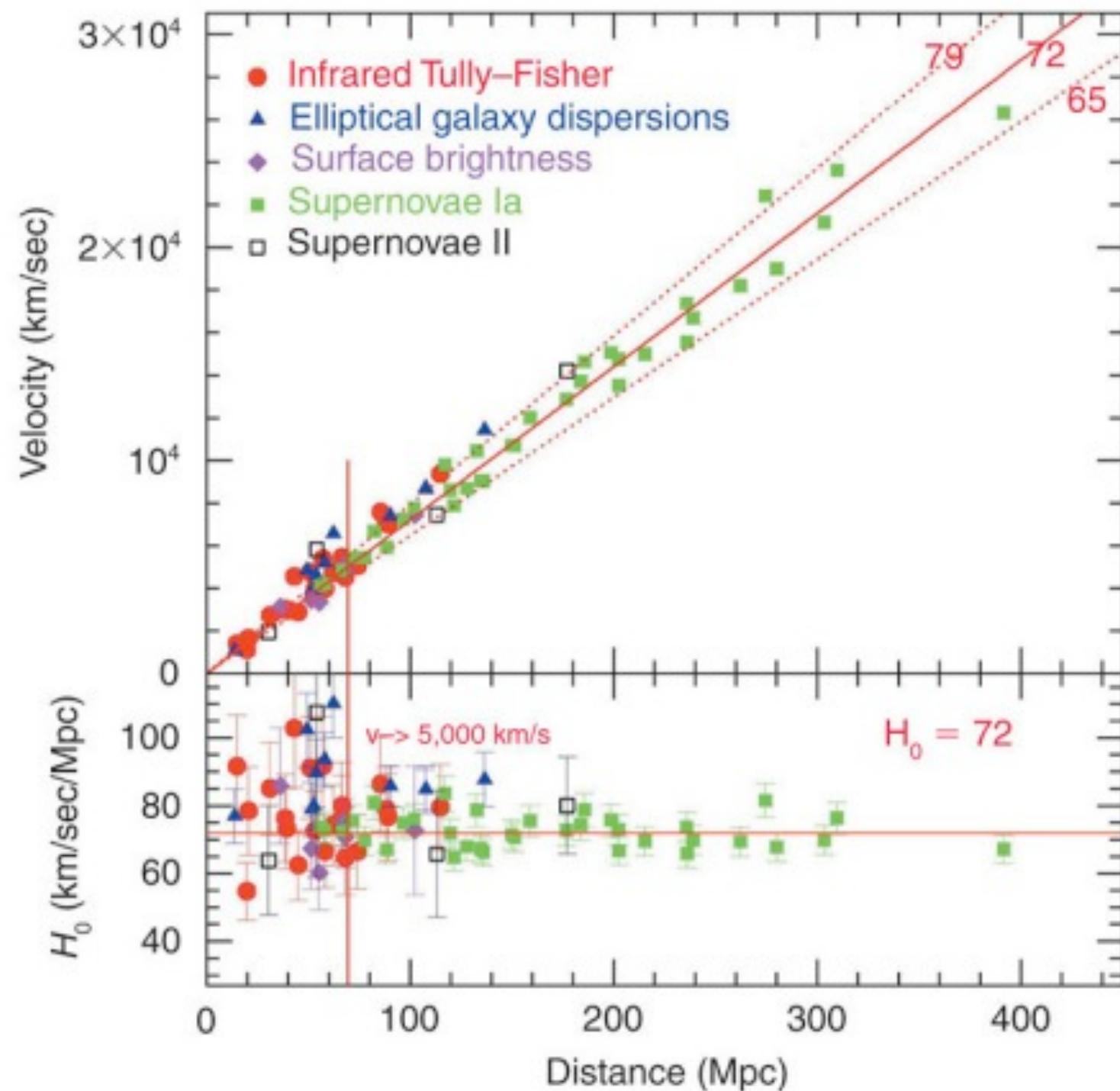


FIG. 1.—Velocity vs. distance for galaxies with Cepheid distances. Velocities in this plot have been corrected using the flow model described in Mould et al. (2000a). The Cepheid distances have been corrected for metallicity. A formal fit to these data yields a slope of $H_0 = 75 \pm 10$ (random) $\text{km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$, in good agreement, to within the uncertainties, with the value of H_0 obtained for methods that extend to much greater distances.

Misurare H_0 con le cefeide

$$v = H_0 \cdot d$$

$$t_0 \approx 1/H_0$$



B

(Wendy L. Freedman, Observatories of the Carnegie Institution of Washington, and NASA)

Capitolo 3: Galassie

Galassie a disco



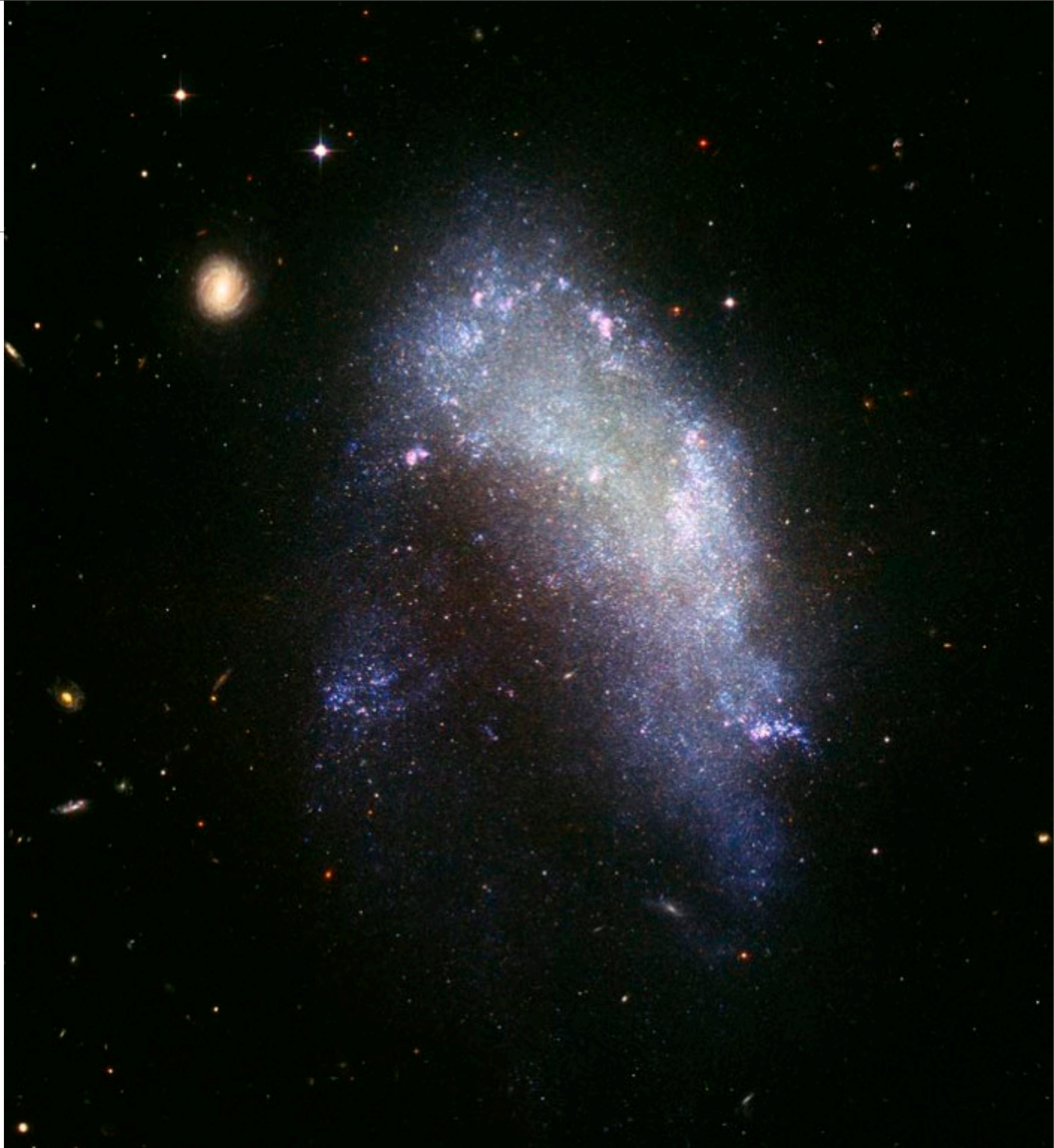
Galassie

Galassie ellittiche

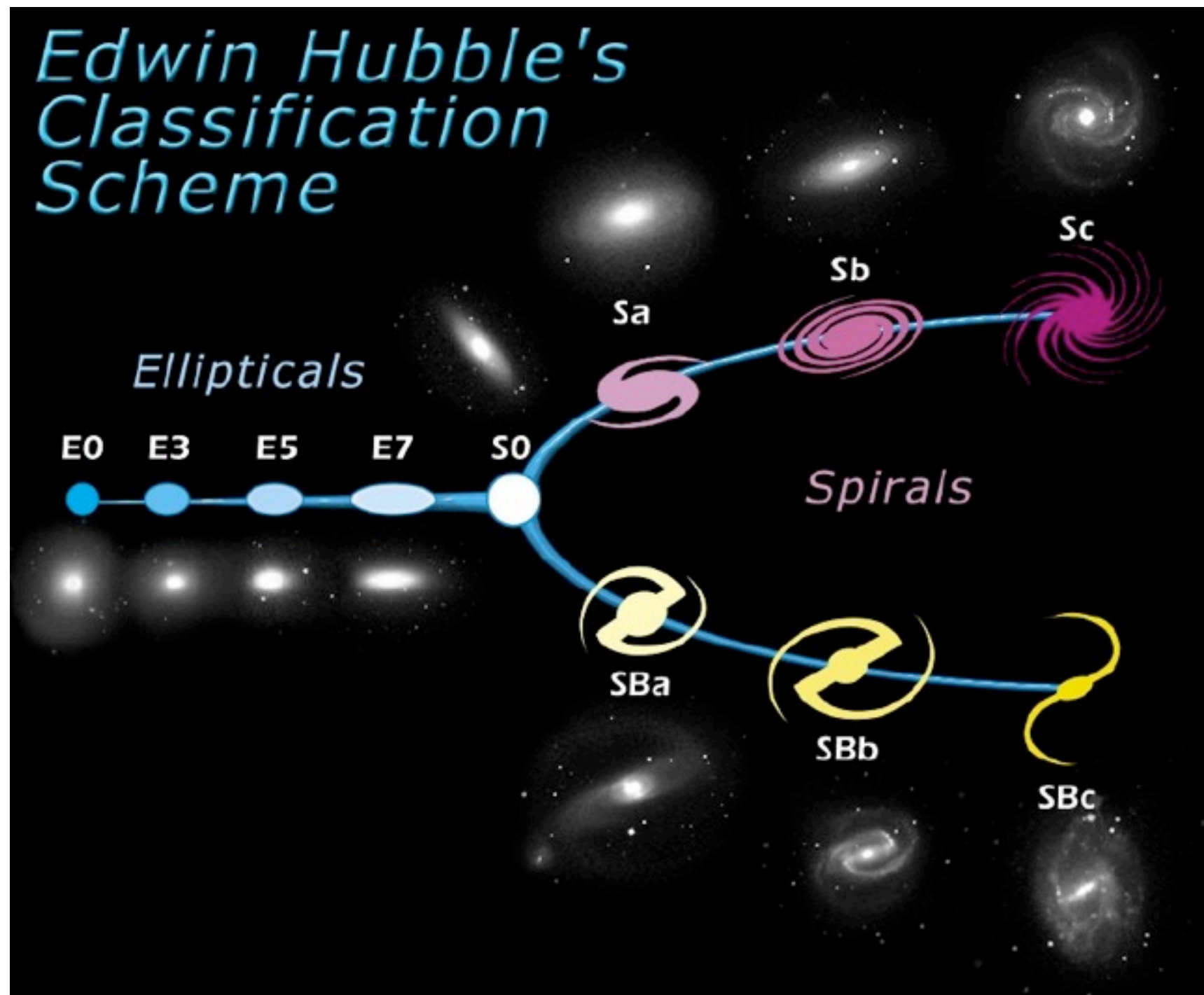


Galassie

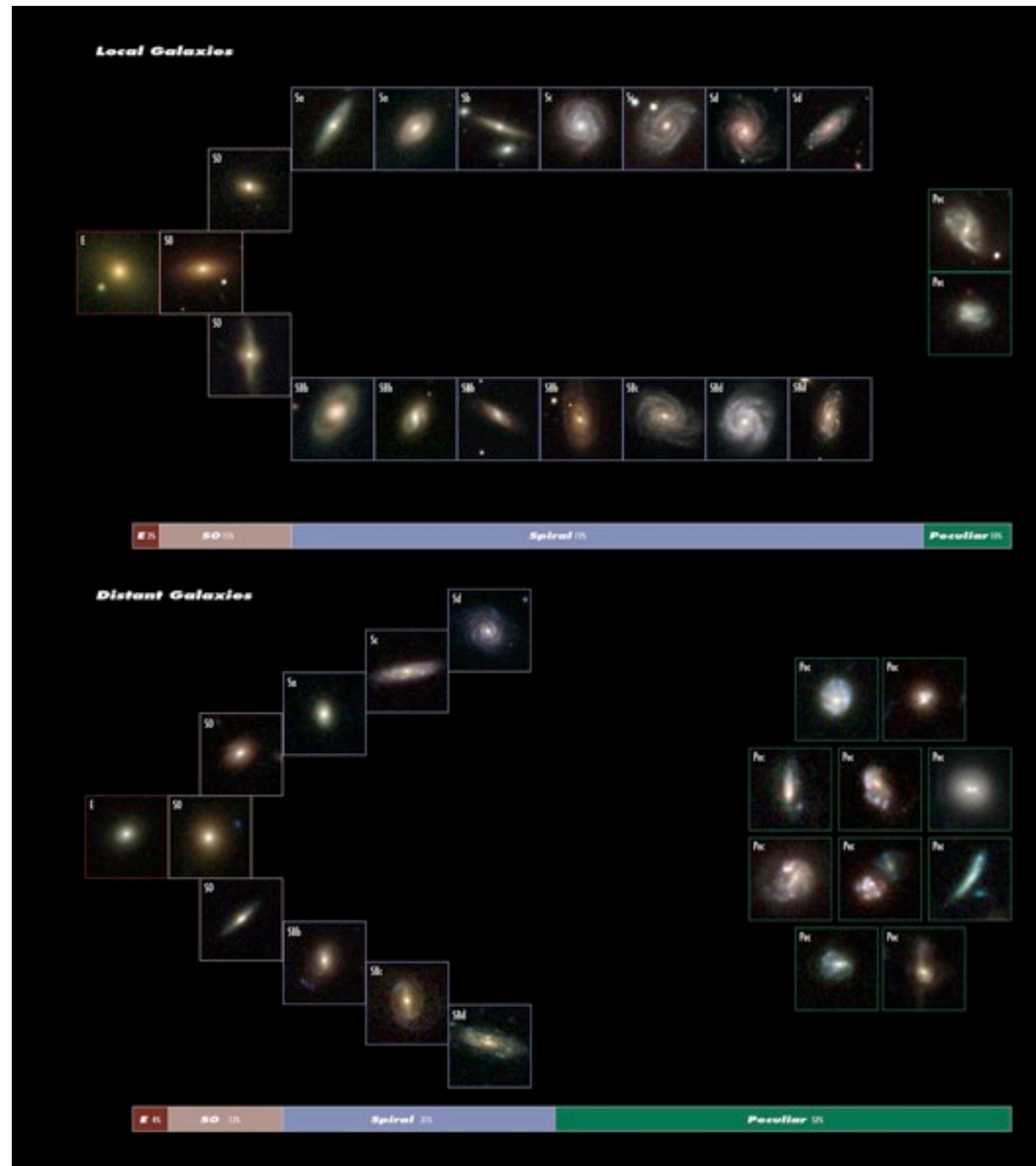
Galassie irregolari



Classificazione di galassie



Classificazione di galassie



Galassie a disco



Galassie a disco



Galassie a disco



Galassie a disco



Galassie a disco



Galassie a disco: NGC 4945

Galassie a disco: NGC 4945



Galassie a disco con barre



Galassie a disco con barre



Galassie a disco con barre



Galassie a disco con barre

Barred Spiral Galaxy NGC 1300



Hubble
Heritage





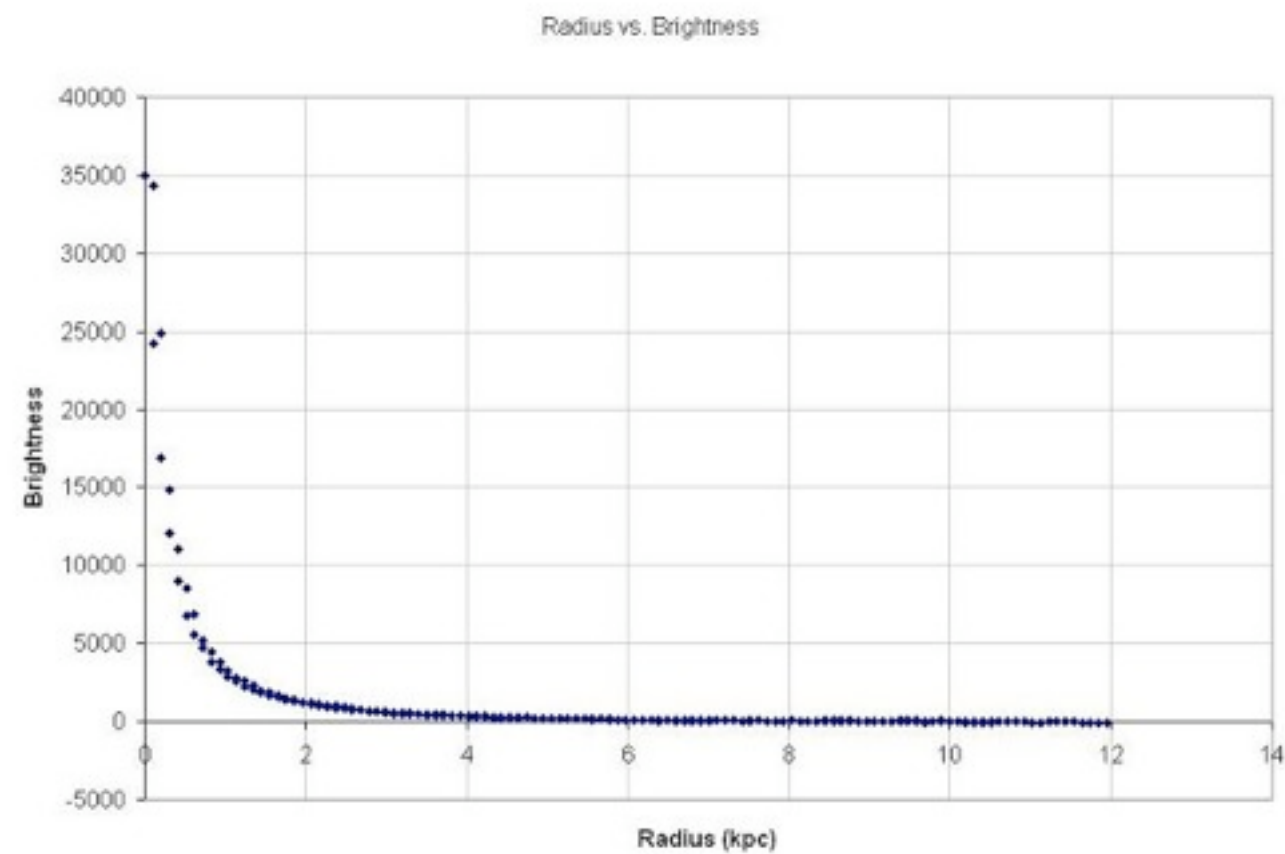
Profili di densità di galassie

Galassia ellittica M59



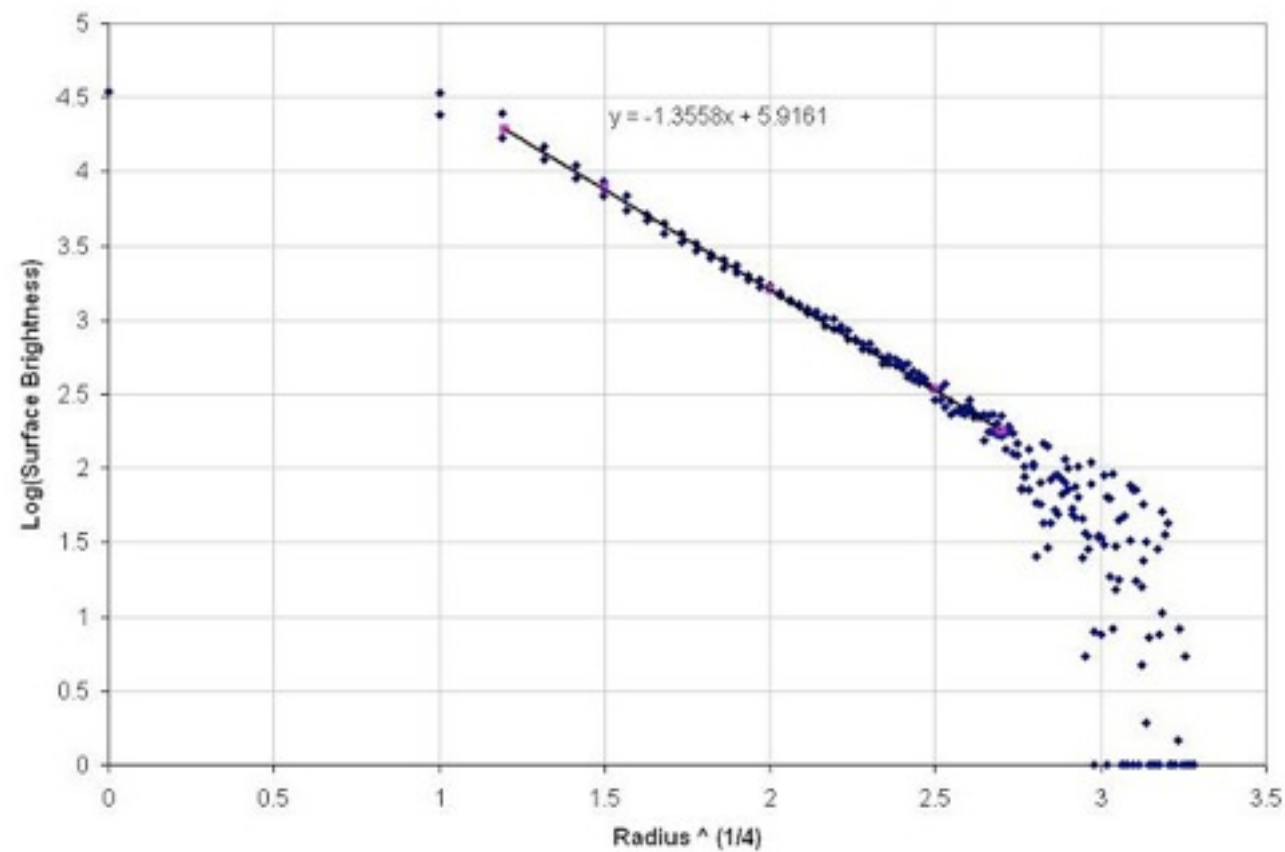
Profili di densità di galassie

Galassia ellittica M59



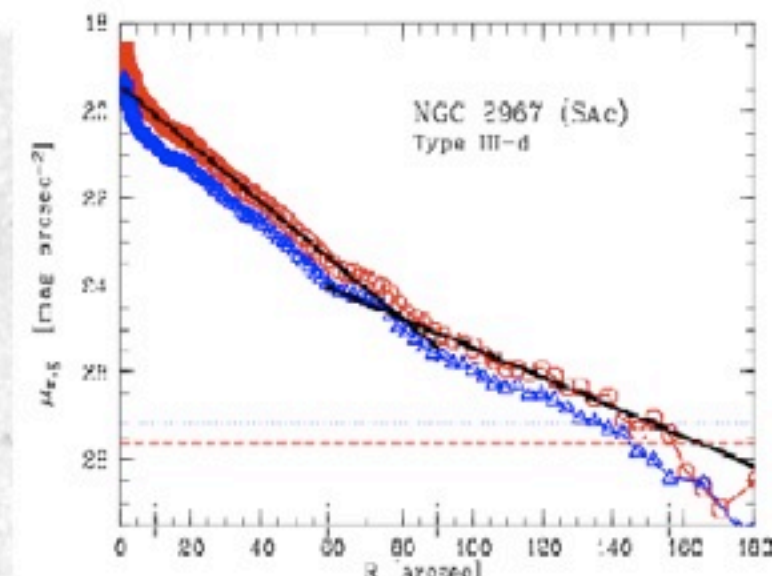
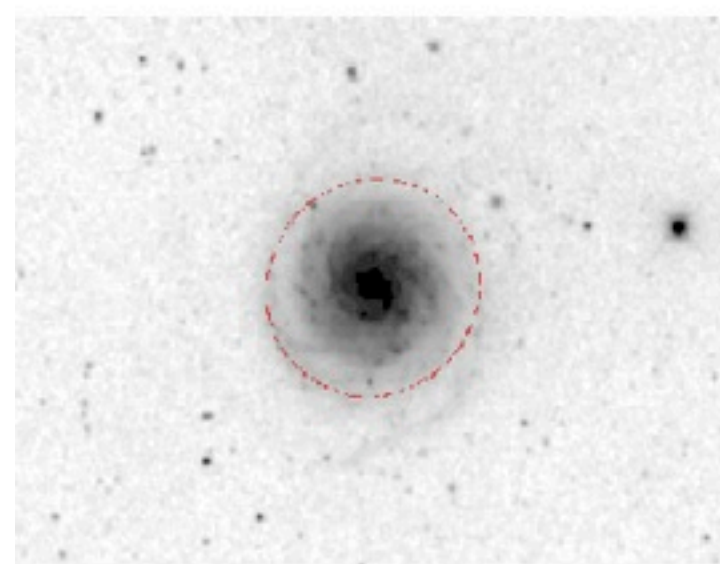
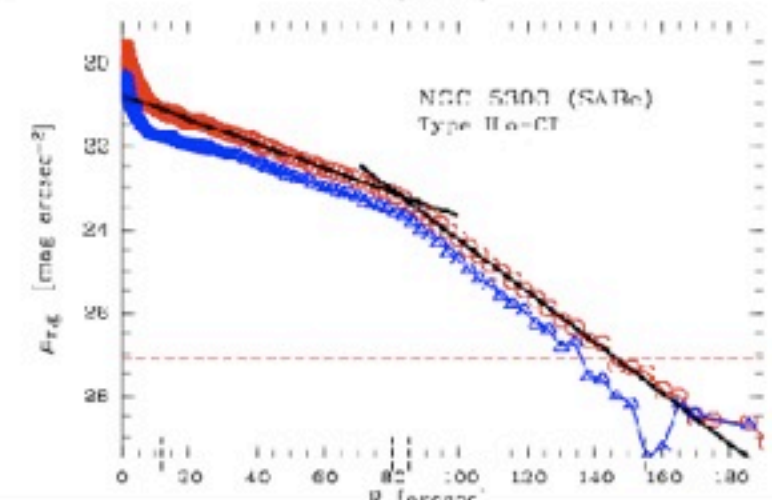
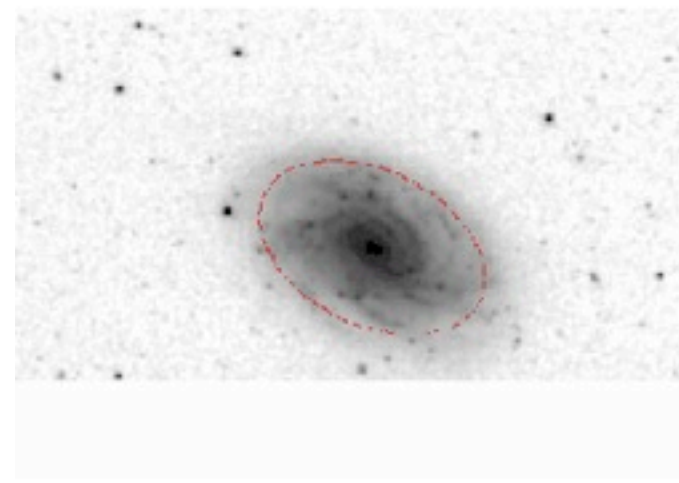
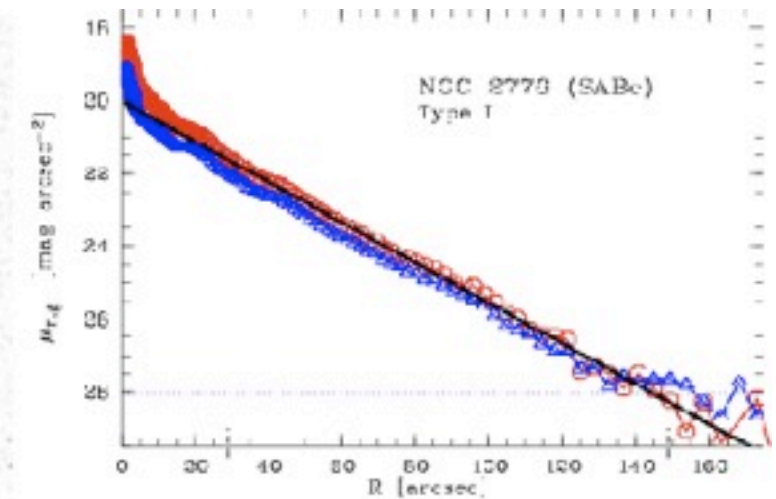
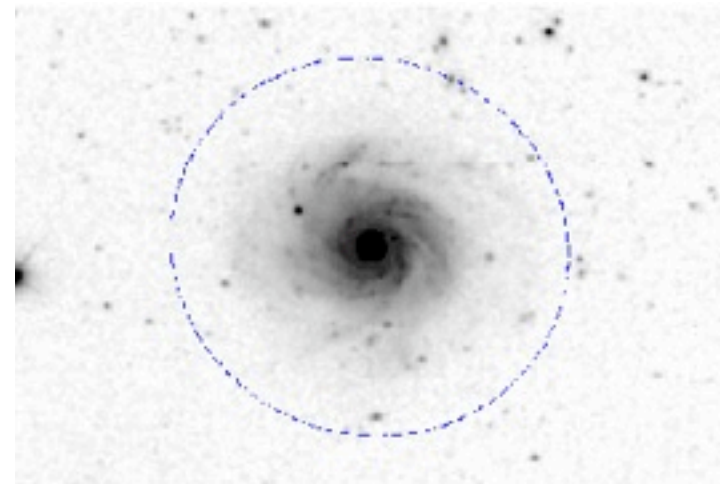
Profili di densità di galassie

Galassia ellittica M59



Profili di densità di galassie

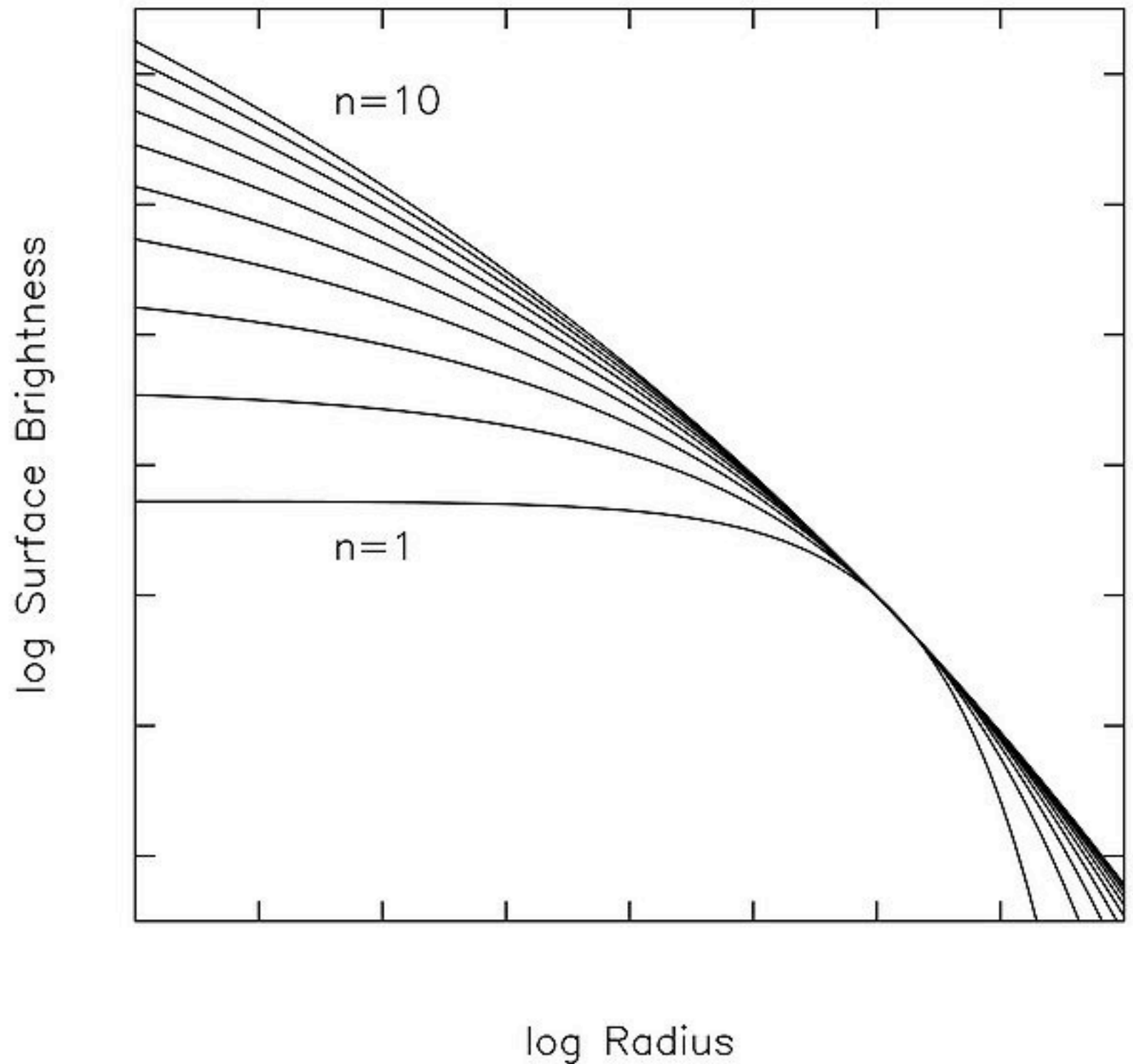
Galassia a disco



Profili di densità di galassie

Sersic's profile:

$$I(R) = I_0 \cdot e^{-kR^{1/n}}$$



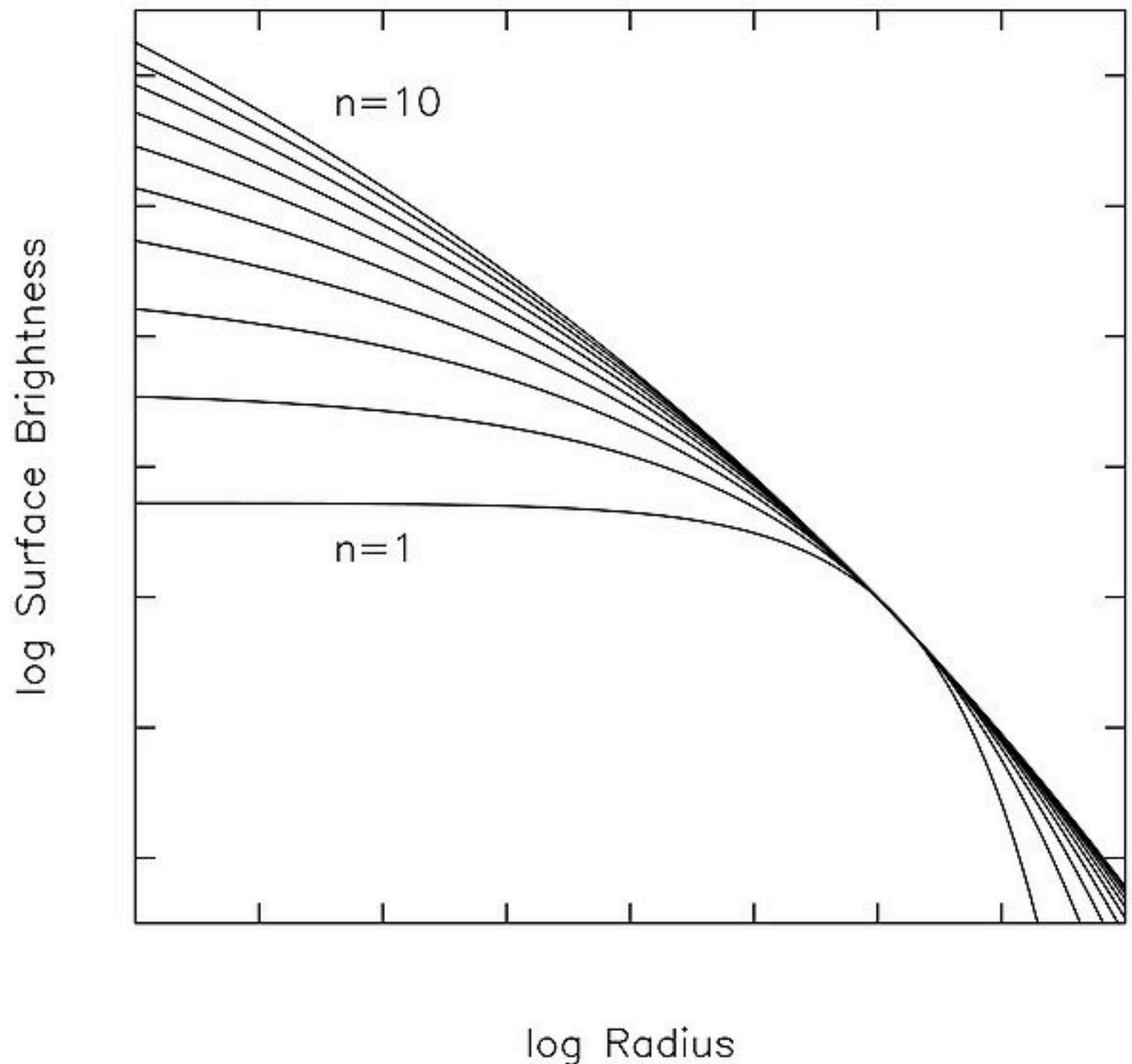
Profili di densità di galassie

Sersic's profile:

$$I(R) = I_0 \cdot e^{-kR^{1/n}}$$

Galassie ellittiche: $n=4$

$$I(R) = I_0 \cdot e^{-kR^{1/4}}$$



Profili di densità di galassie

Sersic's profile:

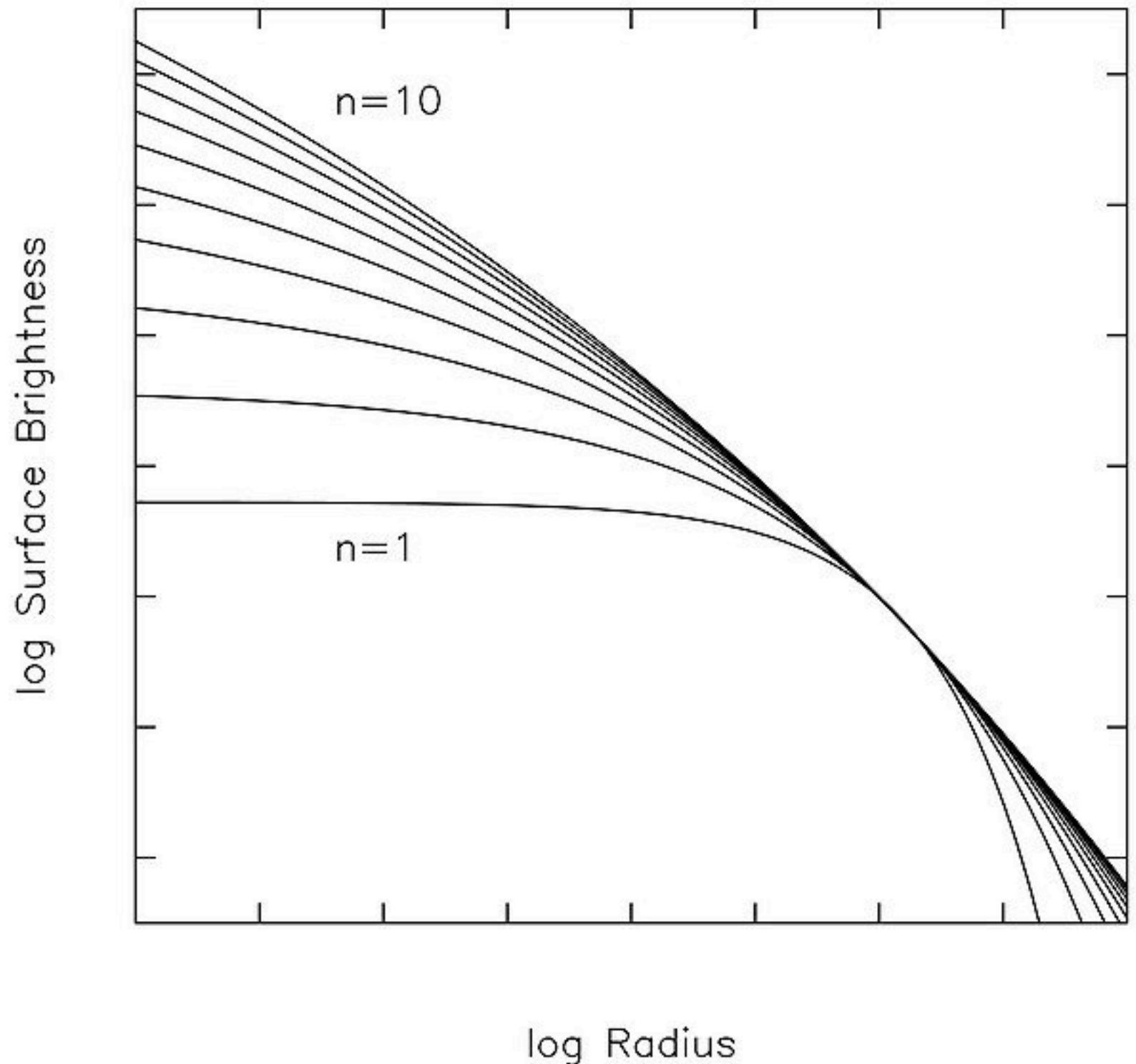
$$I(R) = I_0 \cdot e^{-kR^{1/n}}$$

Galassie ellittiche: $n=4$

$$I(R) = I_0 \cdot e^{-kR^{1/4}}$$

Galassie a disco: $n=1$

$$I(R) = I_0 \cdot e^{-kR}$$



La nostra galassia, la Via Lattea



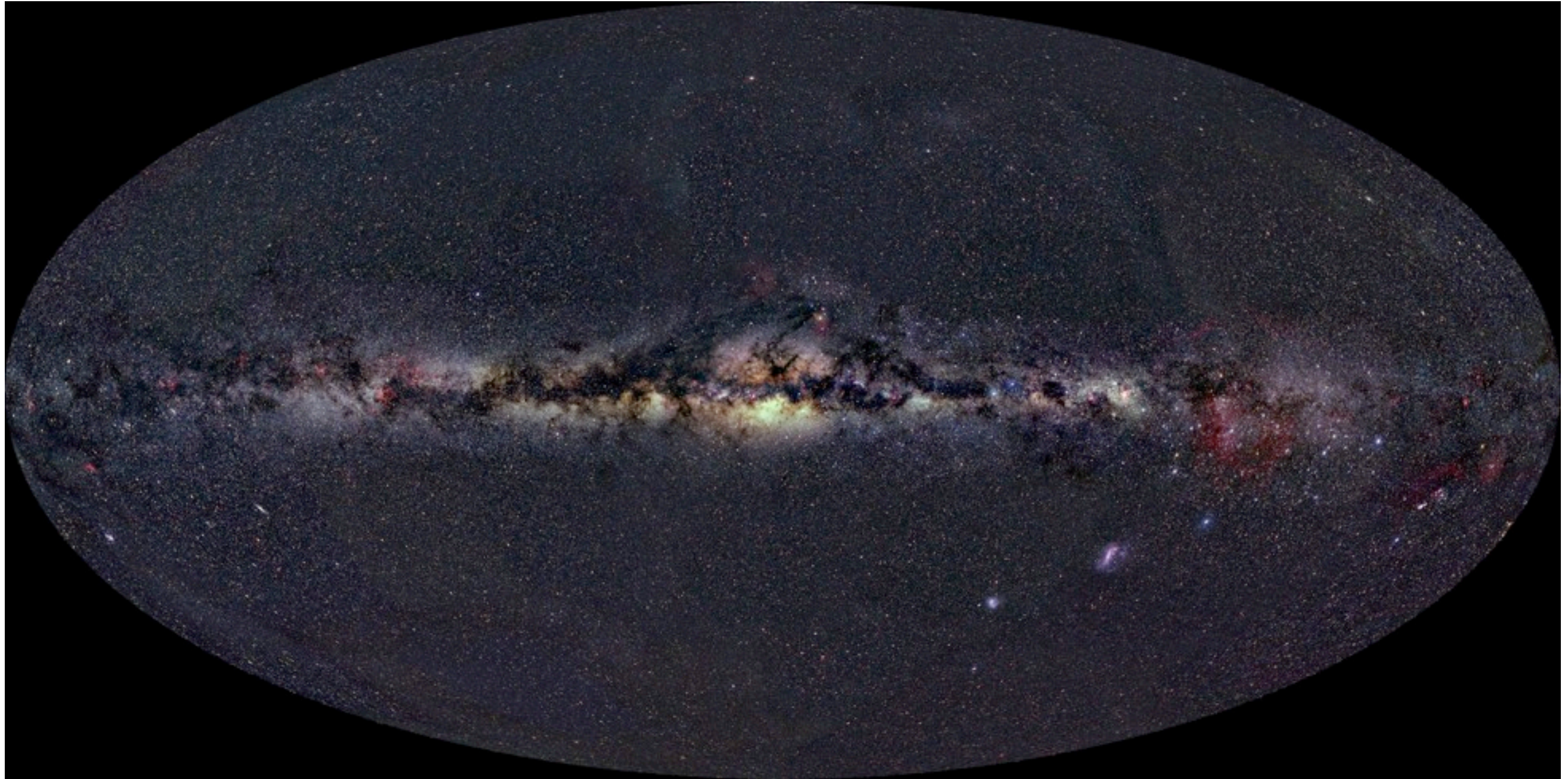
La nostra galassia, la Via Lattea



La nostra galassia, la Via Lattea



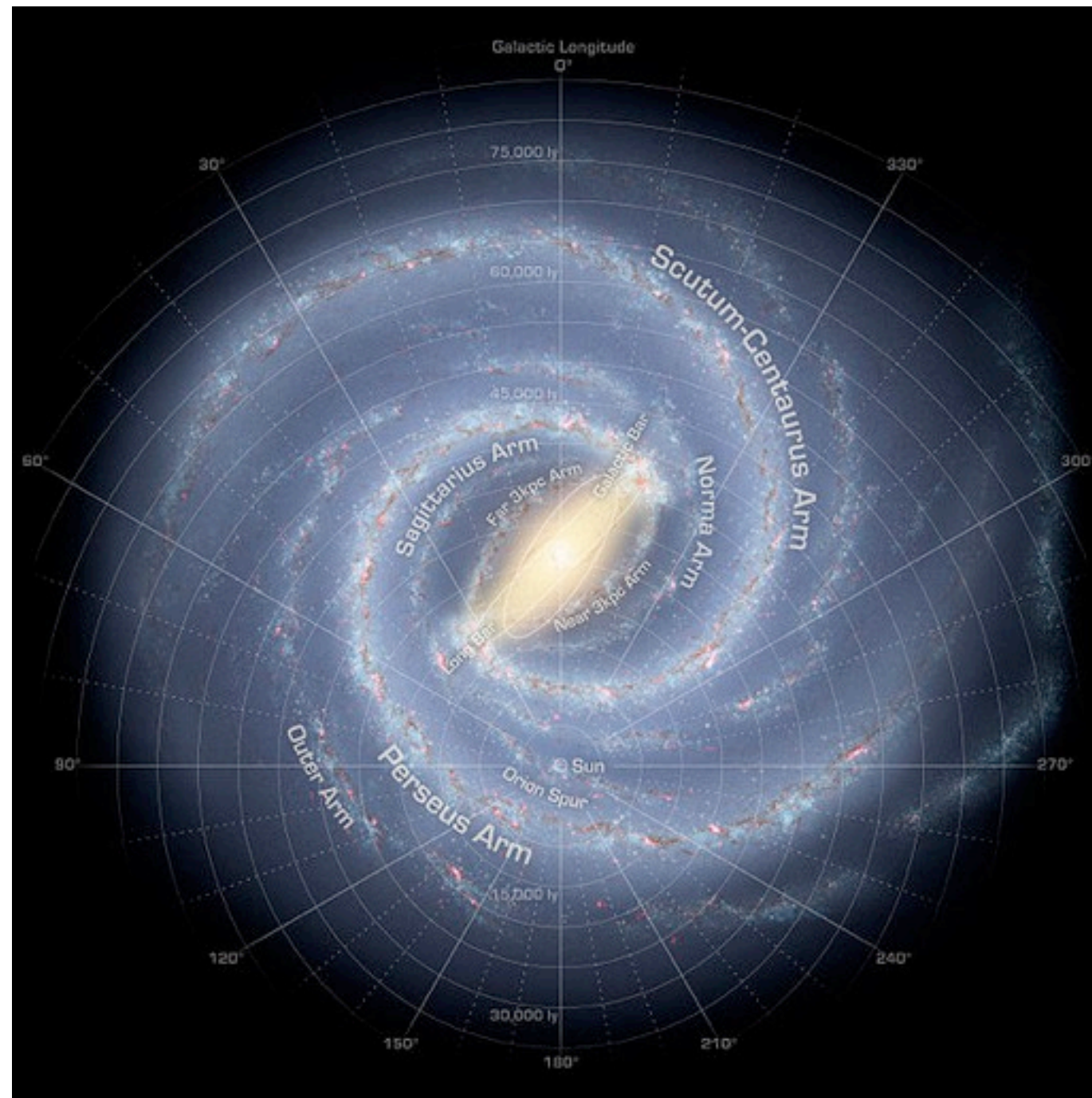
La nostra galassia, la Via Lattea



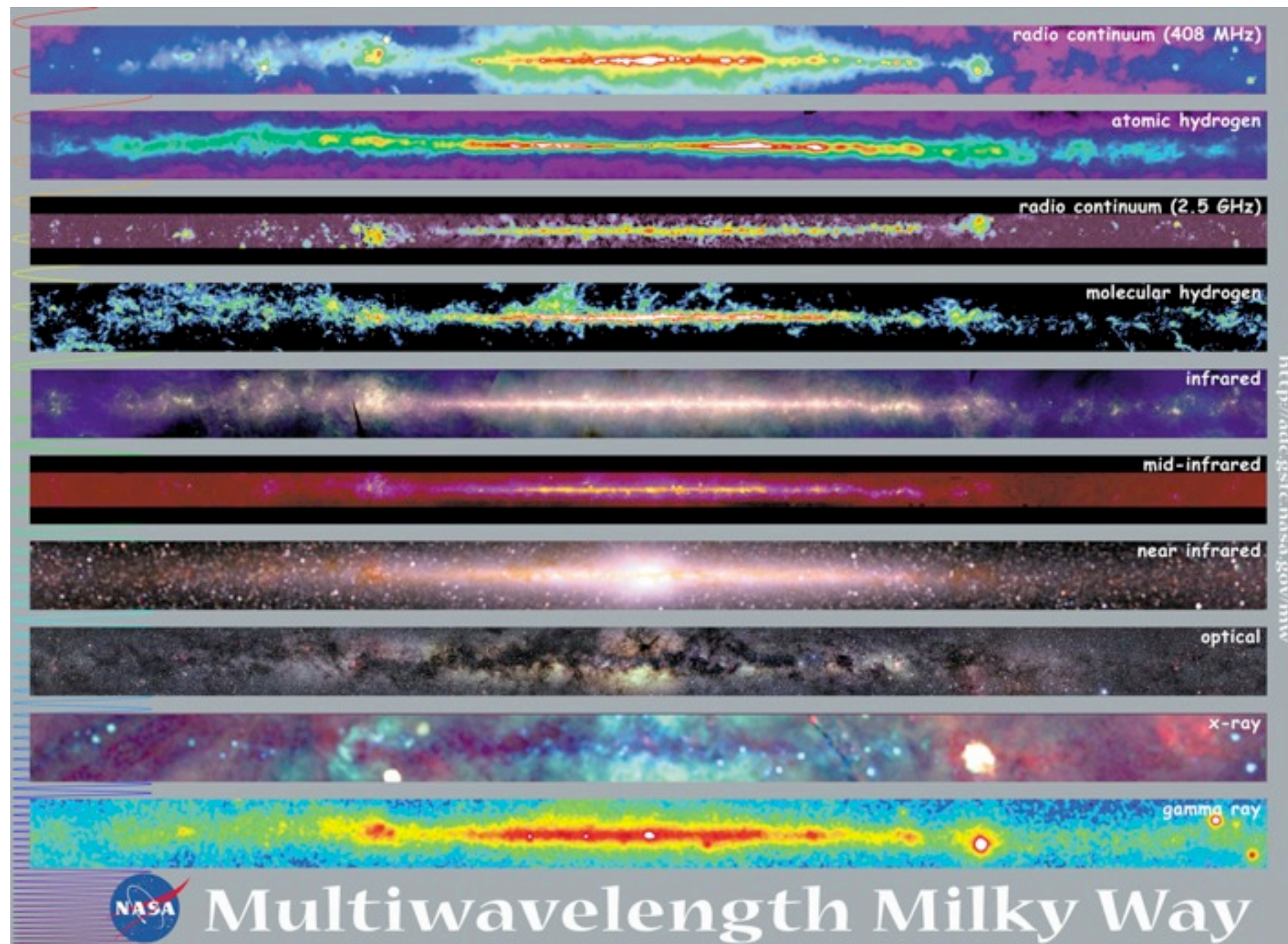
La nostra galassia, la Via Lattea



La nostra galassia, la Via Lattea



La nostra galassia, la Via Lattea



Formazione di galassie

Formazione di galassie

- Collasso monolitico (Eggen, Lynden-Bell, Sandage, 1962) di una nube di gas $\Rightarrow$ disco in rotazione rapida
“Top-down” scenario.

Formazione di galassie

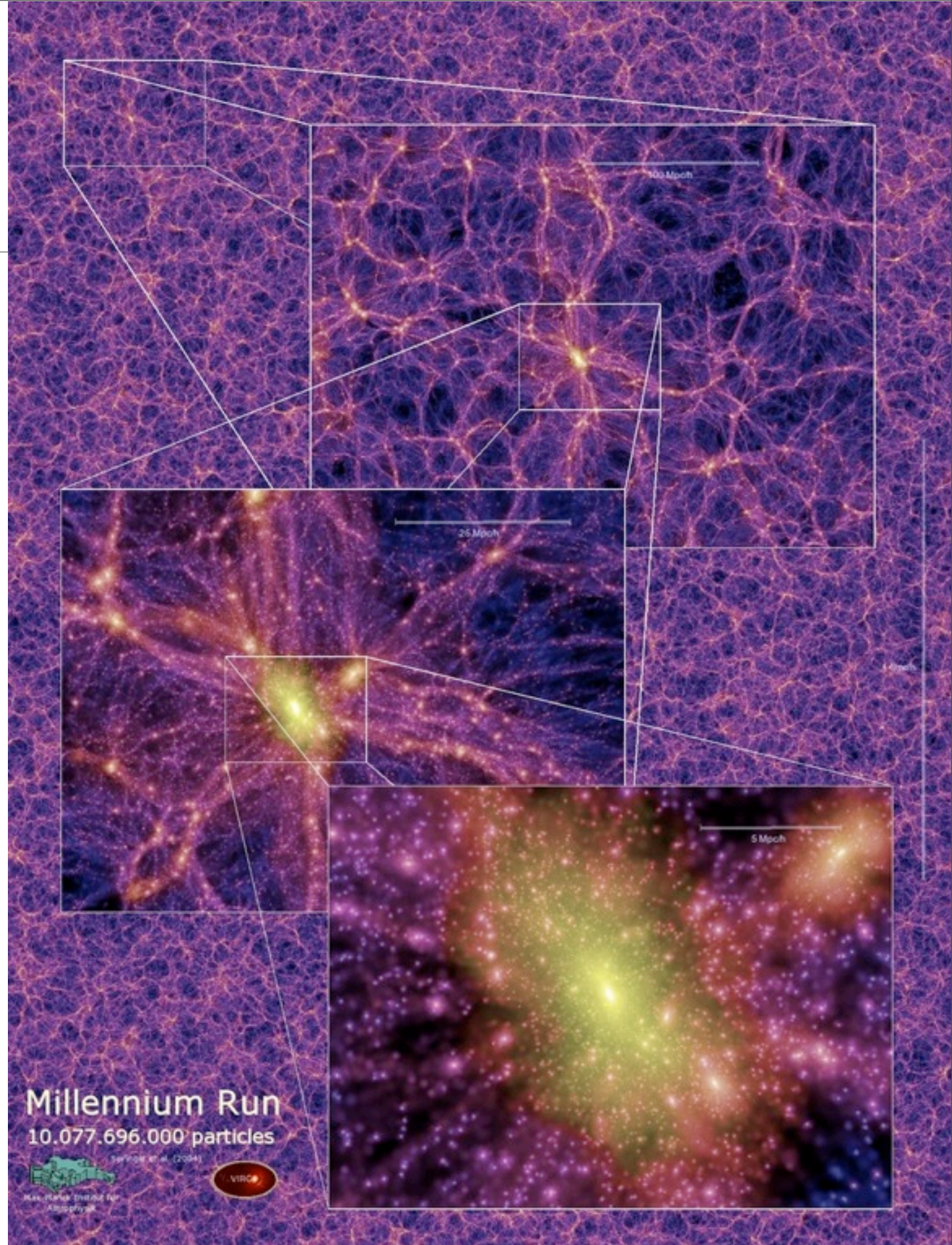
- Collasso monolitico (Eggen, Lynden-Bell, Sandage, 1962) di una nube di gas $\Rightarrow$ disco in rotazione rapida
“Top-down” scenario.
- “Bottom-up” scenario: piccoli oggetti crescono attraverso collisioni (osservazioni dell’universo primordiale)

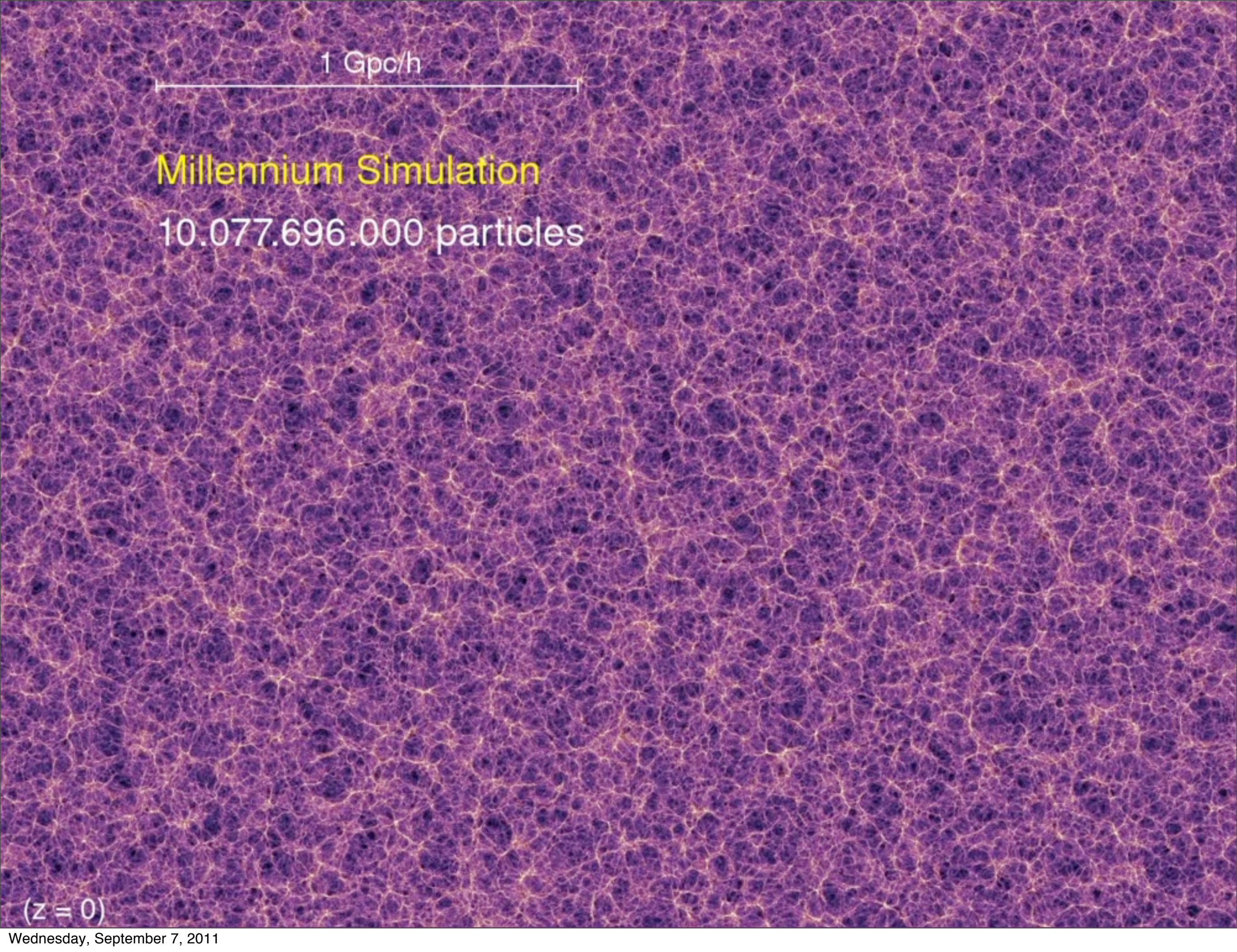
Formazione di galassie

- Collasso monolitico (Eggen, Lynden-Bell, Sandage, 1962) di una nube di gas $\Rightarrow$ disco in rotazione rapida
“Top-down” scenario.
- “Bottom-up” scenario: piccoli oggetti crescono attraverso collisioni (osservazioni dell’universo primordiale)



Formazione di galassie: simulazione numeriche



A visualization of the Millennium Simulation, showing a vast, interconnected network of dark matter filaments and clusters. The structure is complex and fractal-like, with a dense web of connections. The color scheme is a gradient of purples and blues, with brighter yellow and orange highlights indicating regions of higher density or specific physical properties.

1 Gpc/h

Millennium Simulation

10,077,696,000 particles

($z = 0$)



Simulazioni con super-computer (CSCS)

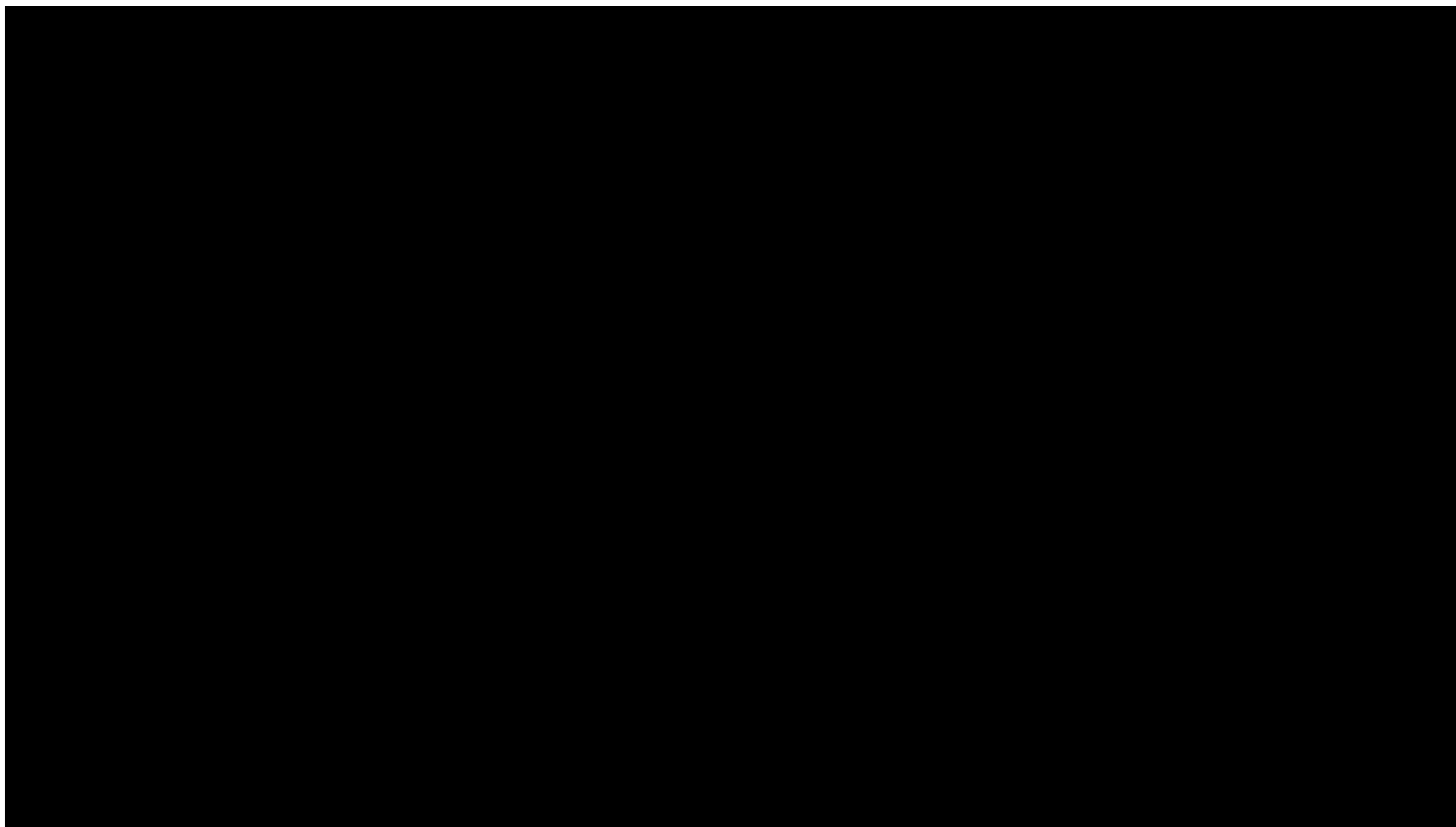


Javiera Guedes, Simone Callegari, Piero Madau, Lucio Mayer, Forming Realistic Late-Type Spirals in A CDM Universe

Simulazioni con super-computer (CSCS)

Javiera Guedes, Simone Callegari, Piero Madau, Lucio Mayer, Forming Realistic Late-Type Spirals in A CDM Universe

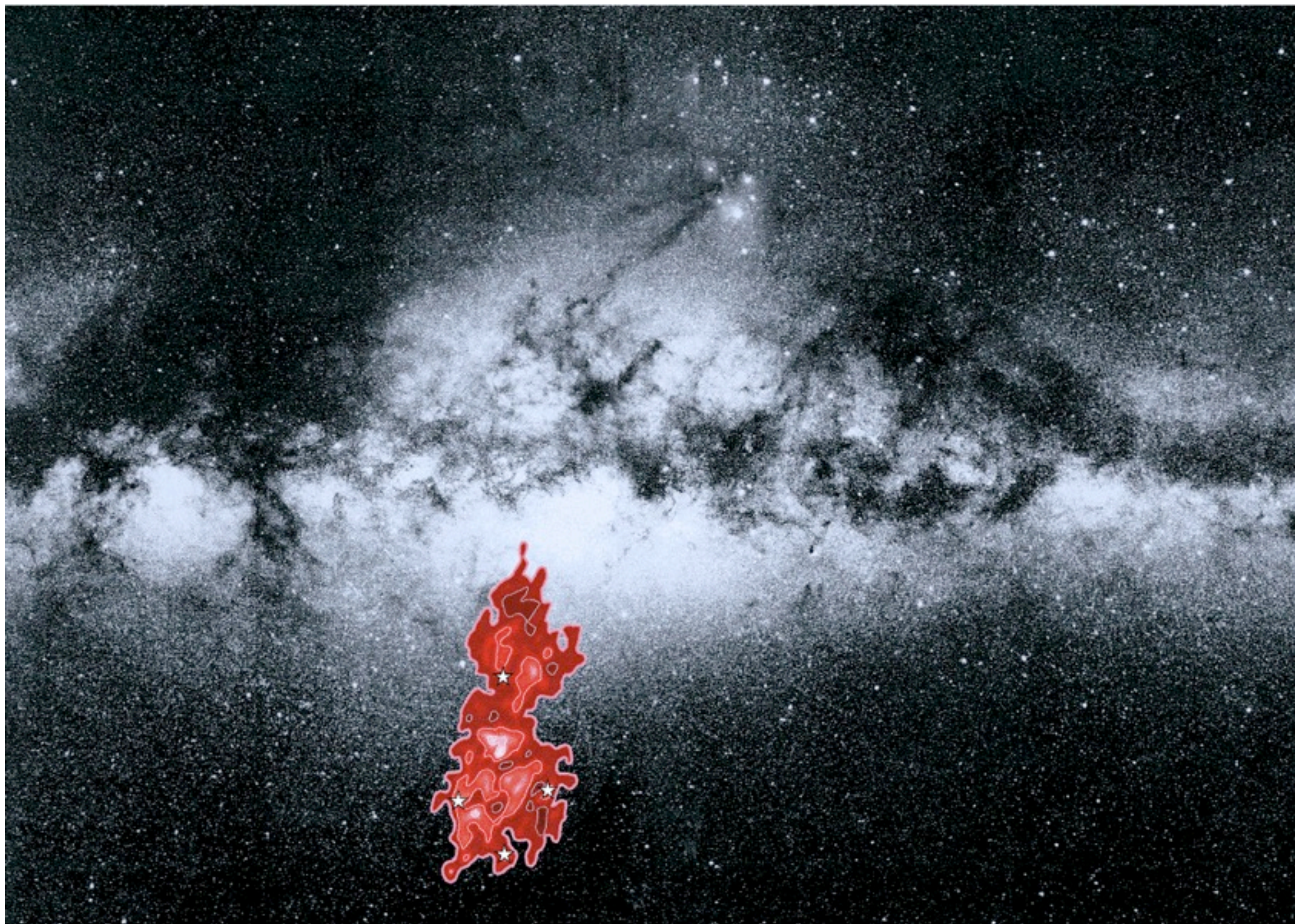
Simulazioni con super-computer (CSCS)



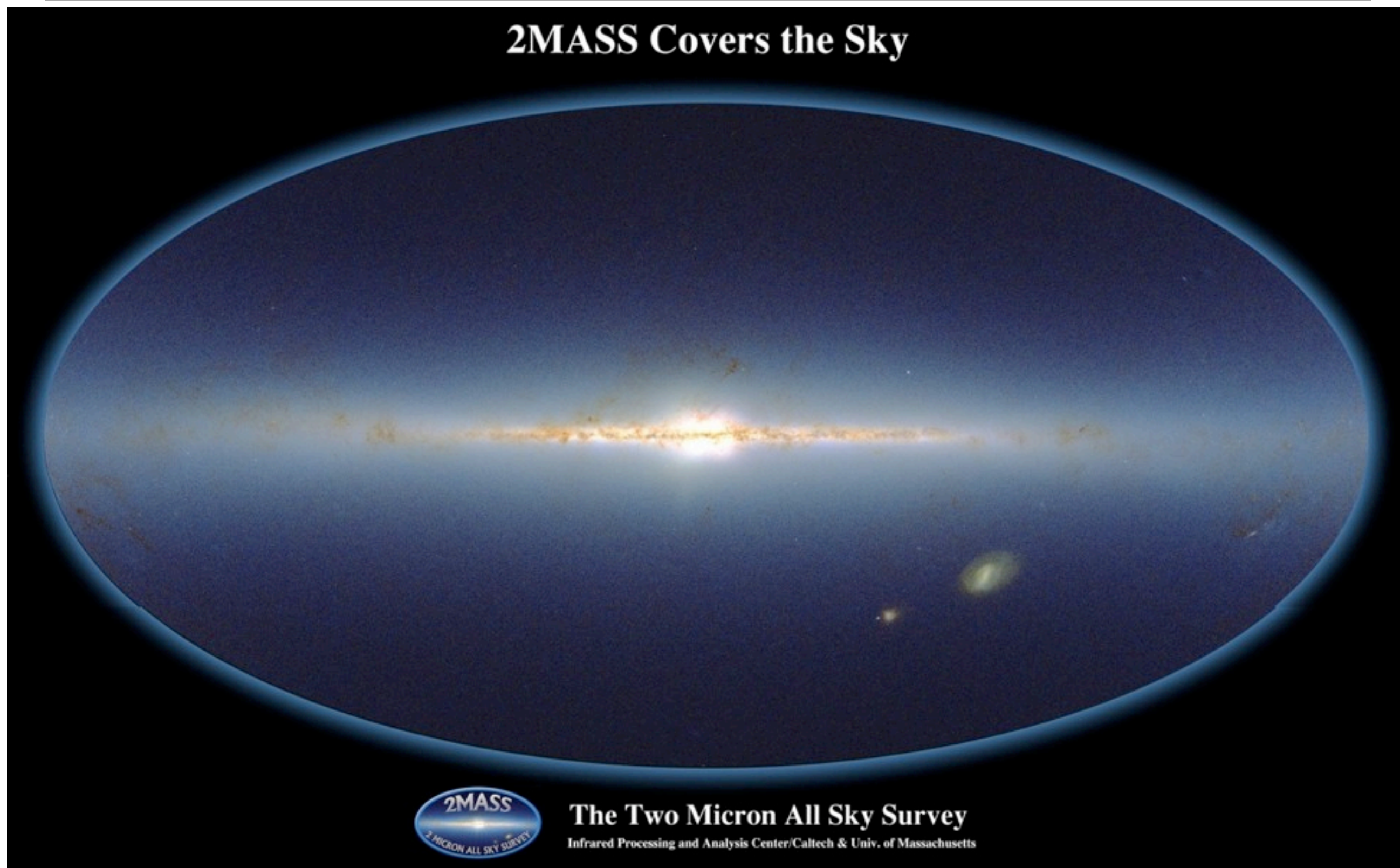
Javiera Guedes, Simone Callegari, Piero Madau, Lucio Mayer, Forming Realistic Late-Type Spirals in A CDM Universe

Collisione della galassia Sagittarius con la nostra

Collisione della galassia Sagittarius con la nostra



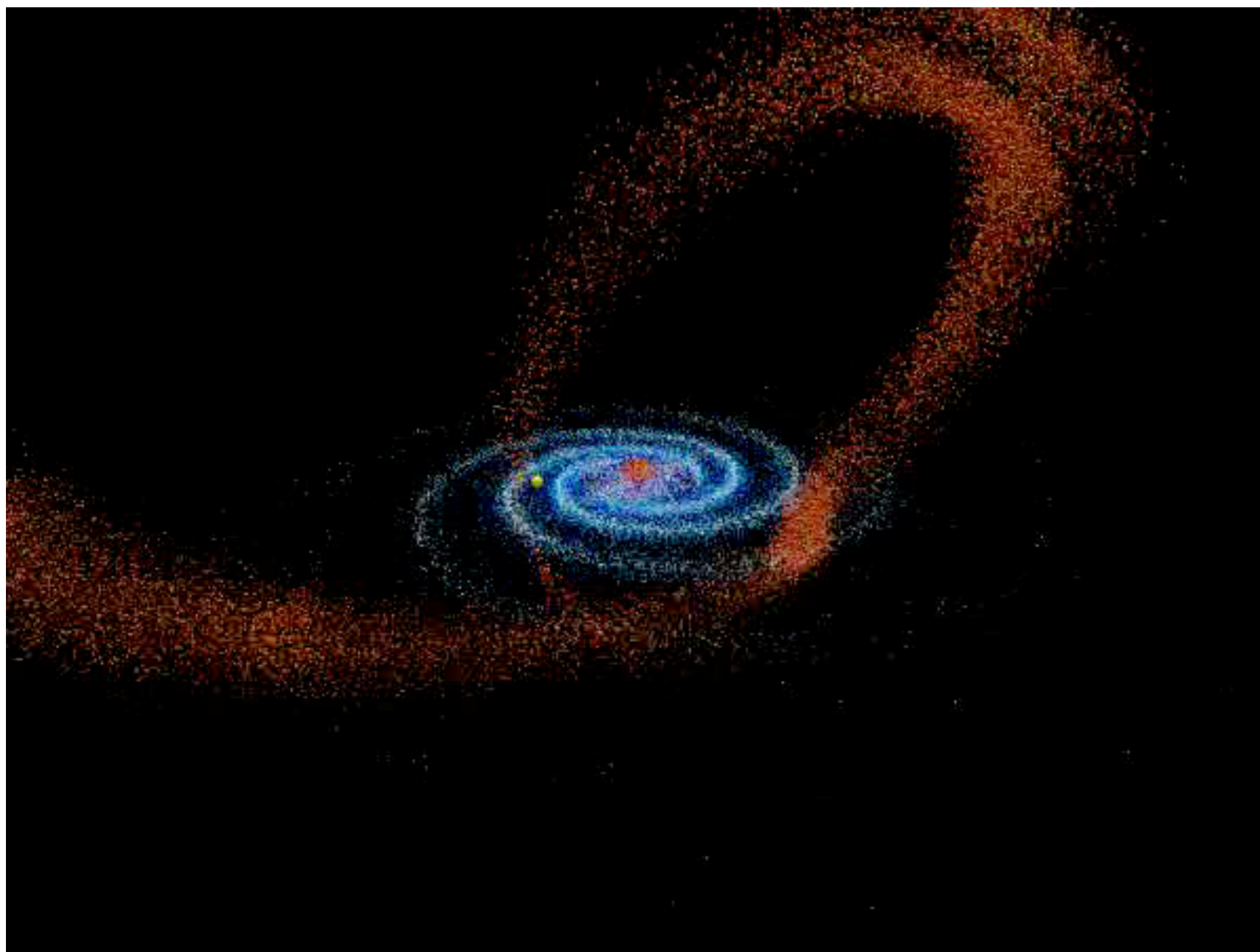
Collisione della galassia Sagittarius con la nostra



Collisione della galassia Sagittarius con la nostra



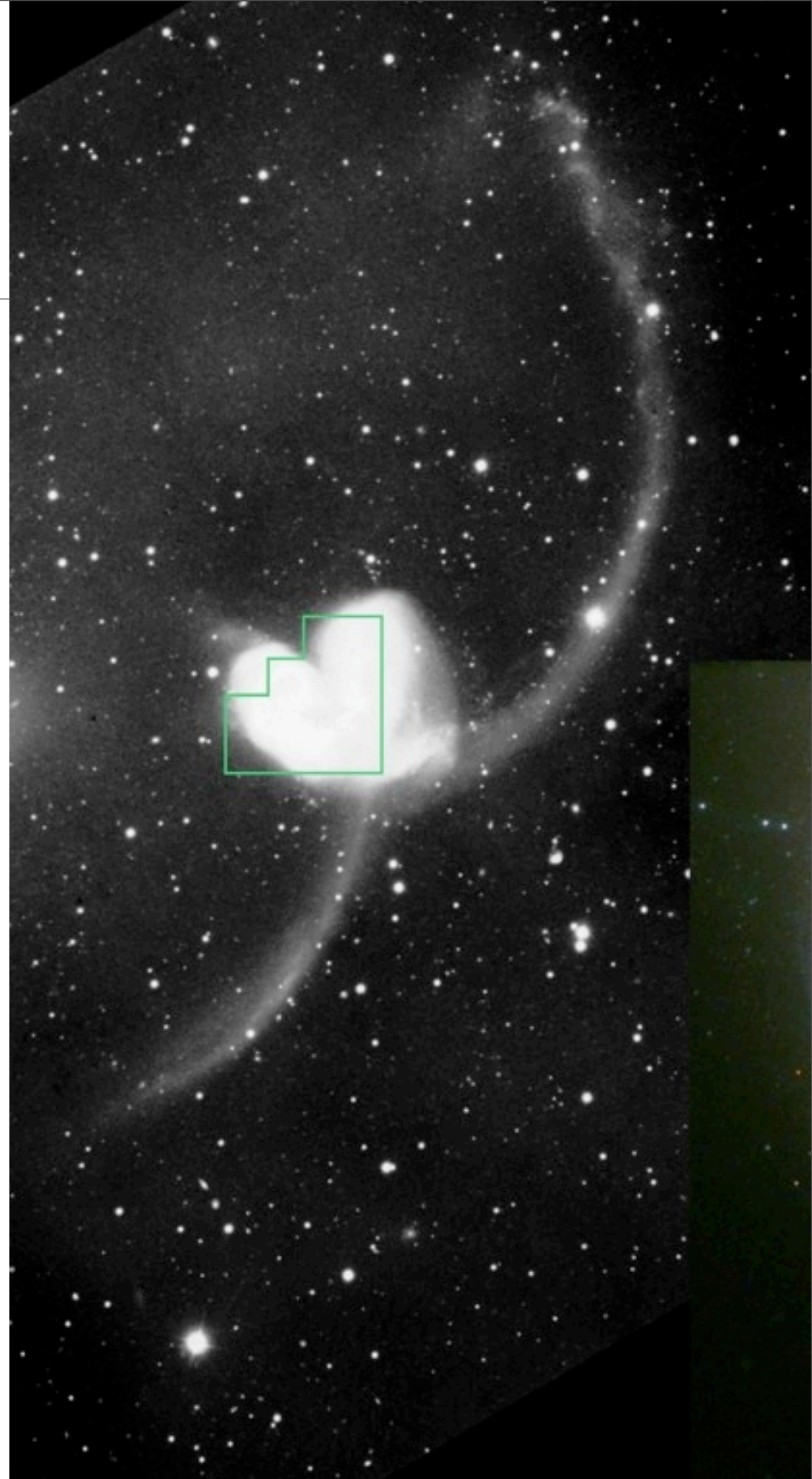
Collisione della galassia Sagittarius con la nostra

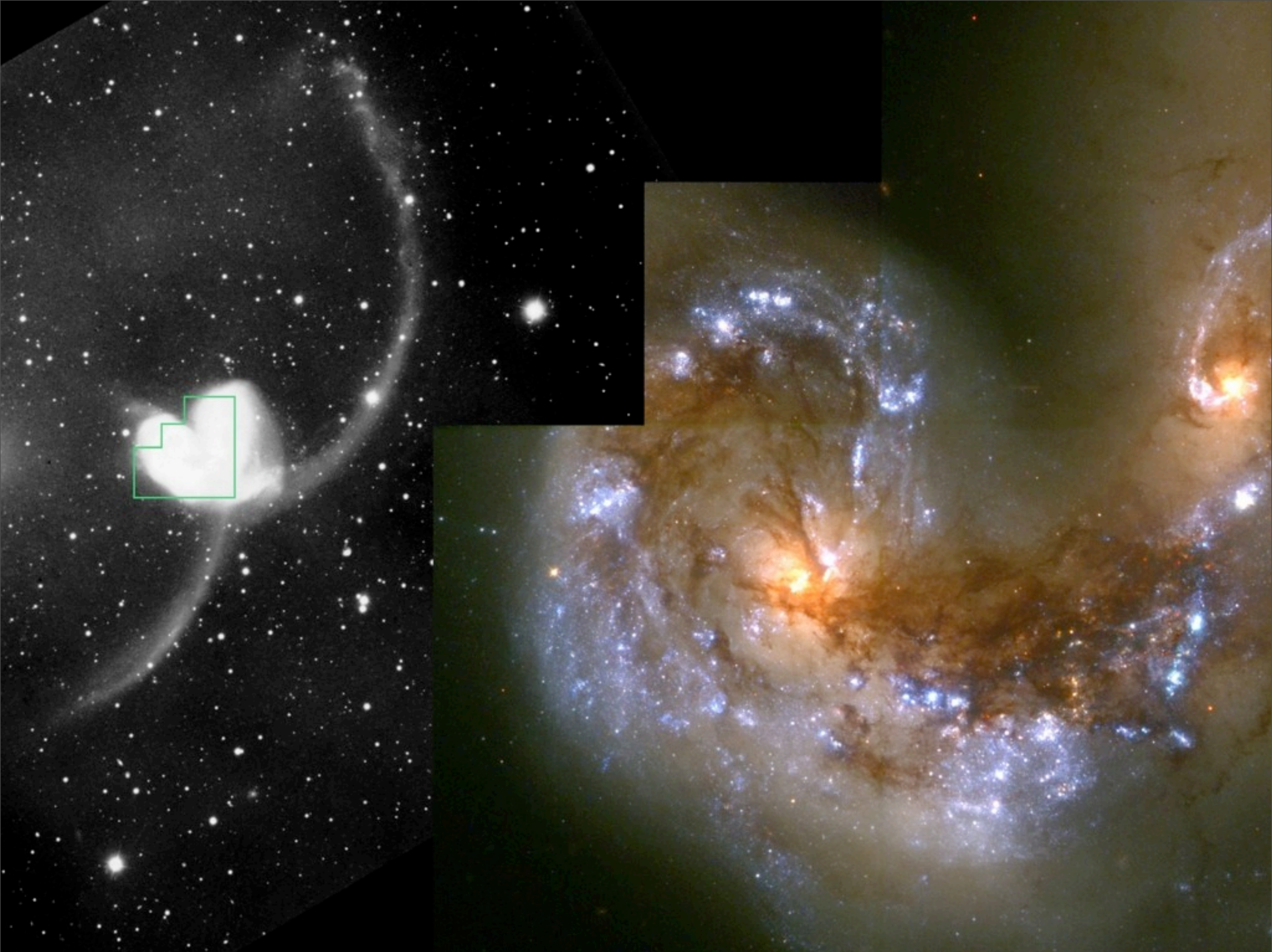


Collisione di galassie

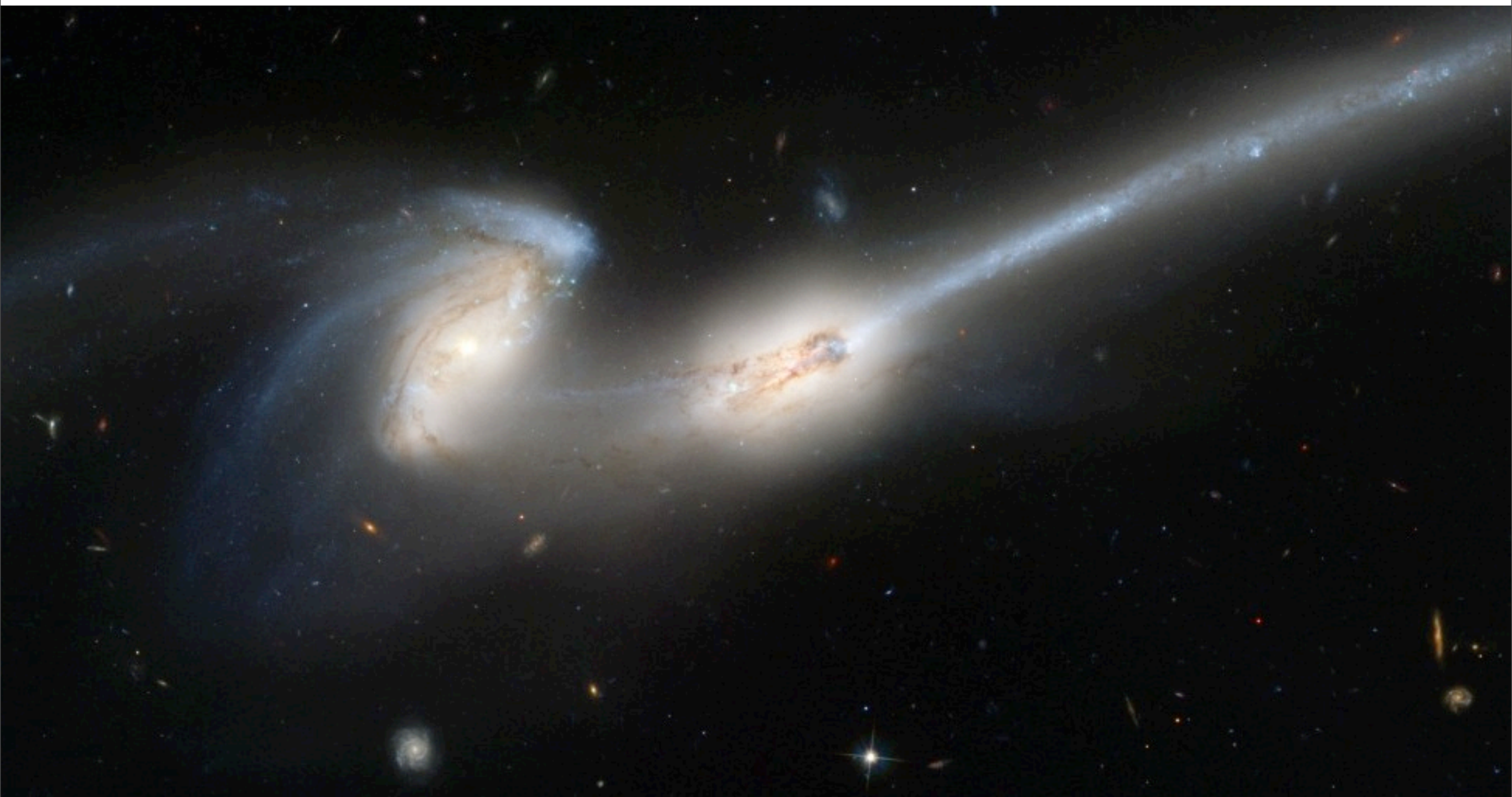
Collisione di galassie

- Oggetti di strana forma: irregolare, lunghe code
- Intensa formazione stellare



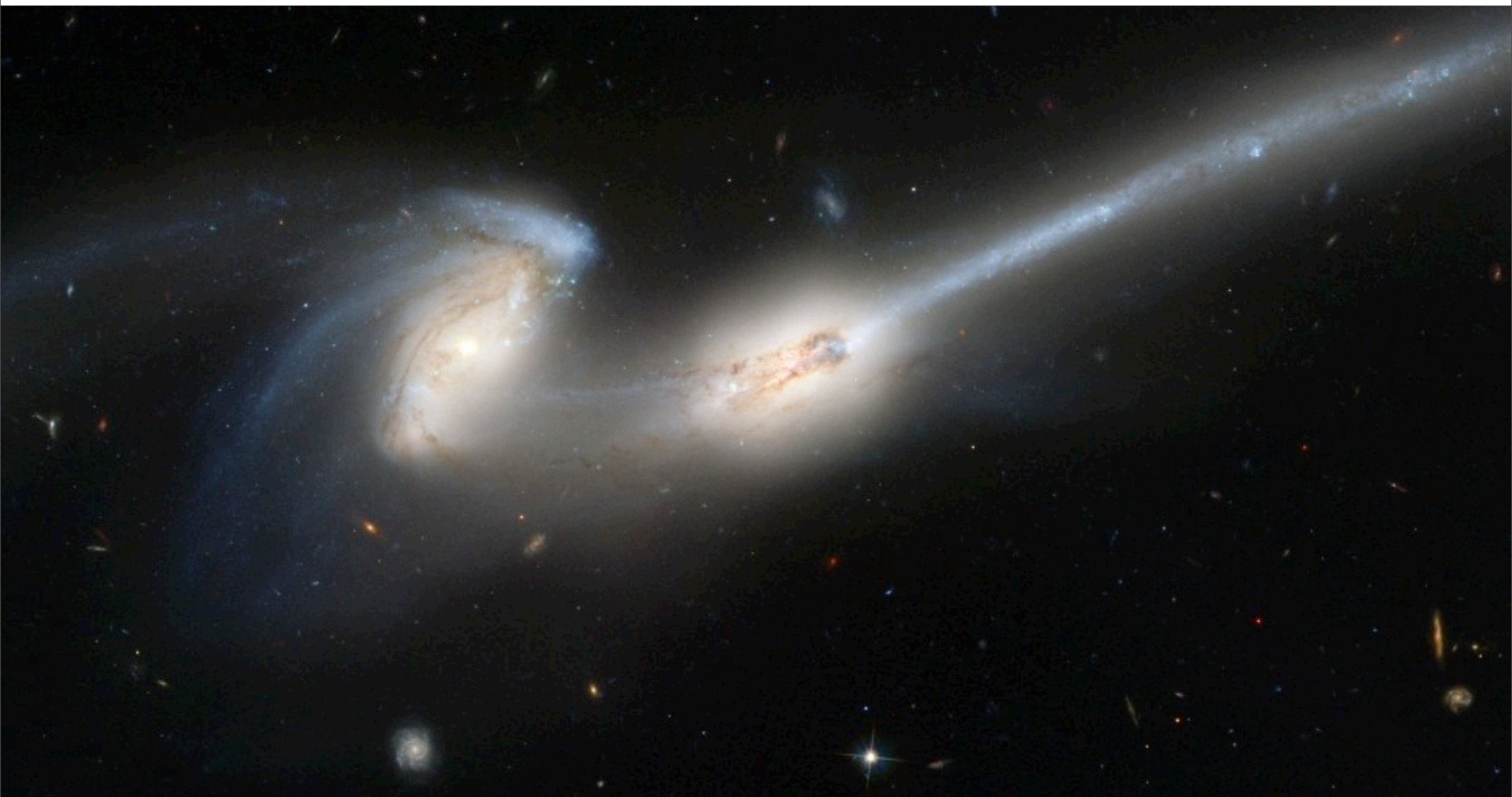


Collisione di galassie



Collisione di galassie

Primi calcoli al computer hanno fornito la soluzione.



Galassie in interazione

Galaxies NGC 2207 and IC 2163



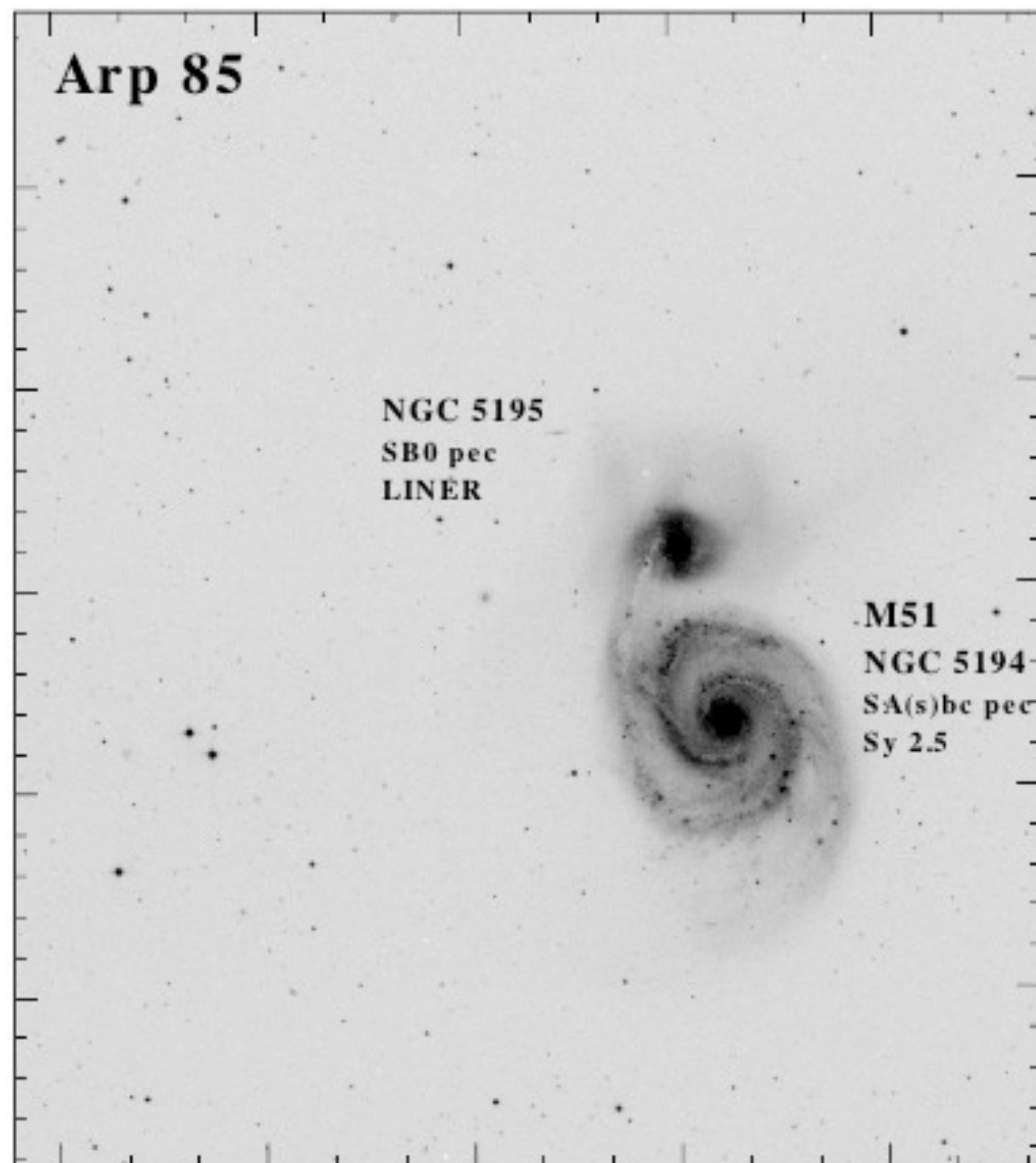
Hubble
Heritage

NASA and The Hubble Heritage Team (STScI) • Hubble Space Telescope WFPC2 • STScI-PRC99-41

Galassie in interazione



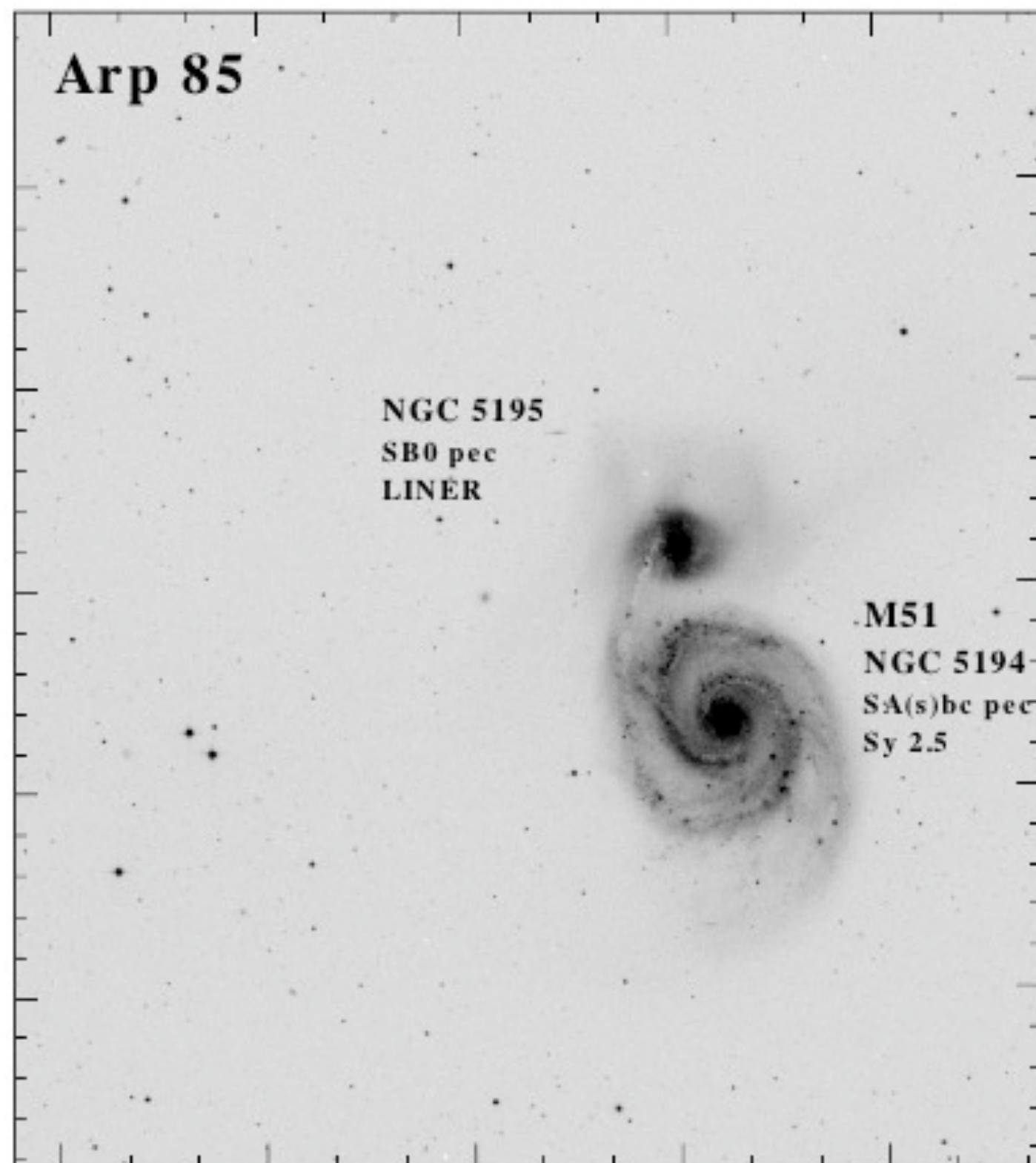
Tracce di gas... testimoni di interazioni passate



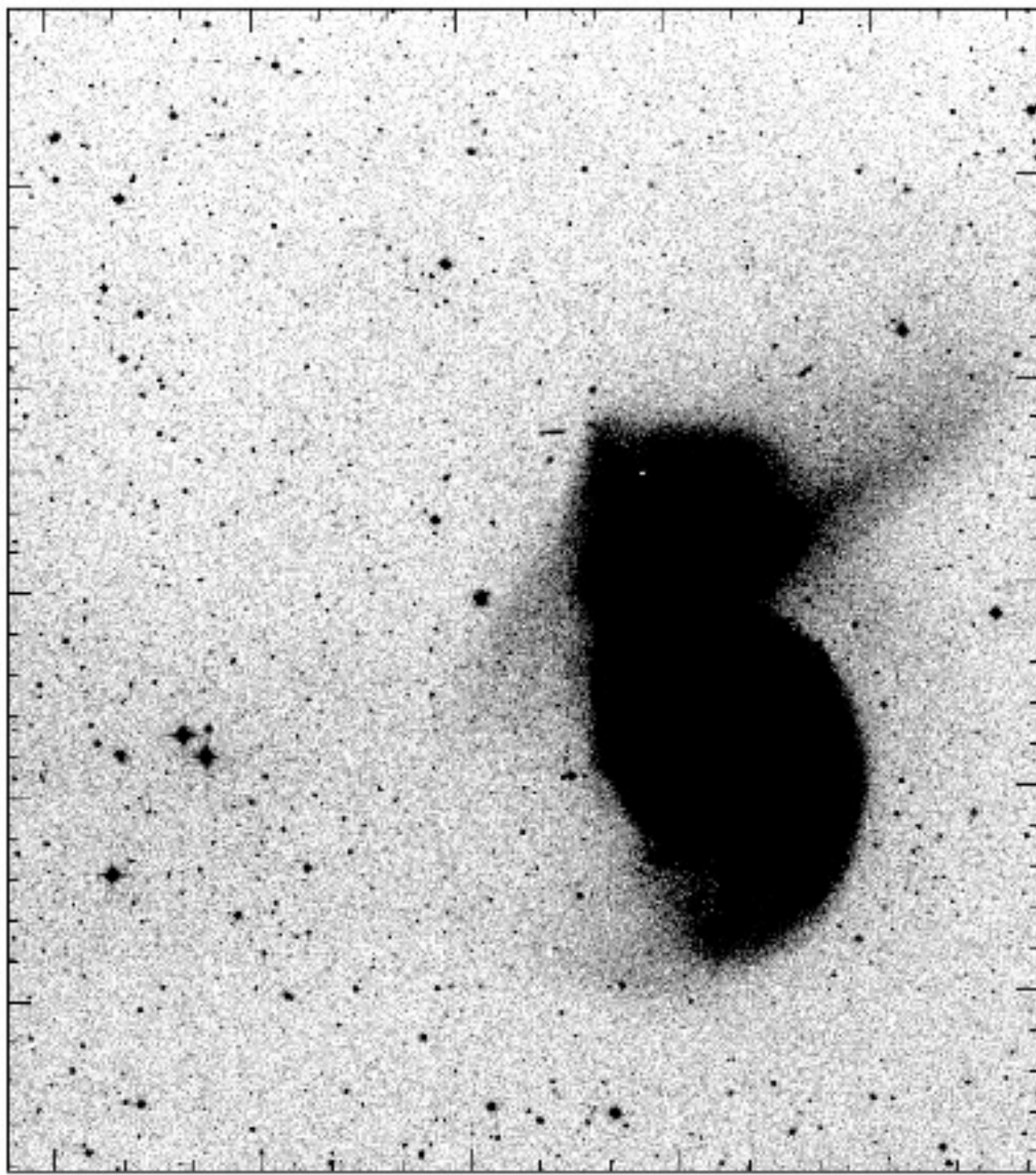
Tracce di gas... testimoni di interazioni passate



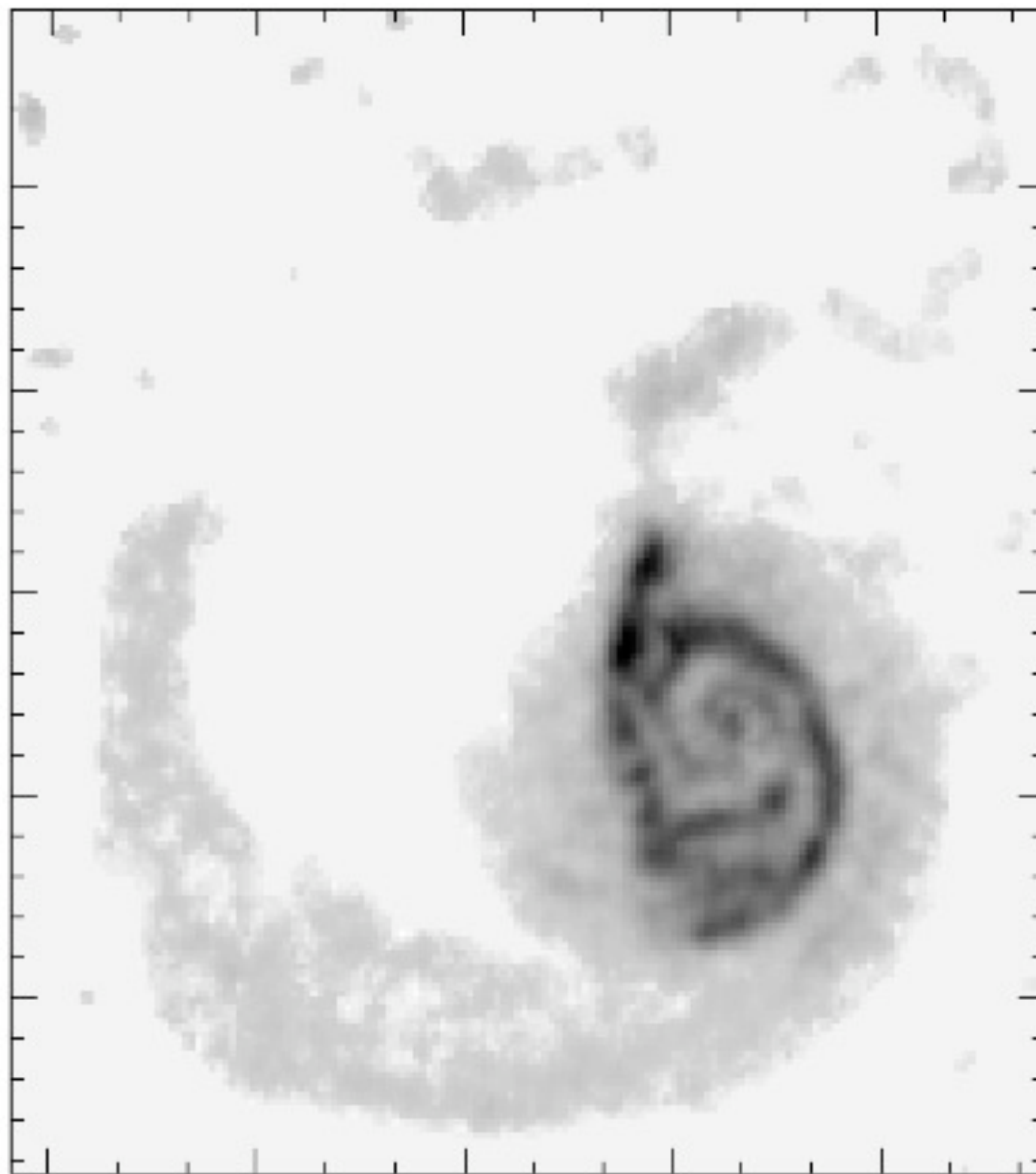
Tracce di gas... testimoni di interazioni passate



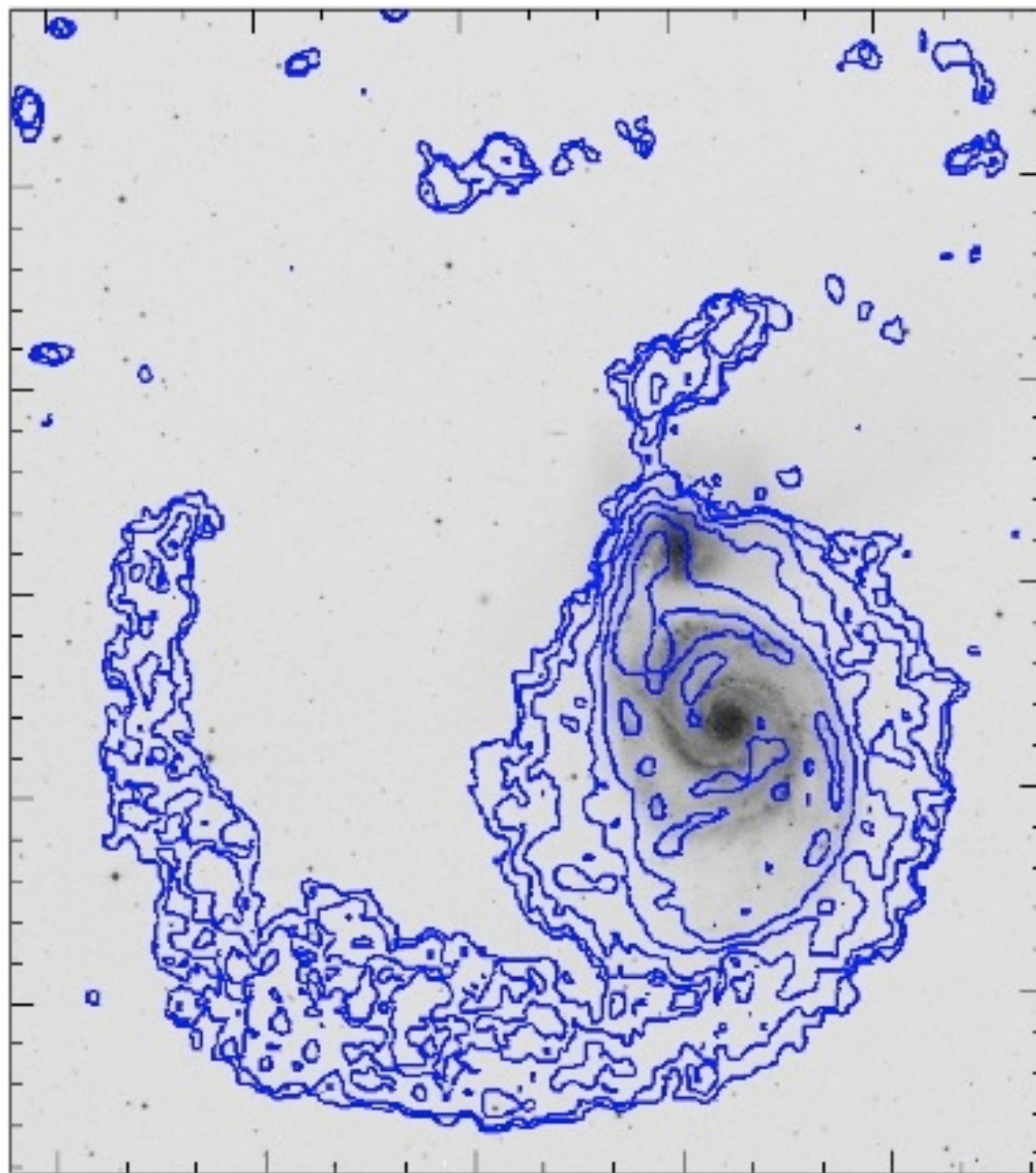
Tracce di gas... testimoni di interazioni passate



Tracce di gas... testimoni di interazioni passate



Tracce di gas... testimoni di interazioni passate



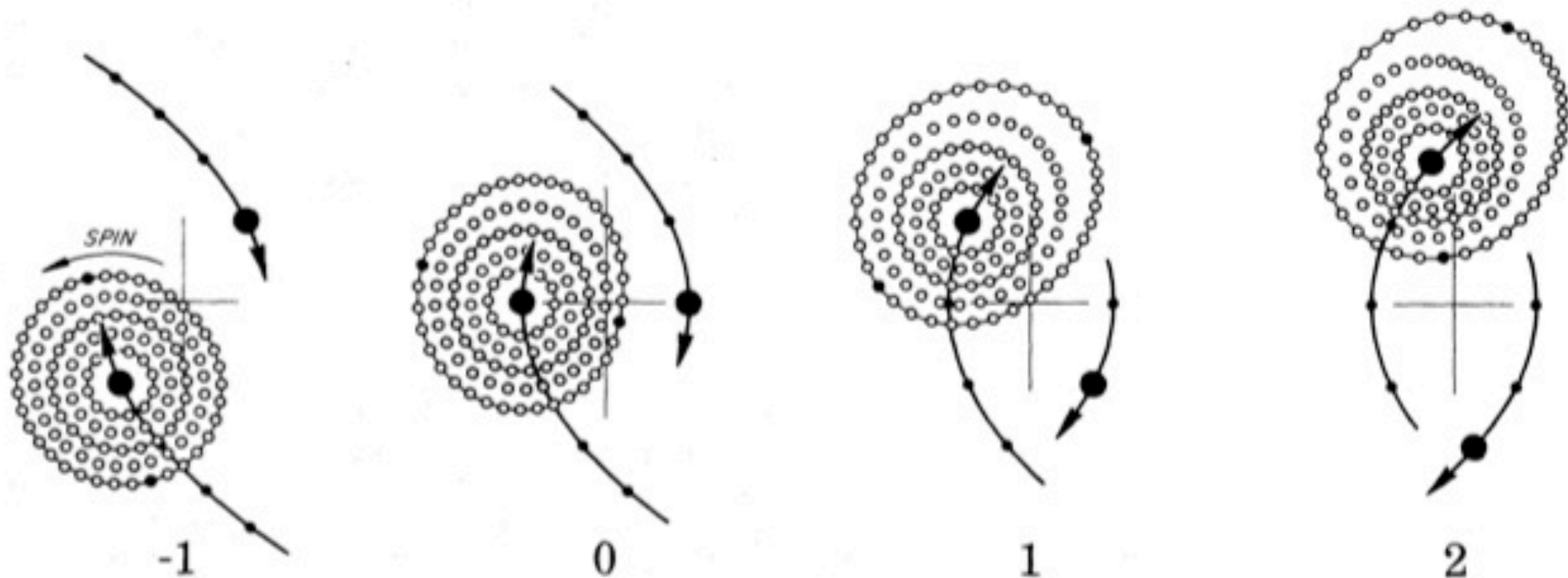
Simulazioni numeriche

Simulazioni numeriche

Prime simulazioni al computer, 1972, Alar Toomre (MIT) e Juri Toomre (NYU)

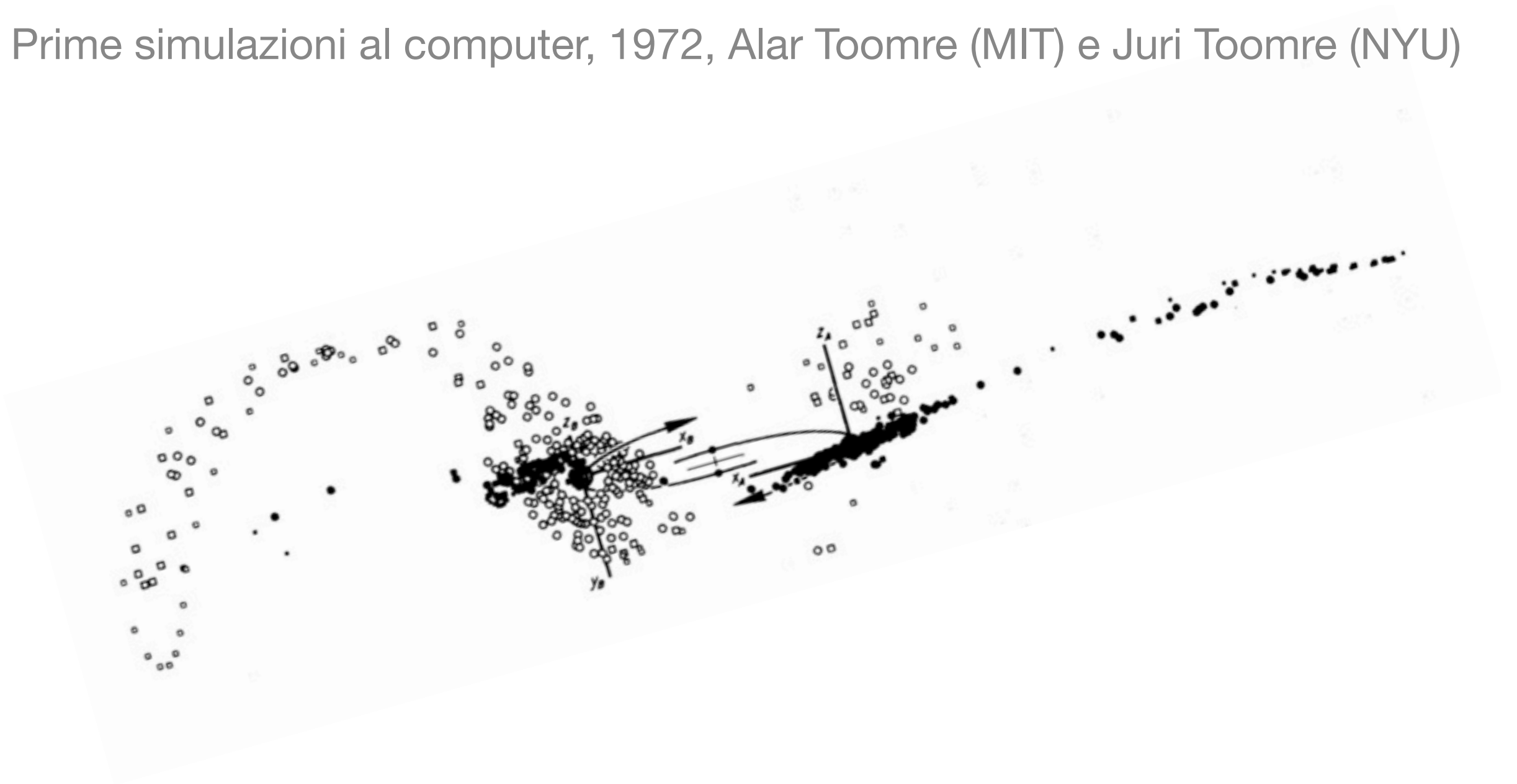
626

ALAR TOOMRE AND JURI TOOMRE



Simulazioni numeriche

Prime simulazioni al computer, 1972, Alar Toomre (MIT) e Juri Toomre (NYU)



Simulazioni numeriche

Prime simulazioni al computer, 1972, Alar Toomre (MIT) e Juri Toomre (NYU)

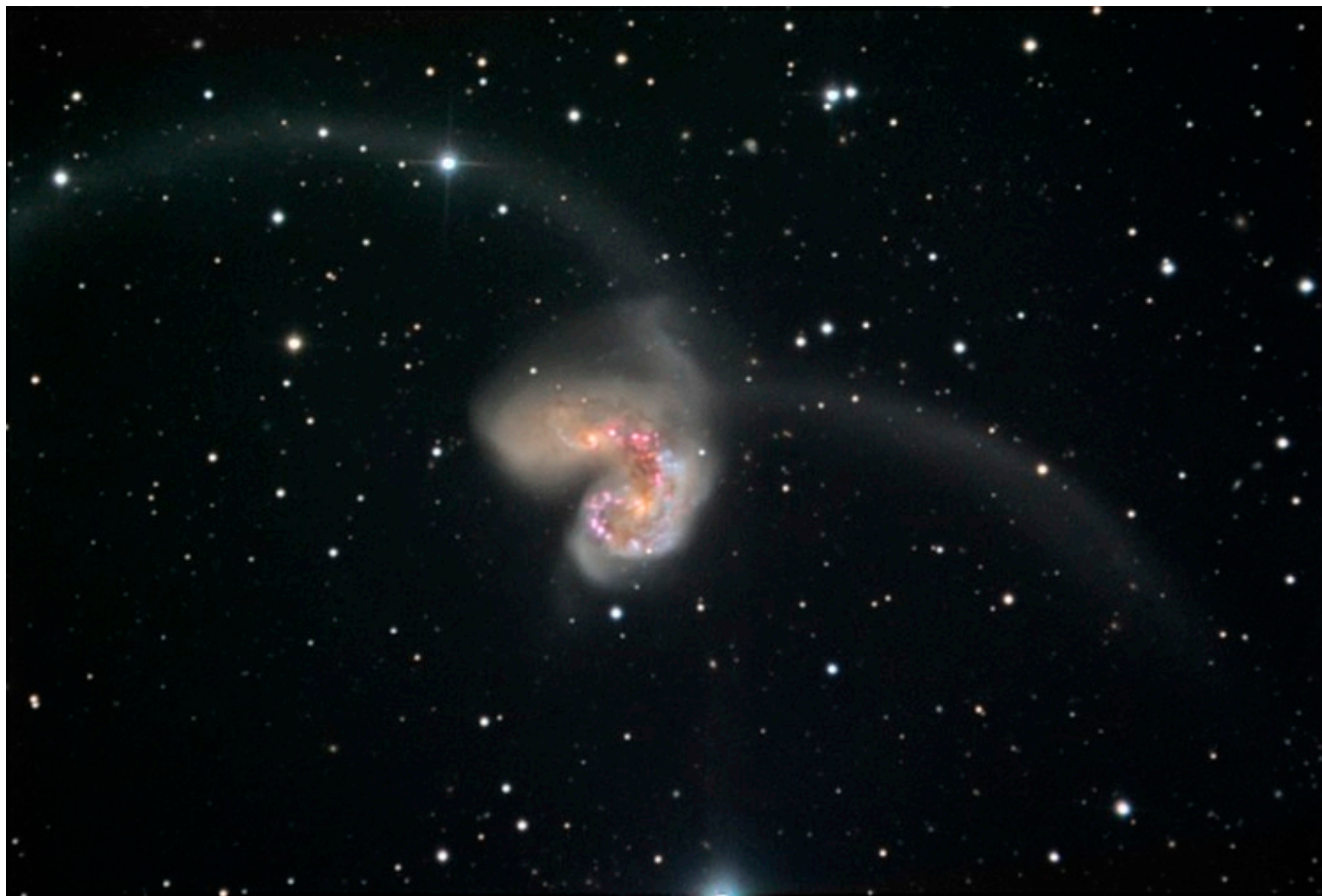


Simulazioni numeriche



Simulazioni numeriche

Le galassie delle “antenne”, NGC 4038-4039



Simulazioni numeriche

Le galassie delle “antenne”, NGC 4038-4039

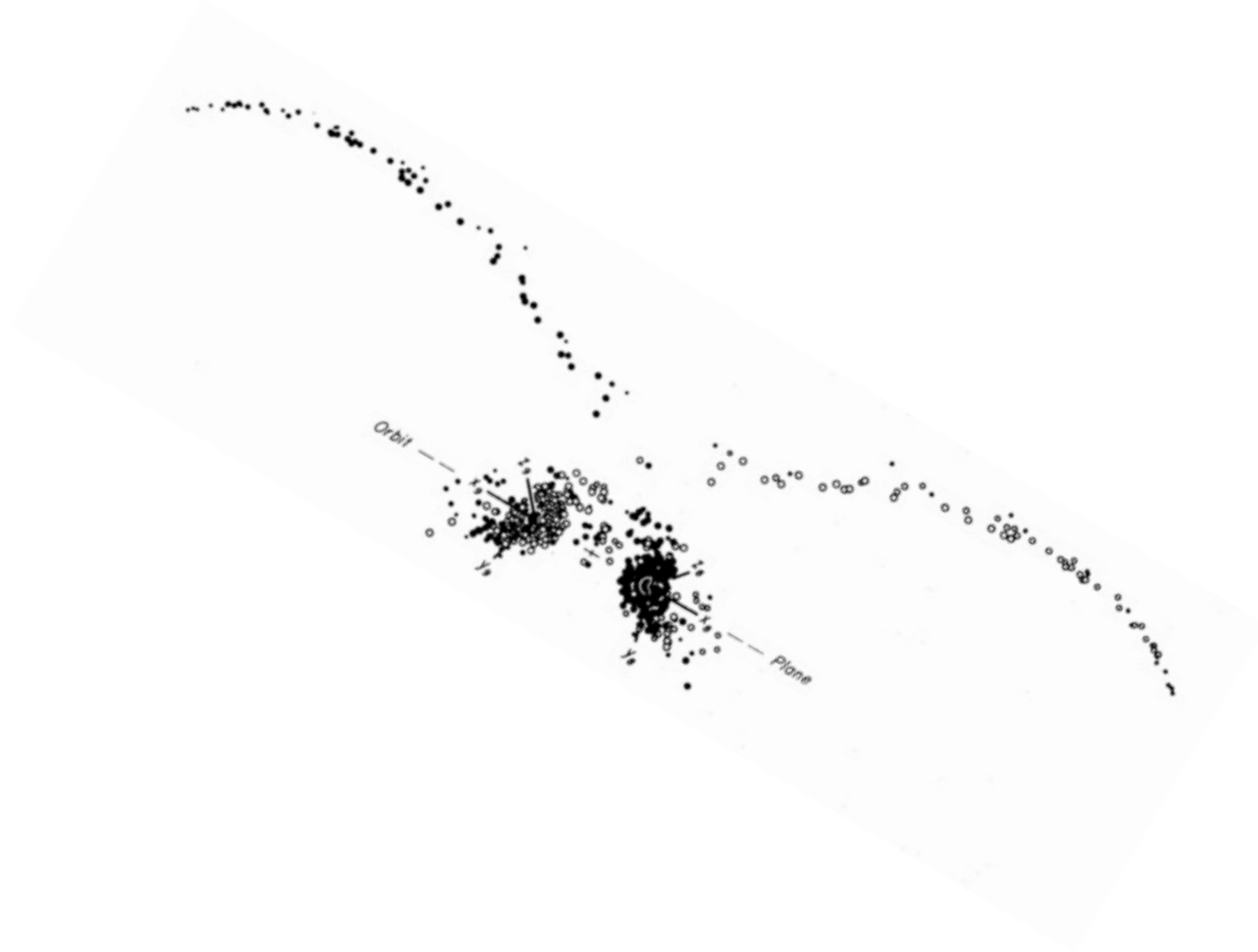


Simulazioni numeriche

Le galassie delle “antenne”, NGC 4038-4039

Simulazioni numeriche

Le galassie delle “antenne”, NGC 4038-4039



Simulazioni numeriche

Simulazioni numeriche



Paragone: simulazioni - vere galassie in interazione

Collisione della Via Lattea con Andromeda

Collisione della Via Lattea con Andromeda



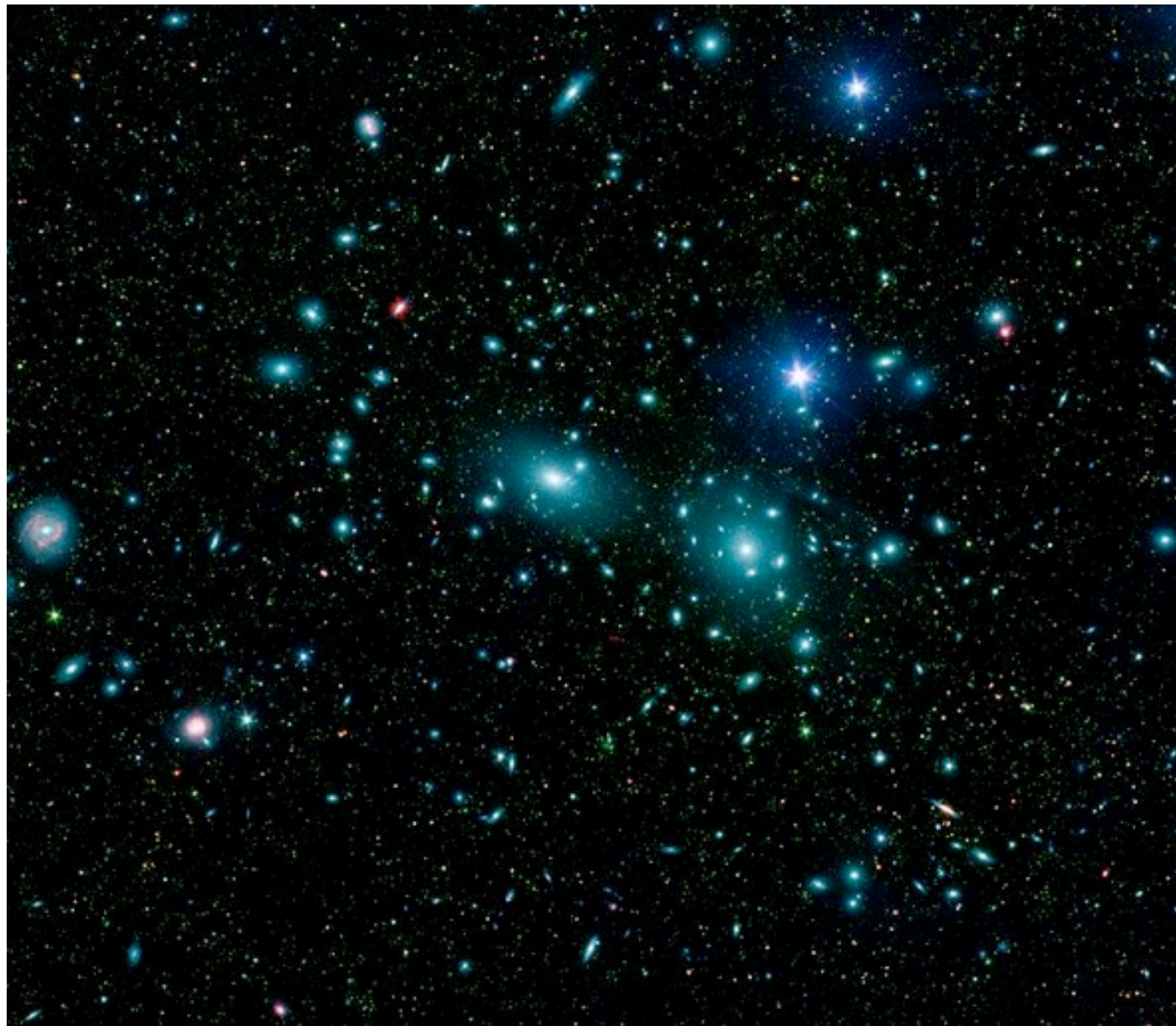
Collisione della Via Lattea con Andromeda



Future Sky

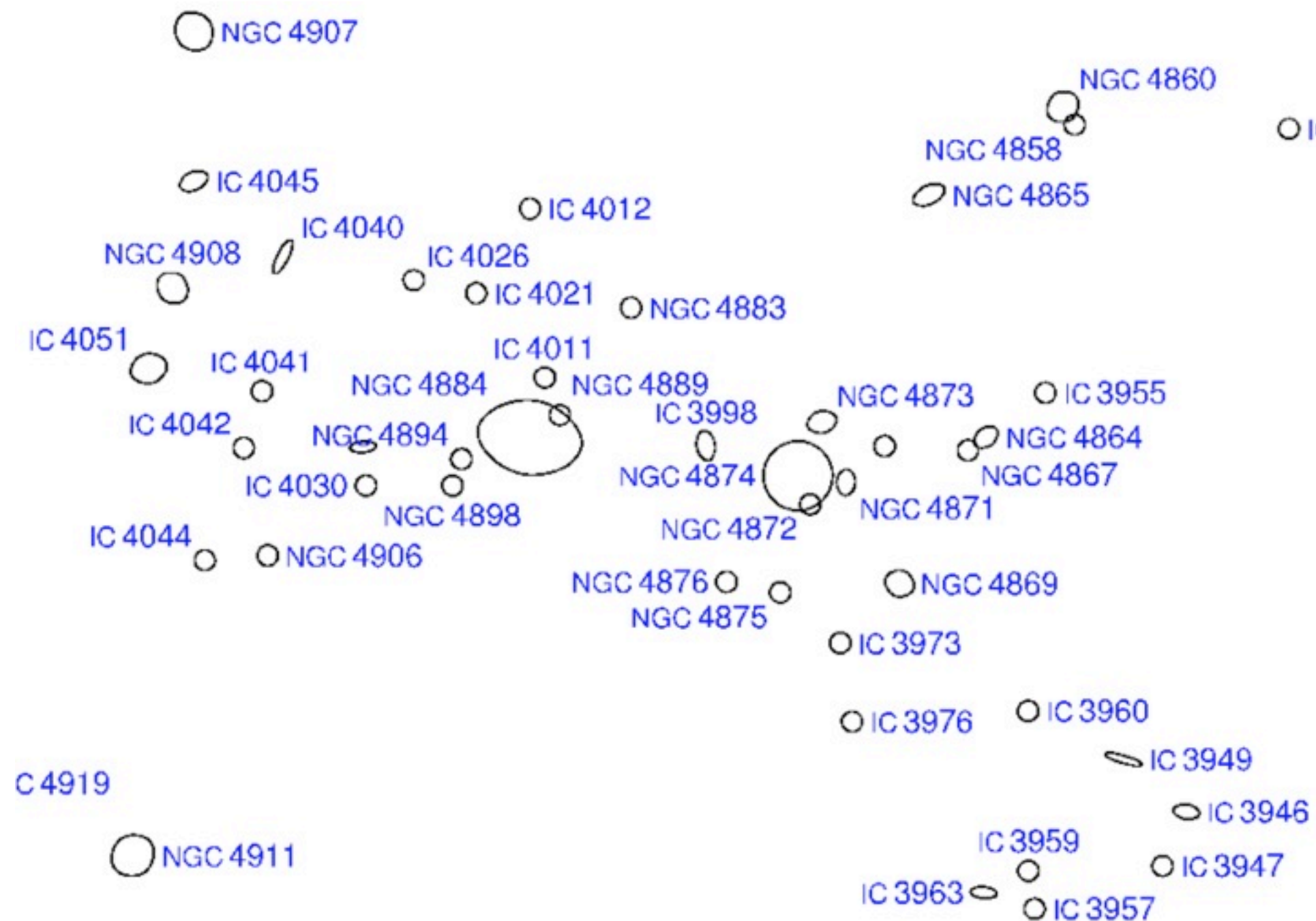
Materia scura: un po' di storia

Zwicky (1933). Ammasso di galassie "Coma": 400 più massa che visibile



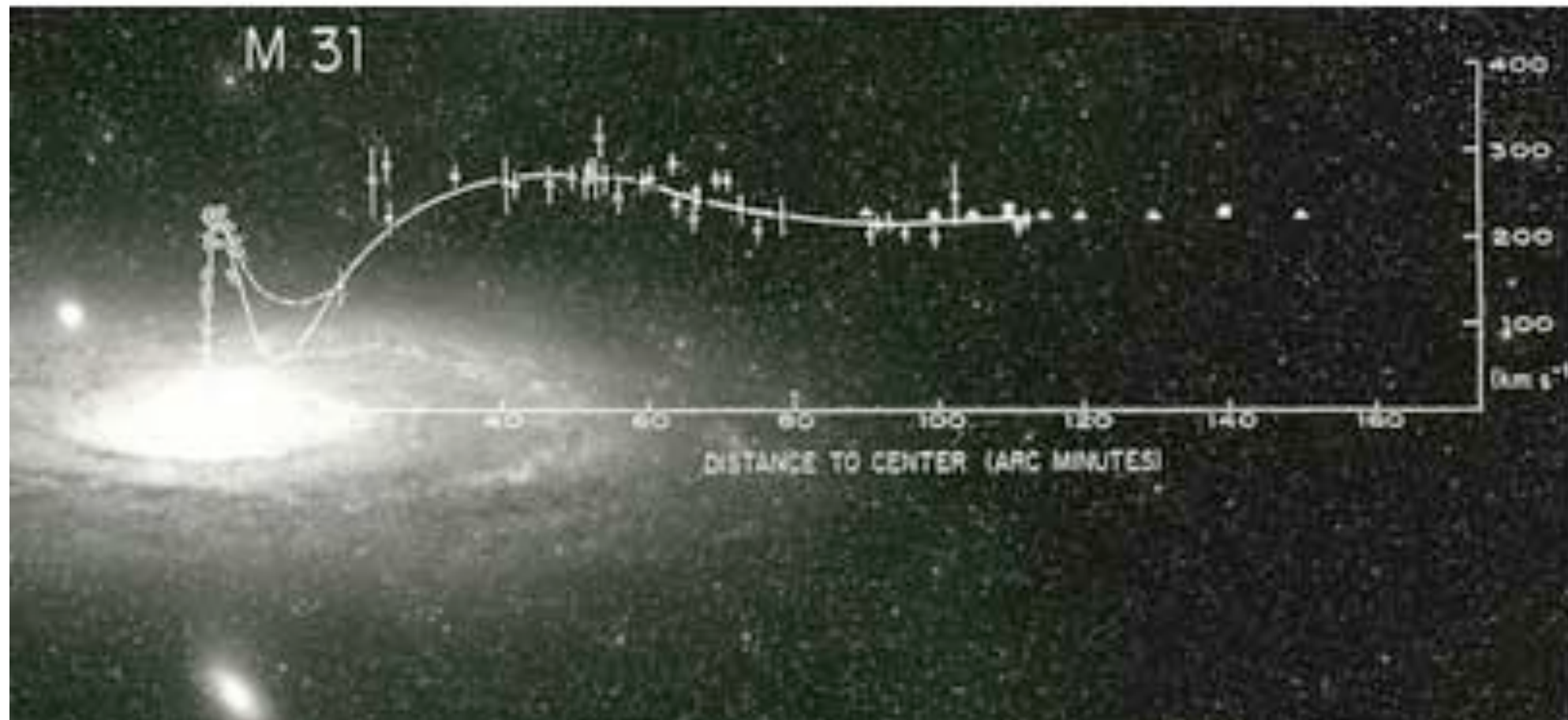
Materia scura: un po' di storia

Zwicky (1933). Ammasso di galassie "Coma": 400 più massa che visibile



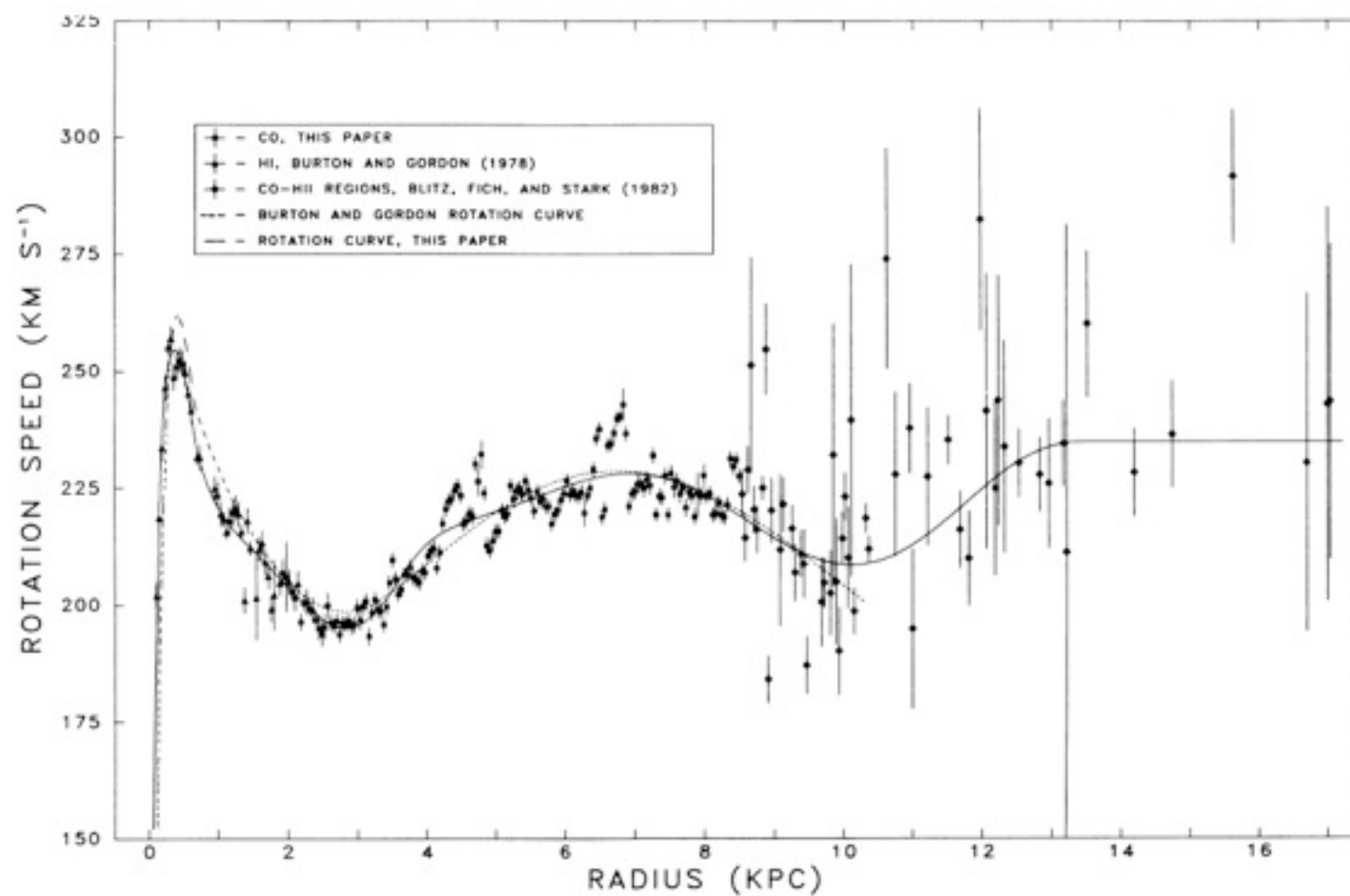
Materia scura: un po' di storia

Rubin (1960). Rotazione di galassie spirale



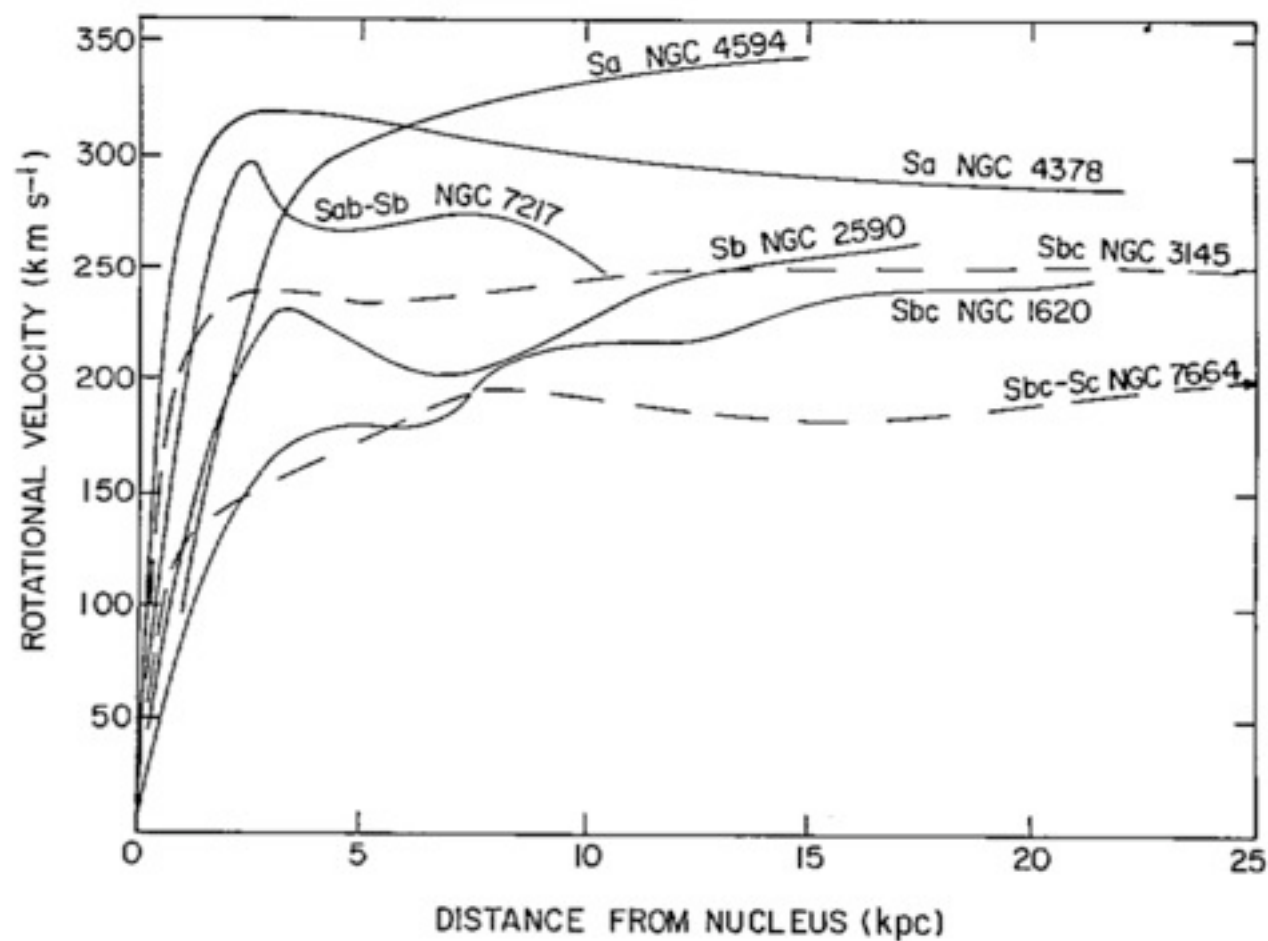
Materia scura: un po' di storia

Rubin (1960). Rotazione di galassie spirale

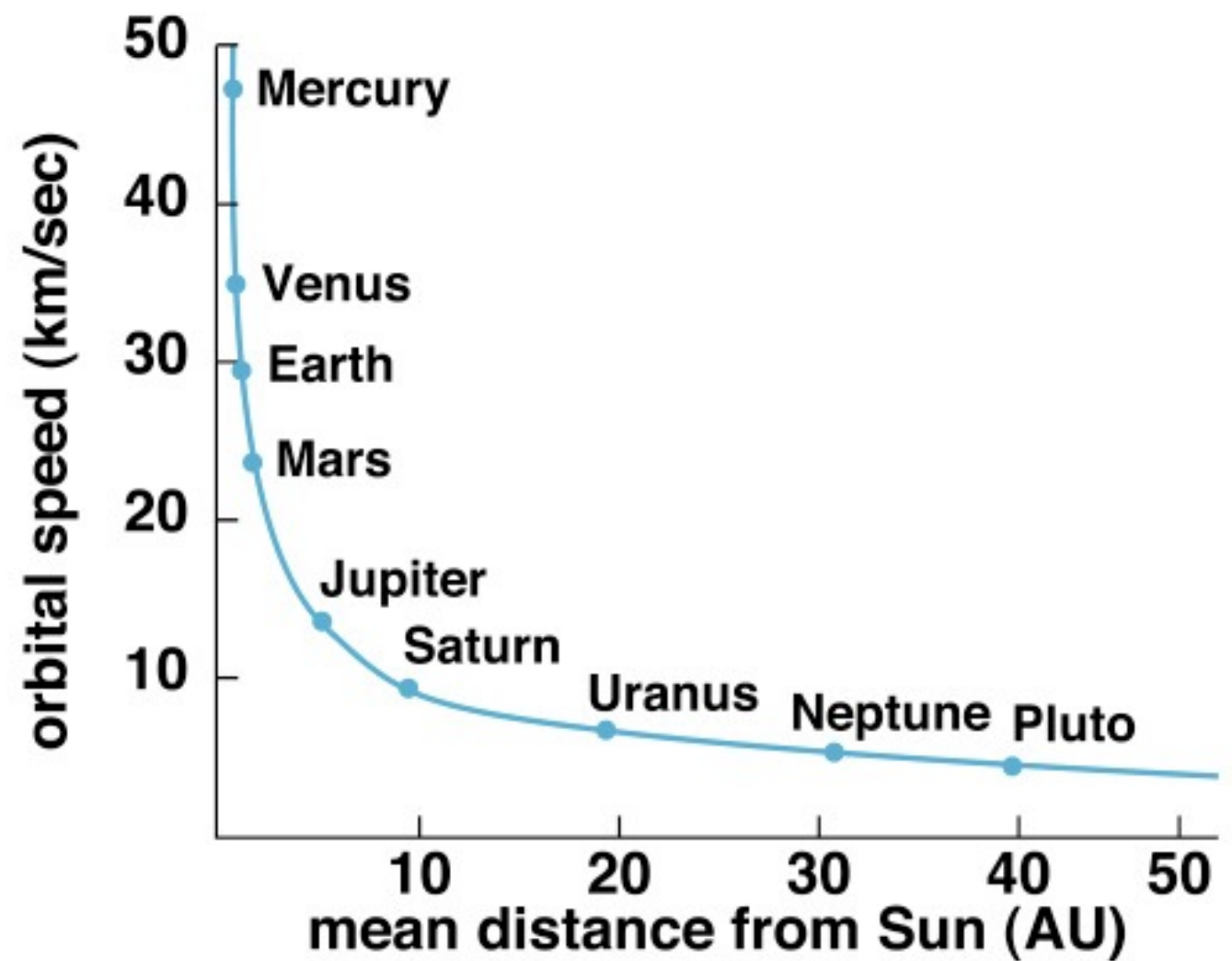


Materia scura: un po' di storia

Rubin (1960). Rotazione di galassie spirale



Materia scura



(b)

Copyright © Addison Wesley

Materia scura

- Per una massa **M** tutta concentrata al centro del sistema e una massa **m** di un corpo orbitando attorno:

Materia scura

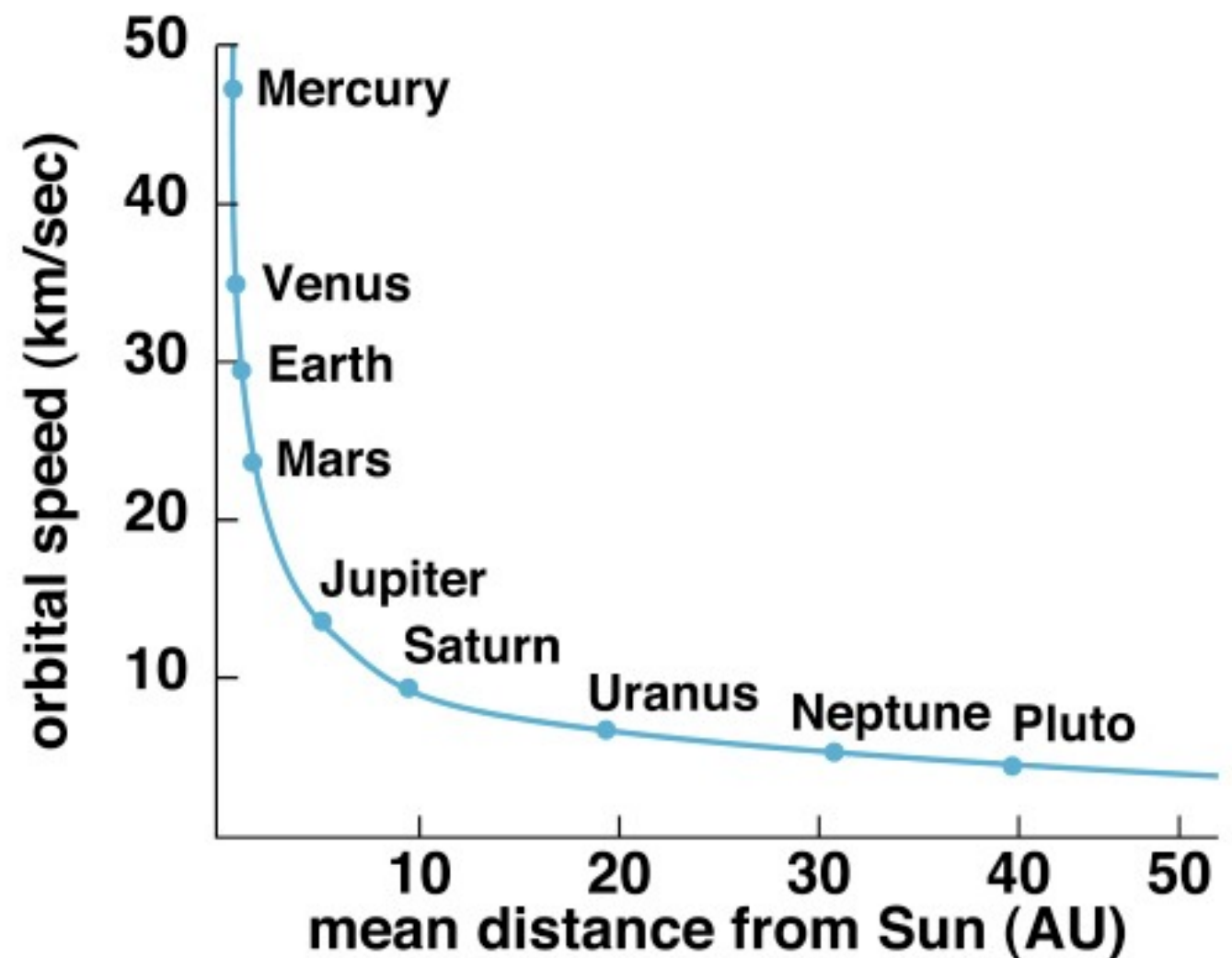
- Per una massa **M** tutta concentrata al centro del sistema e una massa **m** di un corpo orbitando attorno:
- $F_{\text{centripeta}} = F_{\text{gravità}}$

Materia scura

- Per una massa **M** tutta concentrata al centro del sistema e una massa **m** di un corpo orbitando attorno:
- $F_{\text{centripeta}} = F_{\text{gravità}}$
- $mv^2 / R = G M m / R^2 \Rightarrow$
 $v = \sqrt{GM/R} \sim 1 / \sqrt{R}$

Materia scura

- Per una massa **M** tutta concentrata al centro del sistema e una massa **m** di un corpo orbitando attorno:
- $F_{\text{centripeta}} = F_{\text{gravità}}$
- $mv^2 / R = G M m / R^2 \Rightarrow$
 $v = \sqrt{GM/R} \sim 1 / \sqrt{R}$

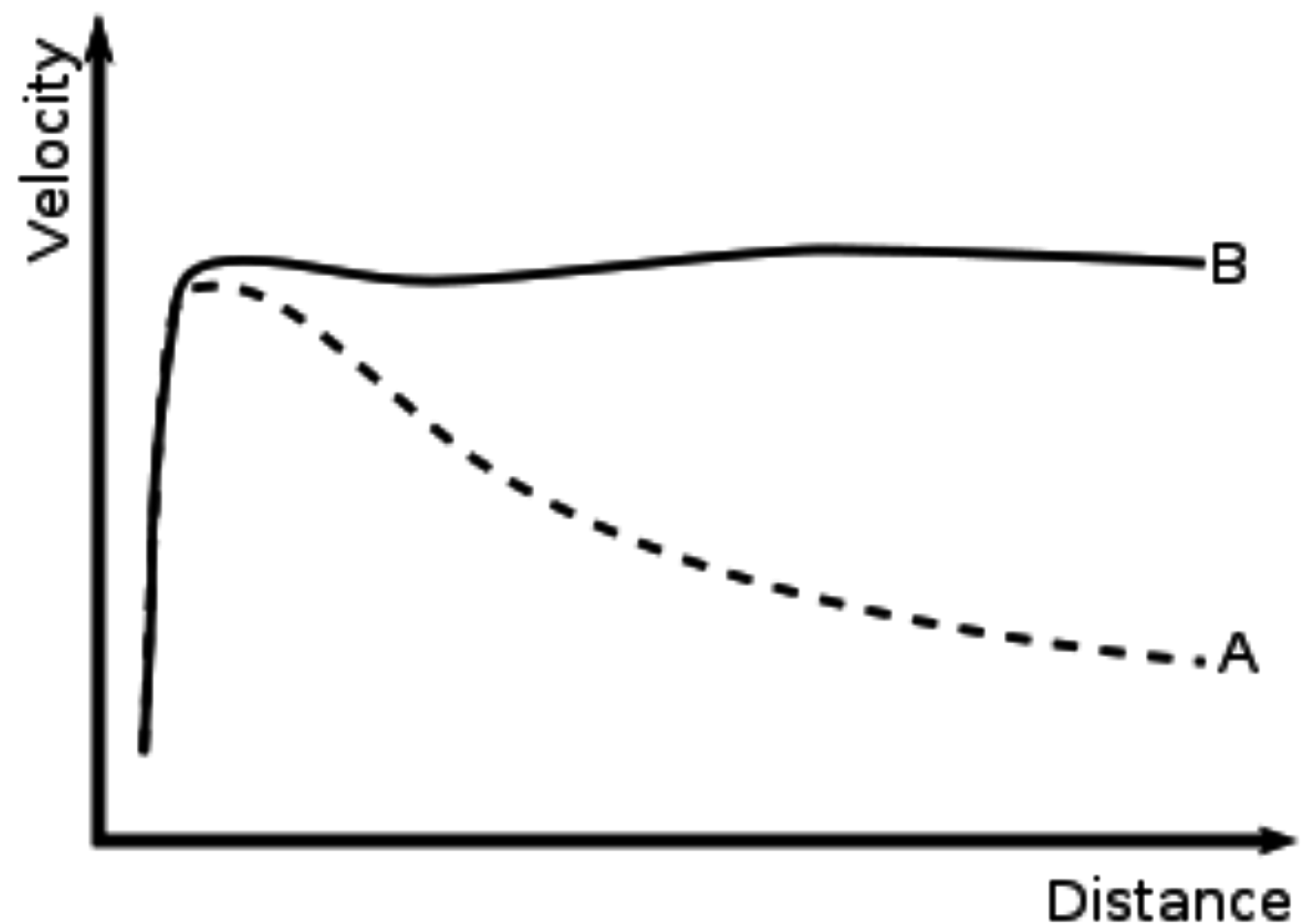


(b)

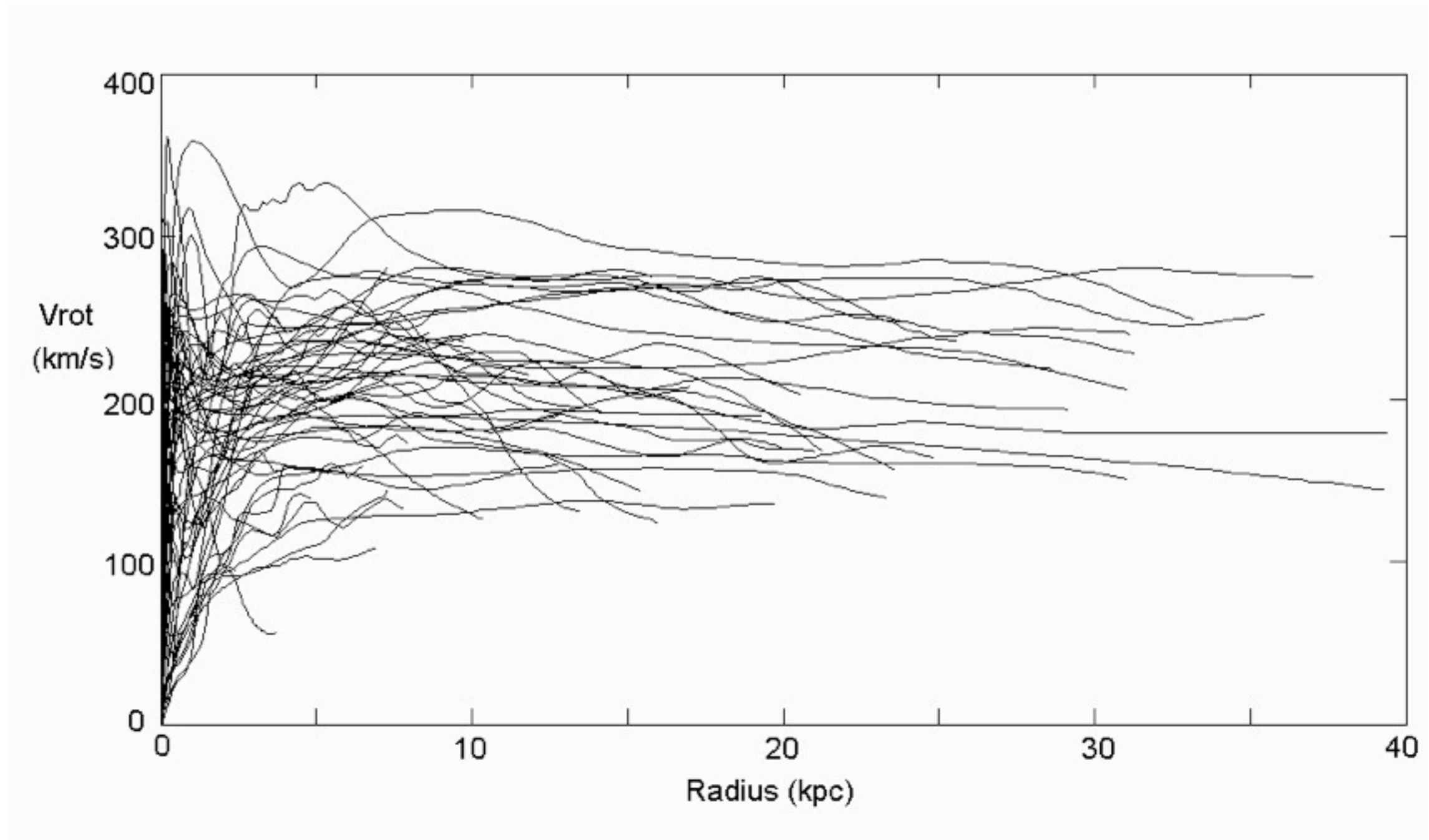
Copyright © Addison Wesley

Materia scura

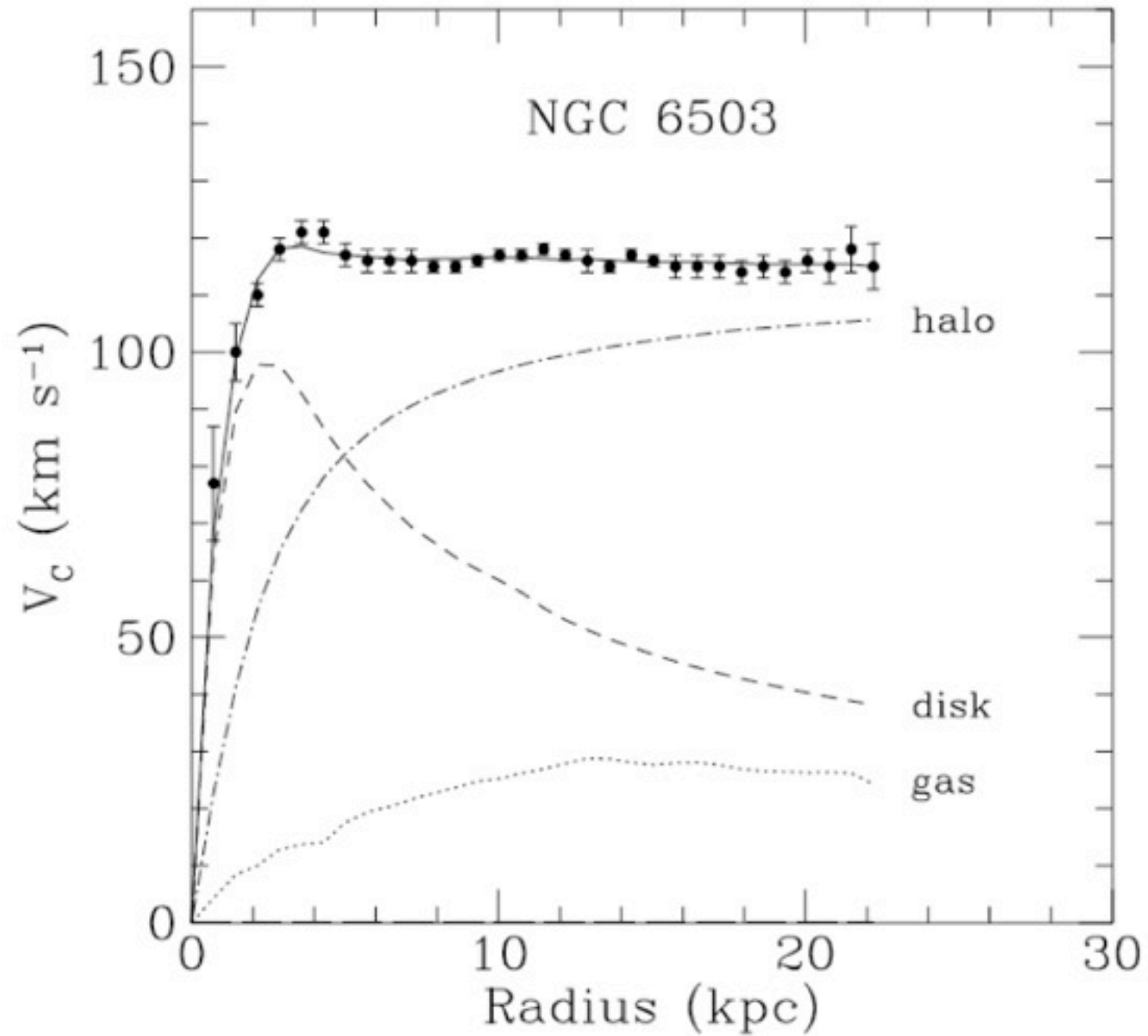
- Per una massa **M** tutta concentrata al centro del sistema e una massa **m** di un corpo orbitando attorno:
- $F_{\text{centripeta}} = F_{\text{gravità}}$
- $mv^2 / R = G M m / R^2 \Rightarrow$
 $v = \sqrt{GM/R} \sim 1 / \sqrt{R}$



Materia scura: misurare la velocità del gas

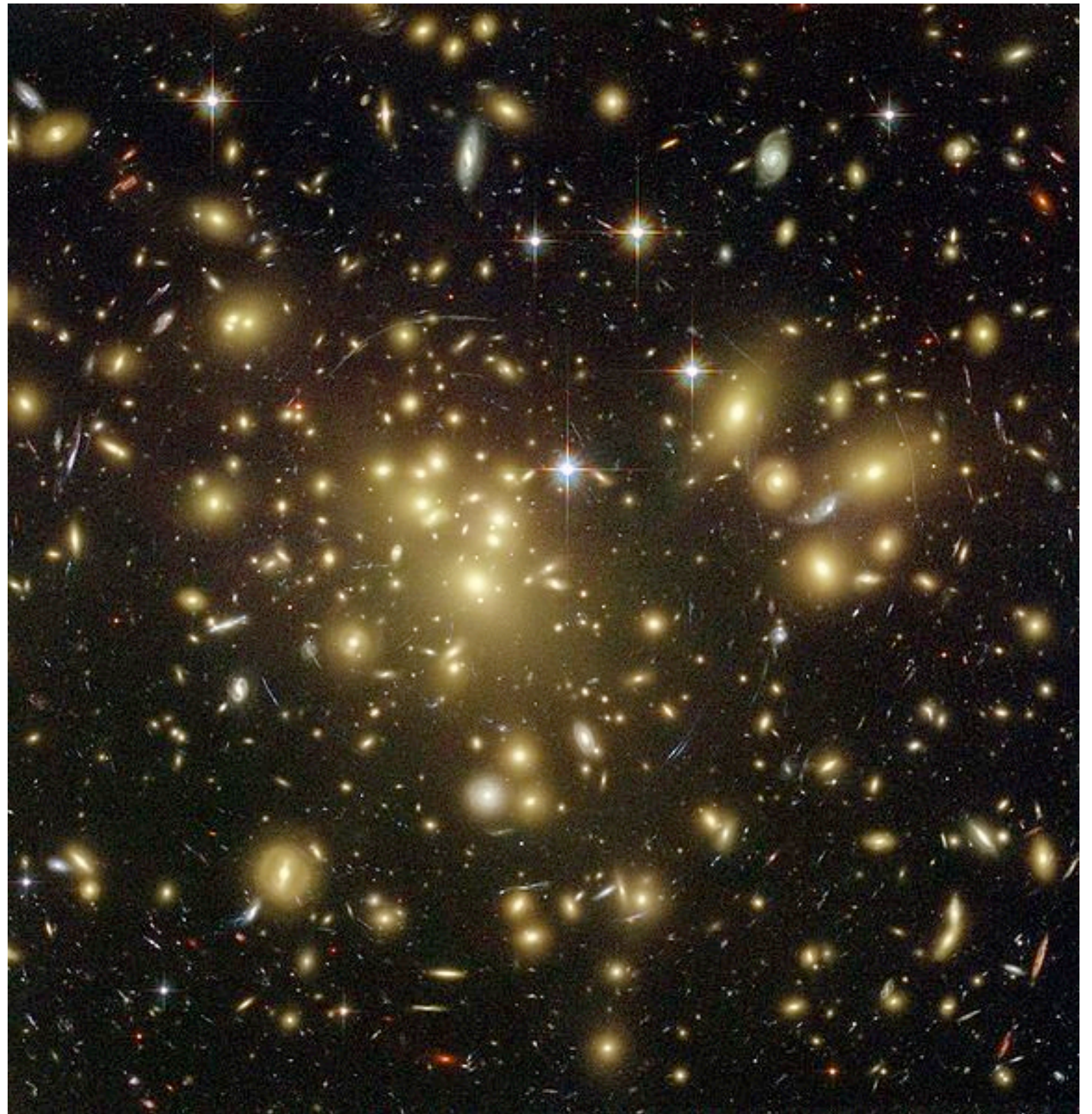


Materia scura: misurare la velocità del gas



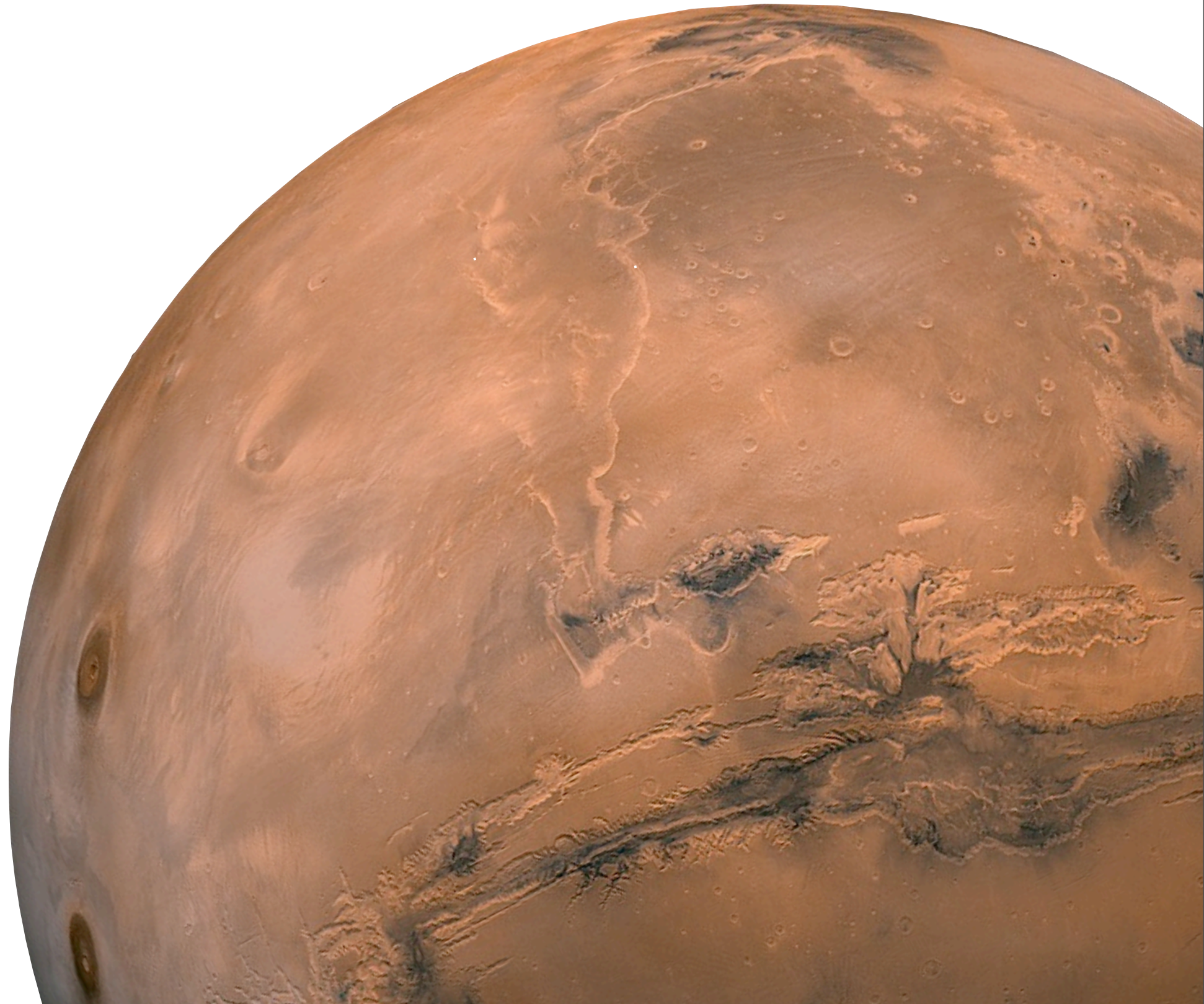
Materia scura: lente gravitazionale

Amasso di galassie
Abell 1689



Capitolo 4:

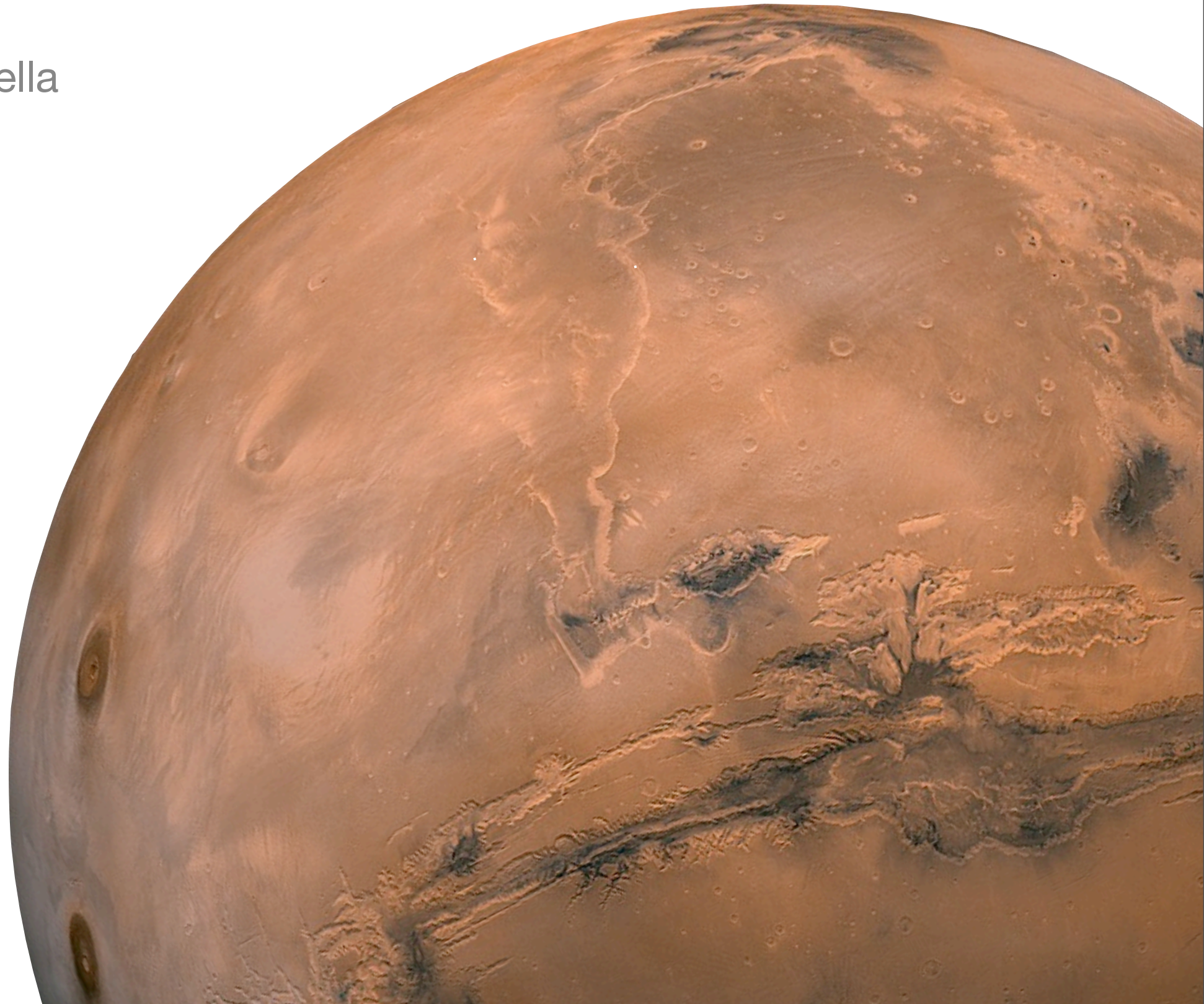
La ricerca della vita su Marte



Capitolo 4:

La ricerca della vita su Marte

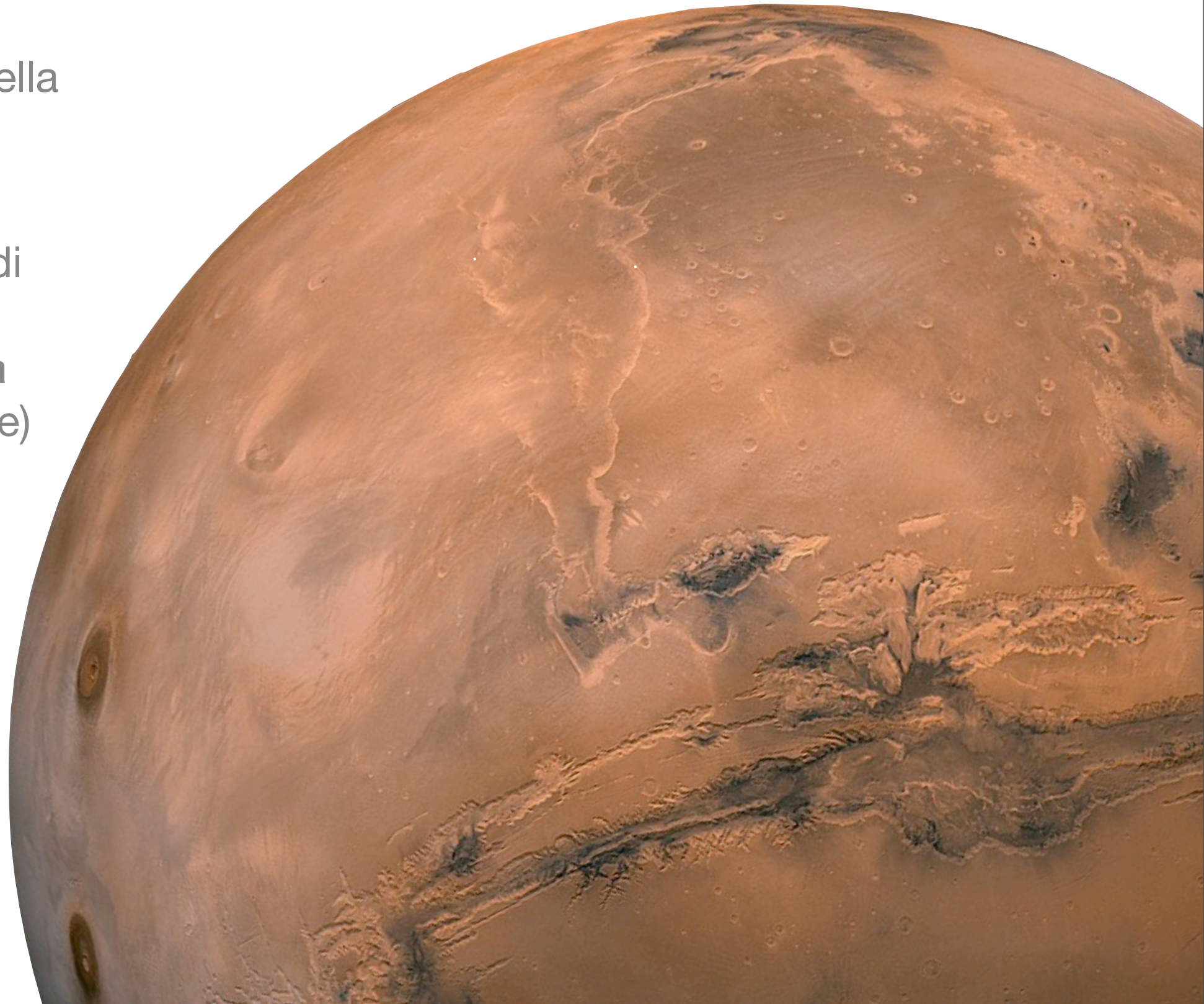
- Recenti missioni della NASA



Capitolo 4:

La ricerca della vita su Marte

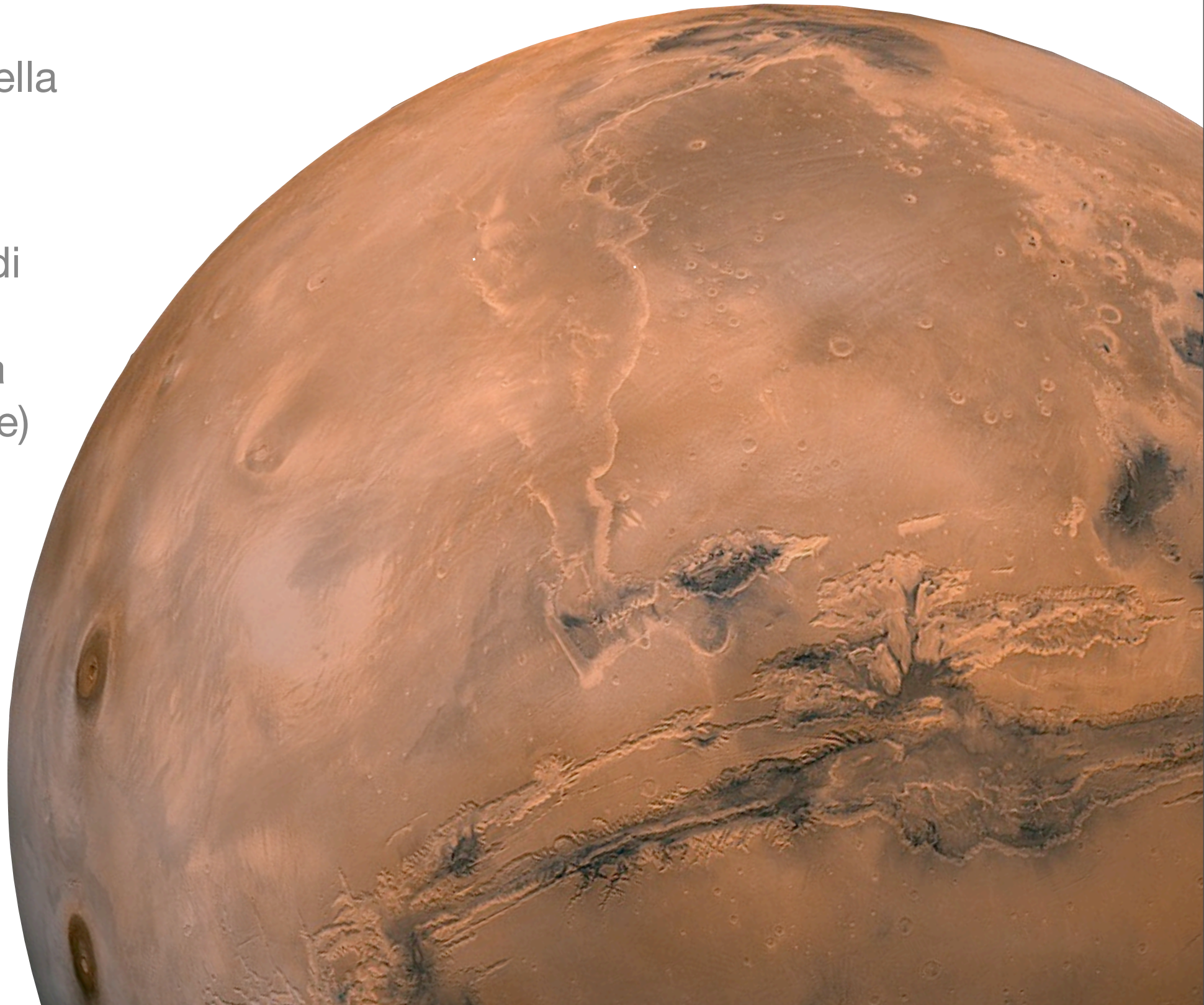
- Recenti missioni della NASA
- Linea conduttrice di queste missioni: la **ricerca dell'acqua** (passata o presente)



Capitolo 4:

La ricerca della vita su Marte

- Recenti missioni della NASA
- Linea conduttrice di queste missioni: la **ricerca dell'acqua** (passata o presente)
- Similitudine con la Terra



La ricerca della vita su Marte

Recenti missioni della NASA:

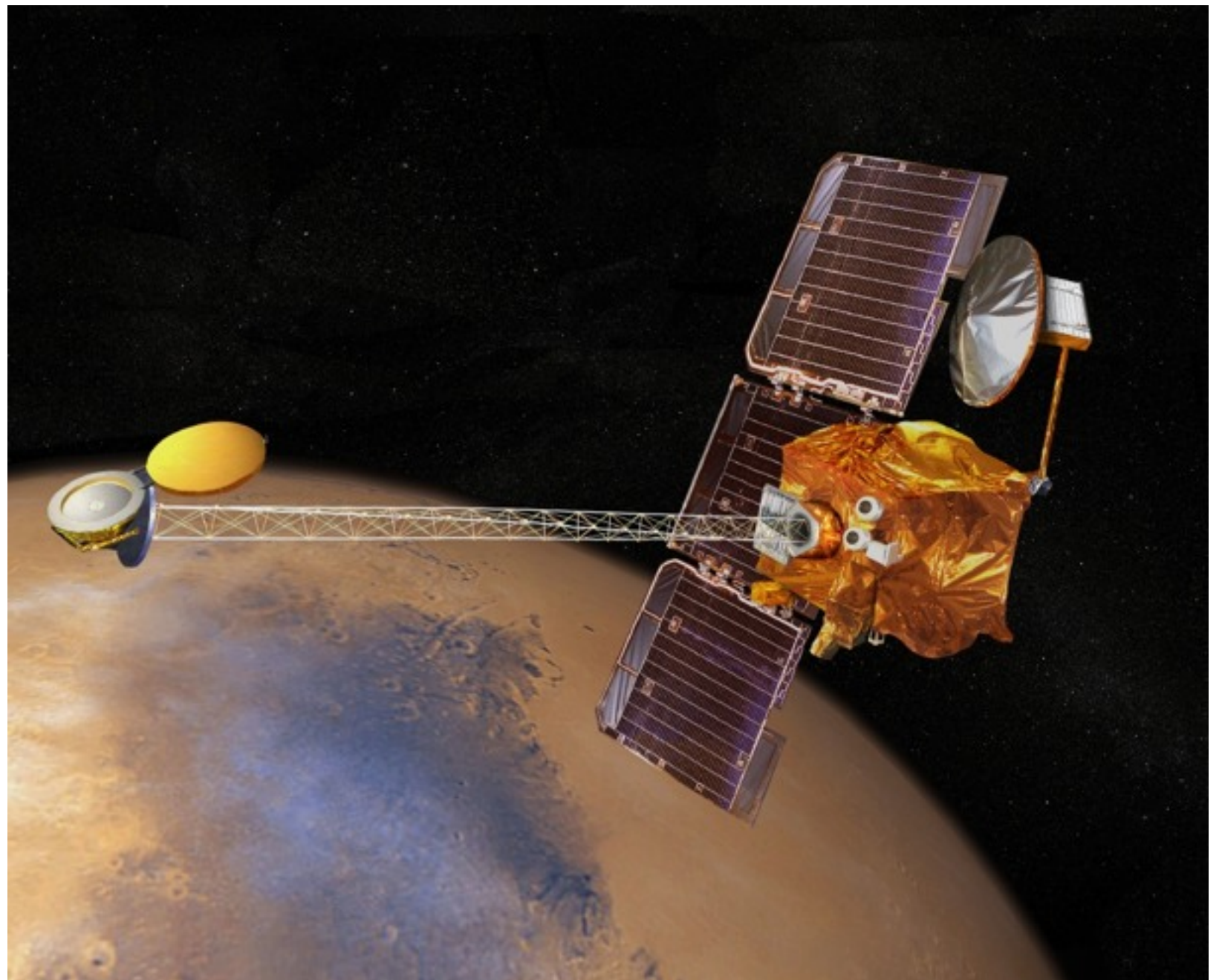
1. Mars Global Surveyor (novembre 1996)



La ricerca della vita su Marte

Recenti missioni della NASA:

2. 2001 Mars Odyssey (aprile 2001)



La ricerca della vita su Marte

Recenti missioni della NASA:

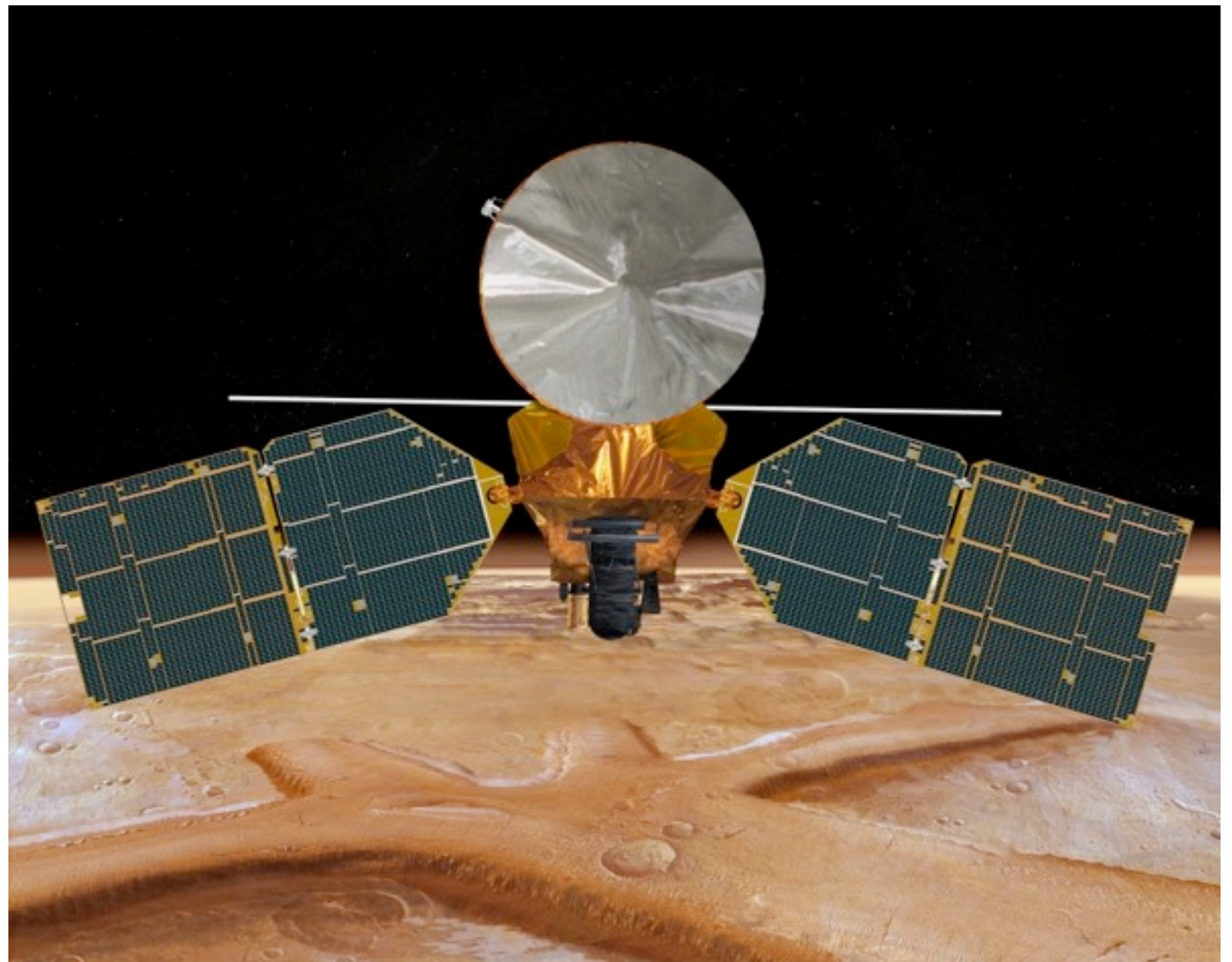
3. Mars Exploration Rovers (giugno e luglio 2003)



La ricerca della vita su Marte

Recenti missioni della NASA:

4. Mars Reconnaissance Orbiter (agosto 2005)



La ricerca della vita su Marte

Recenti missioni della NASA:

5. Phoenix Mars Lander (agosto 2007)



Il clima di Marte oggi

Il clima di Marte oggi



Il clima di Marte oggi

- 1/2 del diametro terrestre e 1.5 più distante.



Il clima di Marte oggi

- 1/2 del diametro terrestre e 1.5 più distante.
- Pressione atmosferica: 1 - 14 mbar.



Il clima di Marte oggi

- 1/2 del diametro terrestre e 1.5 più distante.
- Pressione atmosferica: 1 - 14 mbar.
- Atmosfera composta al 99% di CO₂



Il clima di Marte oggi

- 1/2 del diametro terrestre e 1.5 più distante.
- Pressione atmosferica: 1 - 14 mbar.
- Atmosfera composta al 99% di CO₂
- Stesso periodo di rotazione $\Rightarrow$ giorno di 24 ore e 40 min.



Il clima di Marte oggi

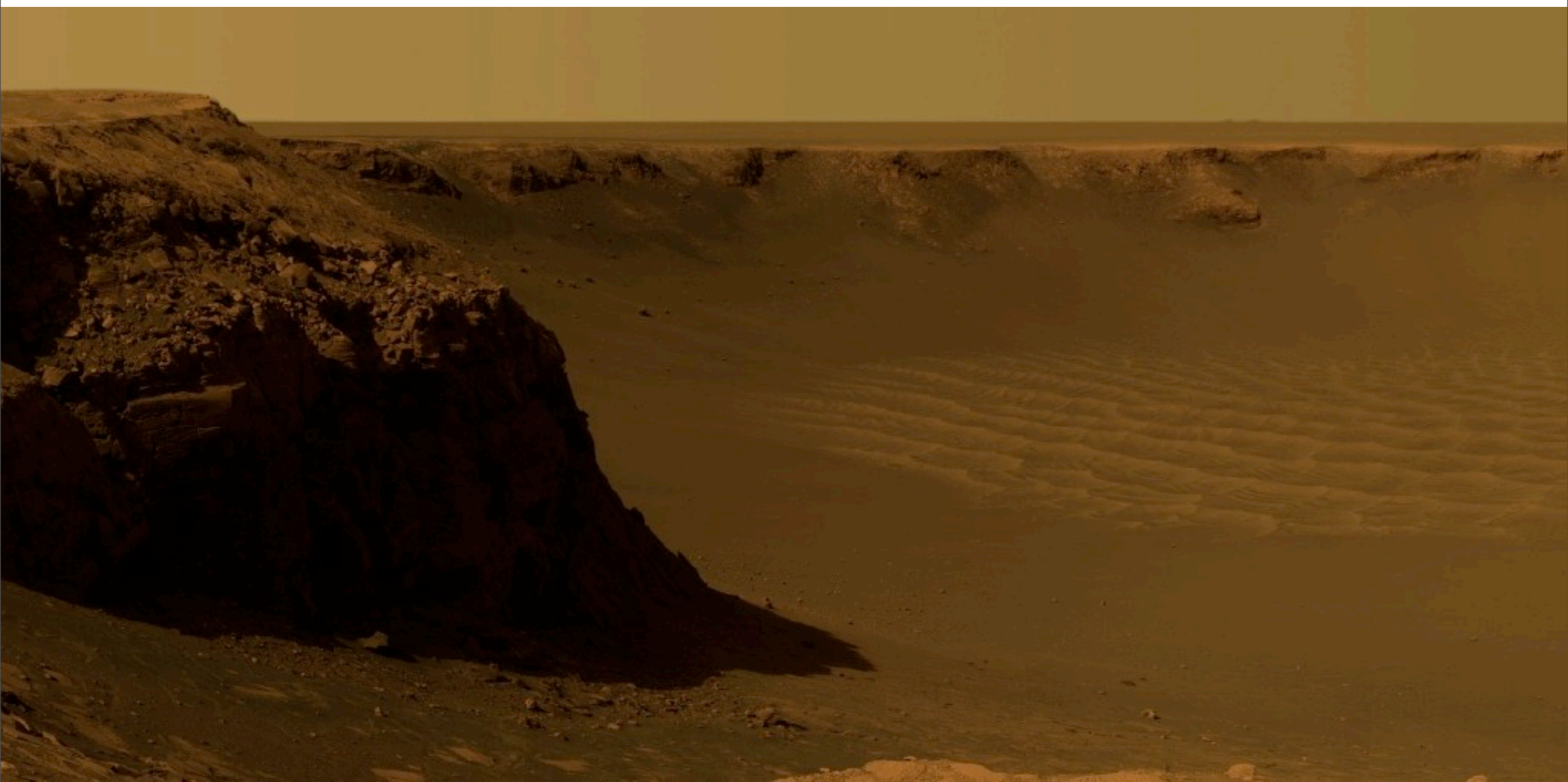
- 1/2 del diametro terrestre e 1.5 più distante.
- Pressione atmosferica: 1 - 14 mbar.
- Atmosfera composta al 99% di CO₂
- Stesso periodo di rotazione $\Rightarrow$ giorno di 24 ore e 40 min.
- Stessa obliquità $\Rightarrow$ ciclo delle stagioni paragonabile.



Il paesaggio su Marte



Il clima di Marte oggi



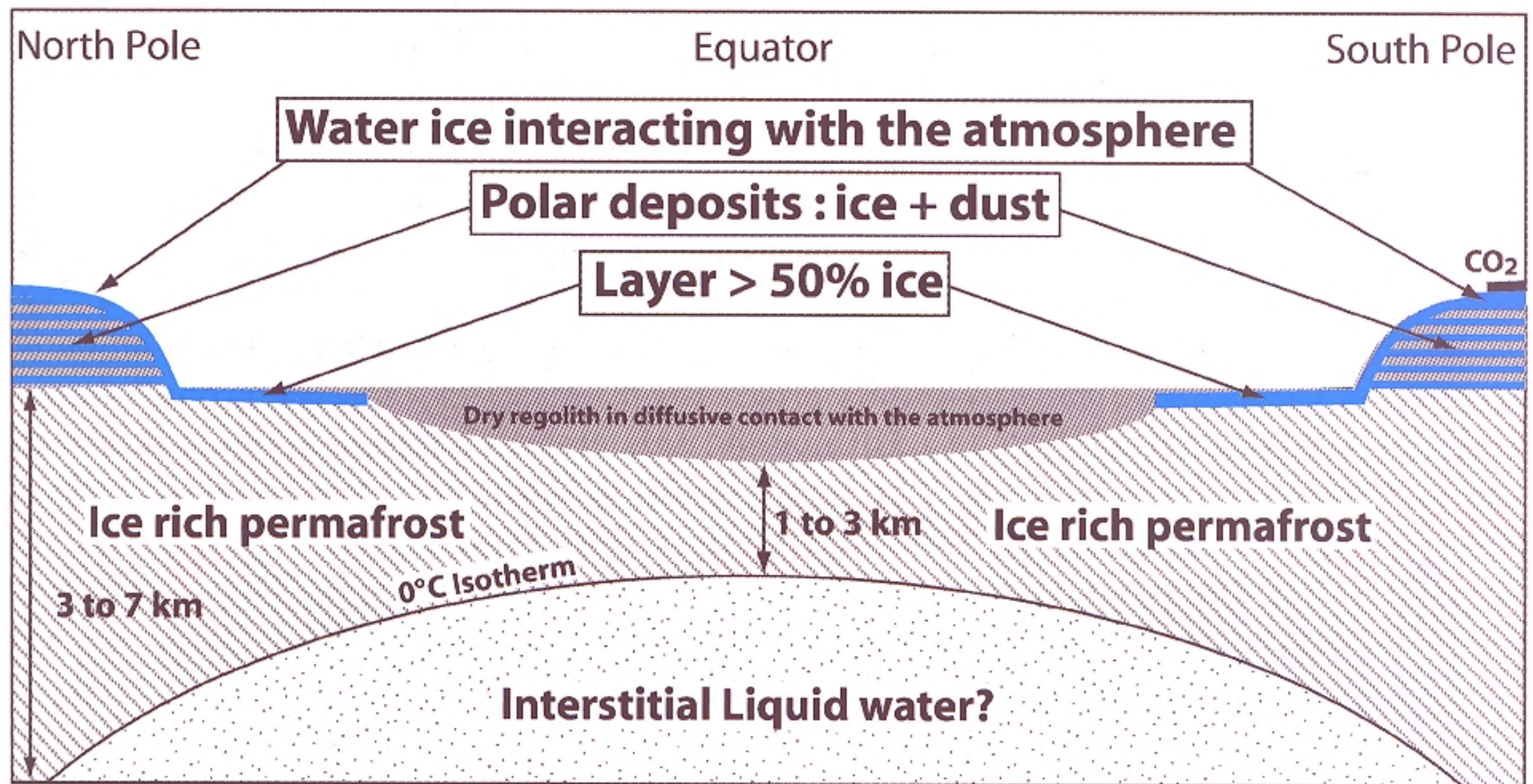
Il clima di Marte oggi

Polvere nell'aria, tempeste globali



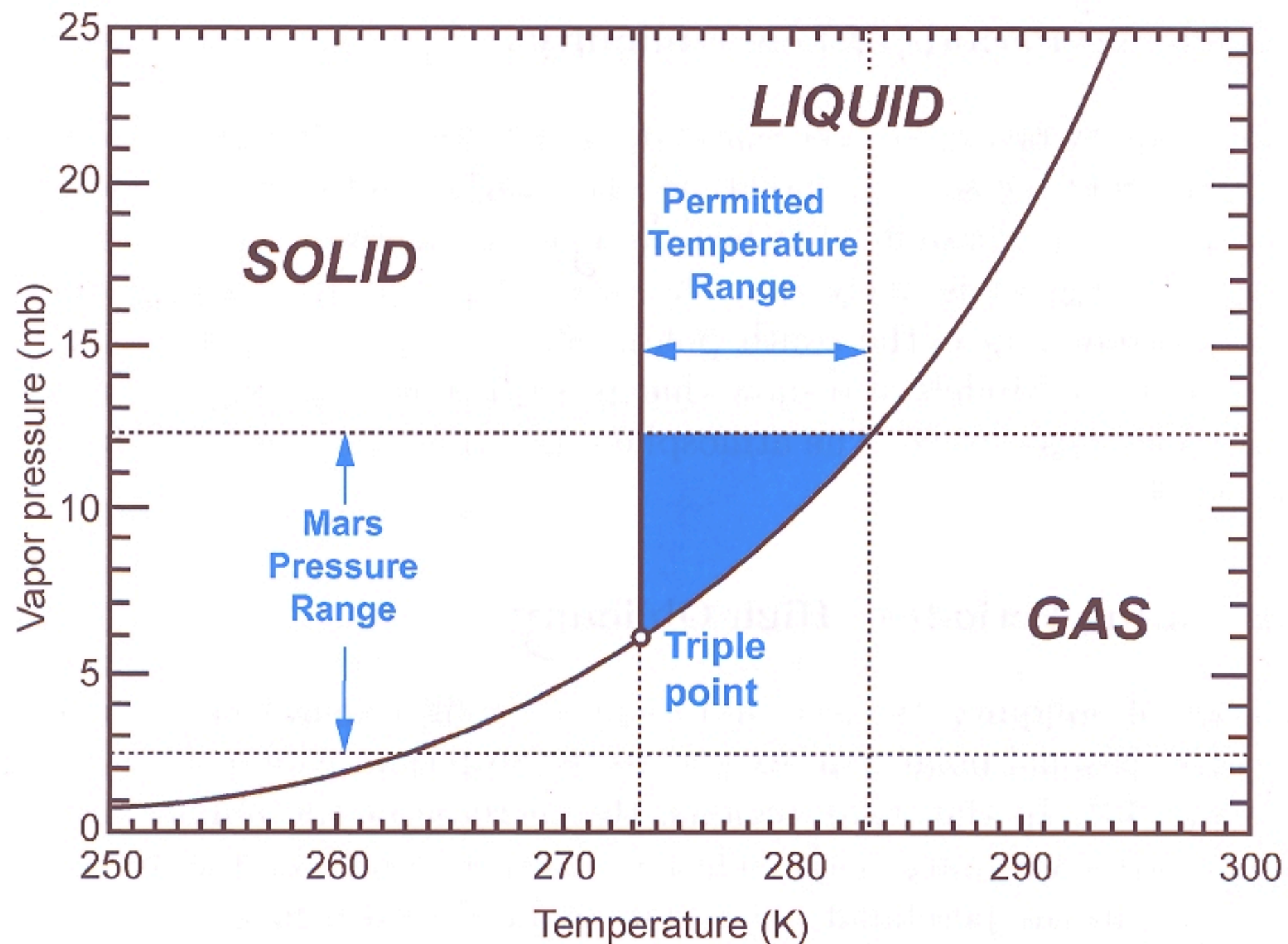
L'acqua su Marte oggi

Sotto forma **solida** o **gassosa**, acqua dappertutto su Marte



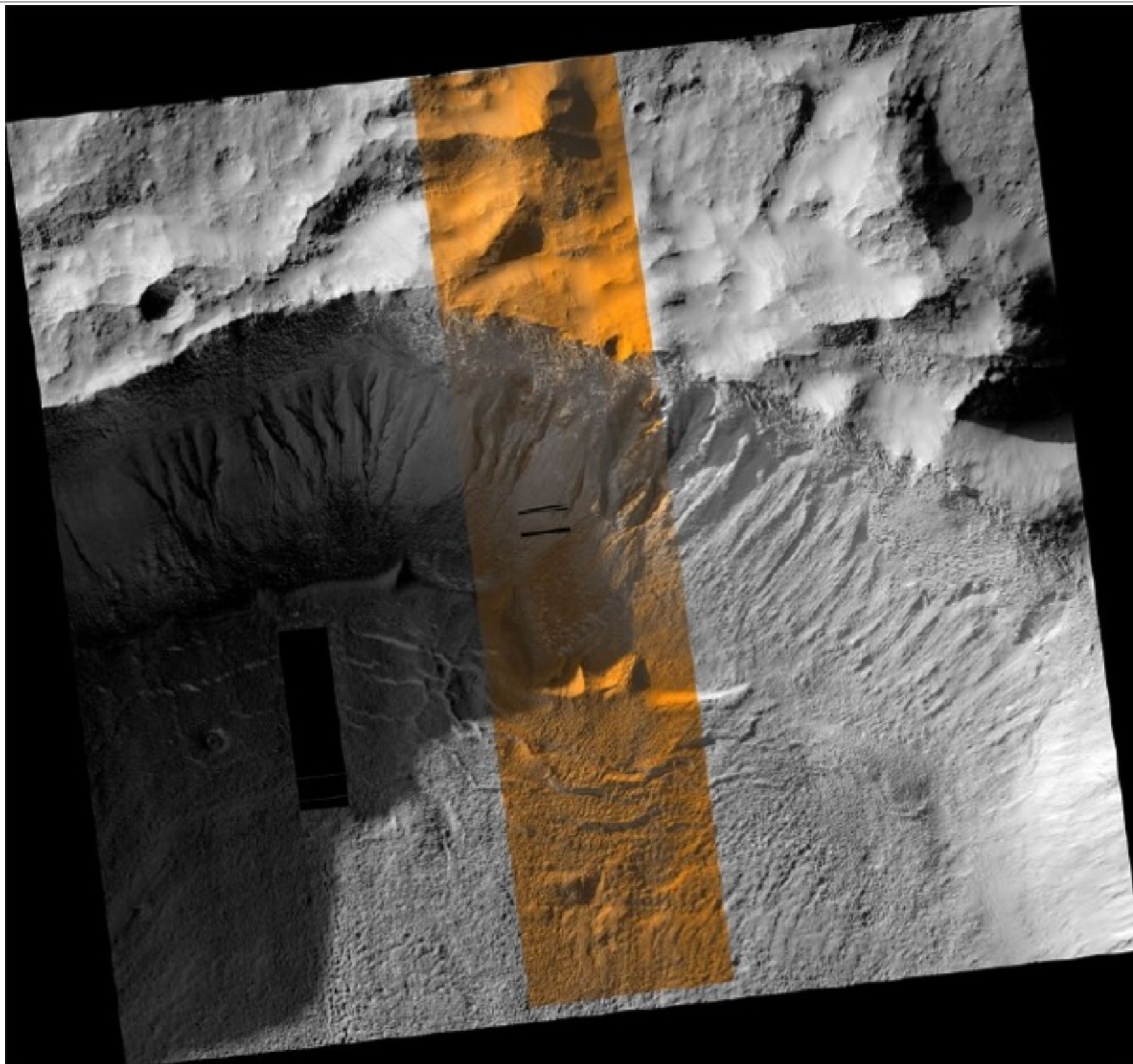
L'acqua su Marte oggi

Sotto forma **solida** o **gassosa**, acqua dappertutto su Marte



Segni di erosione dell'acqua?

Gole



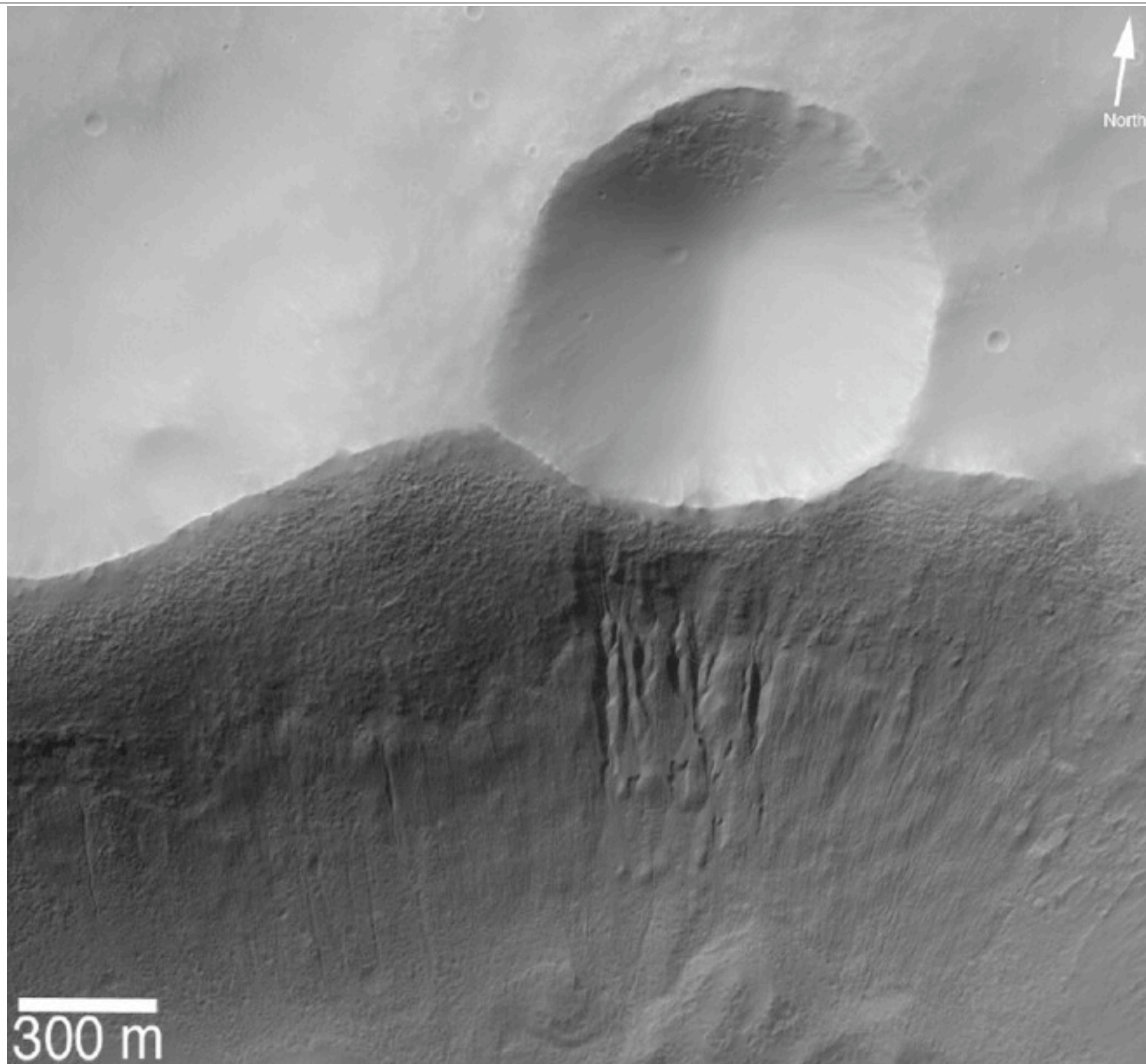
Segni di erosione dell'acqua?

Gole



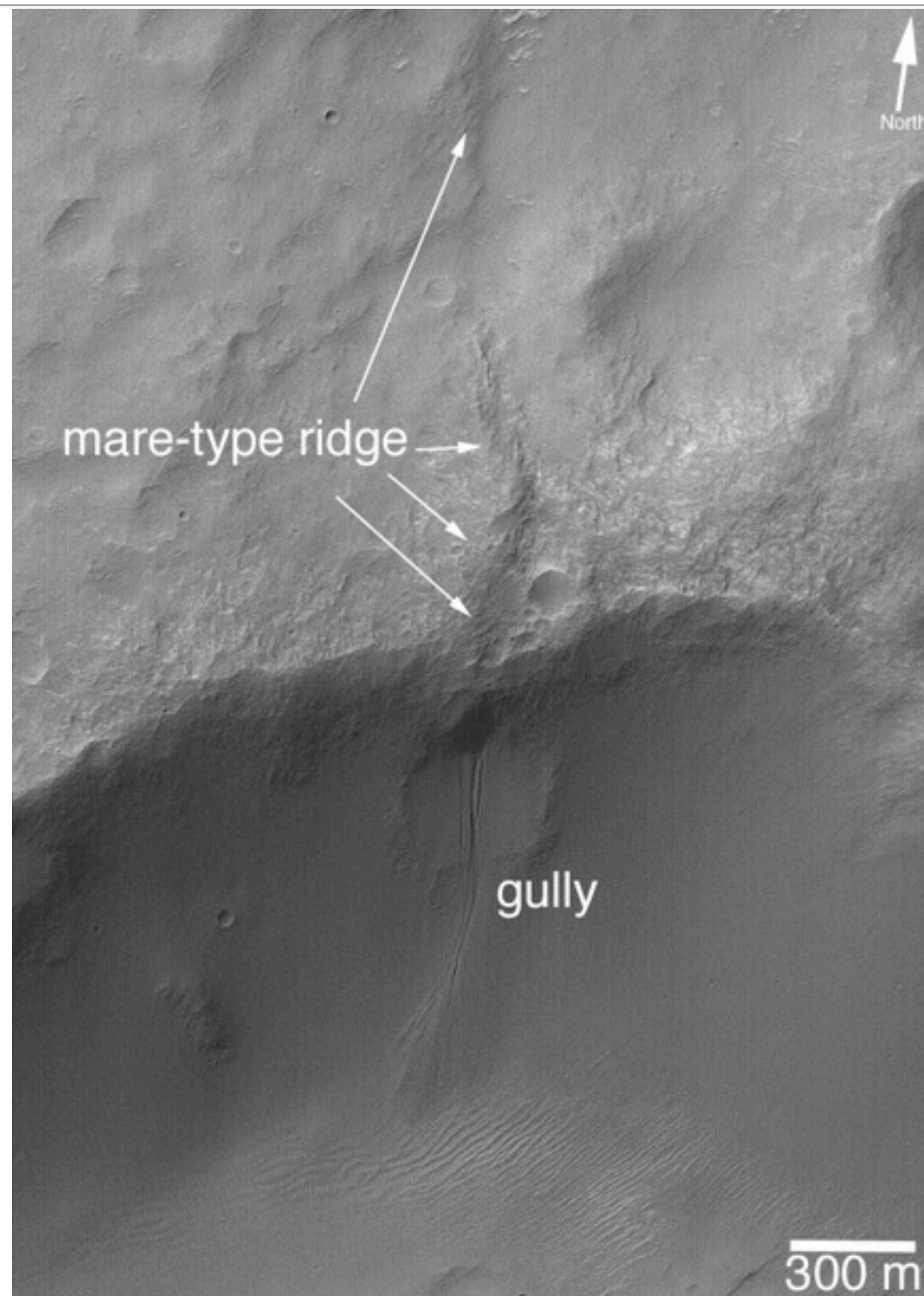
Segni di erosione dell'acqua?

Gole



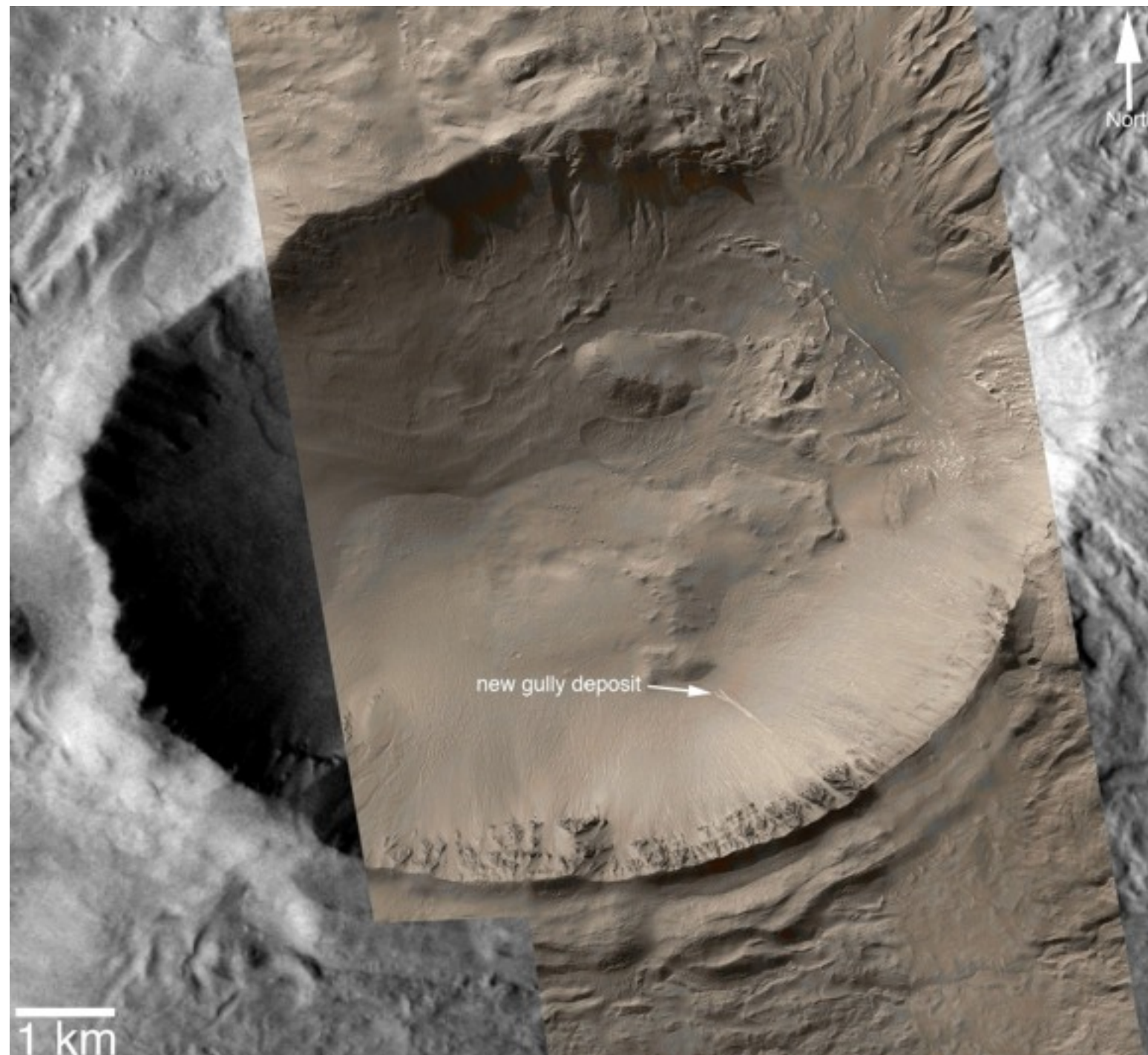
Segni di erosione dell'acqua?

Gole



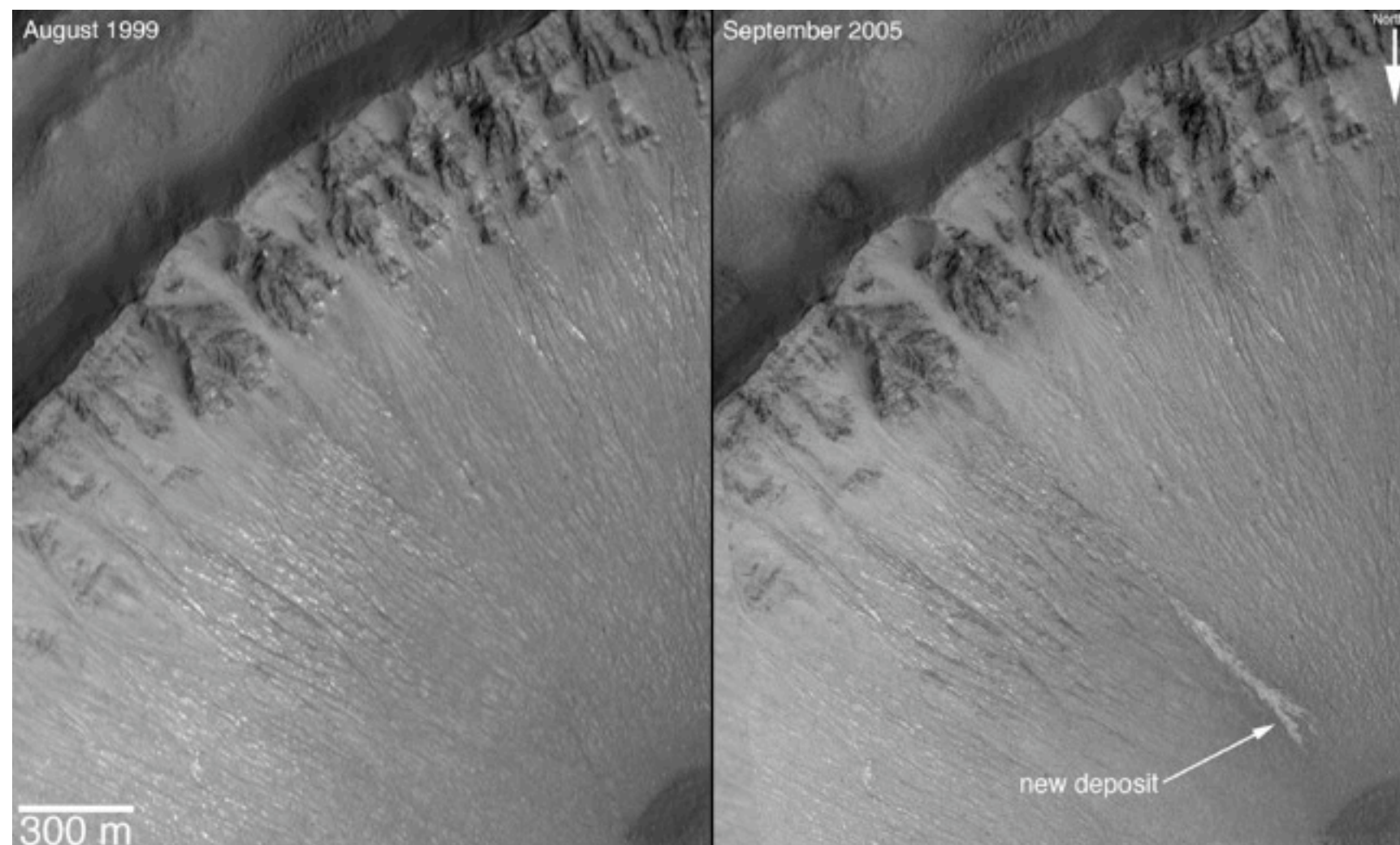
Segni di erosione dell'acqua?

Quando queste gole si sono formate?



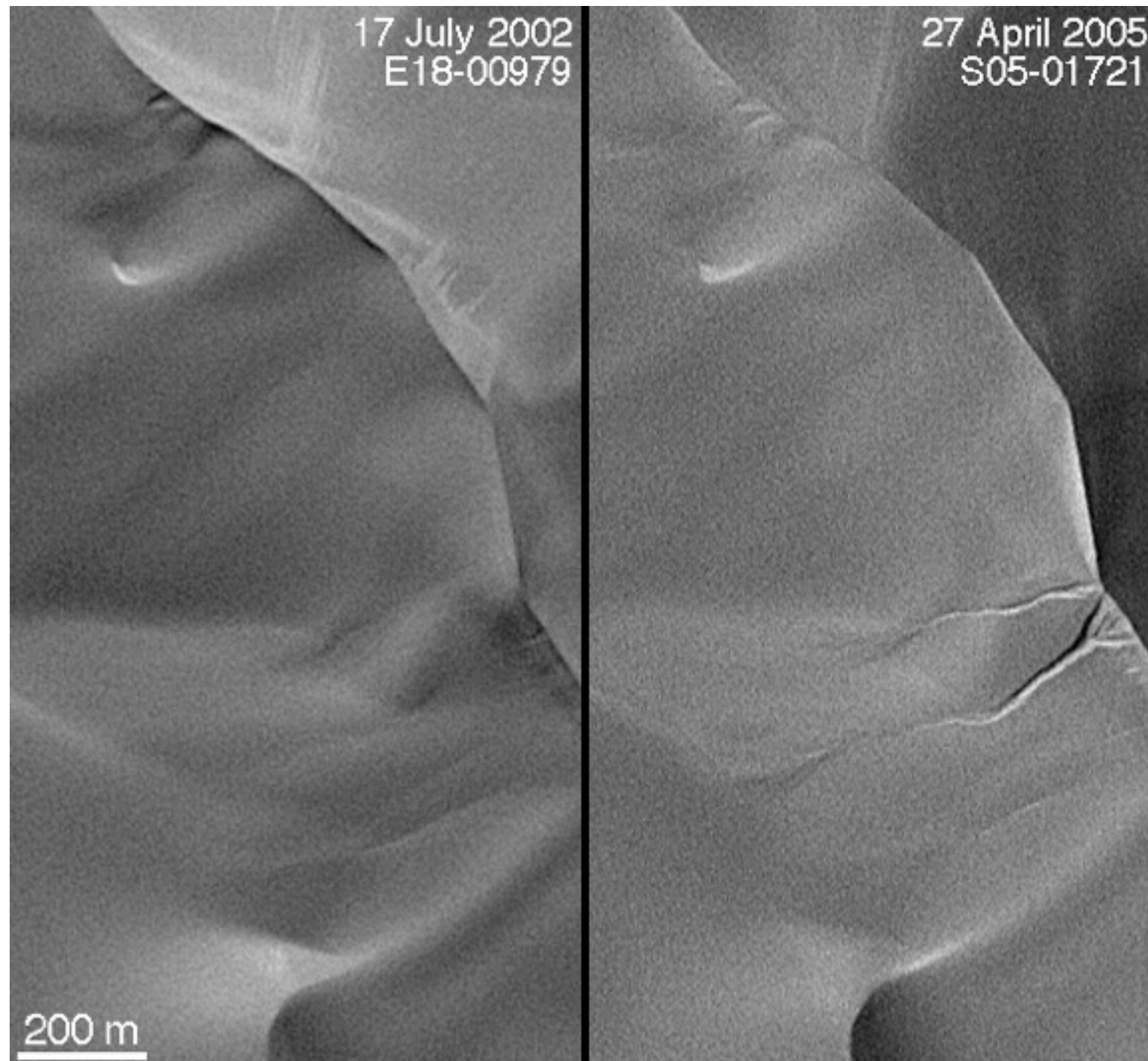
Segni di erosione dell'acqua?

Quando queste gole si sono formate?



Segni di erosione dell'acqua?

Quando queste gole si sono formate?



Segni di erosione dell'acqua?



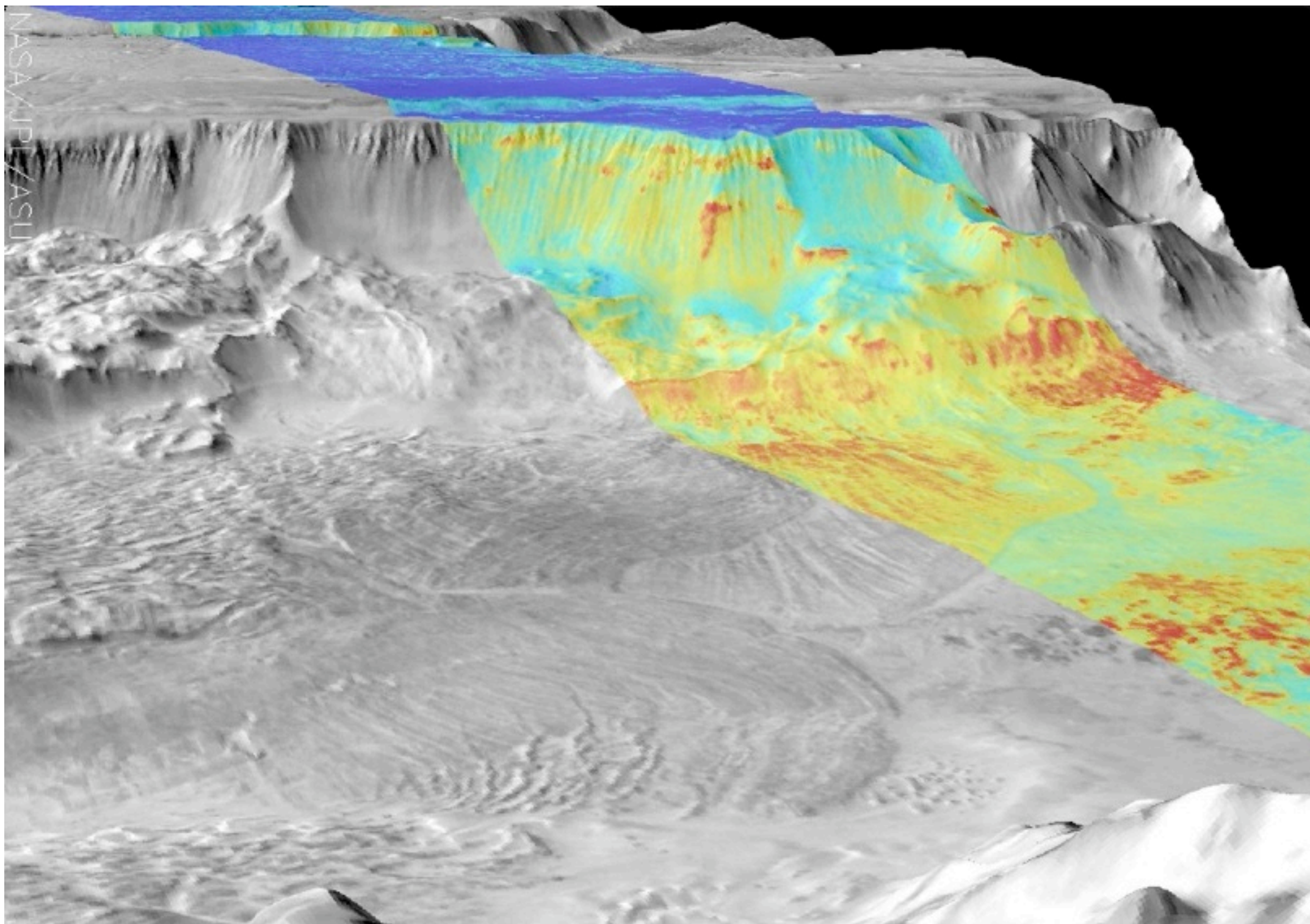
Segni di erosione dell'acqua?

Eruzioni catastrofiche



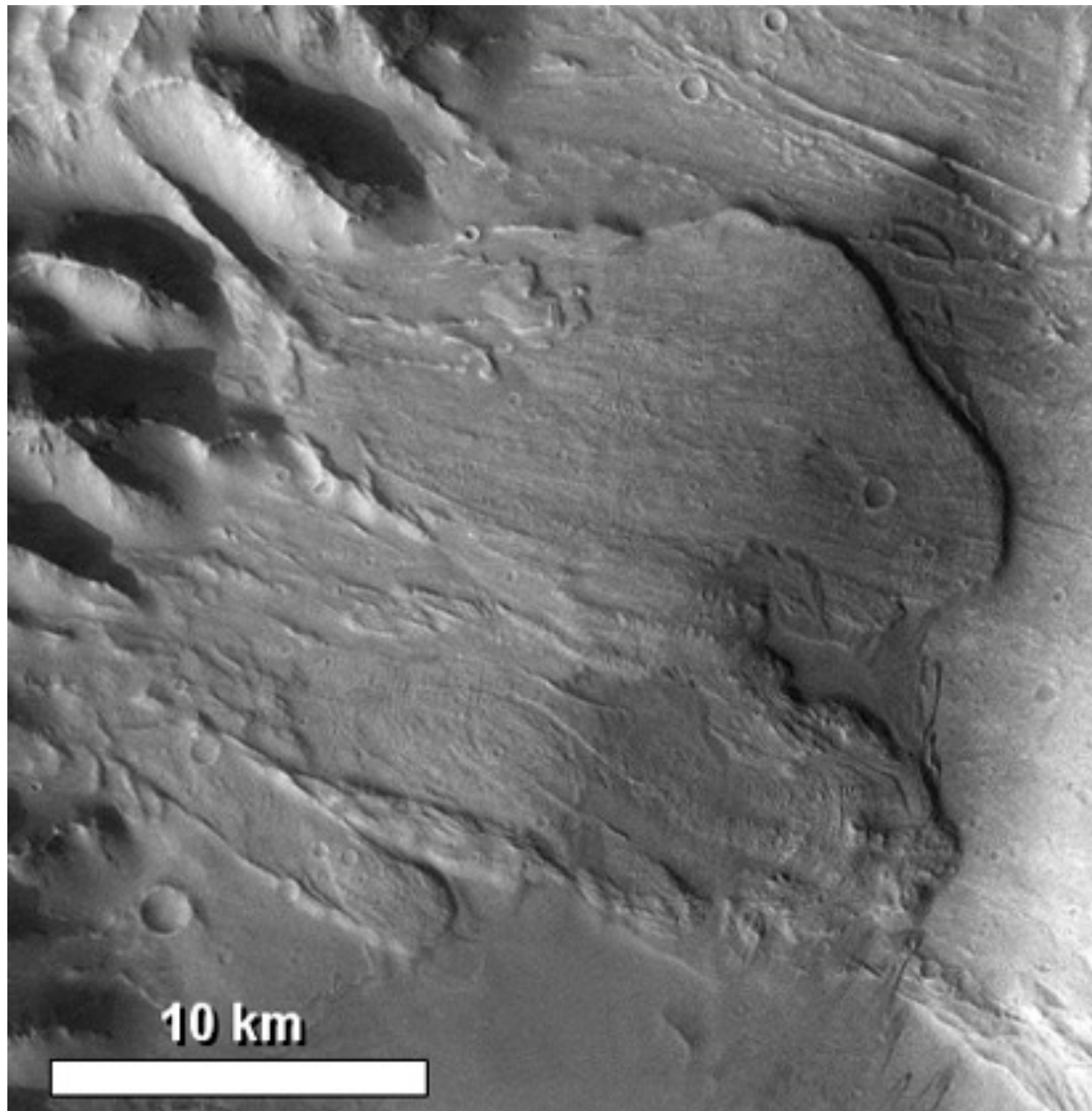
Segni di erosione dell'acqua?

Eruzioni catastrofiche



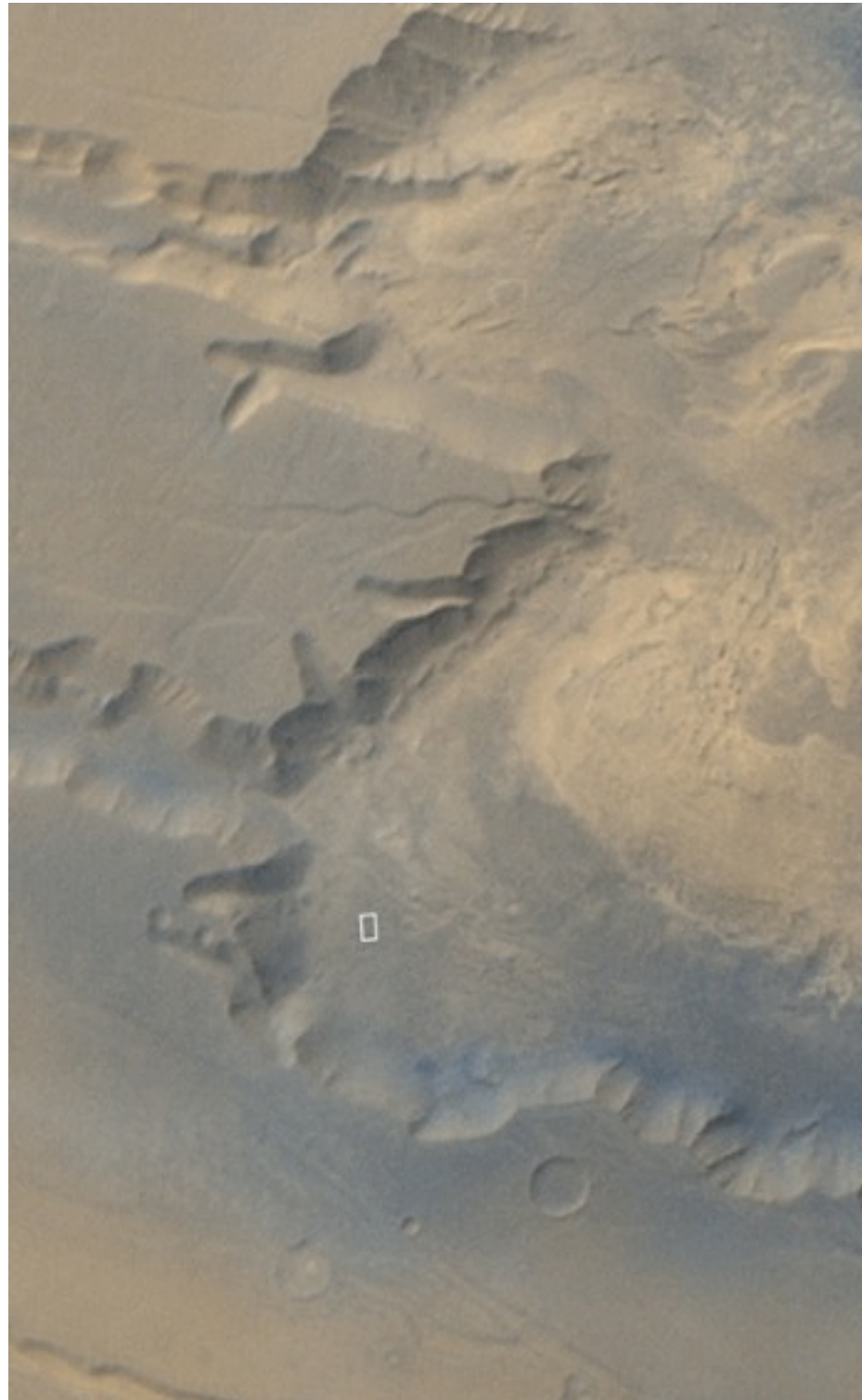
Segni di erosione dell'acqua?

Eruzioni catastrofiche



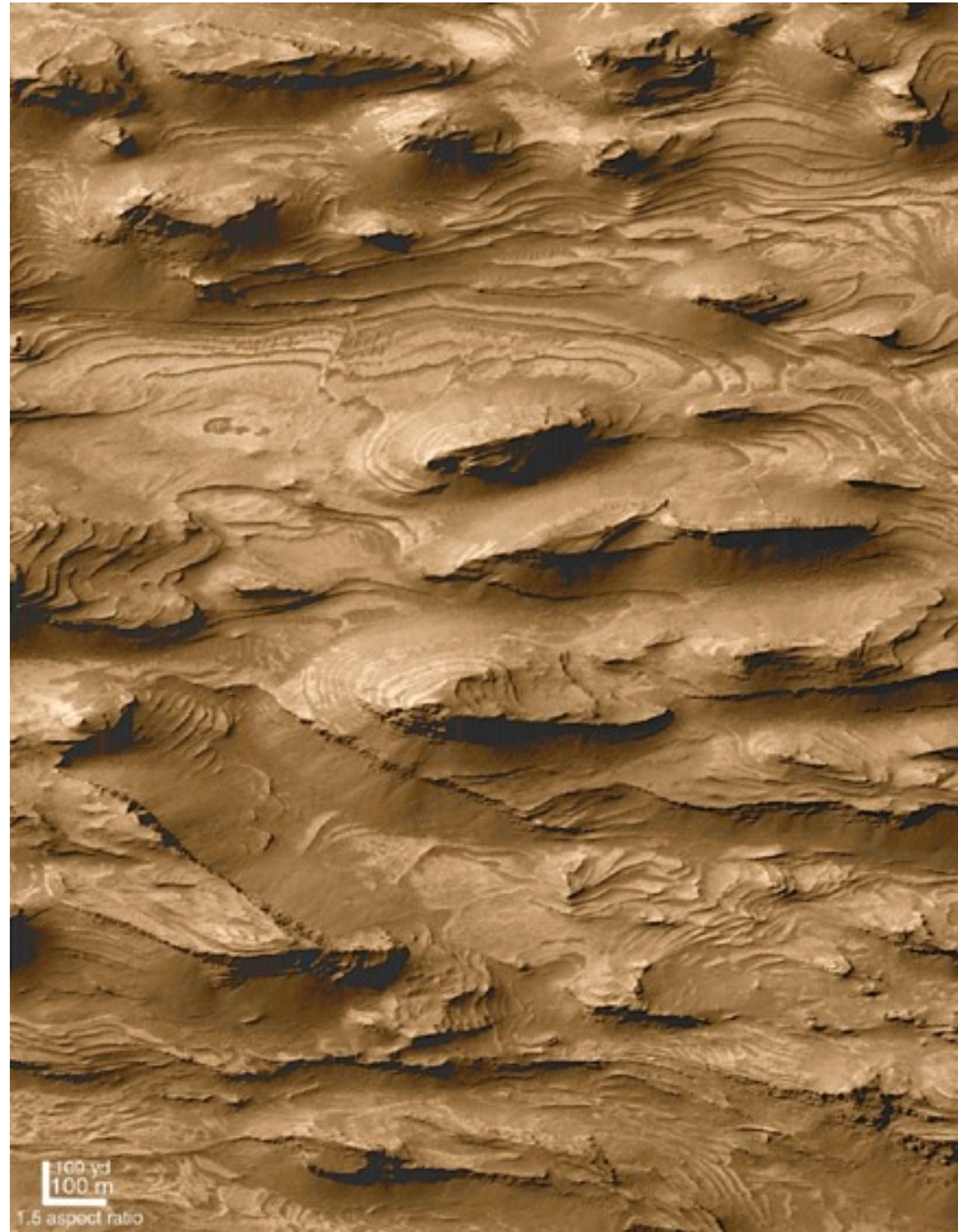
Segni di erosione dell'acqua?

Sedimenti



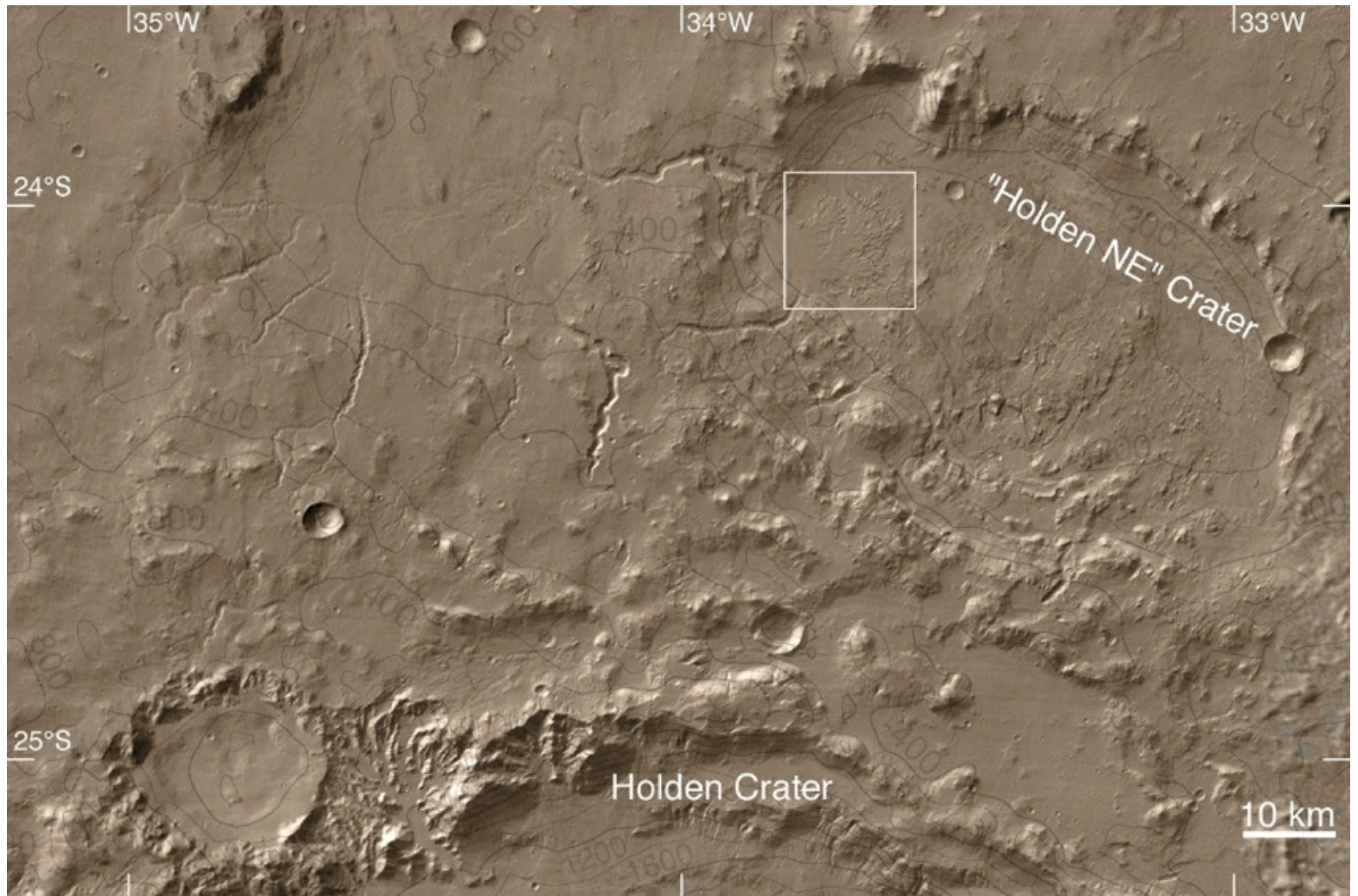
Segni di erosione dell'acqua?

Sedimenti



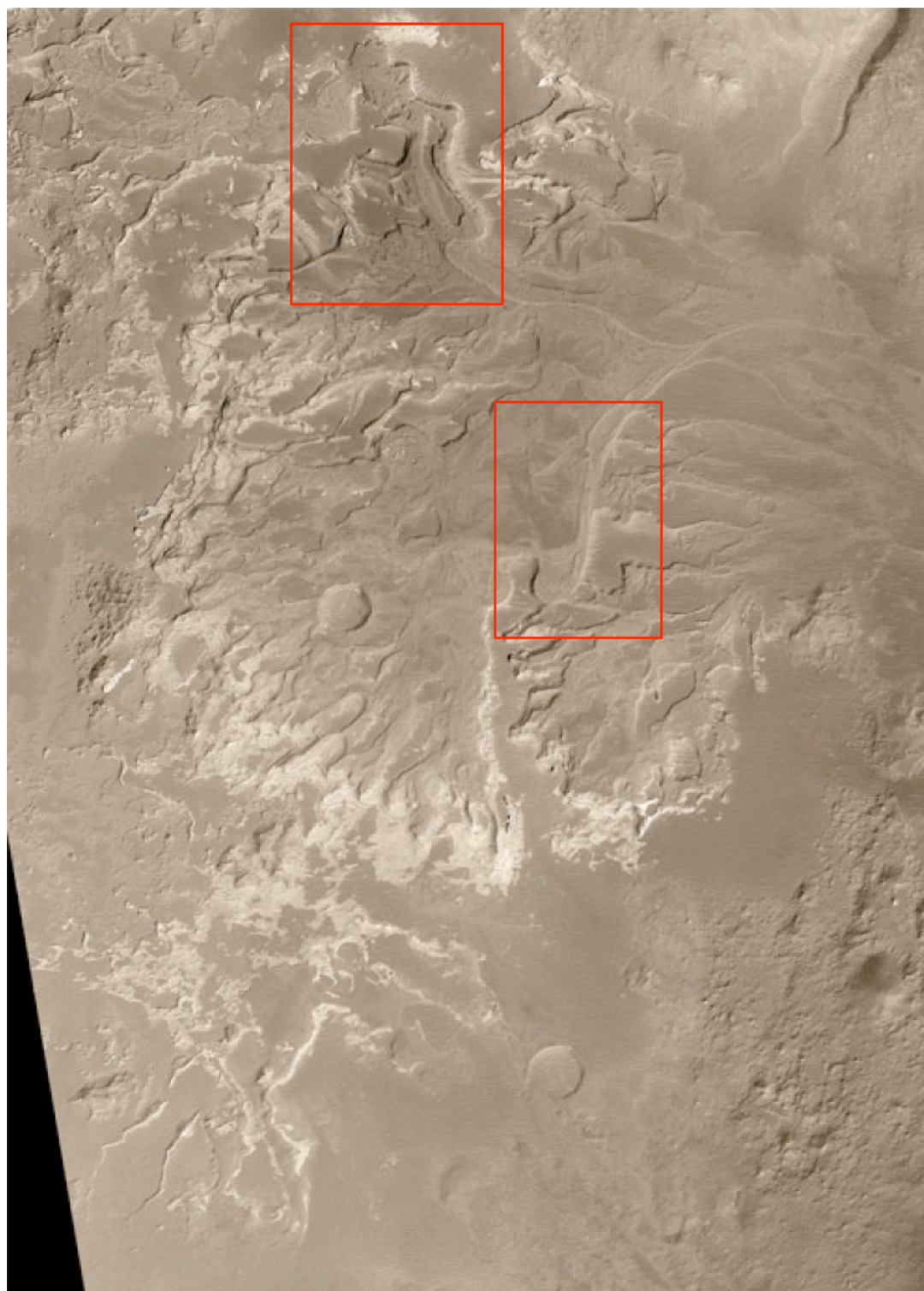
Segni di erosione dell'acqua?

Delta e fiumi



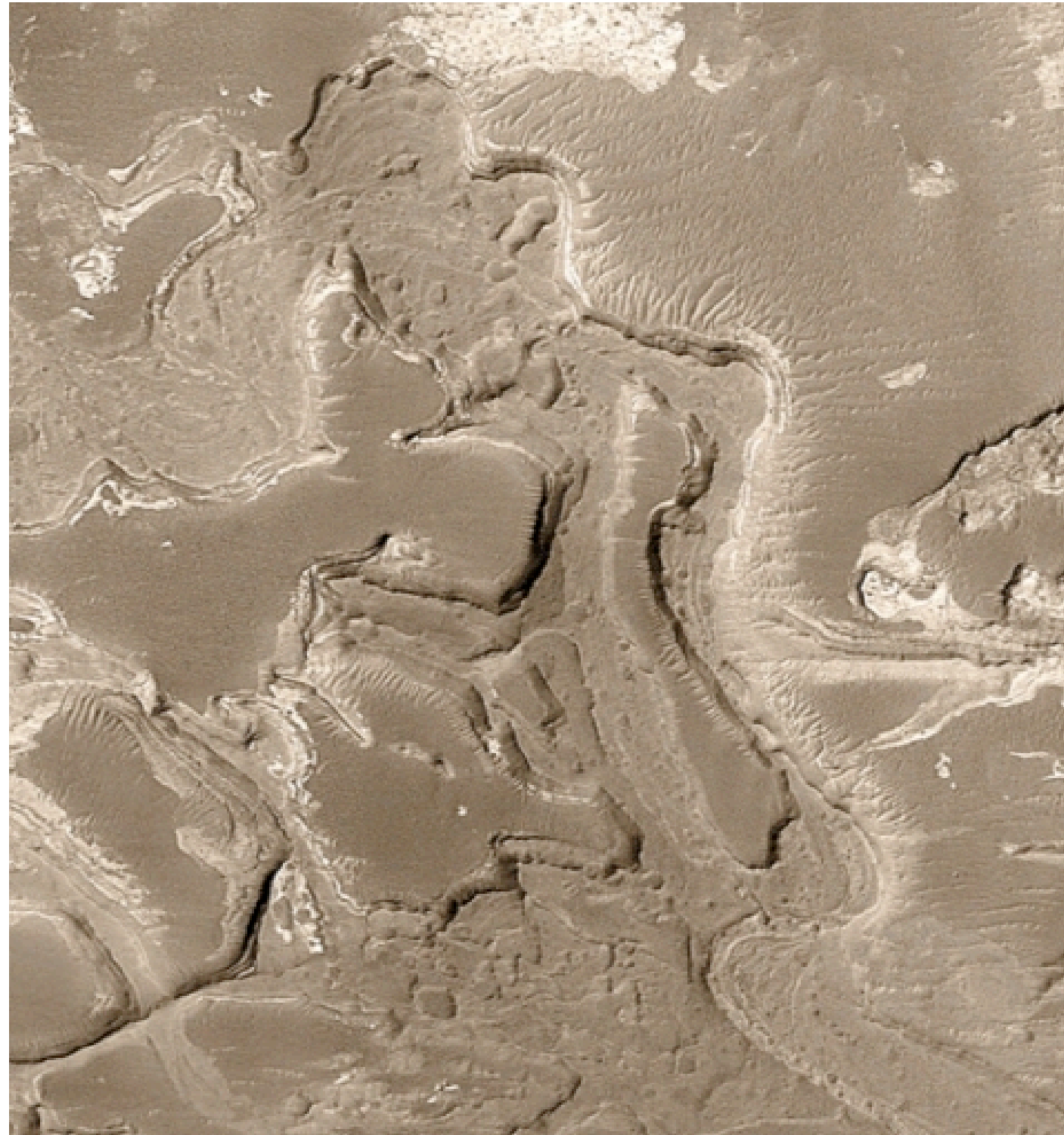
Segni di erosione dell'acqua?

Delta e fiumi



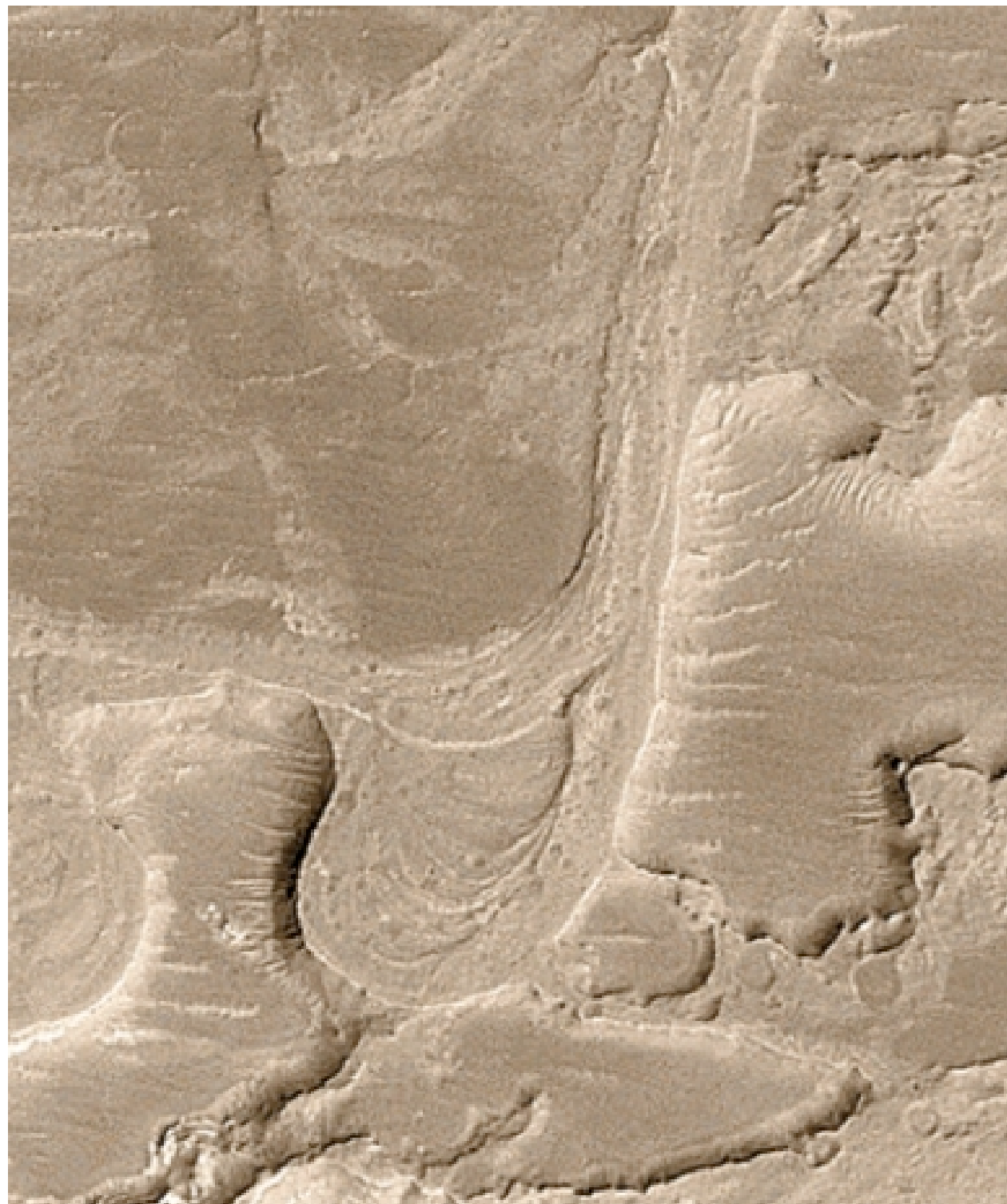
Segni di erosione dell'acqua?

Delta e fiumi

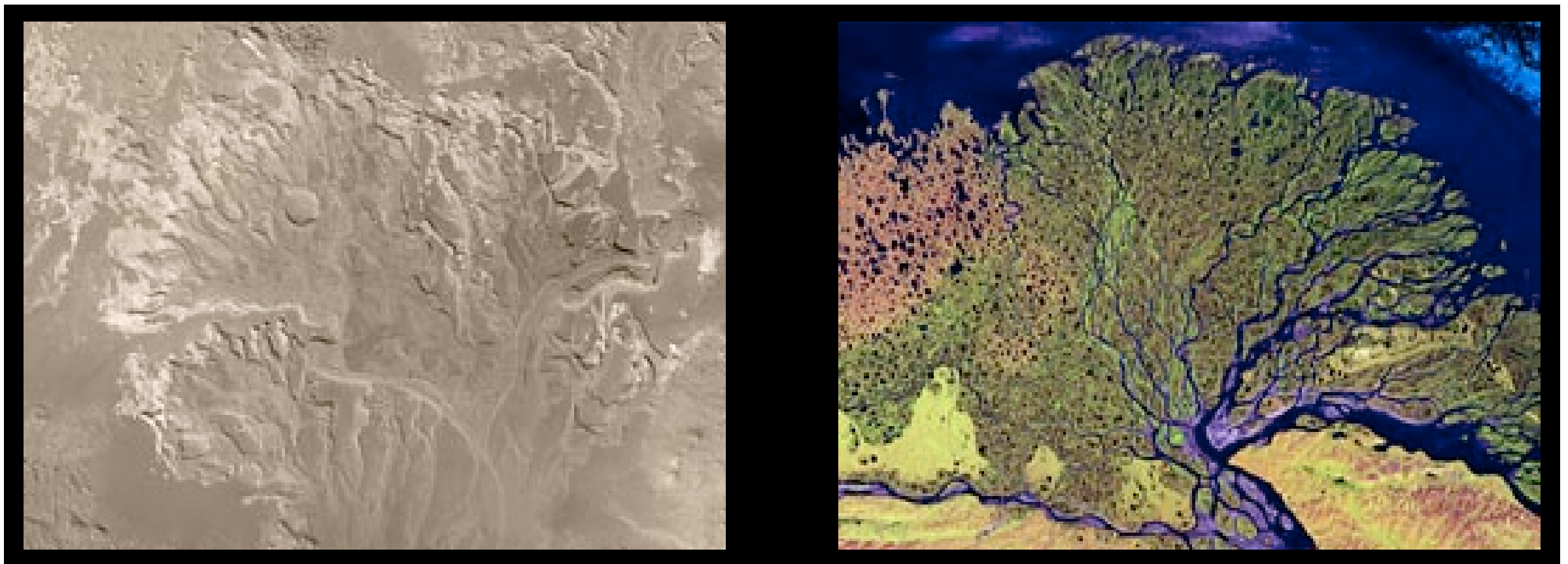


Segni di erosione dell'acqua?

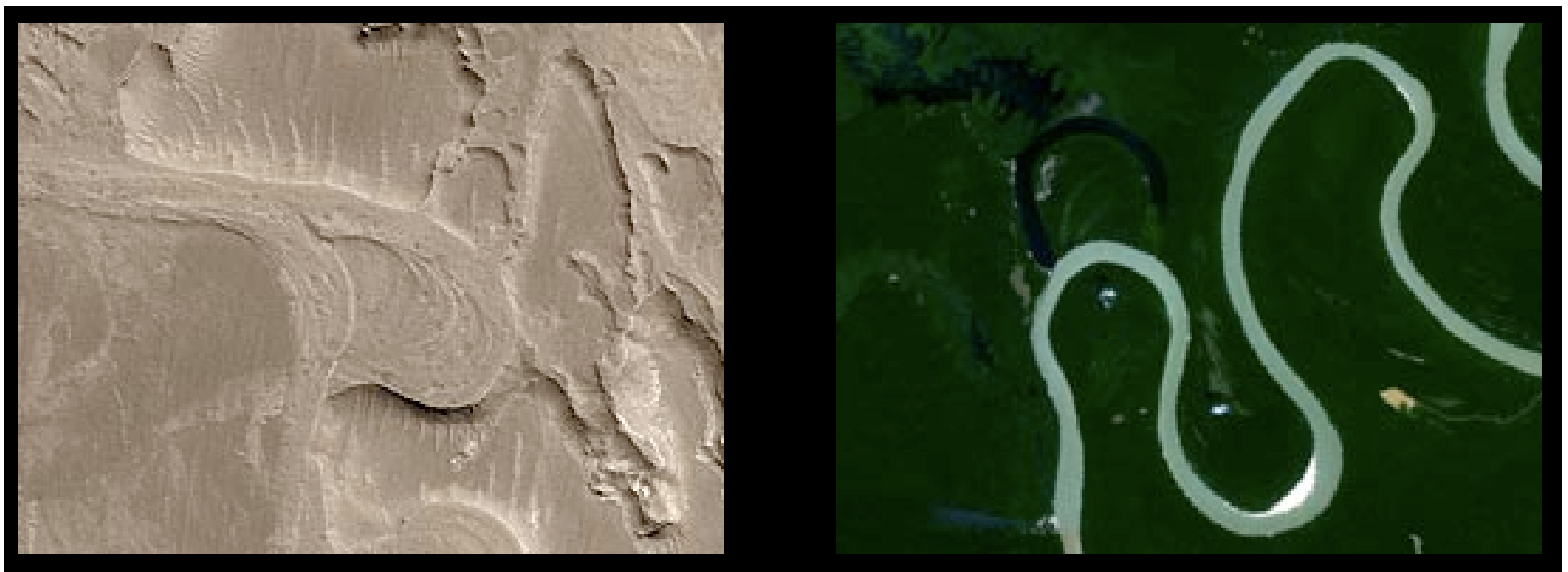
Delta e fiumi



Paragoni con l'azione dell'acqua sulla Terra



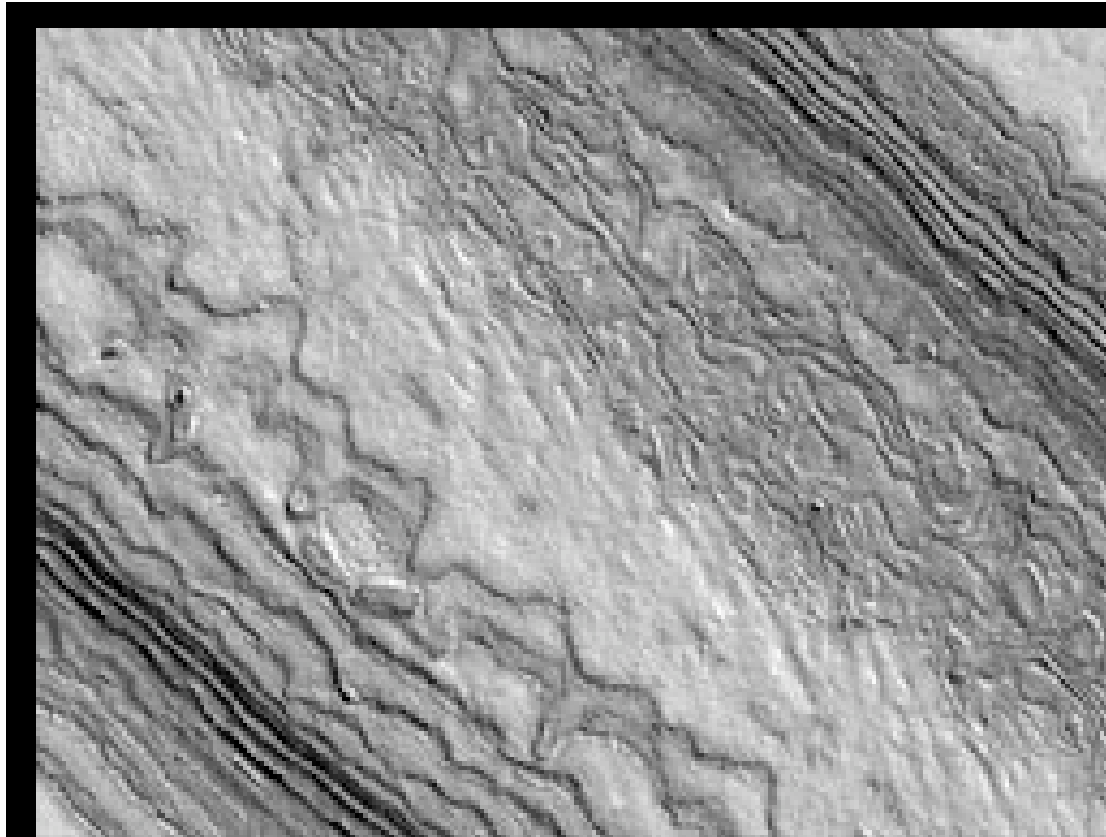
Paragoni con l'azione dell'acqua sulla Terra



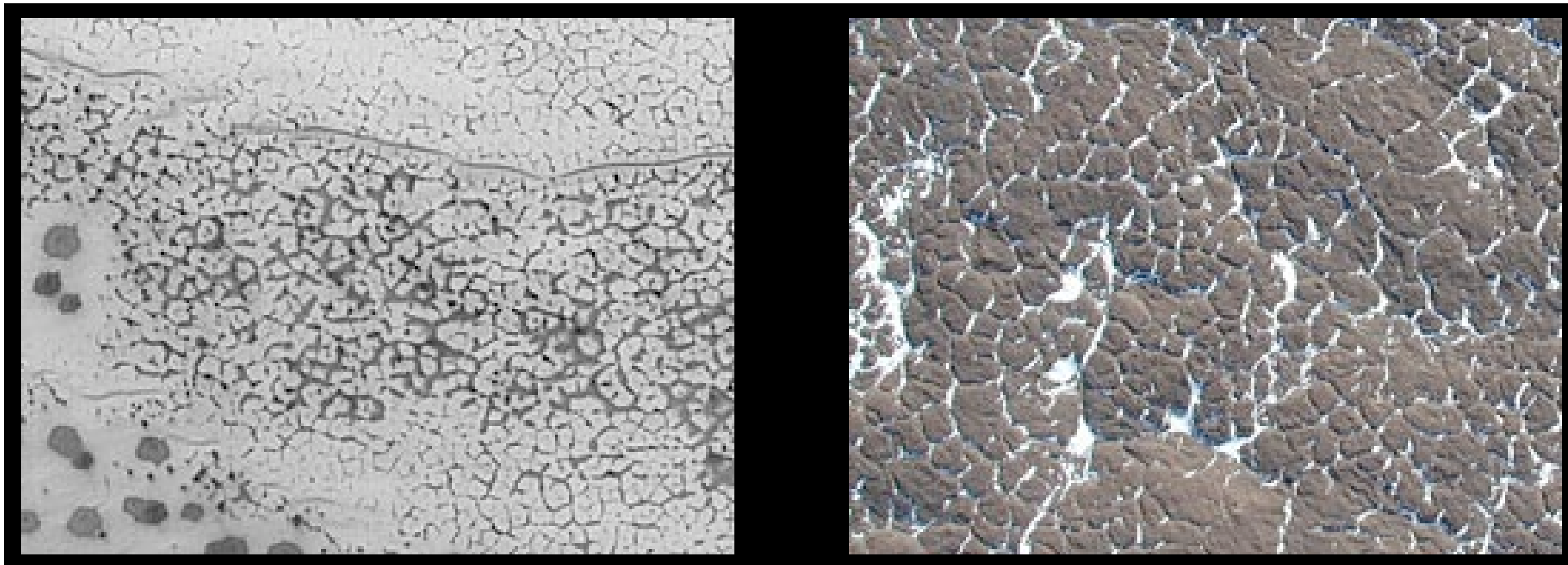
Paragoni con l'azione dell'acqua sulla Terra



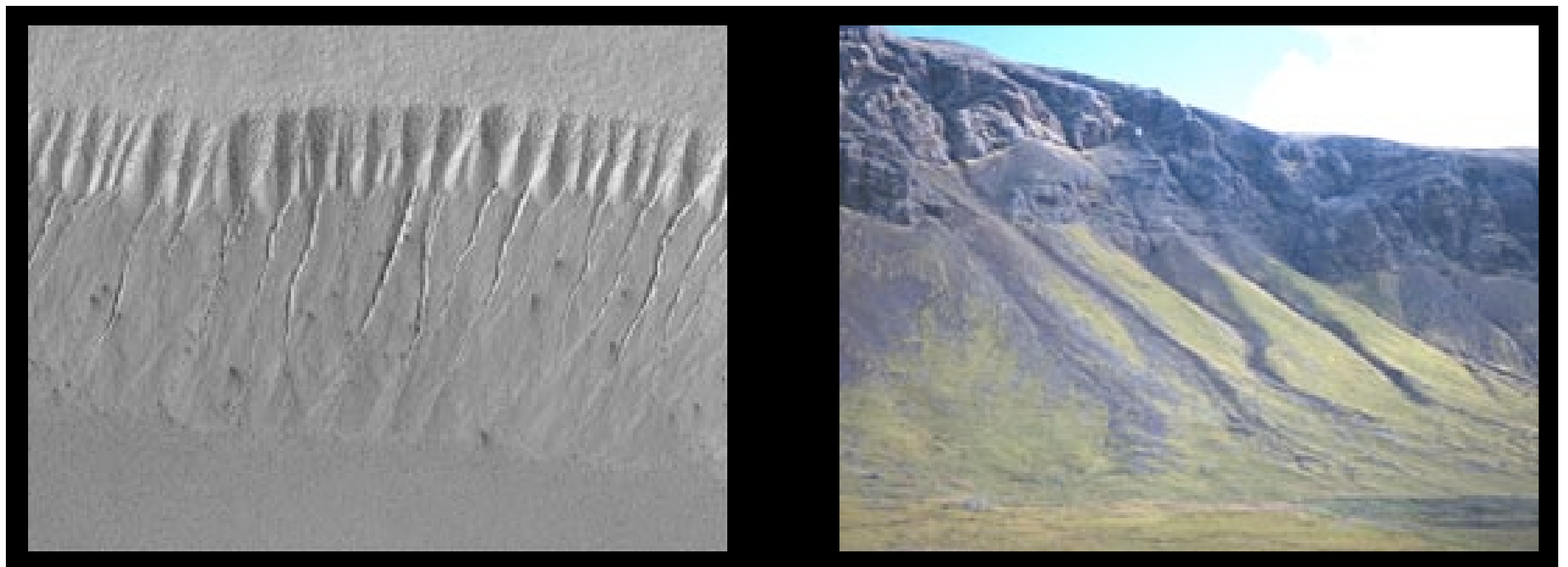
Paragoni con l'azione dell'acqua sulla Terra



Paragoni con l'azione dell'acqua sulla Terra



Paragoni con l'azione dell'acqua sulla Terra



Paragoni con l'azione dell'acqua sulla Terra

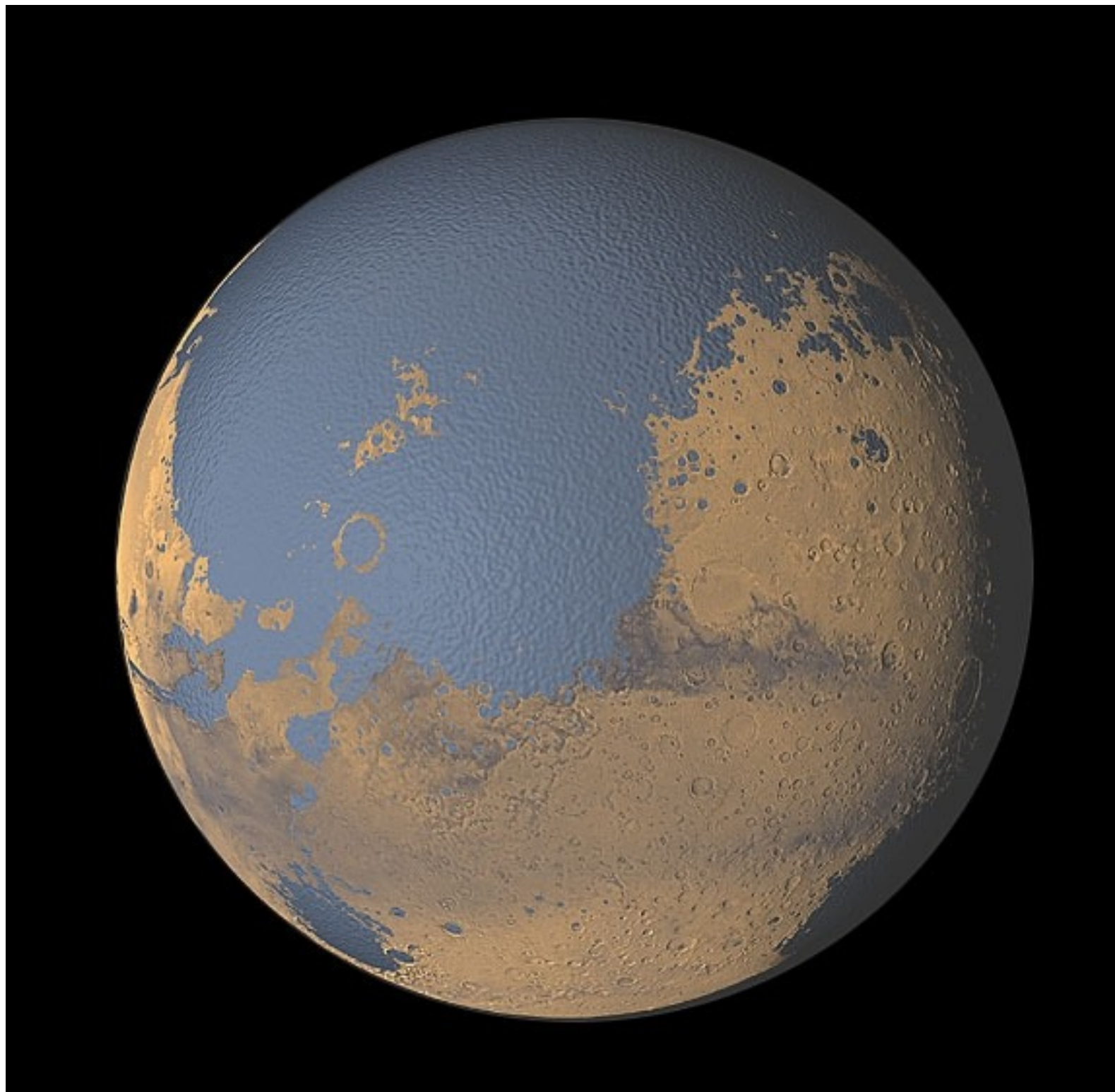
Paragoni con l'azione dell'acqua sulla Terra



Paragoni con l'azione dell'acqua sulla Terra



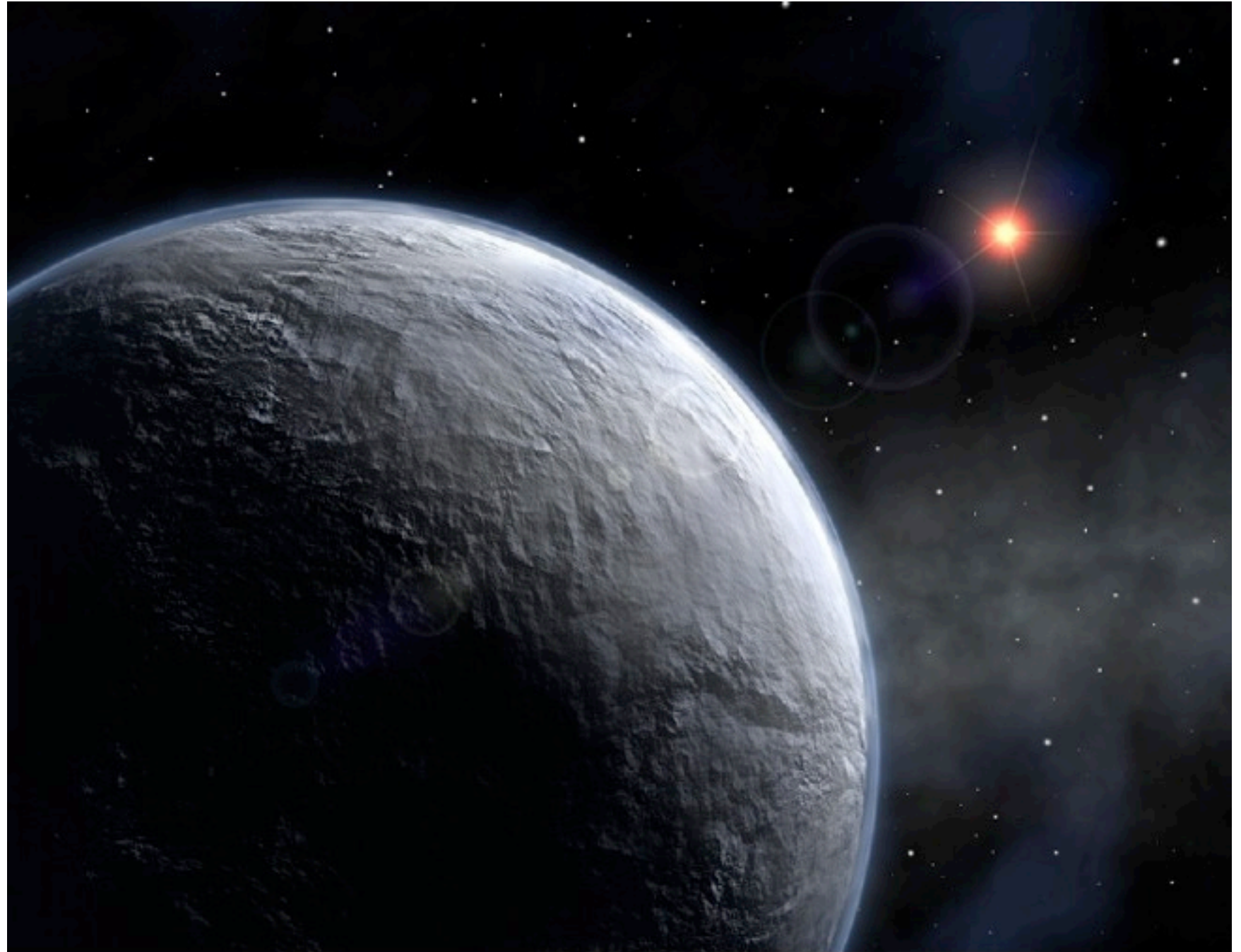
L'enigma del clima antico di Marte



L'enigma del clima antico di Marte



Oltre il sistema solare: pianeti extra-solari

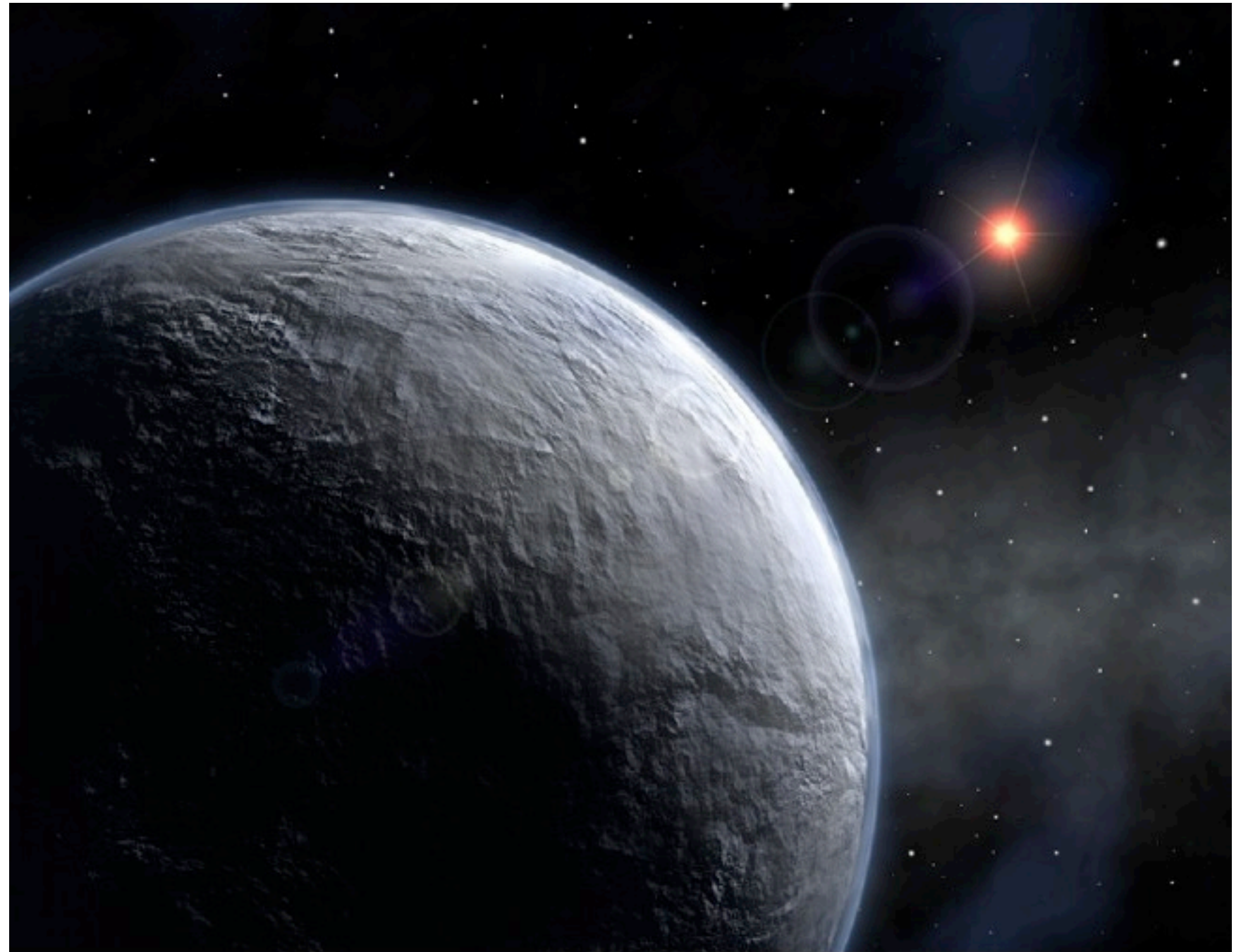


Five Earth Masses Icy Extrasolar Planet
(Artist's Impression)

ESO PR Photo 03a/06 (January 25, 2006)

Oltre il sistema solare: pianeti extra-solari

- Un pianeta non emette luce.

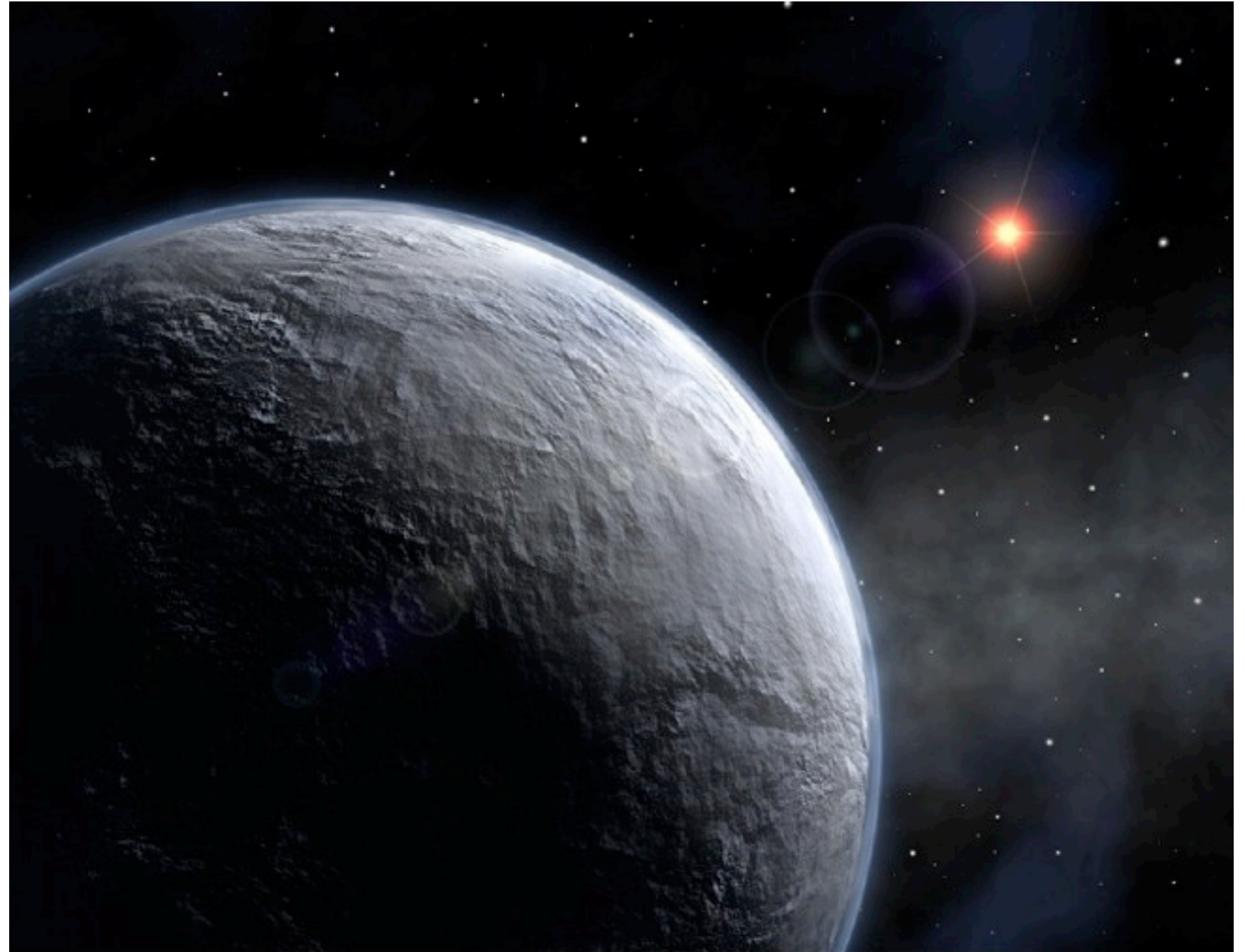


Five Earth Masses Icy Extrasolar Planet
(Artist's Impression)

ESO PR Photo 03a/06 (January 25, 2006)

Oltre il sistema solare: pianeti extra-solari

- Un pianeta non emette luce.
- Problema del contrasto con la stella.

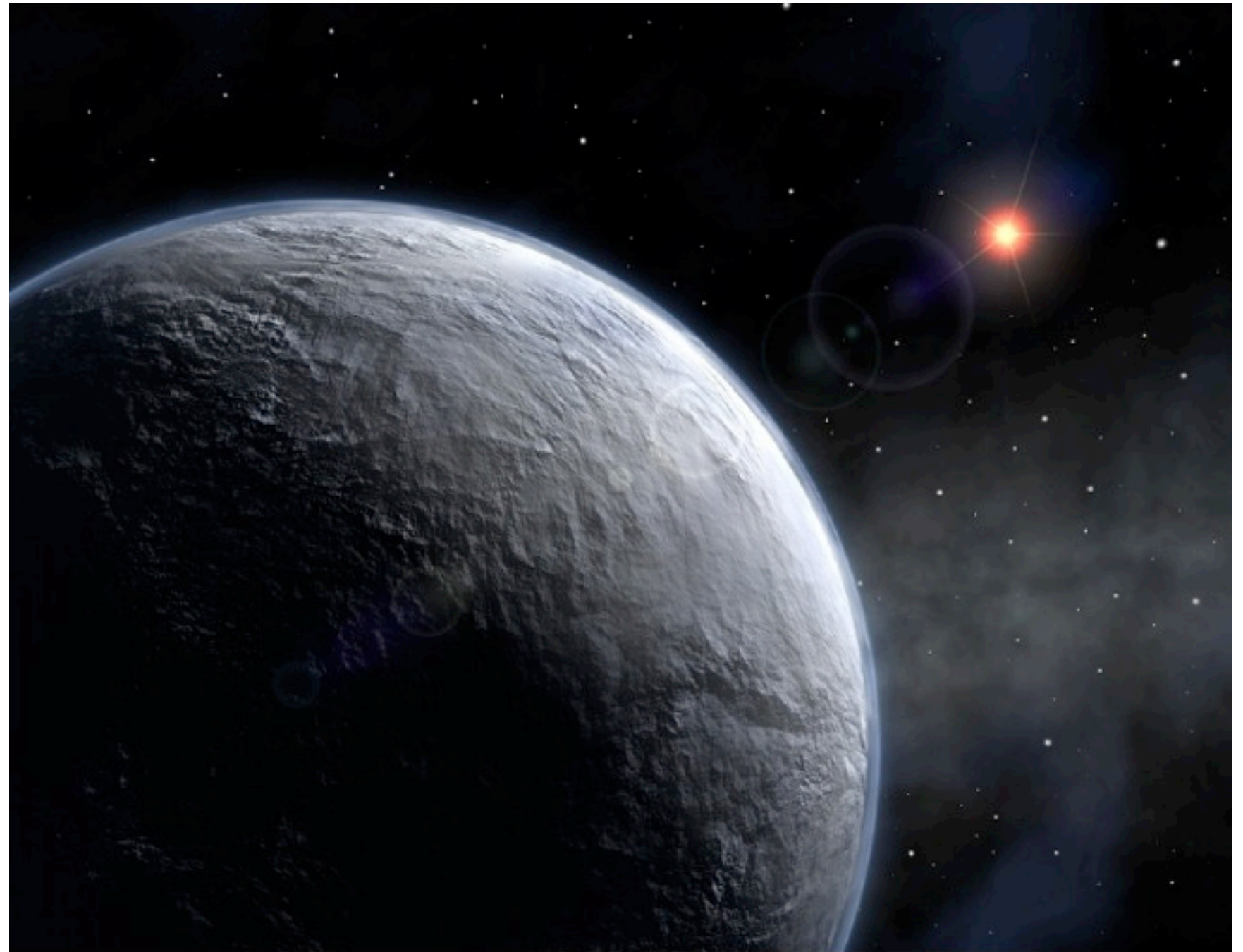


Five Earth Masses Icy Extrasolar Planet
(Artist's Impression)

ESO PR Photo 03a/06 (January 25, 2006)

Oltre il sistema solare: pianeti extra-solari

- Un pianeta non emette luce.
- Problema del contrasto con la stella.
- Problema della separazione angolare pianeta-stella.



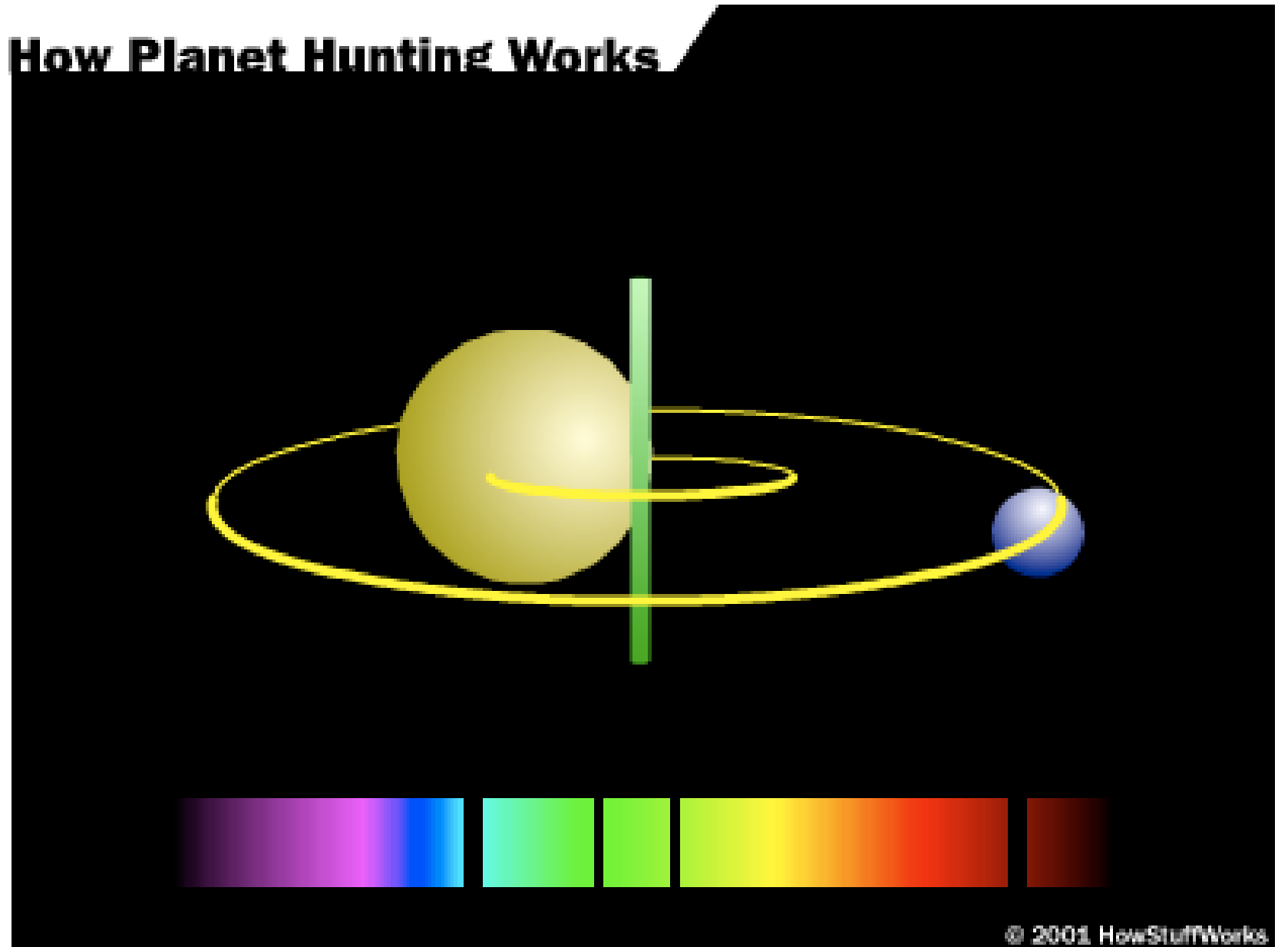
Five Earth Masses Icy Extrasolar Planet
(Artist's Impression)

ESO PR Photo 03a/06 (January 25, 2006)

Come scoprire un pianeta extra-solare?

Spettroscopia Doppler:
misurare la velocità
radiale della stella

How Planet Hunting Works

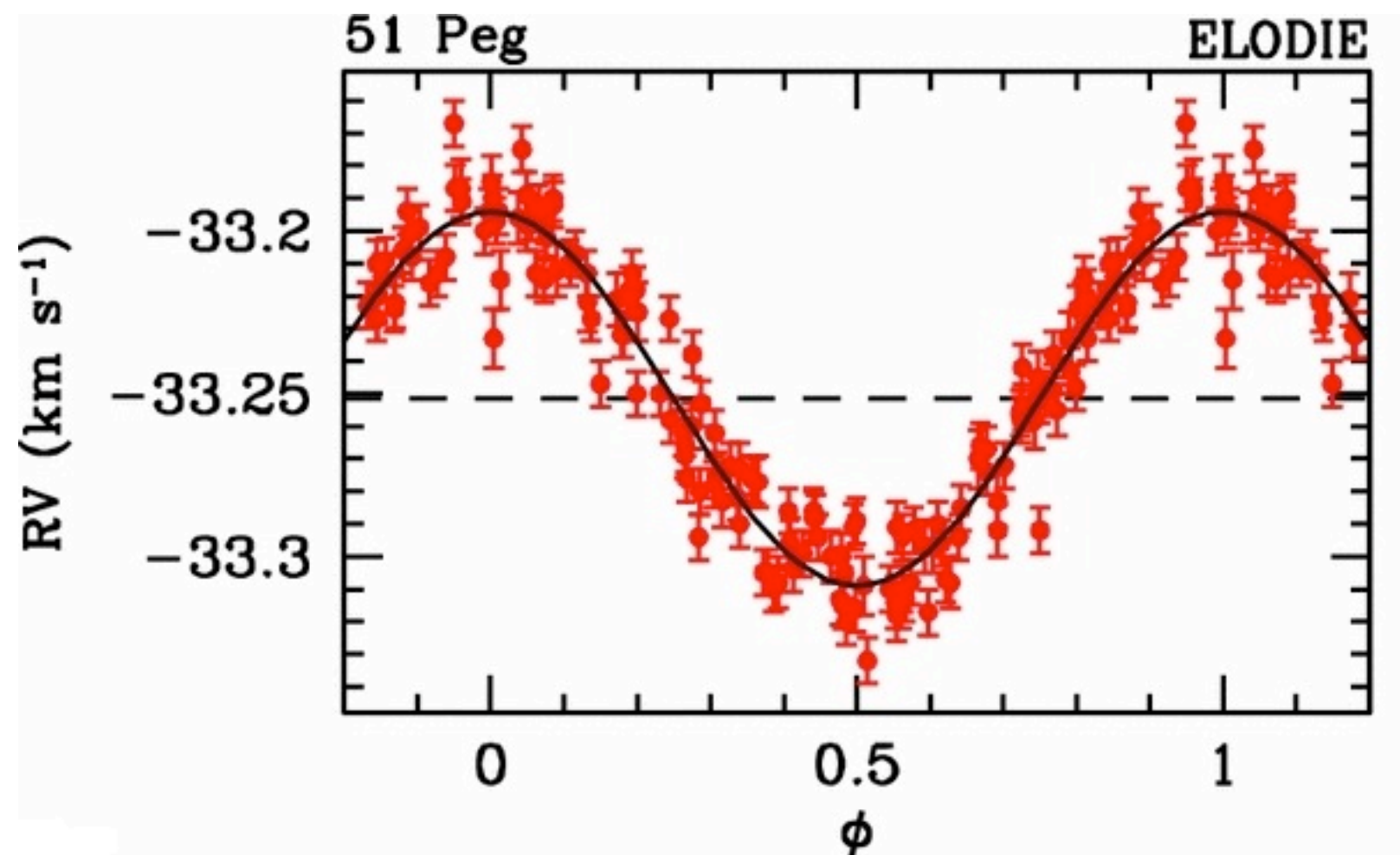


© 2001 HowStuffWorks

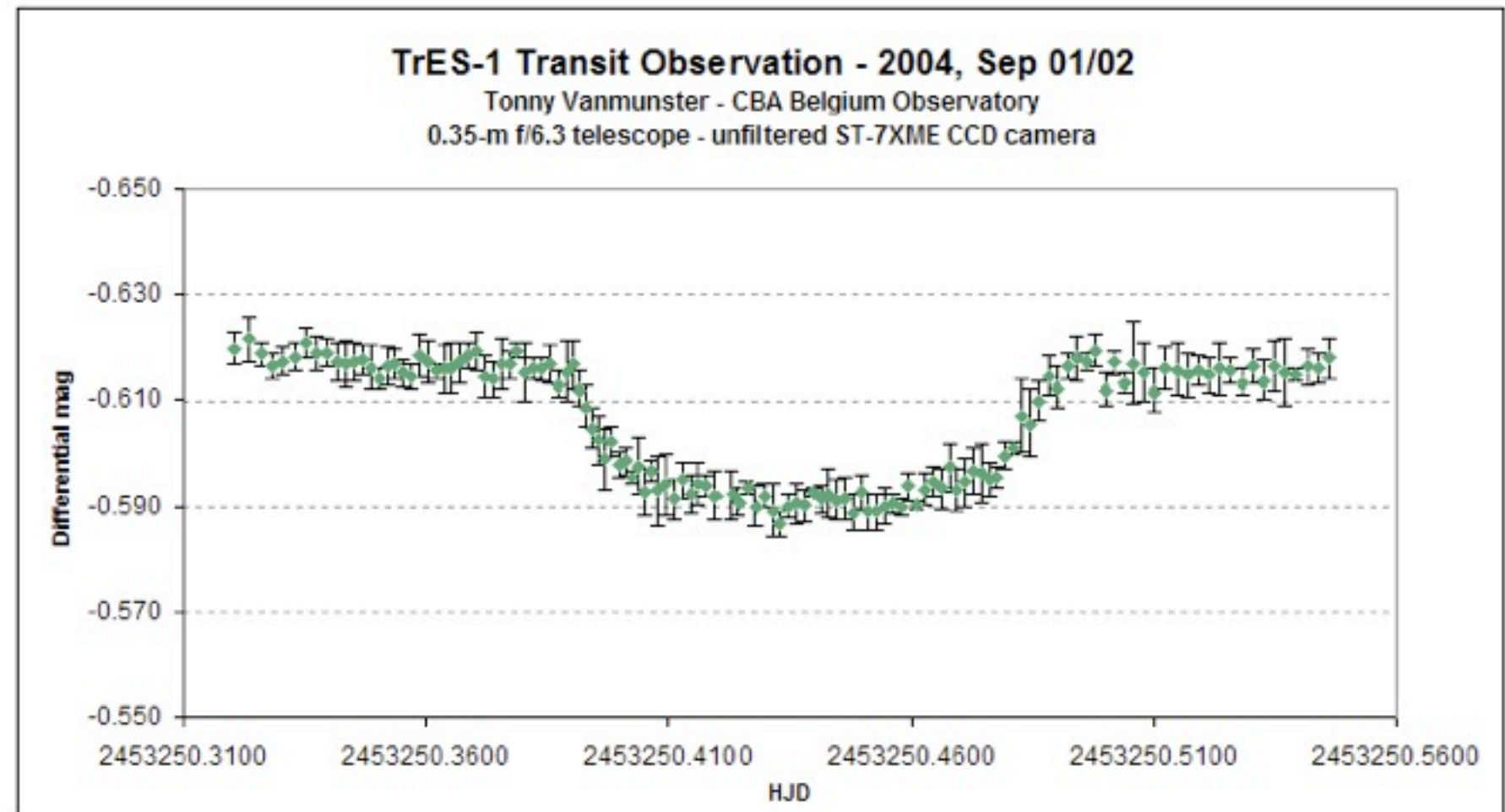
Spectroscopic technique of detecting an extrasolar planet

Come scoprire un pianeta extra-solare?

Spettroscopia Doppler:
misurare la velocità
radiale della stella



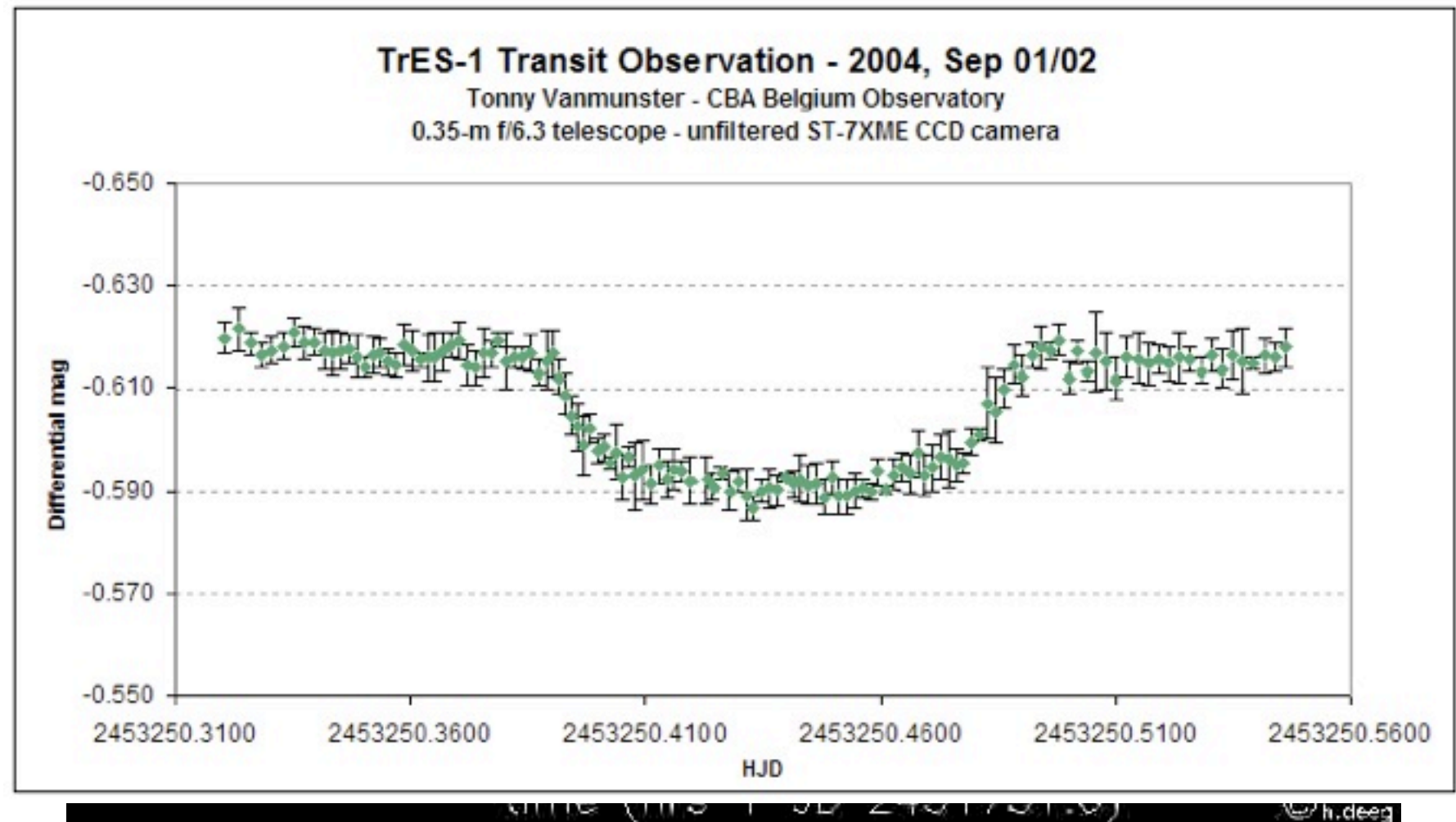
Come scoprire un pianeta extra-solare?



Come scoprire un pianeta extra-solare?

Diminuzione della luminosità stellare:

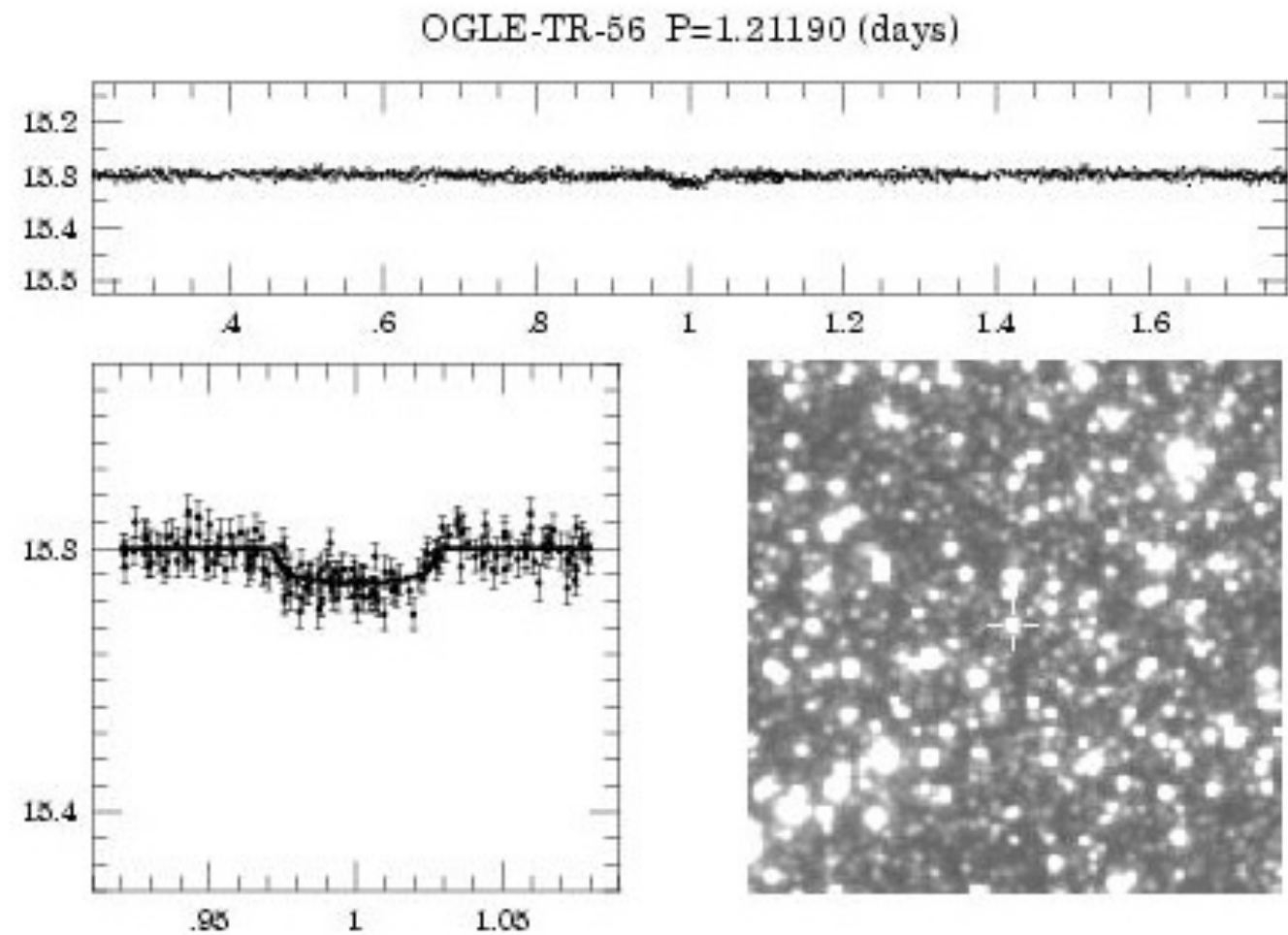
Transito planetario



Come scoprire un pianeta extra-solare?

Diminuzione della luminosità stellare:

Transito planetario



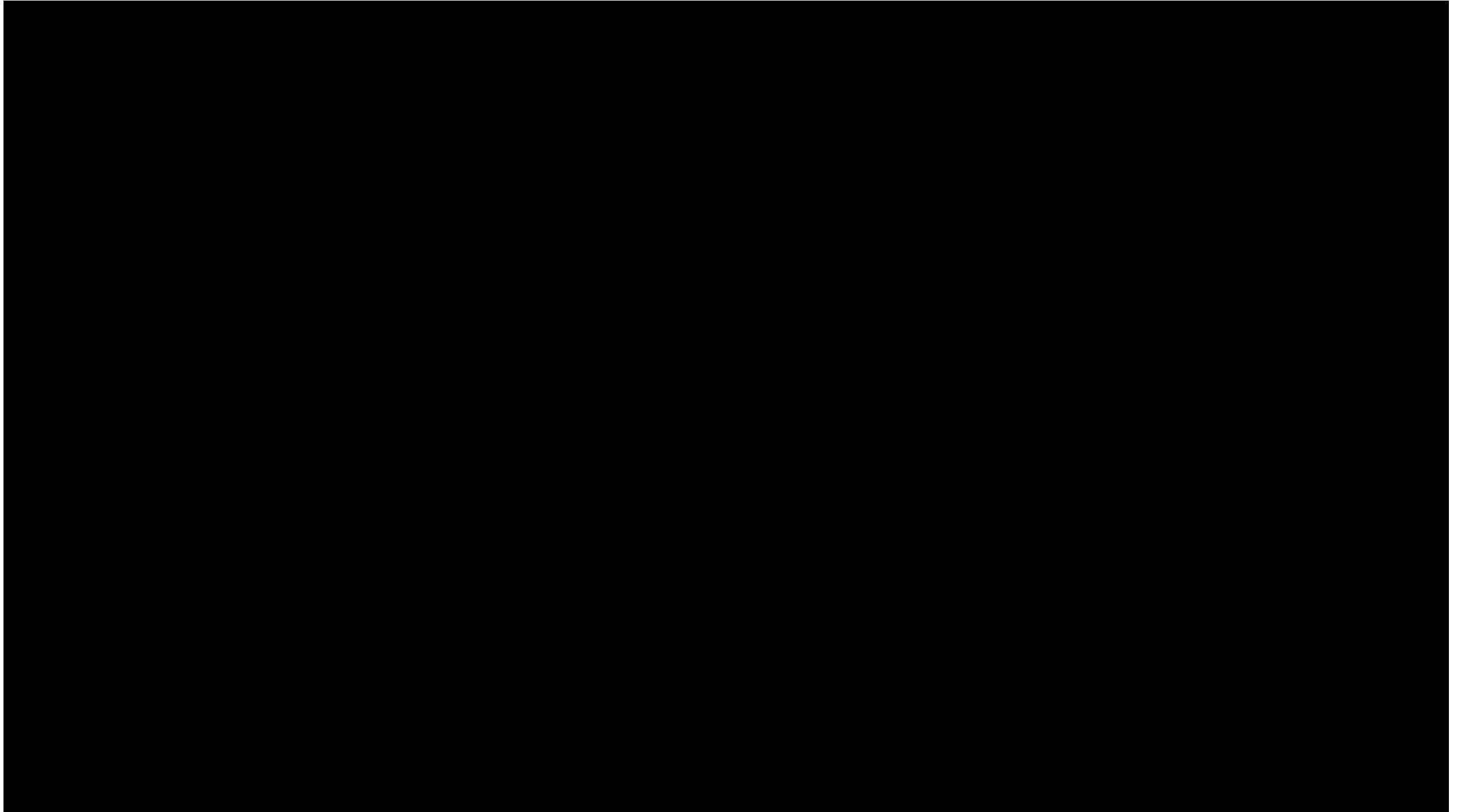
Come scoprire un pianeta extra-solare?

Diminuzione della luminosità stellare:

Transito planetario

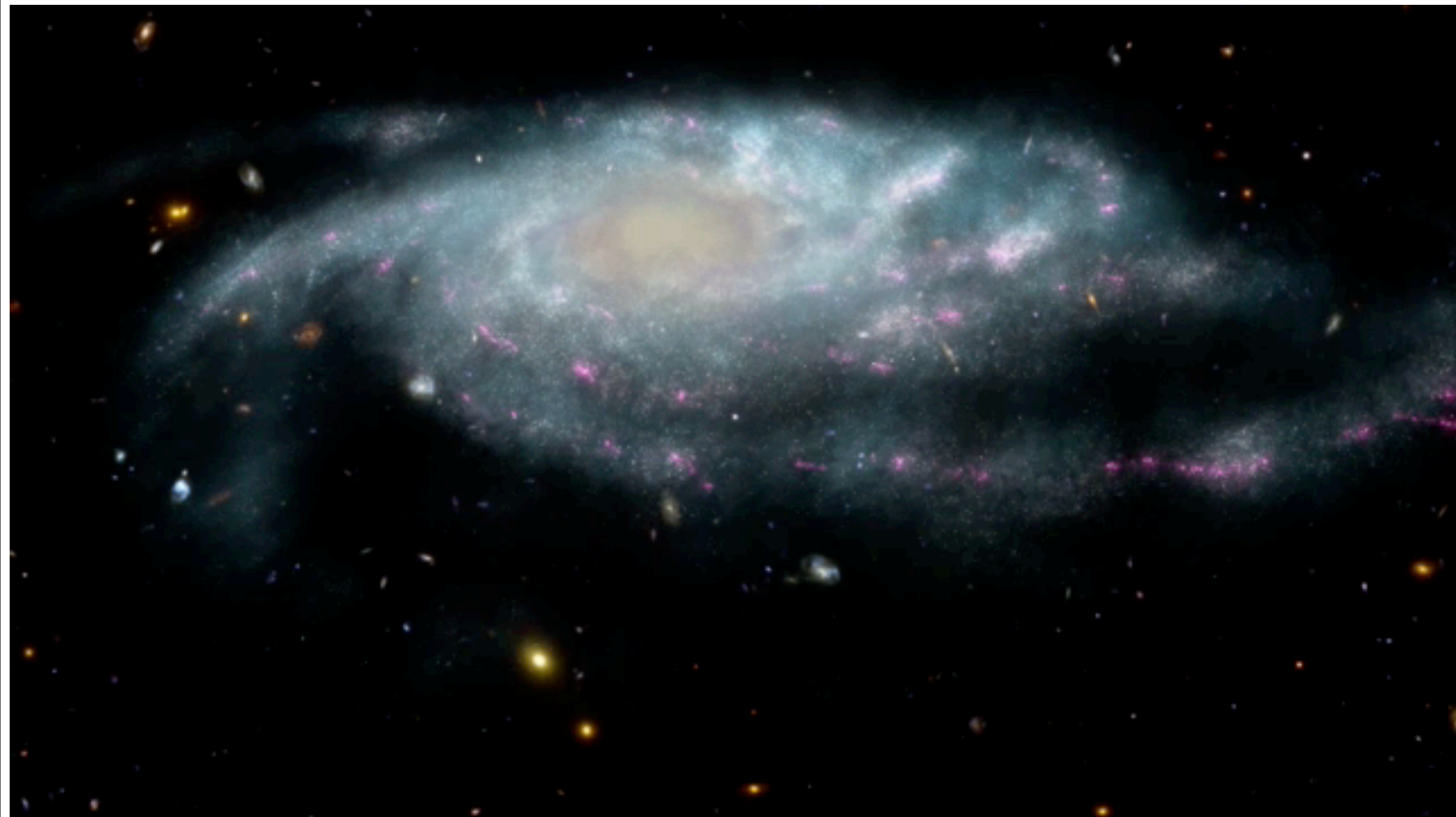
Transito planetario: la missione Kepler

Transito planetario: la missione Kepler

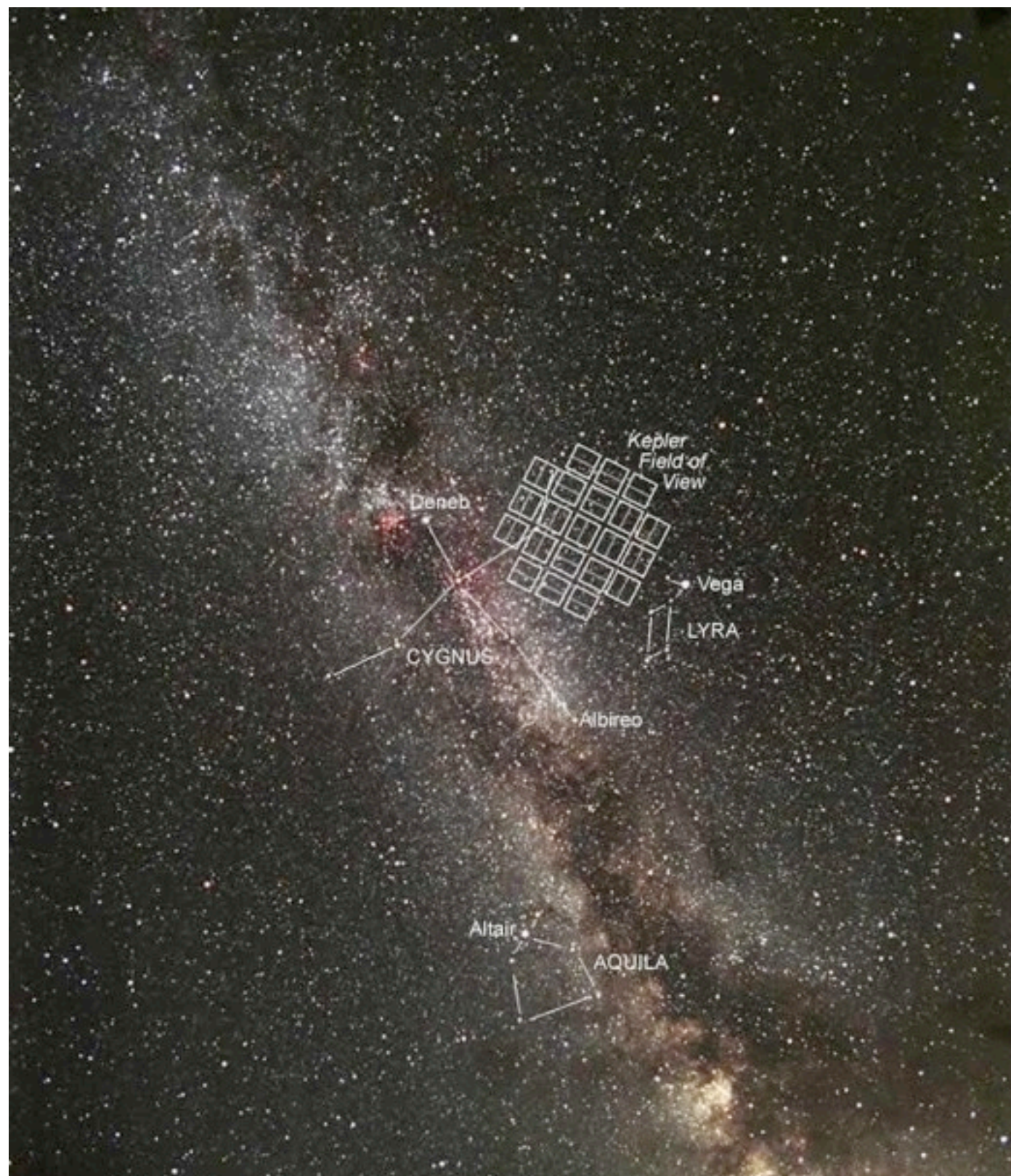


Transito planetario: la missione Kepler

Transito planetario: la missione Kepler

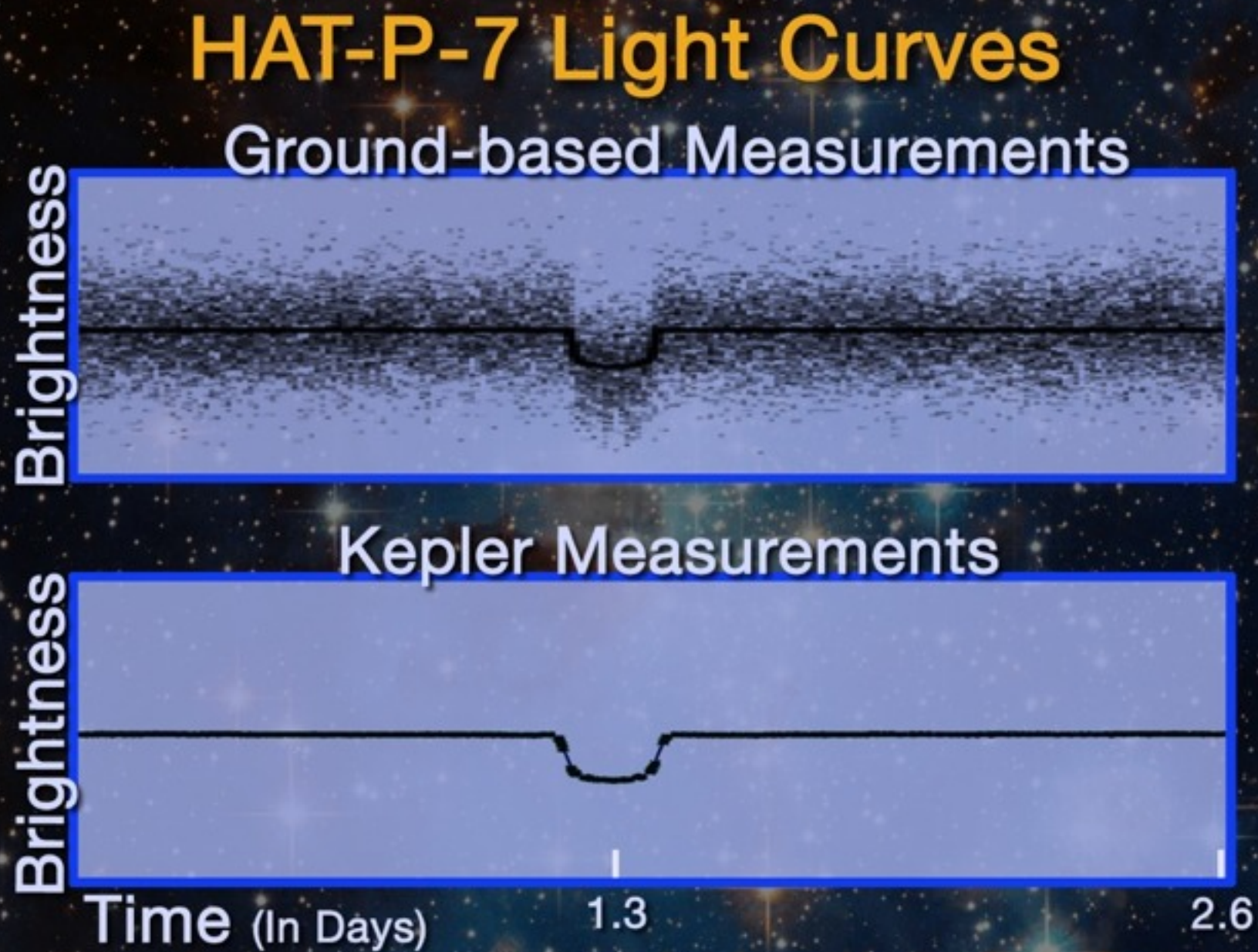


Transito planetario: la missione Kepler

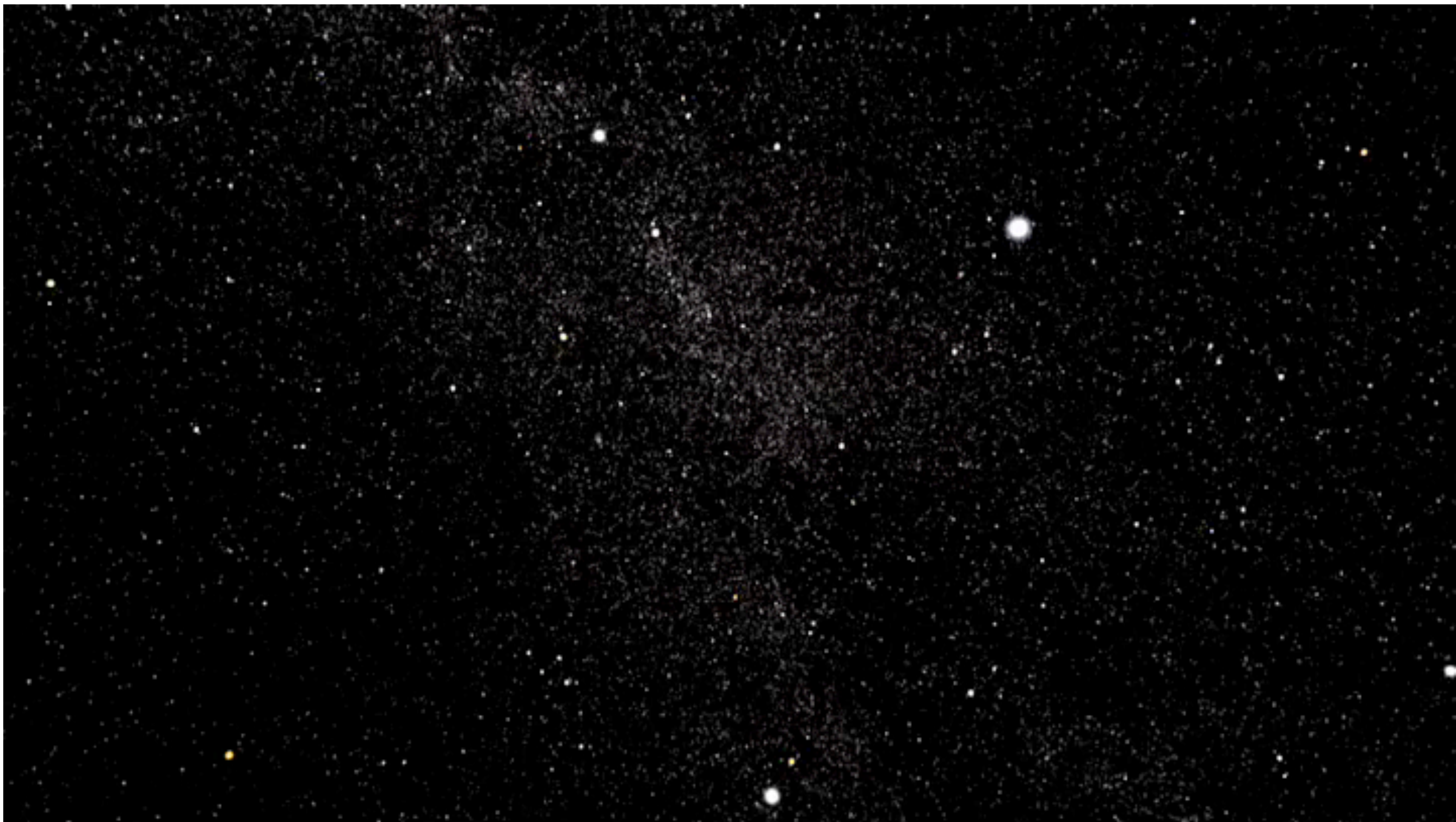


Transito planetario: la missione Kepler

Transito planetario: la missione Kepler



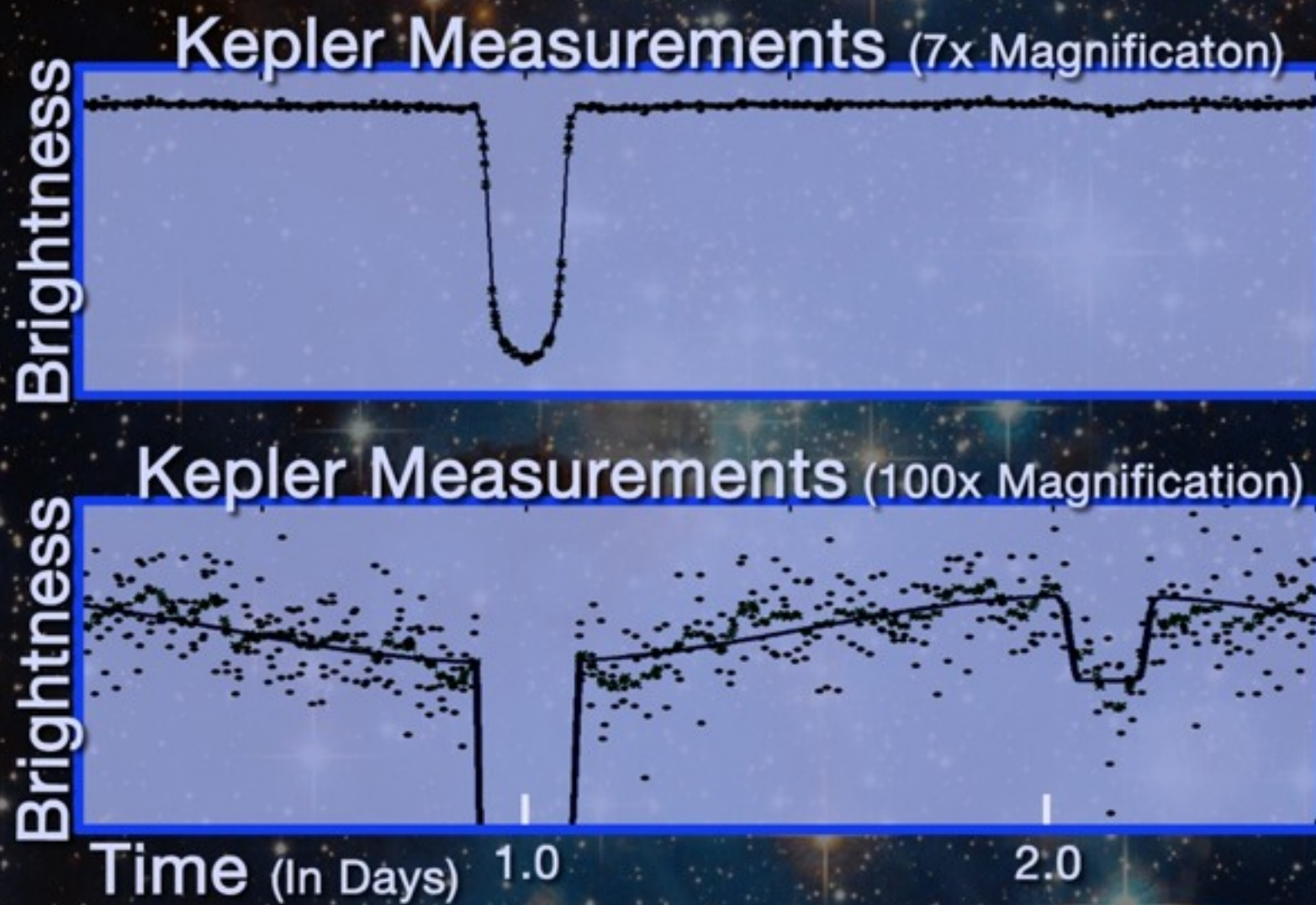
Transito planetario: la missione Kepler



Transito planetario: la missione Kepler

Transito planetario: la missione Kepler

HAT-P-7 Light Curves



Transito planetario: la missione Kepler

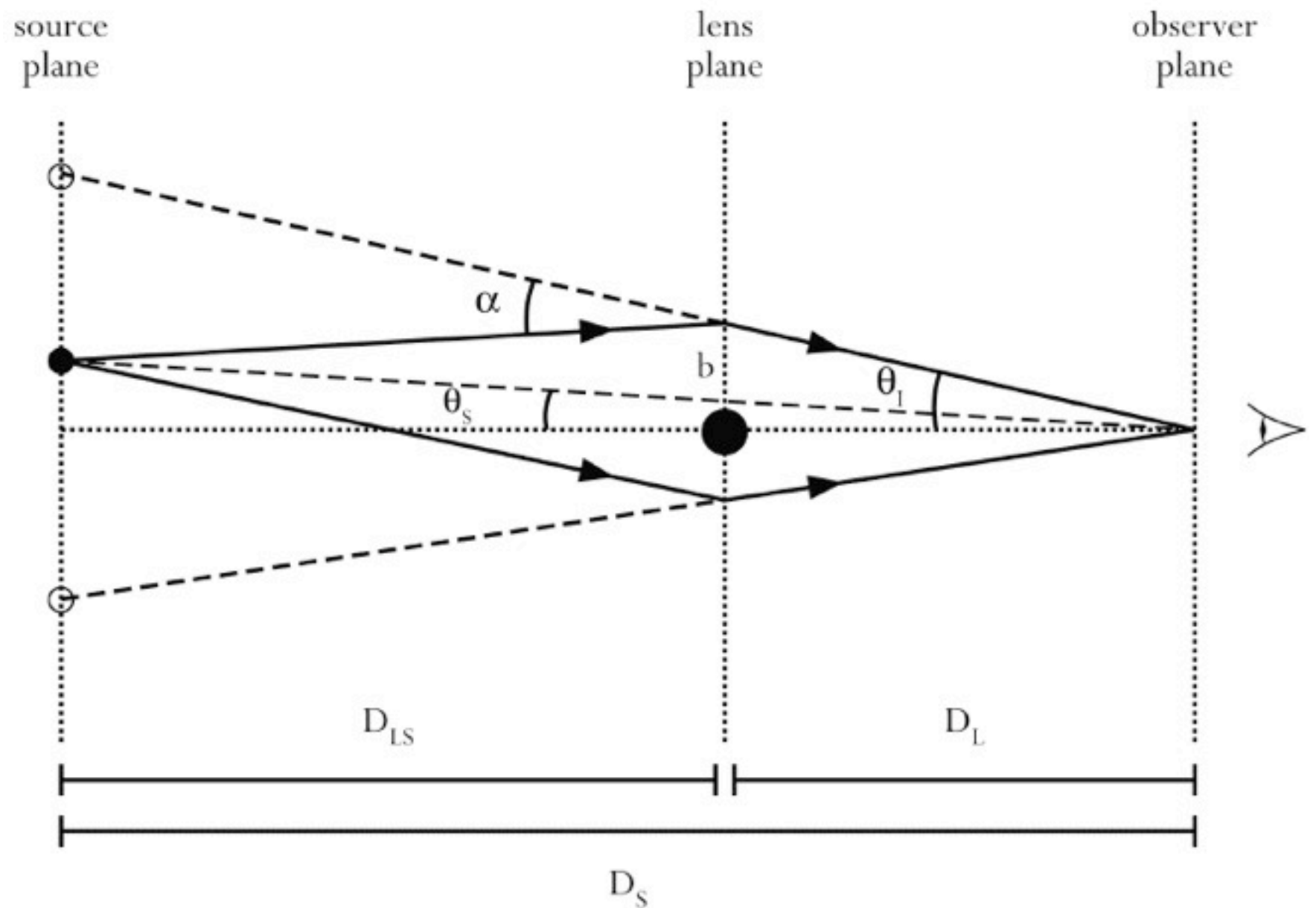


Come scoprire un pianeta extra-solare?

Come scoprire un pianeta extra-solare?

Fenomeno di lente gravitazionale:

Micro-lensing



Come scoprire un pianeta extra-solare?

Fenomeno di lente gravitazionale:

Micro-lensing

Come scoprire un pianeta extra-solare?

Fenomeno di lente gravitazionale:

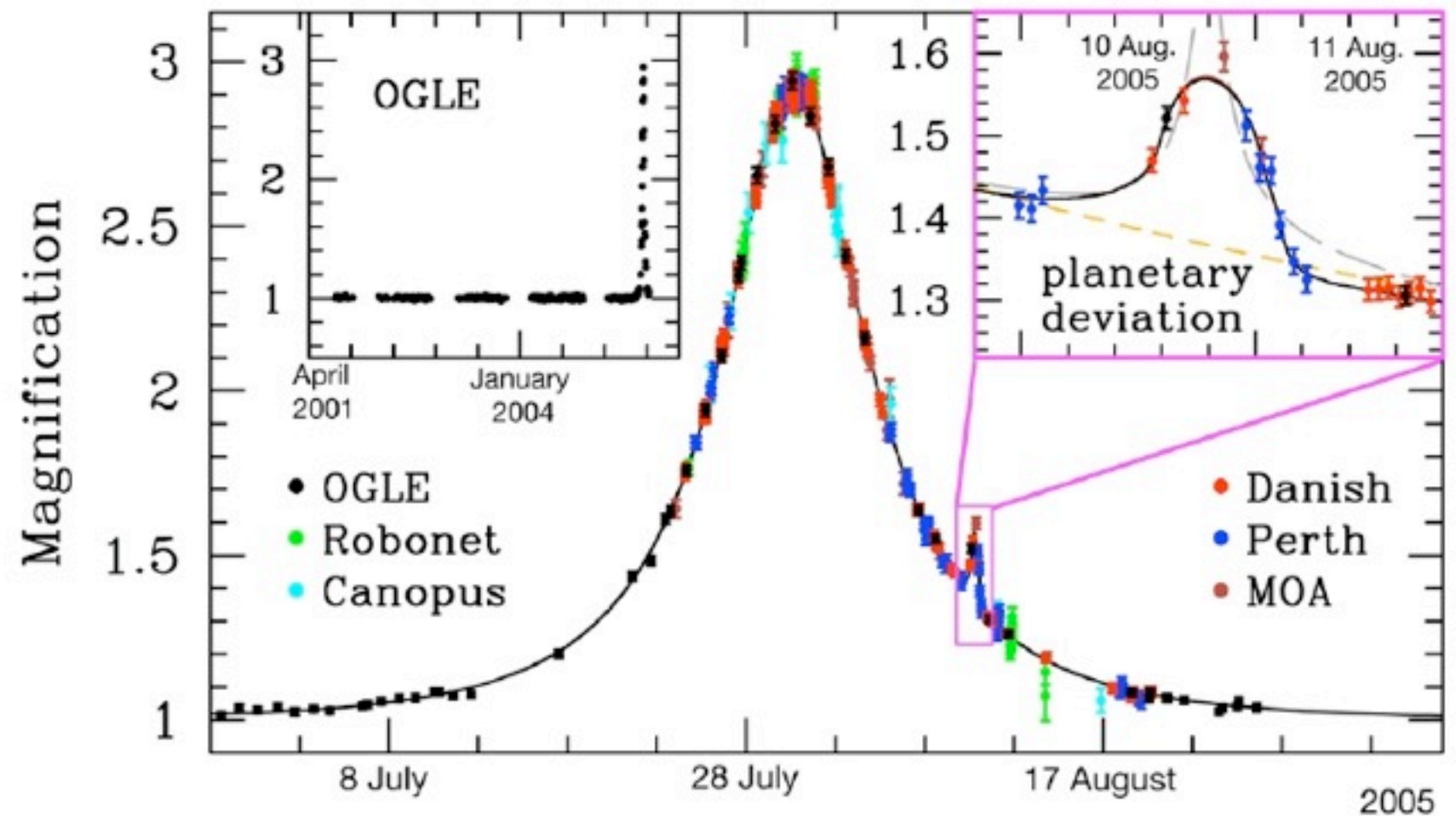
Micro-lensing



Come scoprire un pianeta extra-solare?

Fenomeno di lente gravitazionale:

Micro-lensing

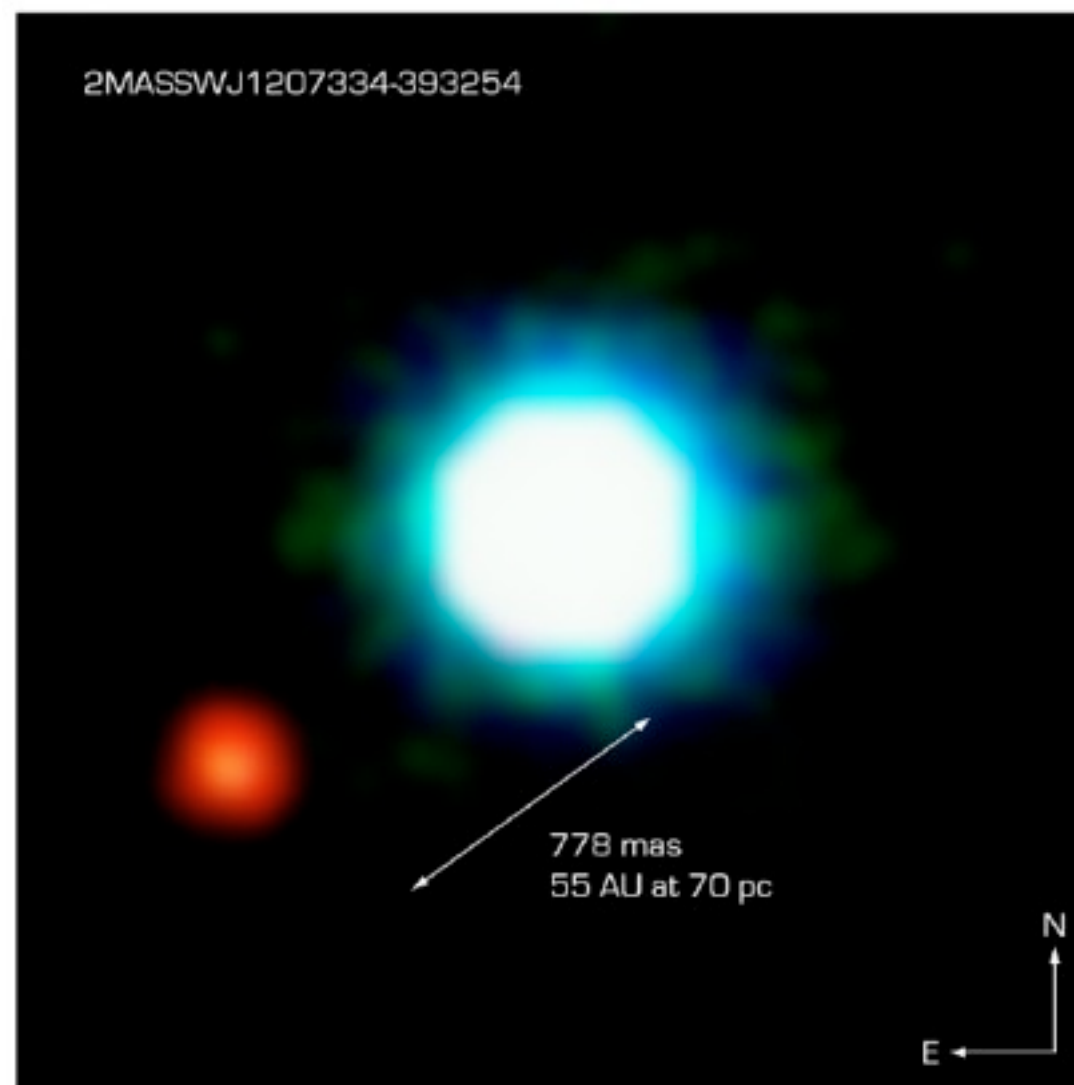


Light Curve of OGLE-2005-BLG-390

ESO PR Photo 03b/06 (January 25, 2006)

Come scoprire un pianeta extra-solare?

Vedere il pianeta direttamente:
Casi eccezionali



NACO Image of the Brown Dwarf Object 2M1207 and GPCC

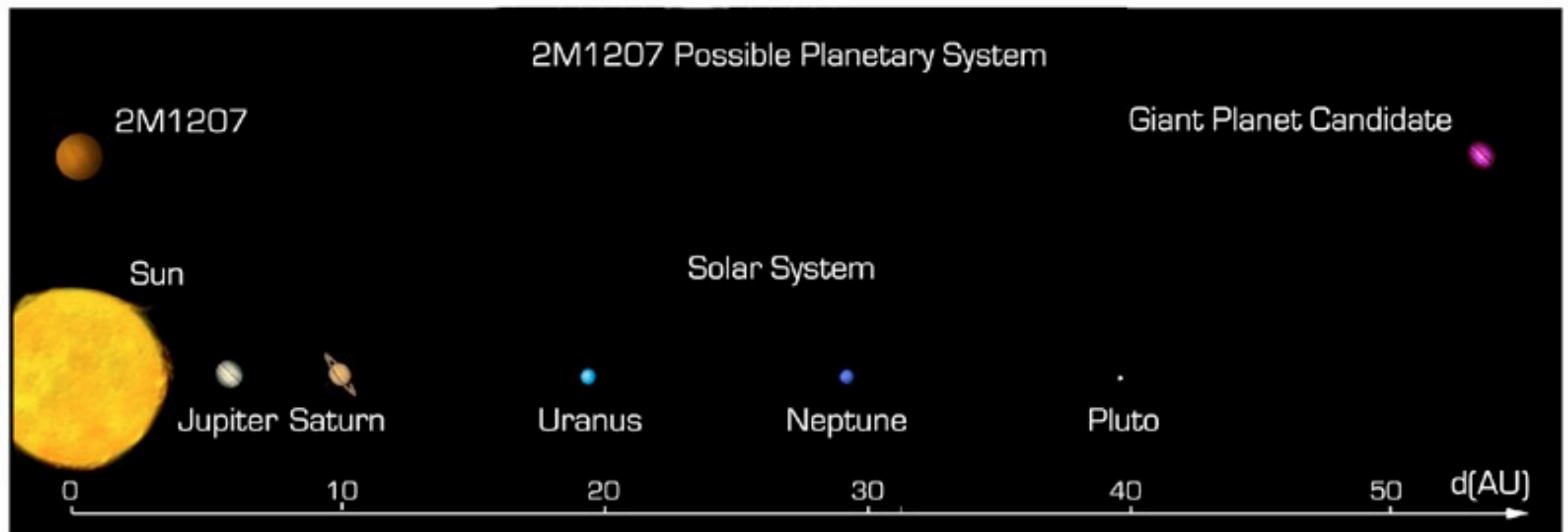
ESO PR Photo 25a/04 (10 September 2004)

© European Southern Observatory



Come scoprire un pianeta extra-solare?

Vedere il pianeta direttamente:
Casi eccezionali



Comparison between the possible 2M1207 System and the Solar System

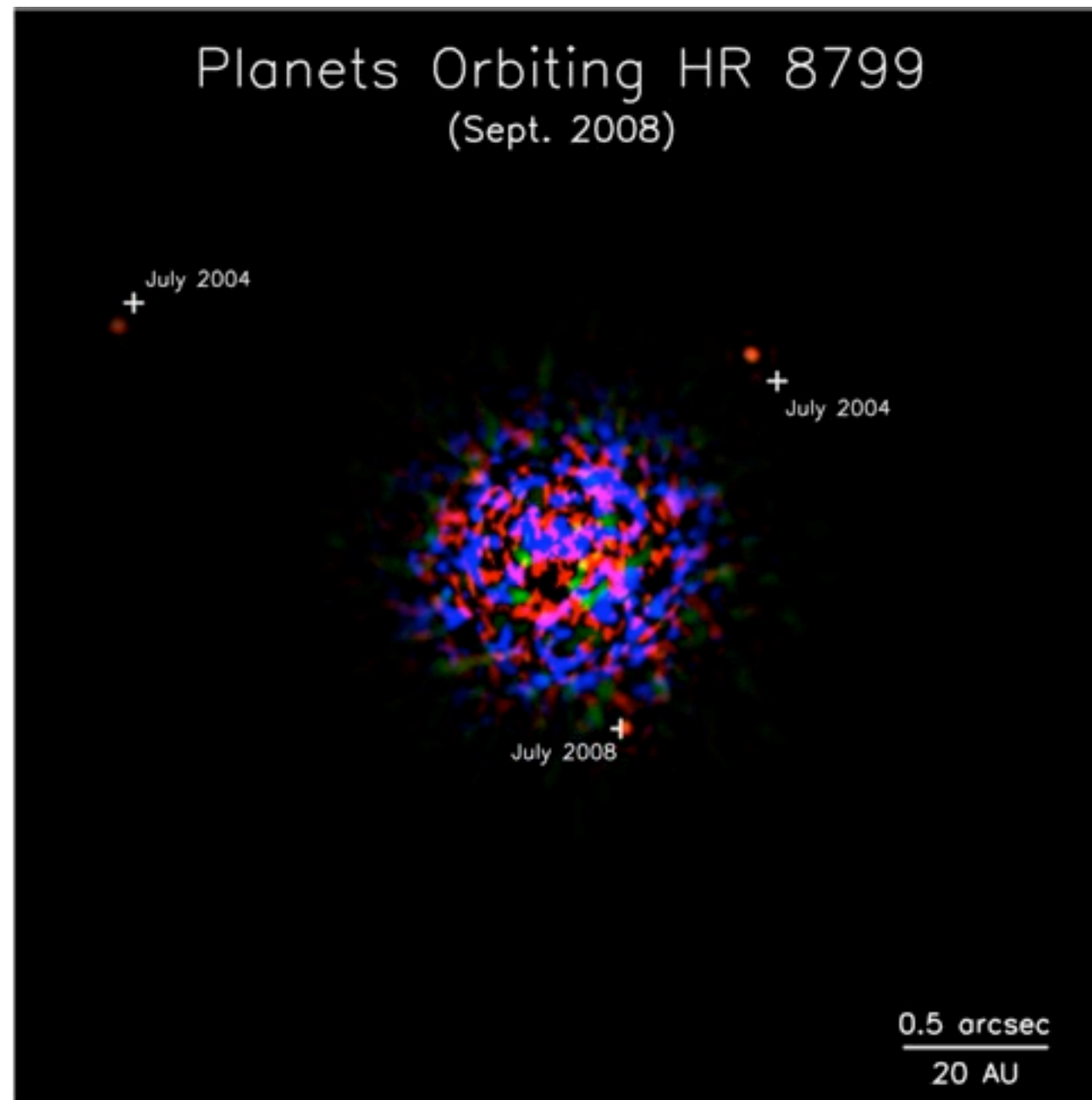
ESO PR Photo 26c/04 (10 September 2004)

© European Southern Observatory



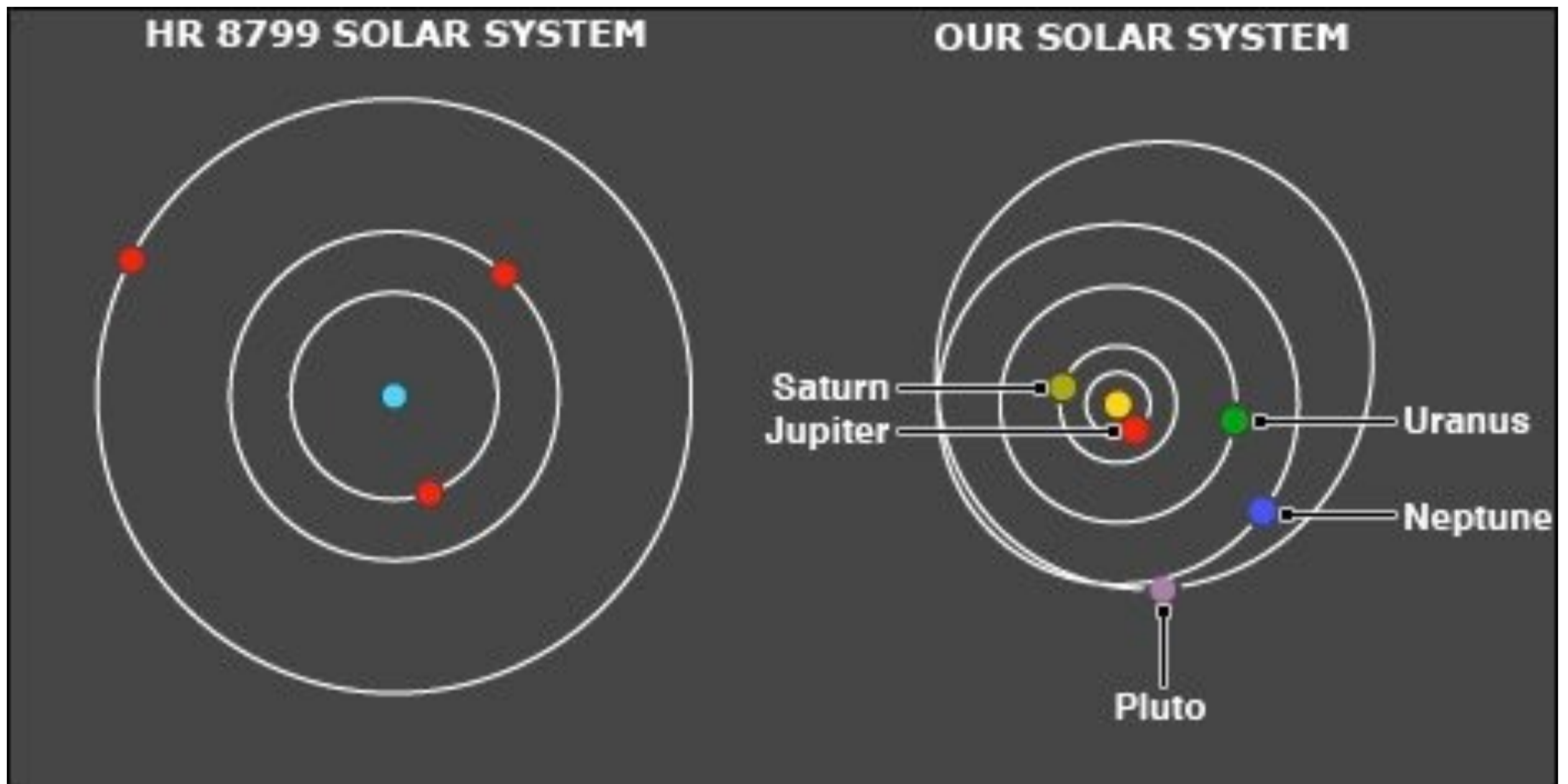
Come scoprire un pianeta extra-solare?

Vedere il pianeta direttamente:
Casi eccezionali



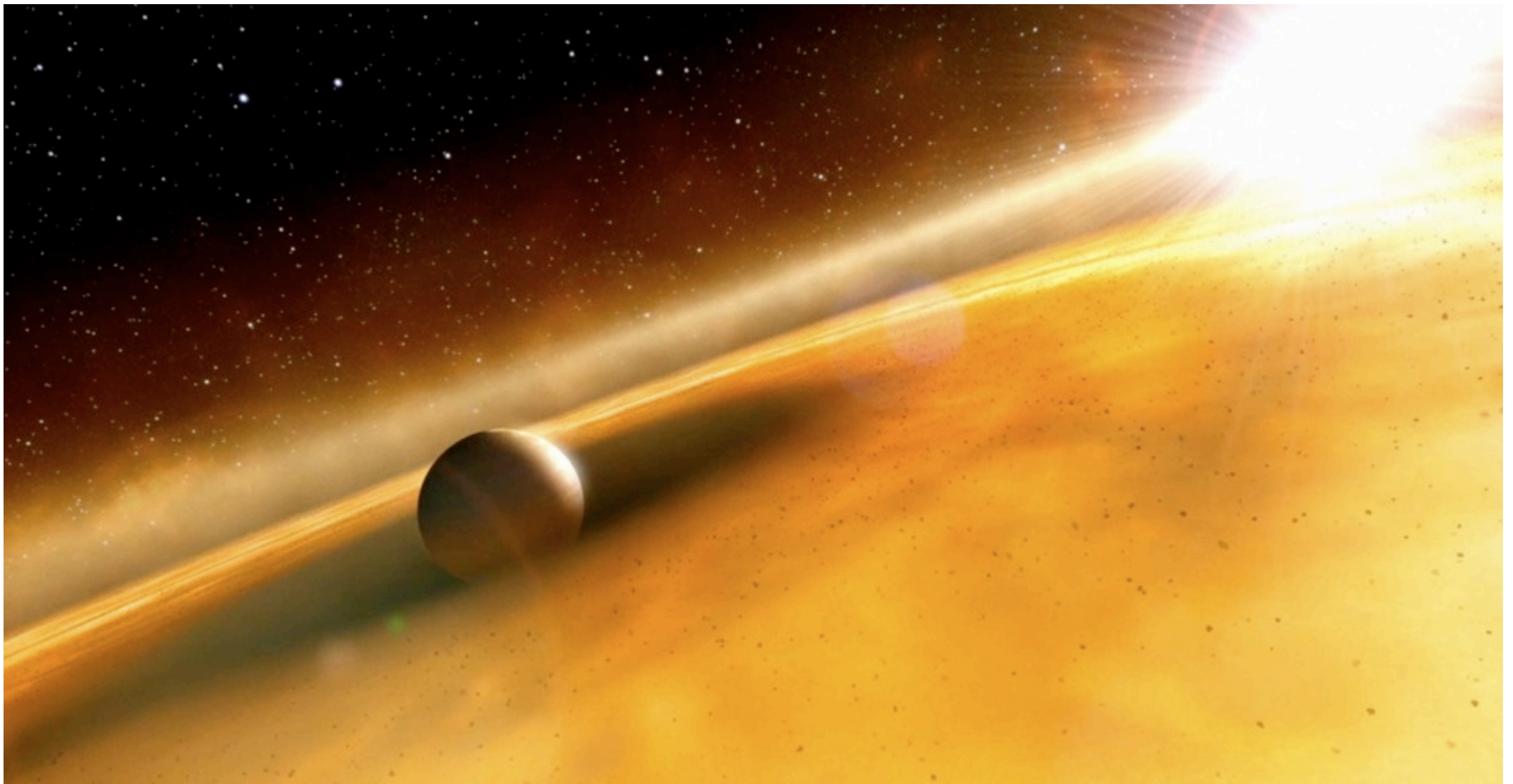
Come scoprire un pianeta extra-solare?

Vedere il pianeta direttamente:
Casi eccezionali



Come scoprire un pianeta extra-solare?

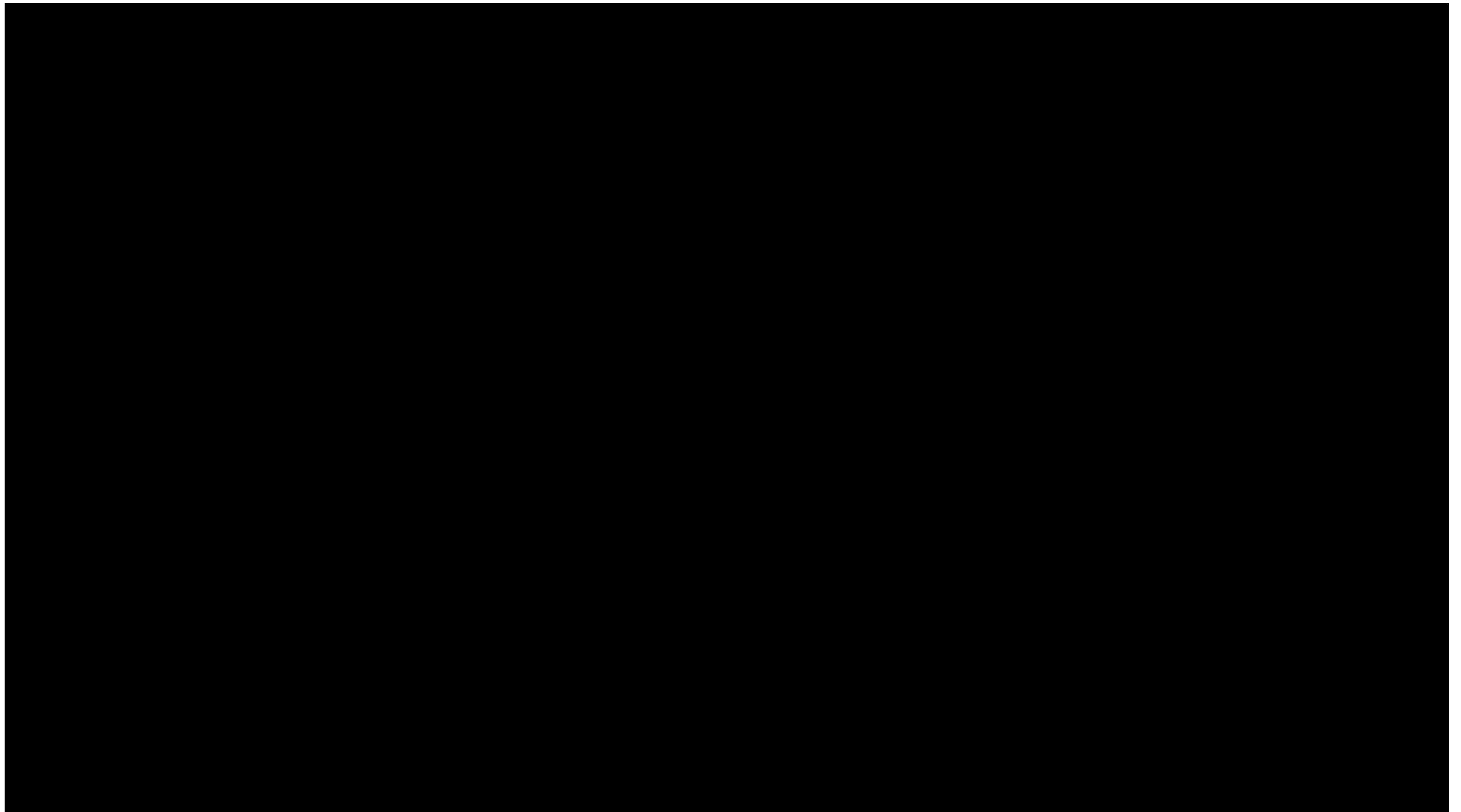
Vedere il pianeta direttamente:
Casi eccezionali



Come scoprire un pianeta extra-solare?

Vedere il pianeta direttamente:

Casi eccezionali



Statistiche



Statistiche

OGLE: $100 \cdot 10^6$ stelle osservate



Statistiche

OGLE: $100 \cdot 10^6$ stelle osservate

PLANET: 200 eventi di microlensing



Statistiche

OGLE: $100 \cdot 10^6$ stelle osservate

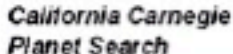
PLANET: 200 eventi di microlensing

CONCLUSIONE: <33% di stelle
(nane M) hanno un compagno
planetario (tipo Giove) tra 1.5 e 5 UA.

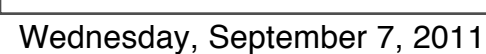




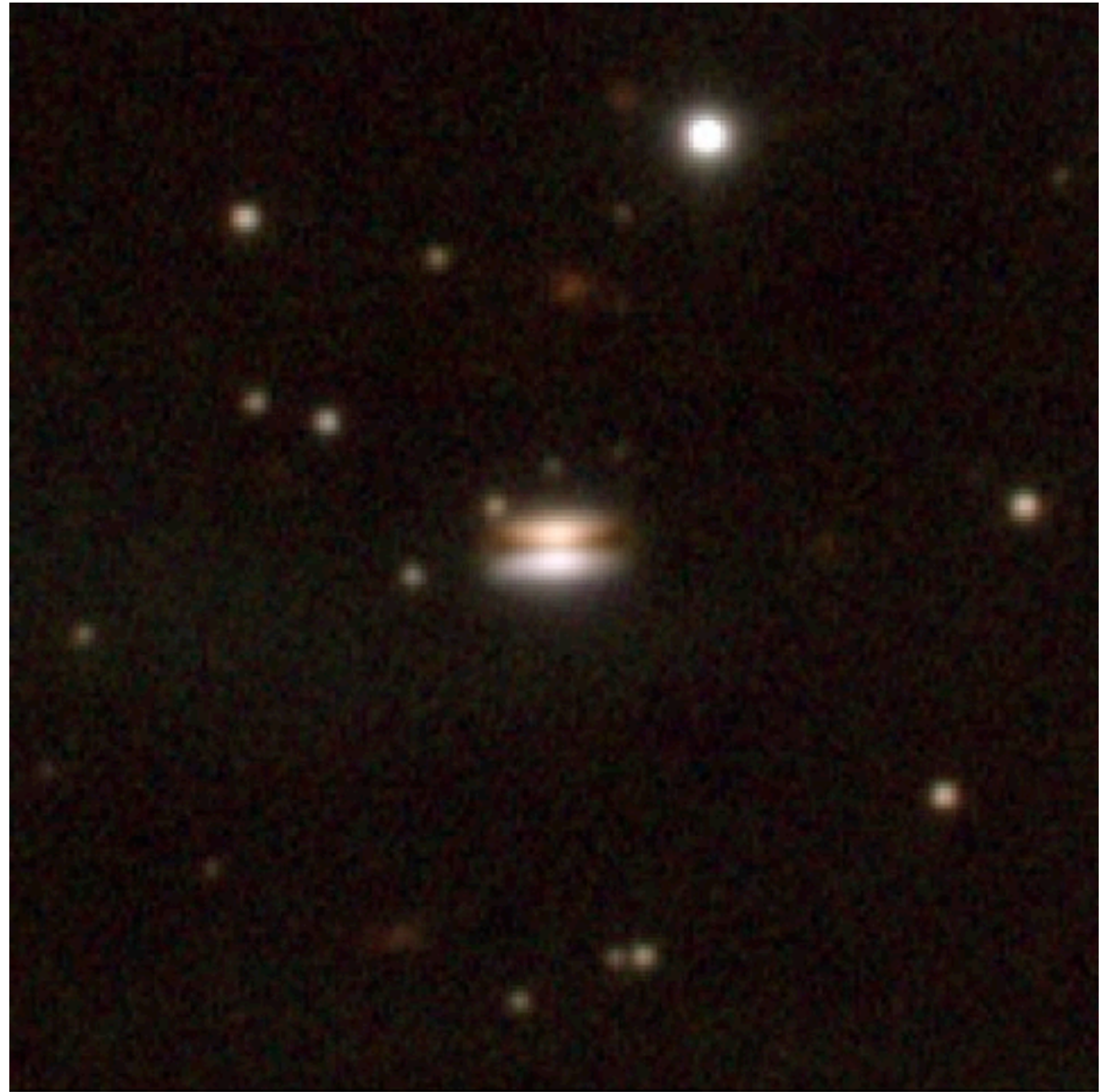
Oggi (agosto 2009): 373 exo-
pianeti conosciuti.



Anche sistemi multipli.



Pianeti come la Terra?



Infant Solar System in Ophiuchus
(VLT ANTU + ISAAC)

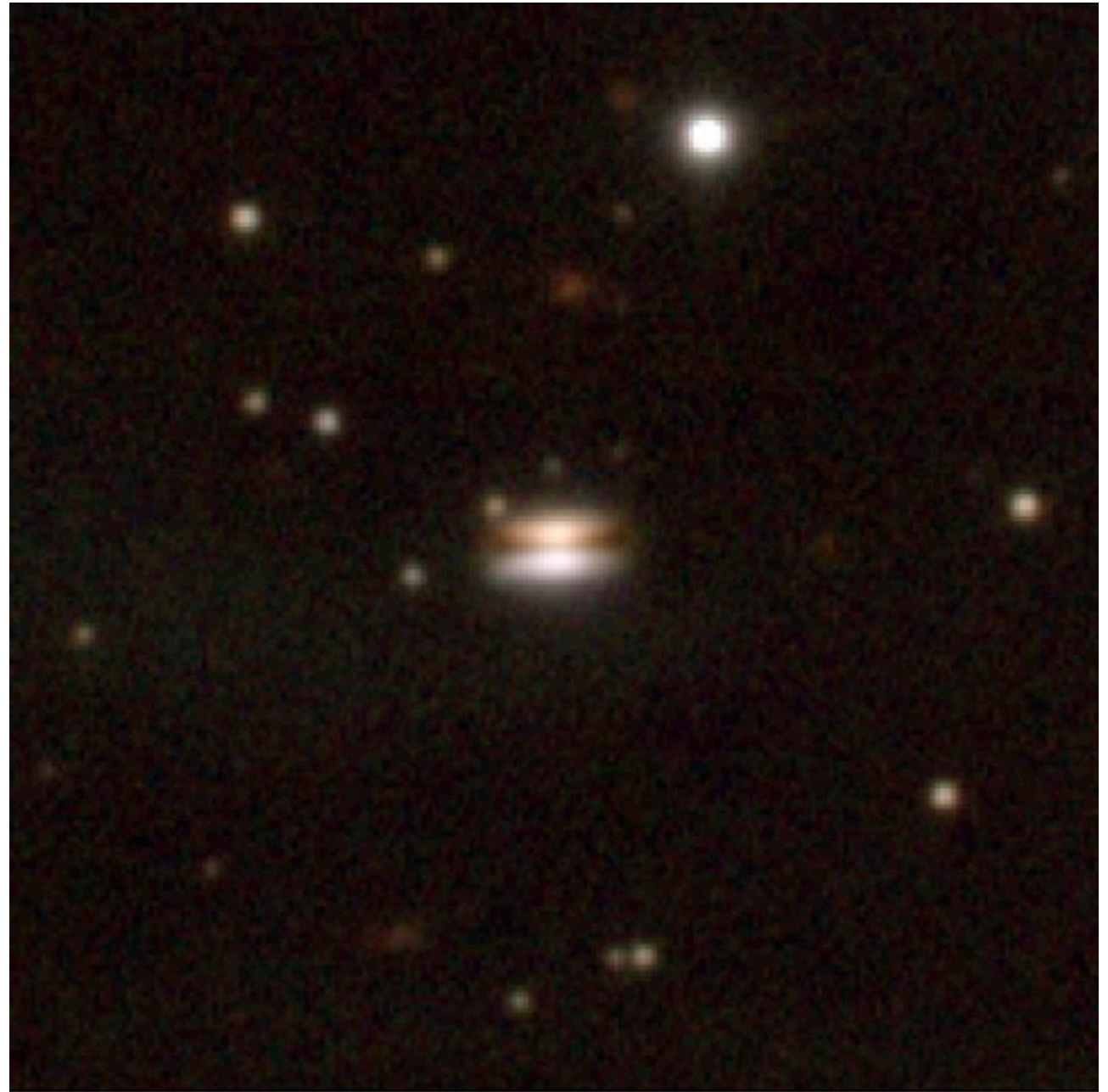
ESO PR Photo 12c/02 (7 May 2002)

© European Southern Observatory



Pianeti come la Terra?

Ingredienti per la formazione di pianeti rocciosi nei dischi proto-planetari.



Infant Solar System in Ophiuchus
(VLT ANTU + ISAAC)

ESO PR Photo 12c/02 (7 May 2002)

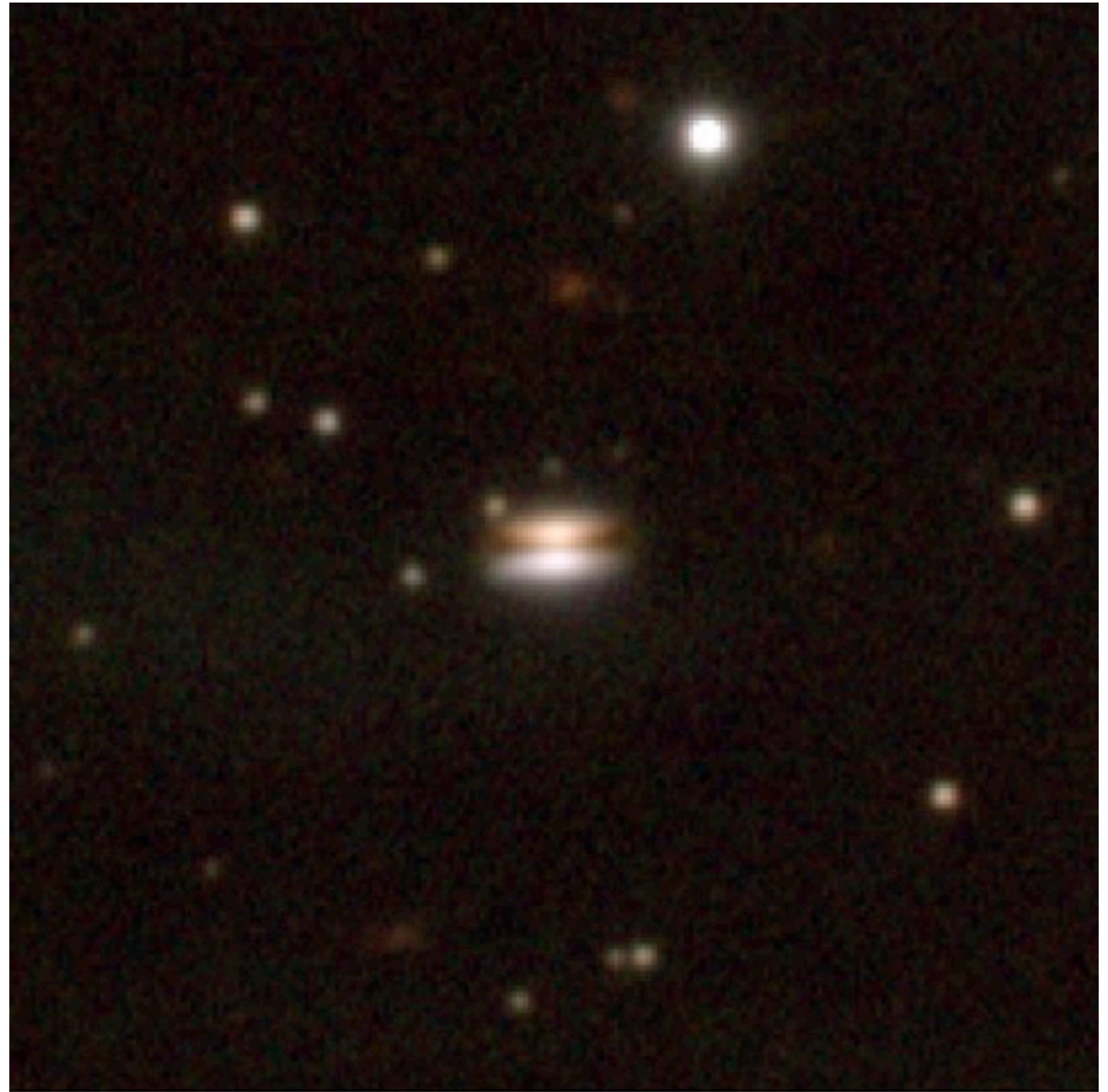
© European Southern Observatory



Pianeti come la Terra?

Ingredienti per la formazione di pianeti rocciosi nei dischi proto-planetari.

Pianeti come la Terra forse non sono così rare!



Infant Solar System in Ophiuchus
(VLT ANTU + ISAAC)

ESO PR Photo 12c/02 (7 May 2002)

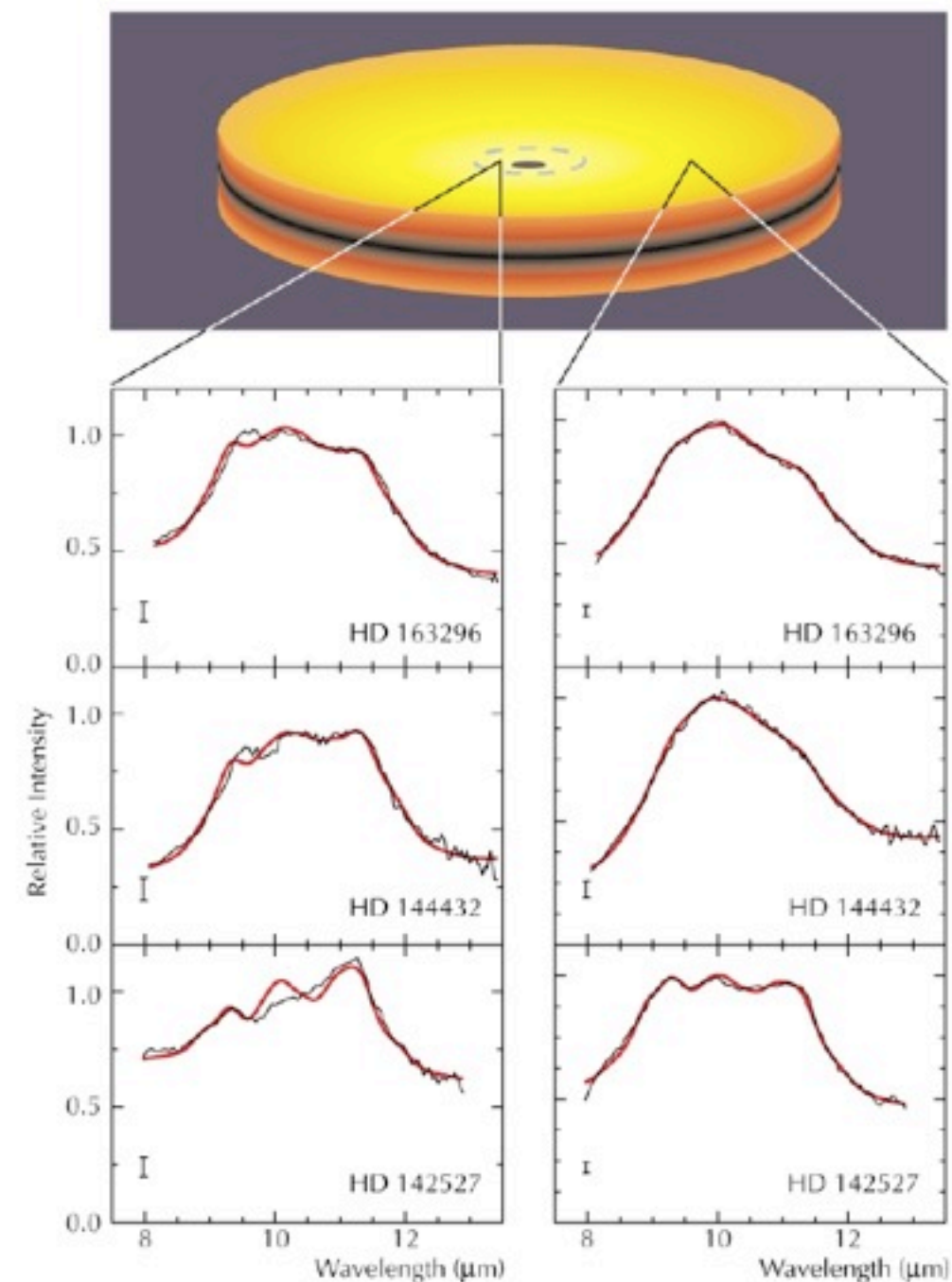
© European Southern Observatory



Pianeti come la Terra?

Ingredienti per la formazione di pianeti rocciosi nei dischi proto-planetari.

Pianeti come la Terra forse non sono così rare!

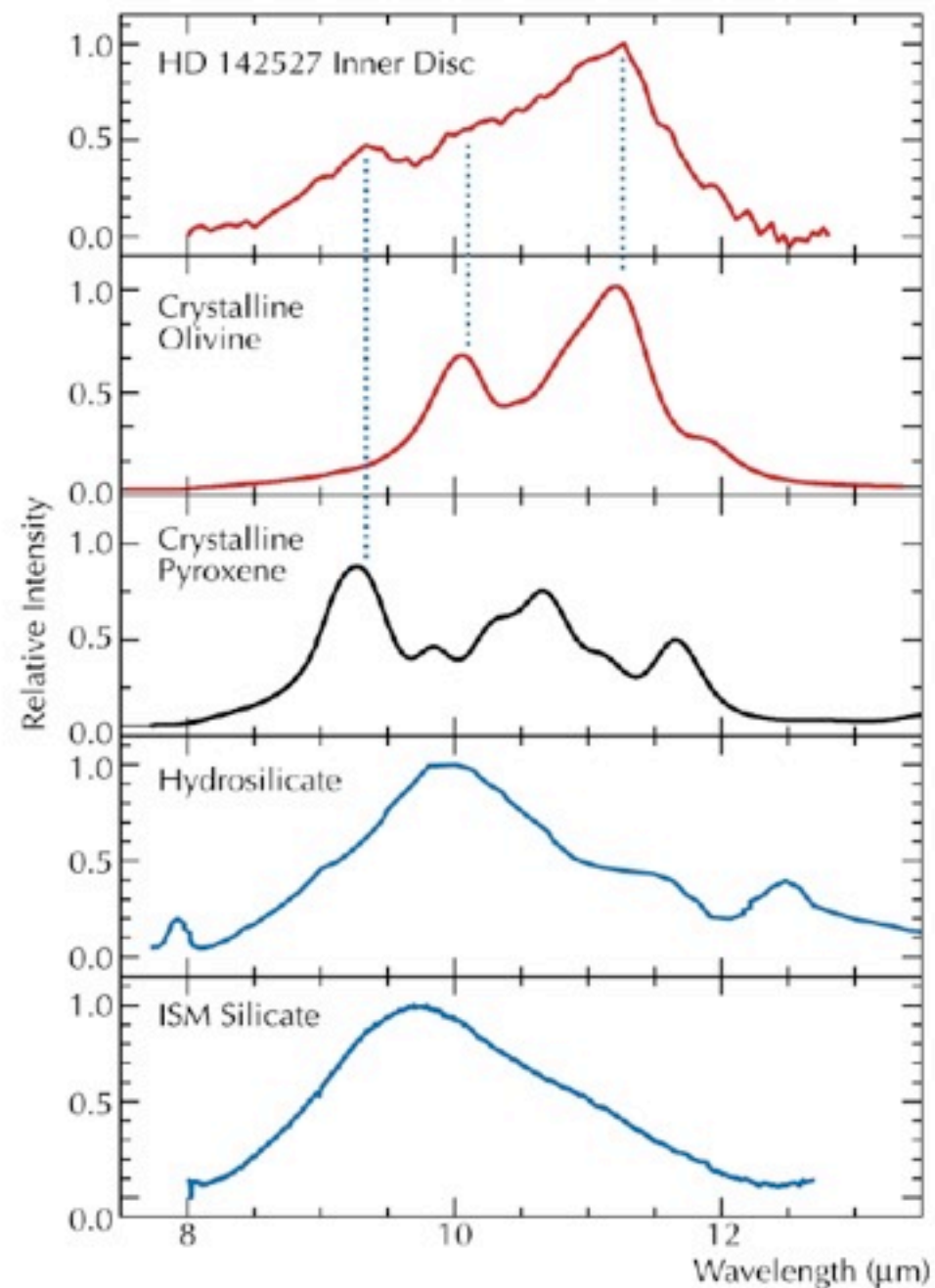


Mid-IR Spectra of Inner and Outer Discs Around Three Young Stars

Pianeti come la Terra?

Ingredienti per la formazione di pianeti rocciosi nei dischi proto-planetari.

Pianeti come la Terra forse non sono così rare!

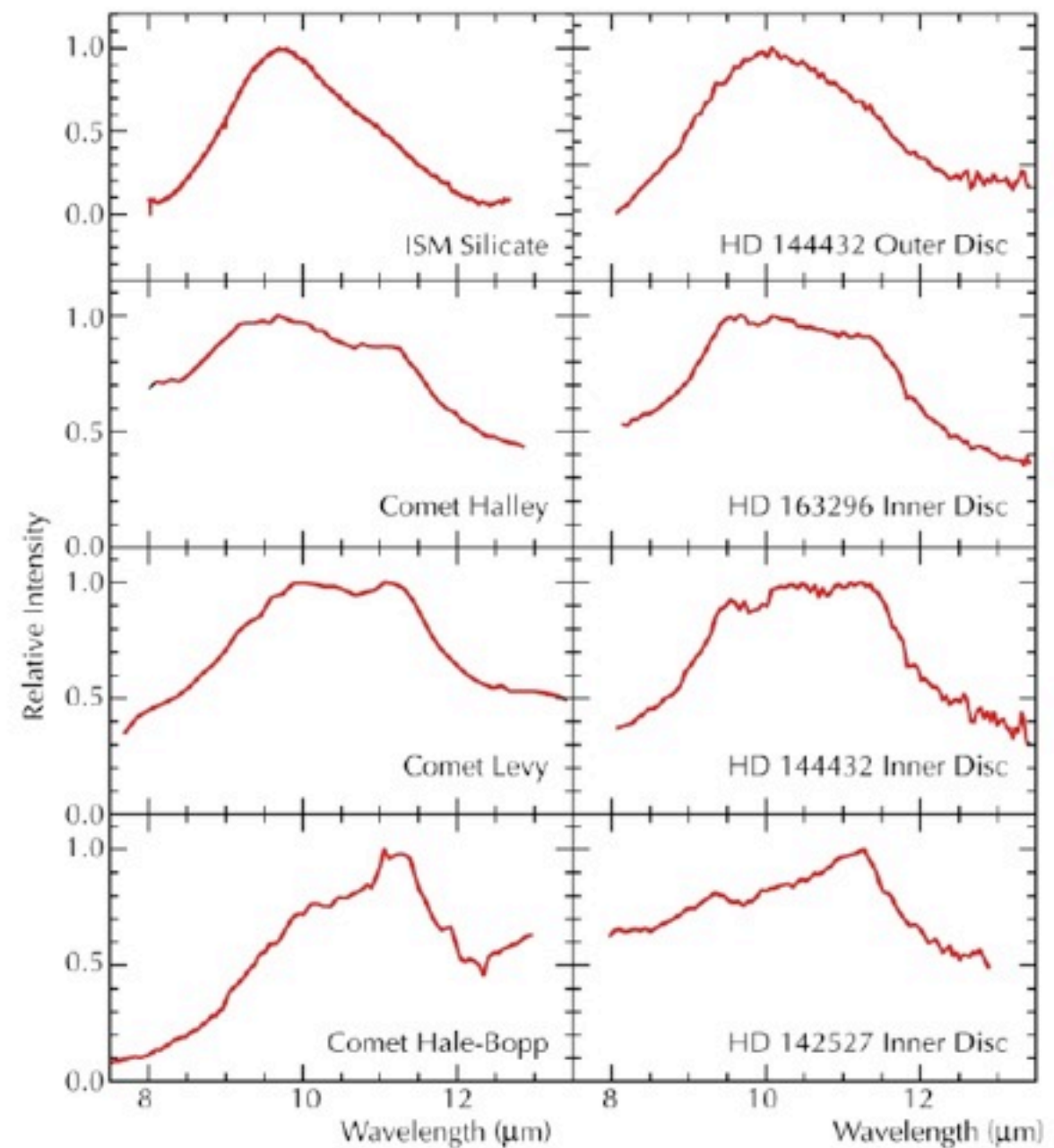


Mid-IR Spectra of HD142527 Inner Disc and Common Dust Types (VLT + MIDI and others)

Pianeti come la Terra?

Ingredienti per la formazione di pianeti rocciosi nei dischi proto-planetari.

Pianeti come la Terra forse non sono così rare!



Mid-IR Spectra of Comets and Protoplanetary Discs
(VLT + MIDI and others)



Pianeti come la Terra?

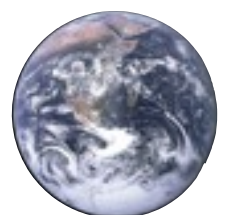
Gliese 581e

Pianeti come la Terra?

Gliese 581e

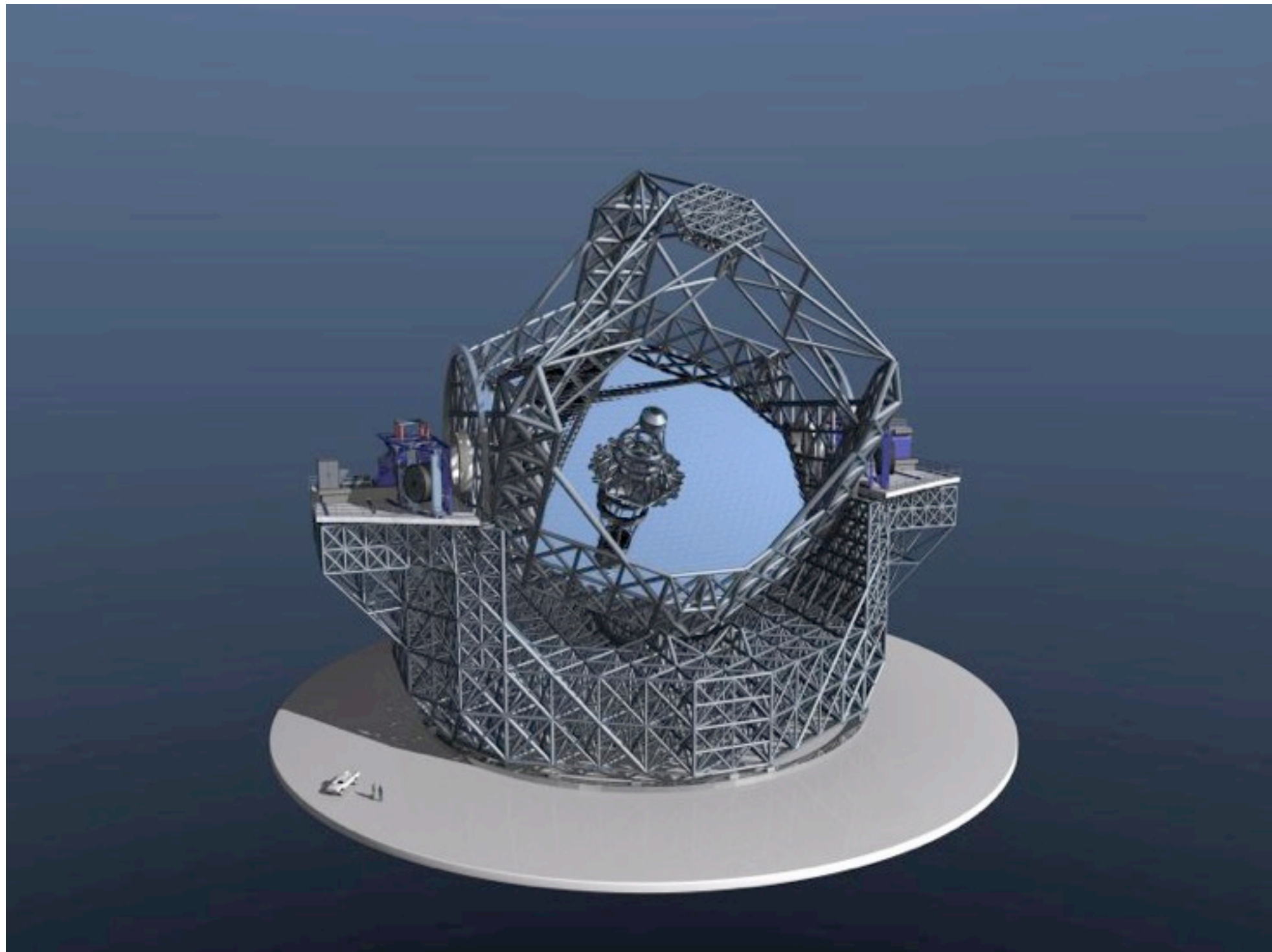
Il sistema planetario di Gliese 581: 4 pianeti

	Gl 581b	Gl 581c	Gl 581d	Gl 581e
Periodo [giorni]	5.37	12.93	66.8	3.15
Massa [M _{Terra}]	15.7	5.4	7.1	1.9
Distanza [UA]	0.04	0.07	0.22	0.03
	“Hot Neptune”	bordo caldo della ZA	bordo freddo della ZA	



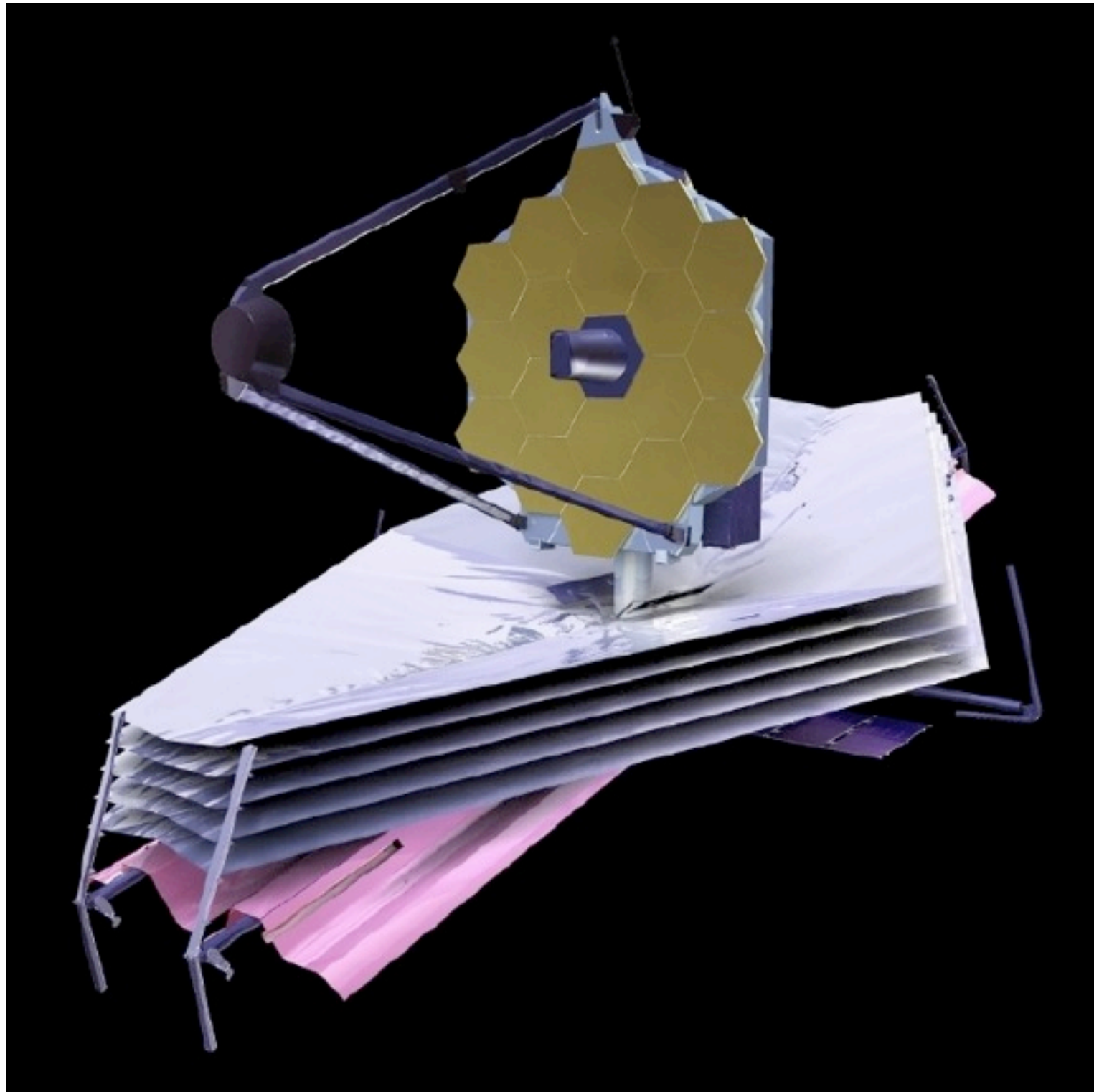
- Il Sole come se fosse osservato da una distanza di 33 a.l., causato da Giove

Il futuro della scoperta dei pianeti extra-solari



- Il Sole come se fosse osservato da una distanza di 33 a.l., causato da Giove

Il futuro della scoperta dei pianeti extra-solari



- Il Sole come se fosse osservato da una distanza di 33 a.l., causato da Giove

Il futuro della scoperta dei pianeti extra-solari

