

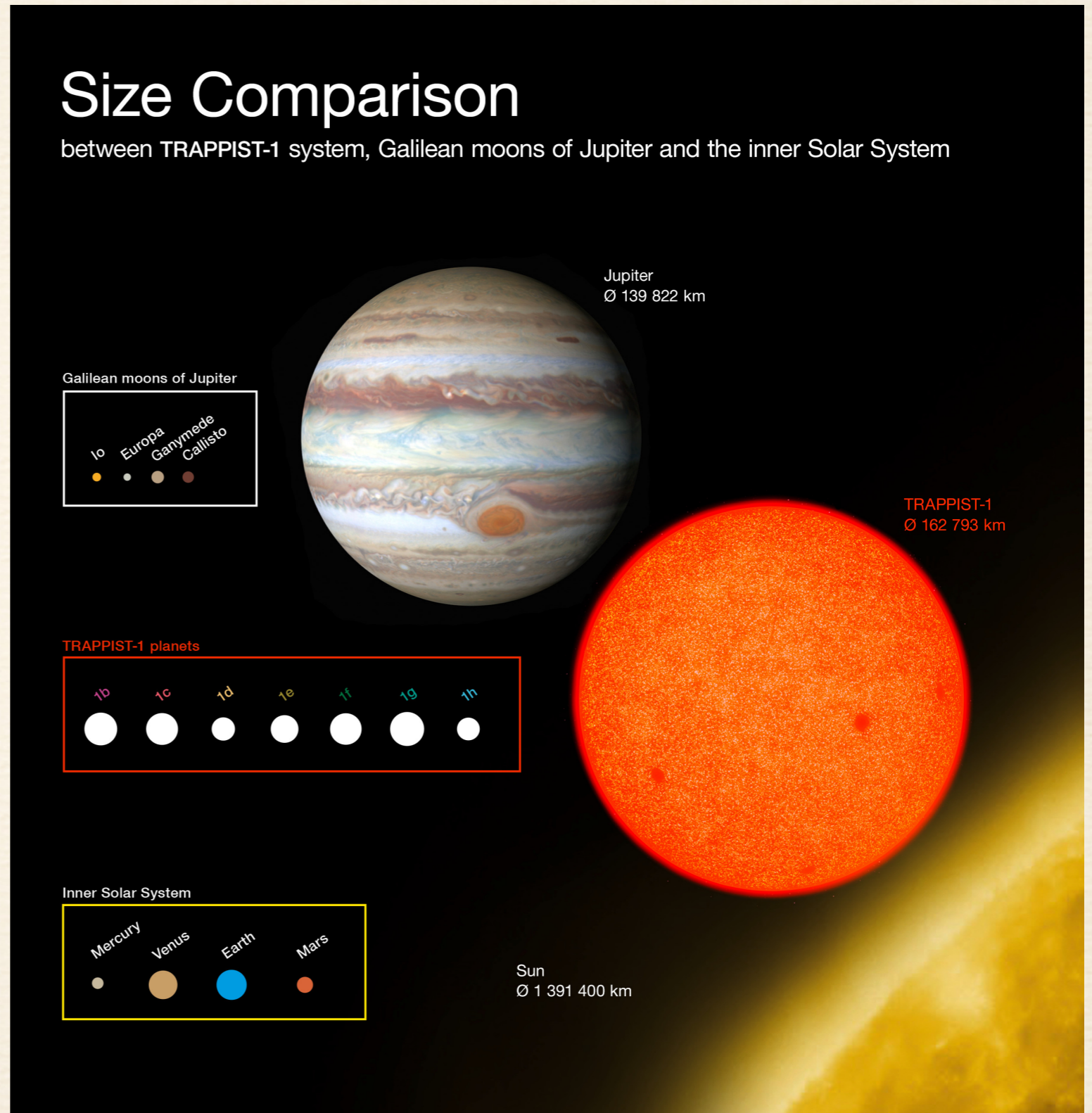
Alla ricerca di un'altra Terra!



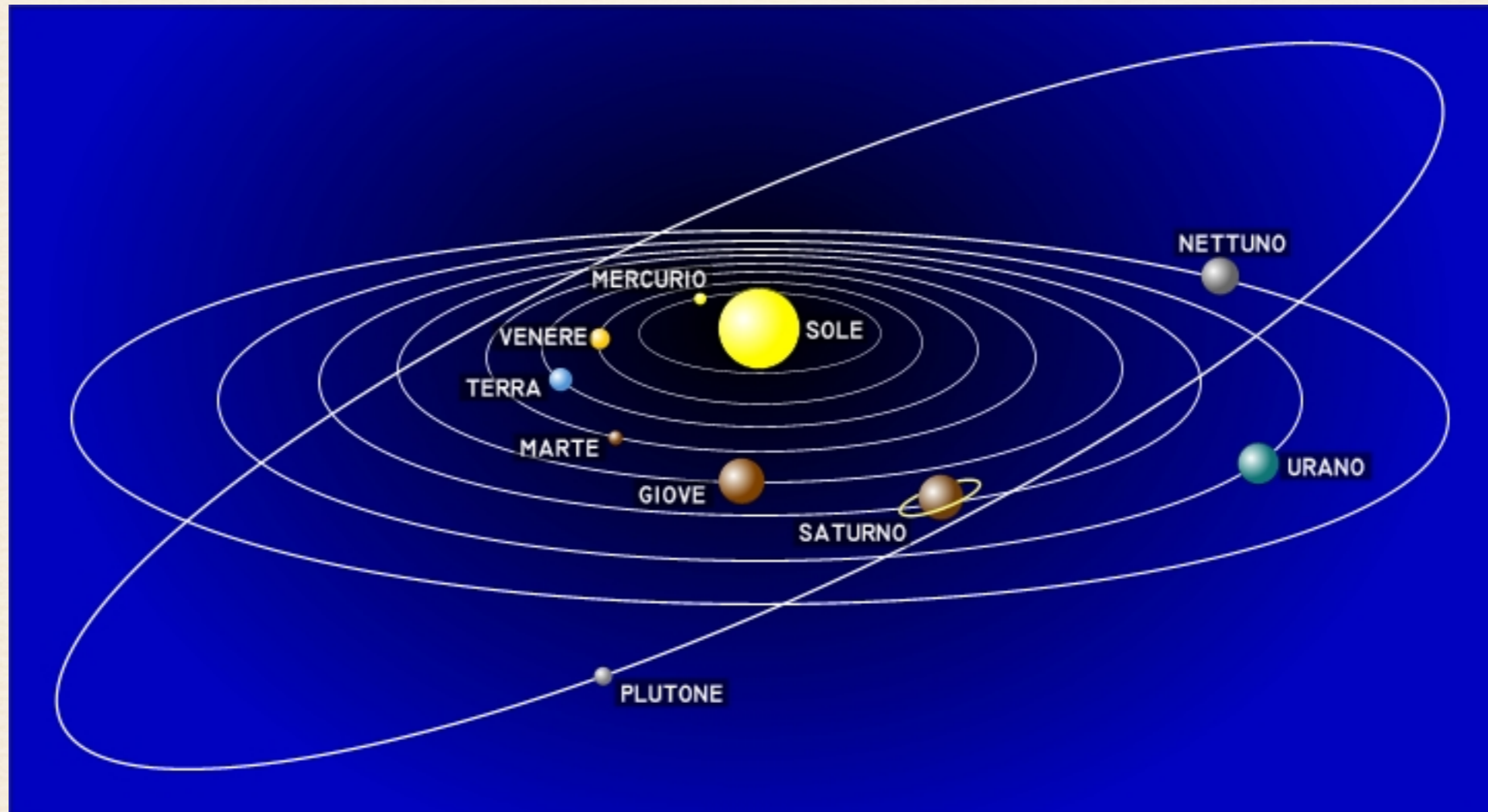
Stefano Covino e Marco Landoni
INAF / Osservatorio Astronomico di Brera

TRAPPIST-1 ed i 7 pianeti...

- ❖ Sono notizie ormai quasi comuni quelle relative alla scoperta di un pianeta “simile” alla Terra...
- ❖ Sebbene siano spesso alquanto “romanzate” si tratta sempre di scoperte sensazionali.
- ❖ Vediamo di capire a che punto siamo con queste ricerche!



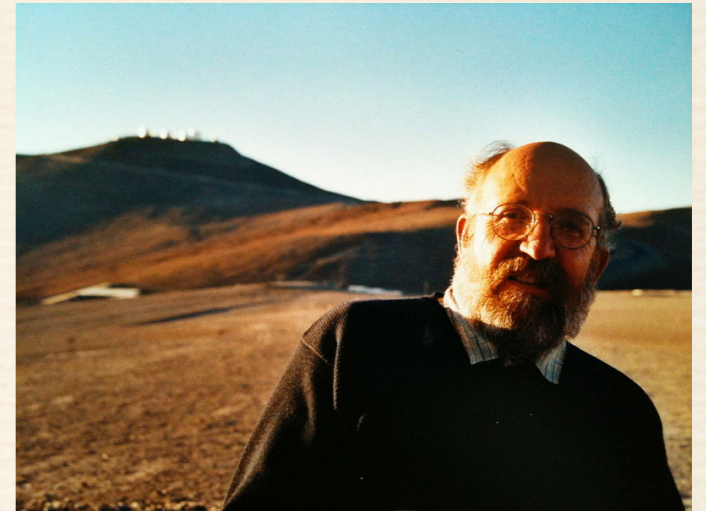
I pianeti del Sistema Solare



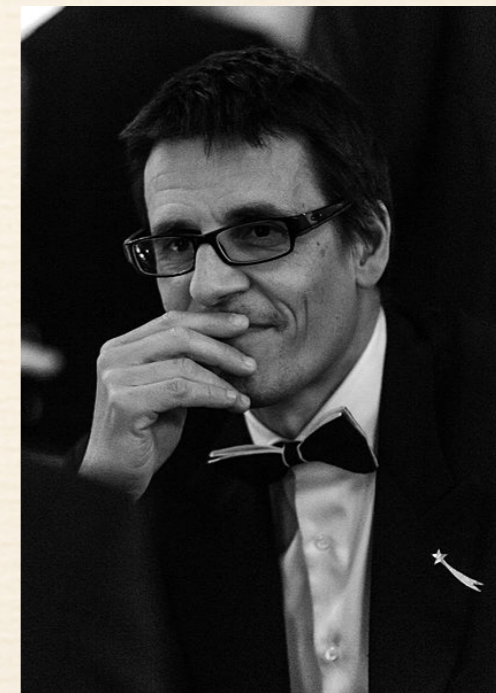
- ❖ Pianeti interni, esterni, gassosi, rocciosi, caldi, freddi...

Pianeti intorno ad altre stelle

- ❖ Si definisce eso- (o exo-) pianeta qualunque pianeta in orbita attorno ad una stella che non sia il Sole.
- ❖ Il problema ha radici filosofiche antiche, ma tecnicamente ha potuto essere affrontato solo da pochi anni.
- ❖ La prima comunicazione della “scoperta” di pianeti extra-solari risale al 1995 da Michel Mayor & Didier Queloz. Un pianeta attorno alla stella 51 Peg.



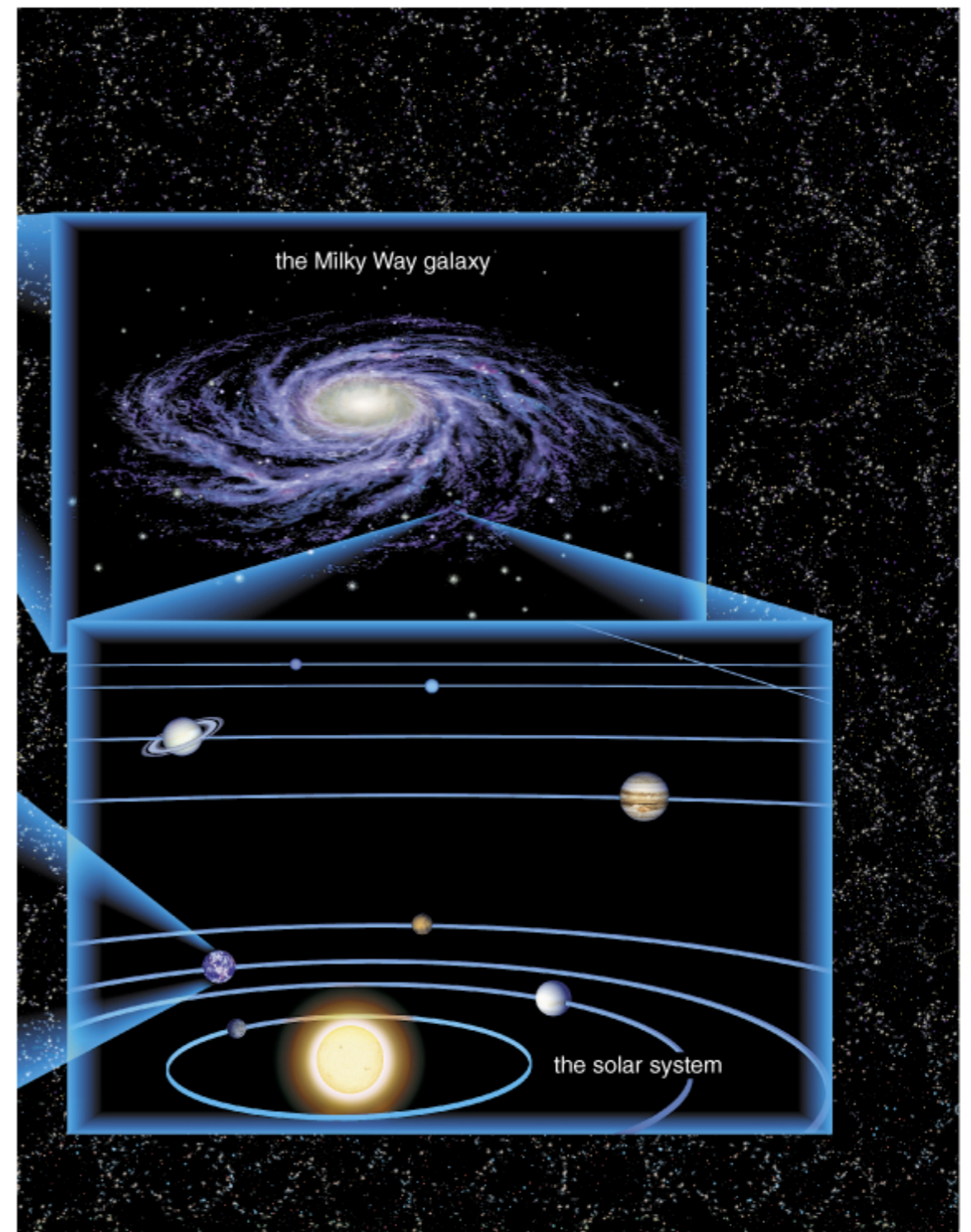
Michel Mayor



Didier Queloz

I pianeti sono comuni...

- ❖ Grossomodo si pensa che almeno una stella su due abbia un sistema planetario.
- ❖ Ed ogni sistema planetario può essere formato da 1-10 pianeti.
- ❖ centinaia di miliardi di pianeti?



La Via Lattea

THE MILKY WAY

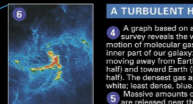
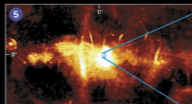
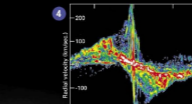
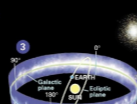
NATIONAL GEOGRAPHIC

Home galaxy of Earth, the Milky Way is a spiral-shaped system of a few hundred billion stars. Bright regions of recently formed stars highlight its arms, while older stars explode or expel their outer layers as beautiful planetary nebulas, then fade away and die. A thick swarm of orange and red stars marks the galactic bulge, encapsulating the star-packed galactic center. At its core may lie a black hole, a region so dense that not even light can escape its gravitational pull. All objects in the Milky Way orbit the galactic center, much like planets in Earth's solar system revolve around the sun. But the scale is staggering: Light from a star at one edge of the galaxy takes about 100,000 years to reach the opposite side.



GUIDE TO THE GALAXY

- 1 Far beyond the galactic disk, yet drawn by its gravity, lone stars and globular clusters wander the galaxy's halo. Regions of dark matter—regions that felt through its gravitational effects—extend beyond that.
- 2 Vast clouds of interstellar dust block much of our night-sky view of the Milky Way, which from our position in the flat galactic disk appears as a fuzzy band of light. Infrared satellites can see through the dust to reveal the galaxy's structure.
- 3 Earth's orbit around the sun lies at a severe angle to the galactic plane.



A TURBULENT HEART

- 1 A graph based on a radio survey reveals the whirlpool motion of molecular gas in the inner part of our galaxy's gas moving away from Earth (top half) and toward Earth (bottom half). The densest gas appears white, least dense, blue.
- 2 Massive amounts of energy are released near the center of the Milky Way, producing electrons that race along magnetic field lines, illuminating remnants of stellar explosions.
- 3 Probing even deeper into the core, a radio image detects a spiral of hot gas that is falling toward what may be a black hole some 2.6 million times as massive as the sun.

This computer-generated image of the Milky Way—one perspective of a 3-D model newly compiled for NATIONAL GEOGRAPHIC—incorporates the actual positions of hundreds of thousands of stars and nebulae.

- 1 Globular star cluster
- 2 Interstellar gas and dust
- 3 Nebula
- 4 Younger star region (OB star)
- 5 Molecular cloud
- 6 Galactic bulge or center (older star region)

Reference numbers for galaxies, nebulae, and star clusters:
M (Messier)
NGC (New General Catalog)
Coordinates system centered on galactic center

PLANETARY NEBULA M2-9

Exotic kaleidoscopes of the Milky Way, colorful nebulas and star clusters are found throughout Earth's galaxy. Even a run-of-the-mill star may eventually produce a nebula of surprising beauty. Just as our sun will die in its death throes some five billion years from now, a dying star expanded into a red giant and was transformed into the red nebula M2-9 (above). At its center shines a small, hot core, which will cool and fade over eons to come. Its stellar wind, streams of charged particles, rushes outward in opposite directions, like exhaust from back-to-back jet engines. The bipolarism, revealed by the Hubble Space Telescope, is common among planetary nebulas. Ultraviolet light from the star heats M2-9's gas and makes them glow. Other types of nebulae exist in our galaxy, including dark nebulae rich in microscopic dust that blocks our view of stars beyond. When a star adorns a dark nebula, the dust particles reflect starlight and the black cloud seems to have a silver lining.

- 1 The million-plus stars packed into a globular cluster such as Omega Centauri (right) are senior citizens of the Milky Way. Unlike human
- 2 retirees, however, every star in the cluster is about the same age. Billions of years older than our 4.6-billion-year-old sun.
- 3 Peering between dust clouds toward the central bulge of the Milky Way, the Hubble Space Telescope focused on a rare clear region in the Sagittarius star cloud (above right). These Sagittarius stars formed at different times; most are older
- 4 than the sun. They sparkle like an assortment of gems on a jeweler's velvet pad.
- 5 In some dark clouds lurk strange objects like G339.8+1.26, detected by a European Southern Observatory telescope in Chile and mapped in infrared light. As stars like the sun die, they become factories for interstellar dust. Cosmic soot—the remnants of its red giant stars—surrounds the very hot central star of NGC 7027 (above right). Blown outward, the soot would obscure our view of the center of NGC 7027 were it not for this remarkable composite image in infrared and
- 6 visible light from the Hubble Space Telescope.
- 7 Clouds of interstellar dust (right) stream over huge regions along the central plane of the Milky Way, are not thick and smooth but seem as frothy as the head on a glass of beer. Supernova shock waves and stellar wind from
- 8 involving stars may have shaped this surprising pattern.
- 9 When a massive star comes to the end of its nuclear fuel supply, it collapses and then rebounds in a brief, powerful explosion, or supernova. The Chinese called these celestial fireworks "guest stars" and recorded one such event in the constellation Taurus in July 1054 that was visible in broad daylight.
- 10 In that location today astronomers find the fast-expanding Crab Nebula (left), a pulsar—a collapsed star—whirling 30 times a second. Sweeping galaxies of the Milky Way host equally remarkable celestial phenomena. In the Large Magellanic Cloud (below right), 180,000 light years from
- 11 Earth, clumpy, filamentary clouds of hydrogen gas reveal their steady march in a radio map from the Australian Parkes Compact Array. The lower half of the cloud (below) is heading toward the Earth while the top side (red) turns away.
- 12 Clustering along the spiral arms of the galaxy, bright emission nebulae mark regions where new stars are forming. The Lagoon Nebula (below), skulking 5,000 light years distant, is sparsely detected with the naked eye as a fuzzy spot in the southern constellation Sagittarius. Wide-field images show that it covers more of
- 13 the sky than does the full moon. Where there was once only a vast dark cloud, radiation from the brightest and most massive young star in the nebula, Herbie 36, heats and ionizes the gas across a wide region. Despite the brilliance of the Lagoon Nebula and similar objects like the famous Orion Nebula, such areas are usually little more than hot blisters on the flanks of giant interstellar clouds.
- 14 With new tools, astronomers are unraveling the nature of the Milky Way and measuring distances to stars and nebulae with greater accuracy. Still, they ask, how did the Milky Way form in the first place? How and when did the arms form? How many more globular clusters exist besides the 102 already discovered? And the biggest question of all: Do any of them harbor life?

LAGOON NEBULA

Earth, clumpy, filamentary clouds of hydrogen gas reveal their steady march in a radio map from the Australian Parkes Compact Array. The lower half of the cloud (below) is heading toward the Earth while the top side (red) turns away.

- 1 Clustering along the spiral arms of the galaxy, bright emission nebulae mark regions where new stars are forming. The Lagoon Nebula (below), skulking 5,000 light years distant, is sparsely detected with the naked eye as a fuzzy spot in the southern constellation Sagittarius. Wide-field images show that it covers more of
- 2 the sky than does the full moon. Where there was once only a vast dark cloud, radiation from the brightest and most massive young star in the nebula, Herbie 36, heats and ionizes the gas across a wide region. Despite the brilliance of the Lagoon Nebula and similar objects like the famous Orion Nebula, such areas are usually little more than hot blisters on the flanks of giant interstellar clouds.
- 3 With new tools, astronomers are unraveling the nature of the Milky Way and measuring distances to stars and nebulae with greater accuracy. Still, they ask, how did the Milky Way form in the first place? How and when did the arms form? How many more globular clusters exist besides the 102 already discovered? And the biggest question of all: Do any of them harbor life?

Copyright © 2002 National Geographic Society, Washington, D.C. Reprinted August 2005 22049

For information regarding available maps call 1-800-962-5643 or write to National Geographic Maps, PO Box 4357, Englewood, CO 80437-4357. You can find us on the Internet at nationalgeographic.com/maps.

❖ 100 miliardi di stelle "interessanti"... quanti pianeti?

Ma come si trovano questi pianeti?

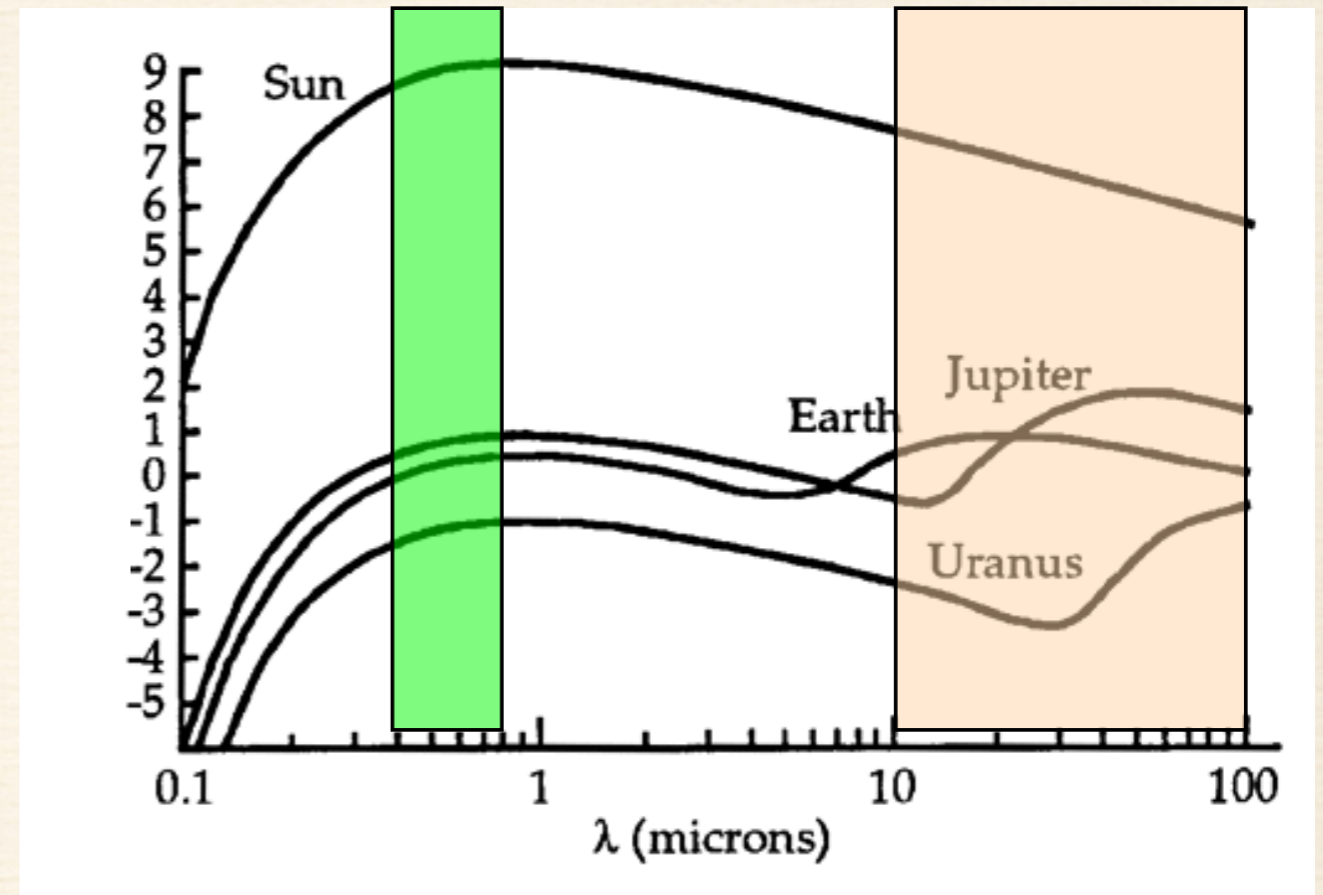
- ❖ Ci sono molte tecniche differenti, talvolta complementari. Le più importanti sono:
 - ❖ la più semplice (concettualmente), l'immagine diretta!
 - ❖ da misure astrometriche;
 - ❖ da misure di velocità radiali;
 - ❖ da transiti.



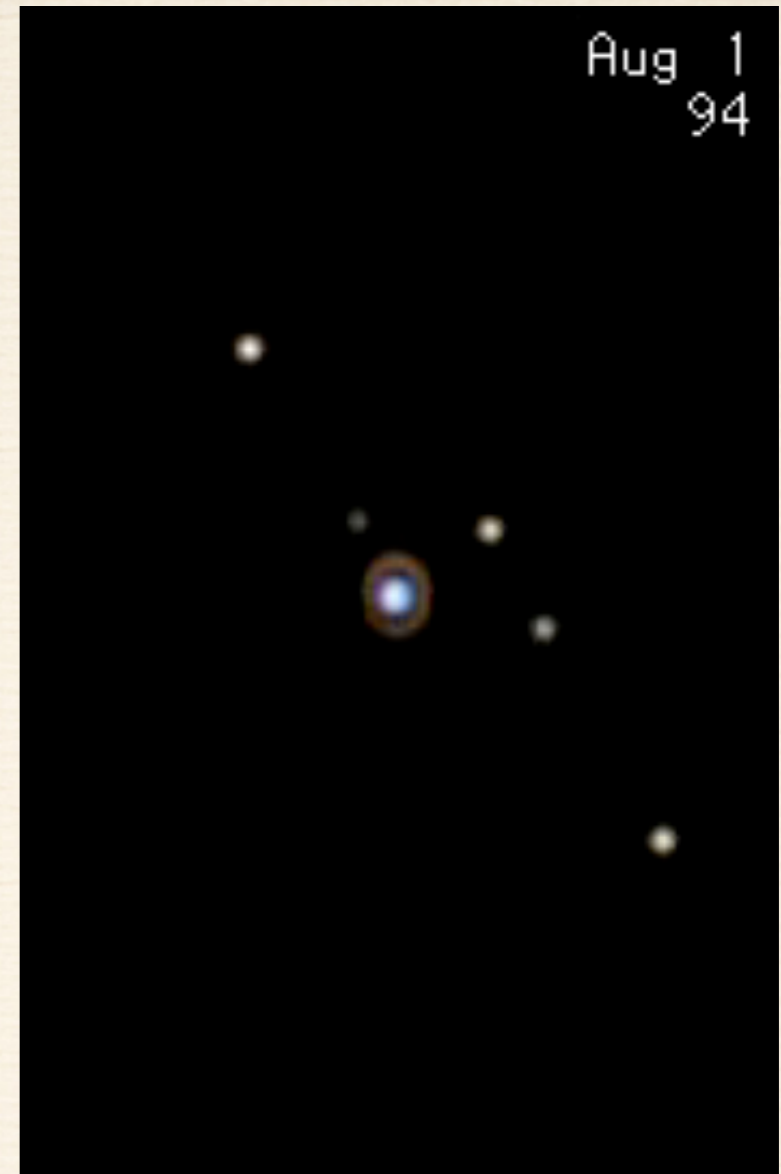
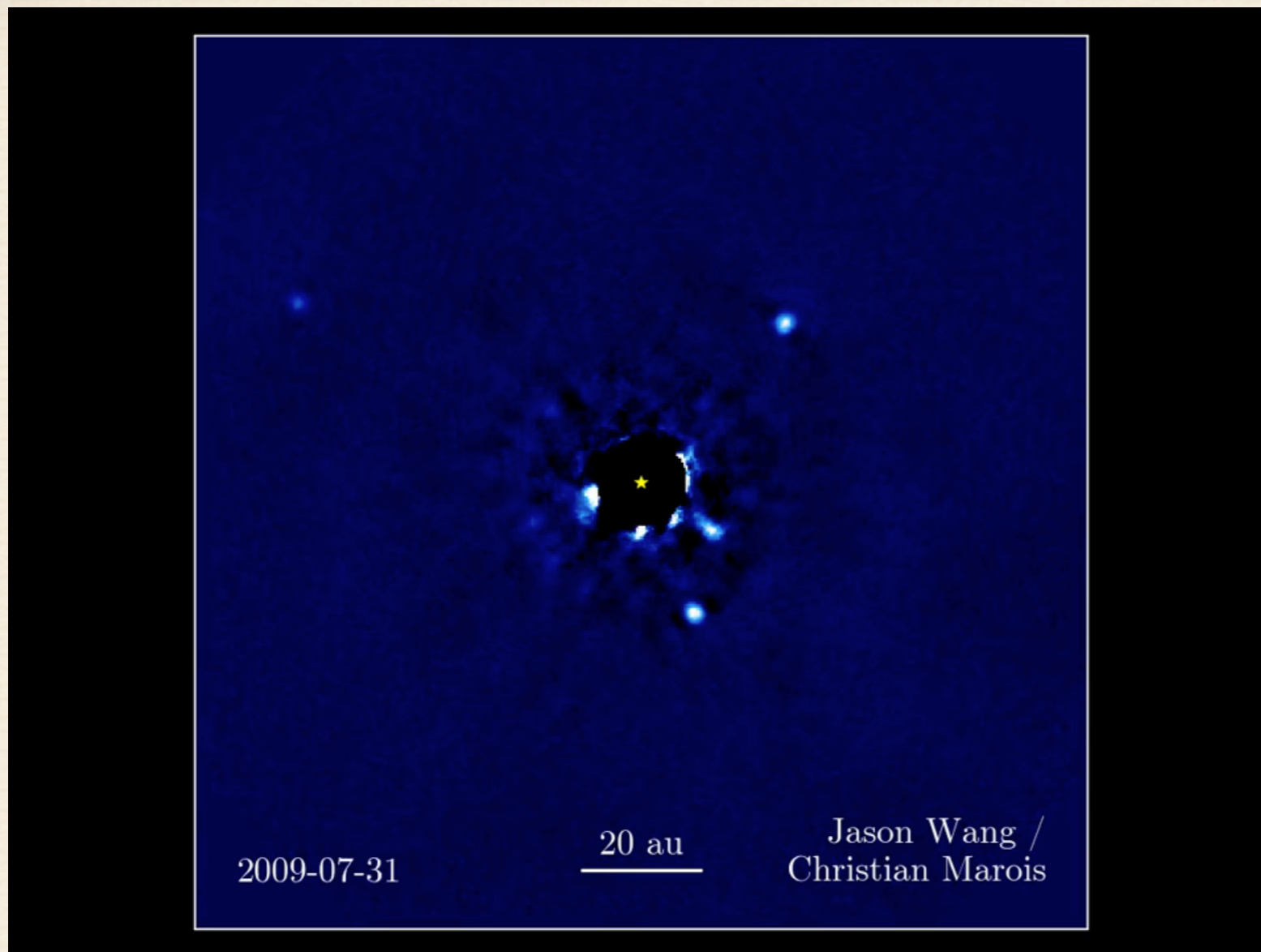
Immagine diretta

Ottico: stella/pianeta \sim 1 miliardo

Infrarosso: stella/pianeta \sim 1 milione

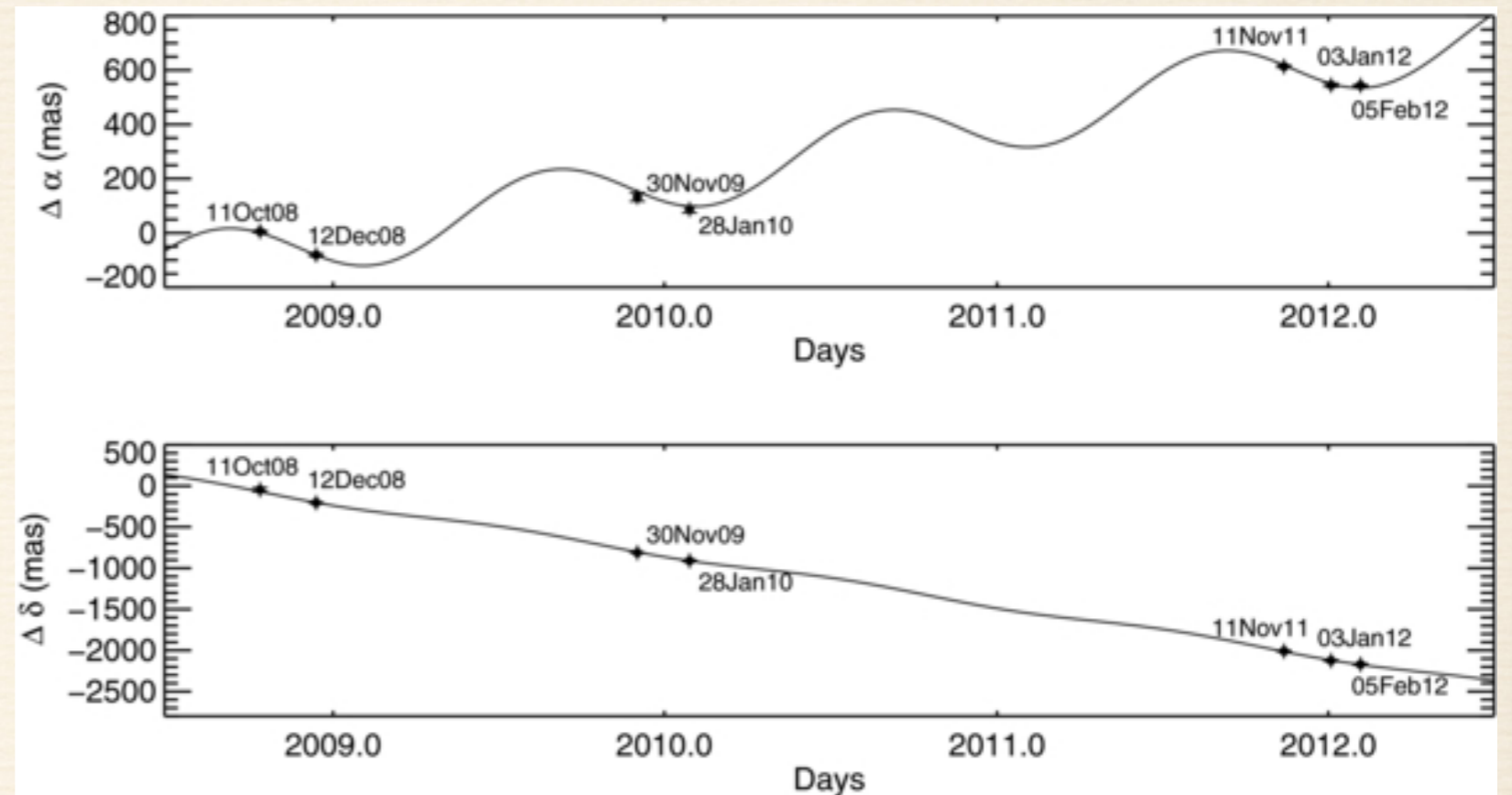
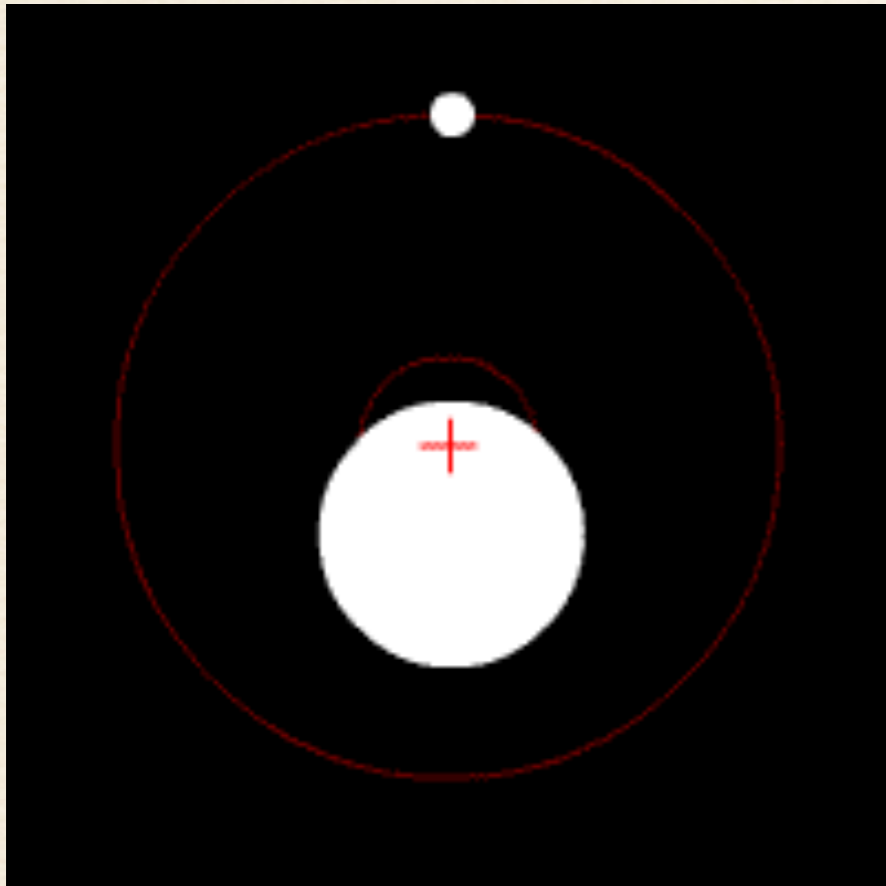


❖ La luce del pianeta è dominata da quella della stella!



- ❖ “Vedere” i pianeti, in alcuni casi favorevoli, è già possibile.
- ❖ Si stanno sviluppando tecniche per “vedere” i pianeti più piccoli ed interni, quelli di tipo “terrestre”.
- ❖ Vedere dettagli della superficie di questi pianeti è tutta un’altra impresa (nell’ottico ci vorrebbero telescopi di migliaia di km di diametro...).

Misure di posizione e velocità

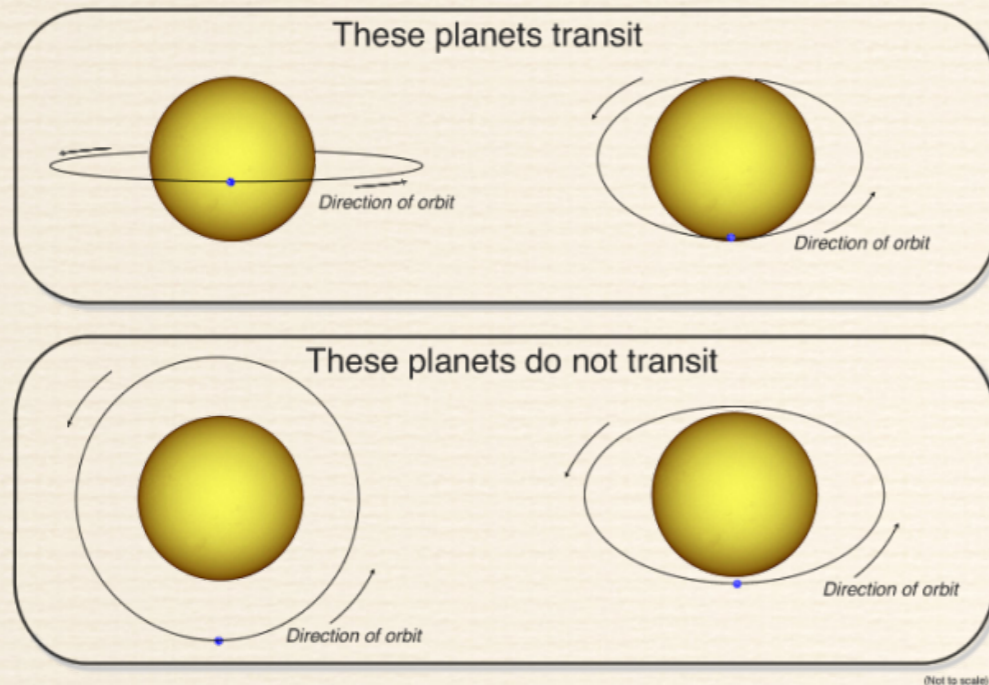


- ❖ Le stelle ed i pianeti orbitano attorno al comune centro di massa.
- ❖ È possibile osservare le oscillazioni del moto, ed anche le variazioni di velocità orbitale.

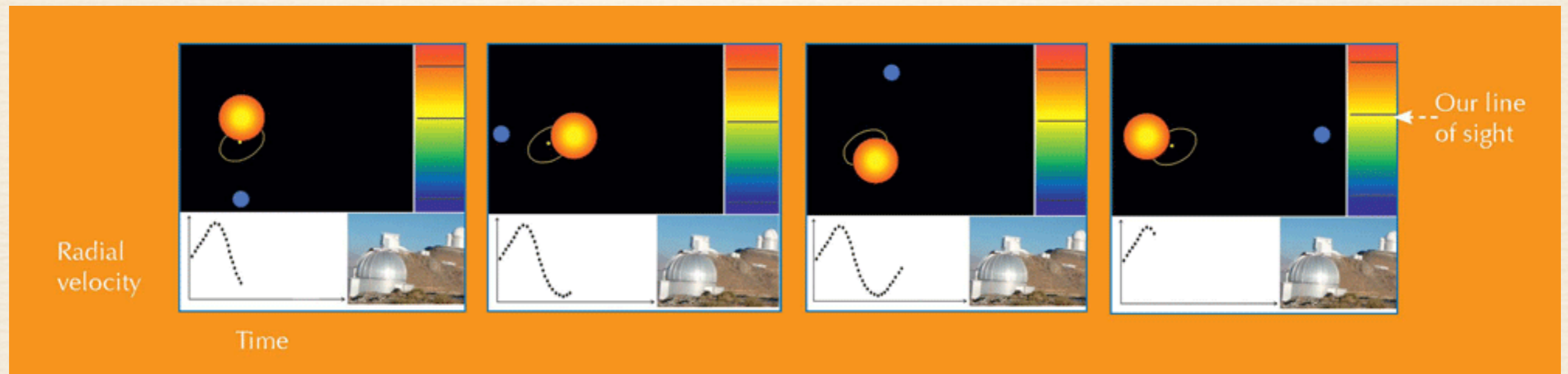
Velocità radiali

Exoplanet Orbit Orientations

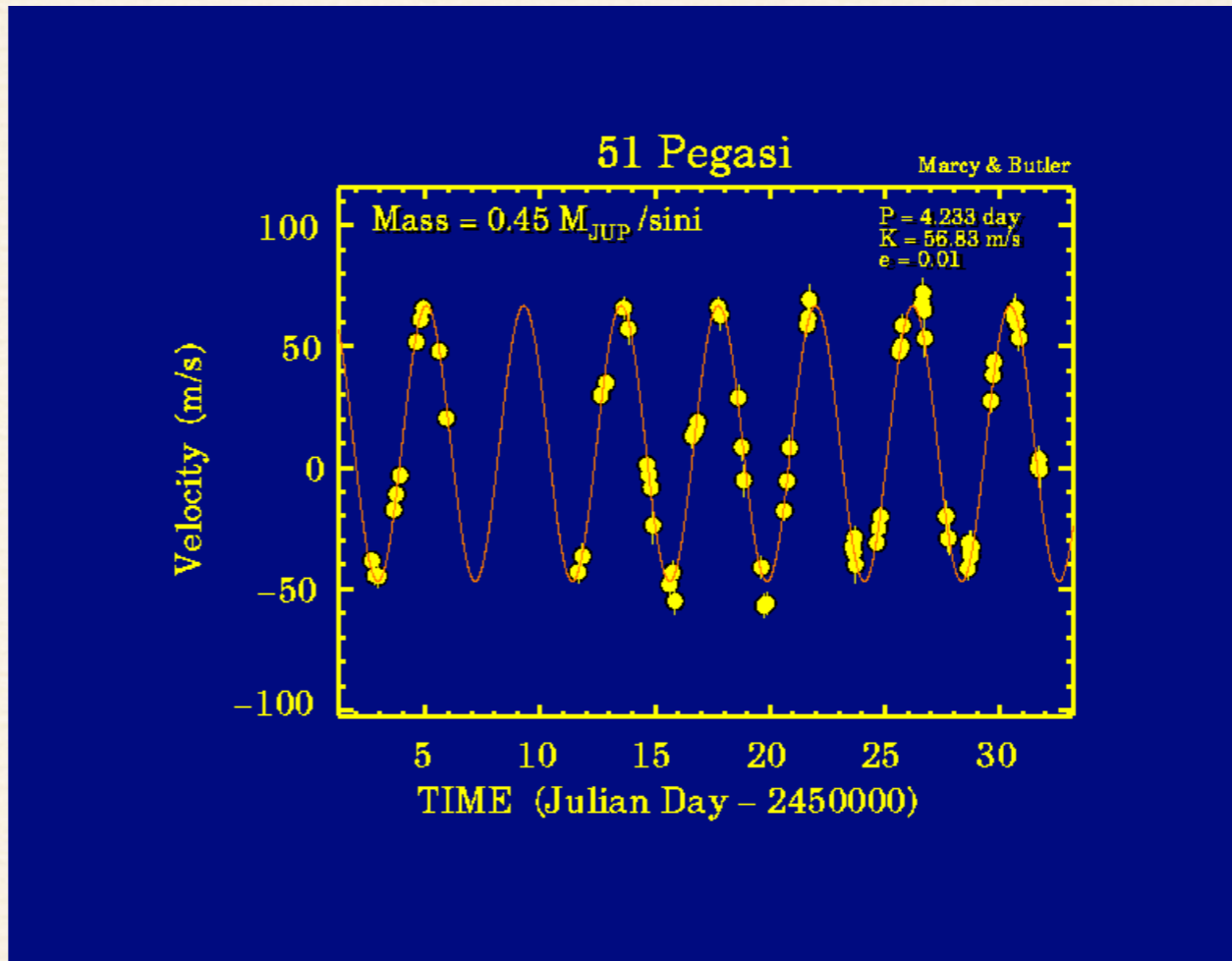
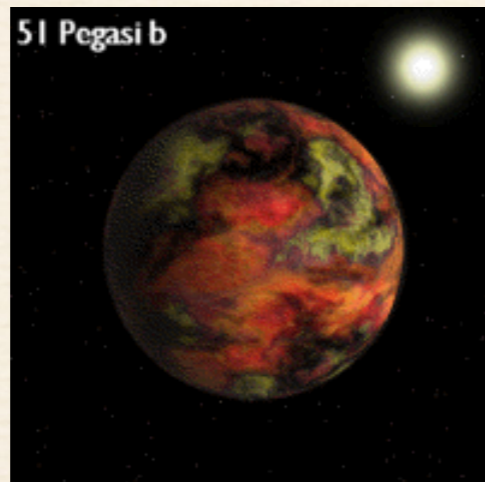
Powered by LCOGT



- ❖ La tecnica più adatta dipende dall'inclinazione orbitale.
- ❖ Nel caso in alto la stella si muoverà periodicamente verso di noi a lontano da noi.
- ❖ Tramite misure di velocità radiali per mezzo dell'effetto Döppler si può mettere in evidenza il moto orbitale.

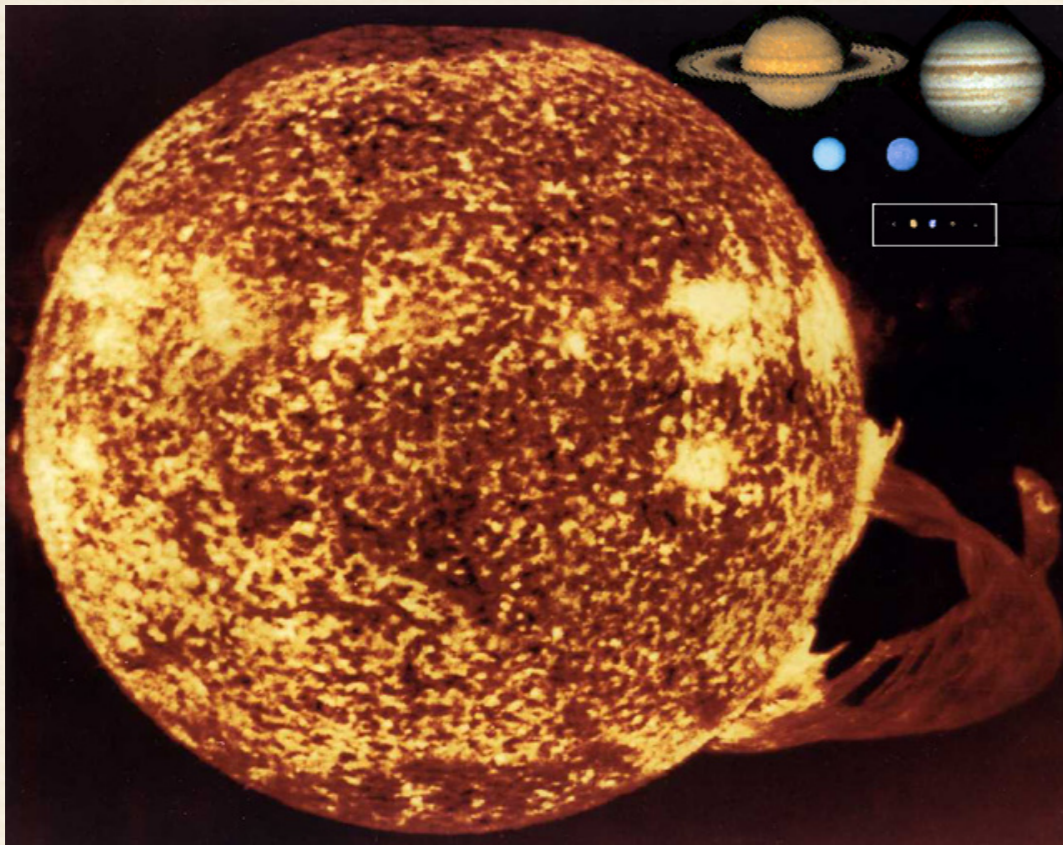


51 Peg

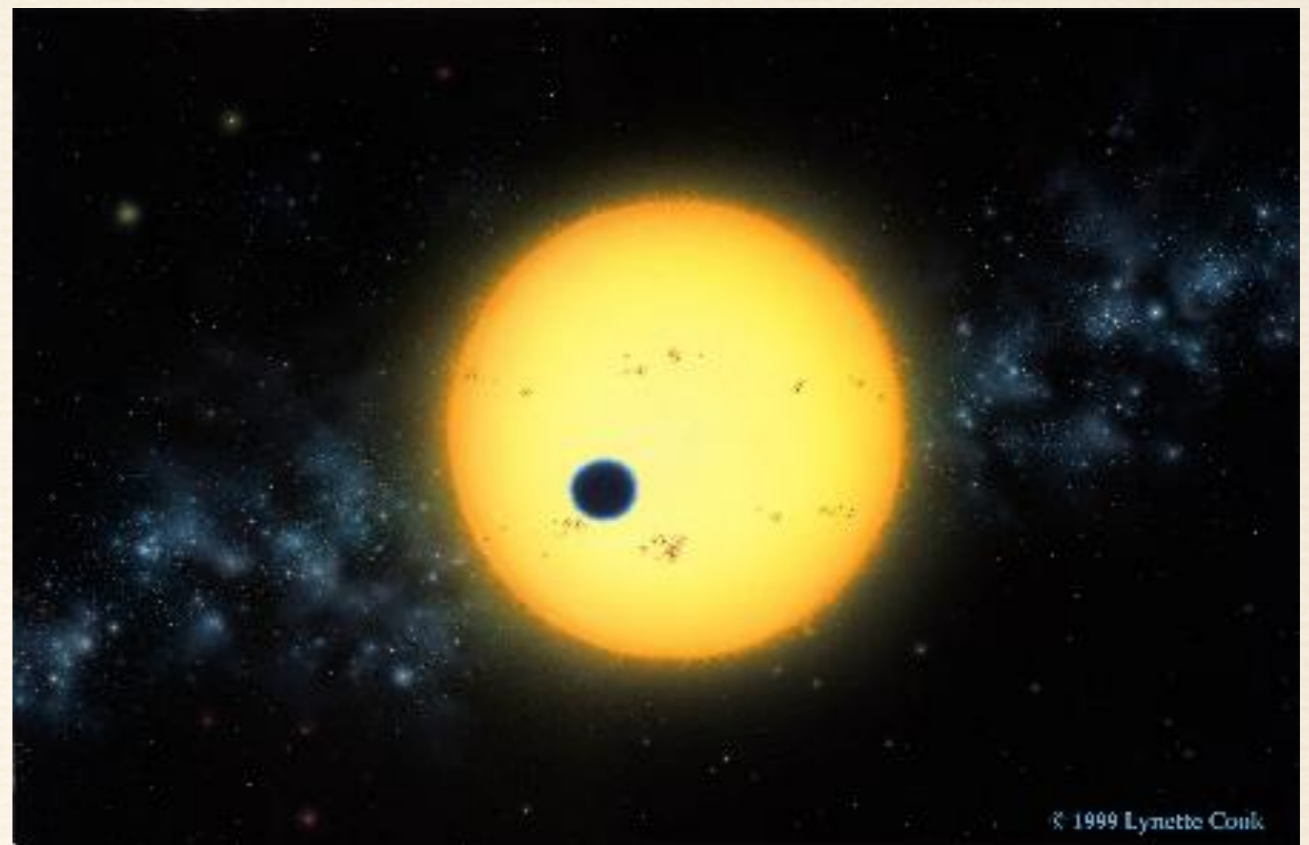


- ❖ Il primo exo-pianeta identificato con questa tecnica.

Transiti planetari



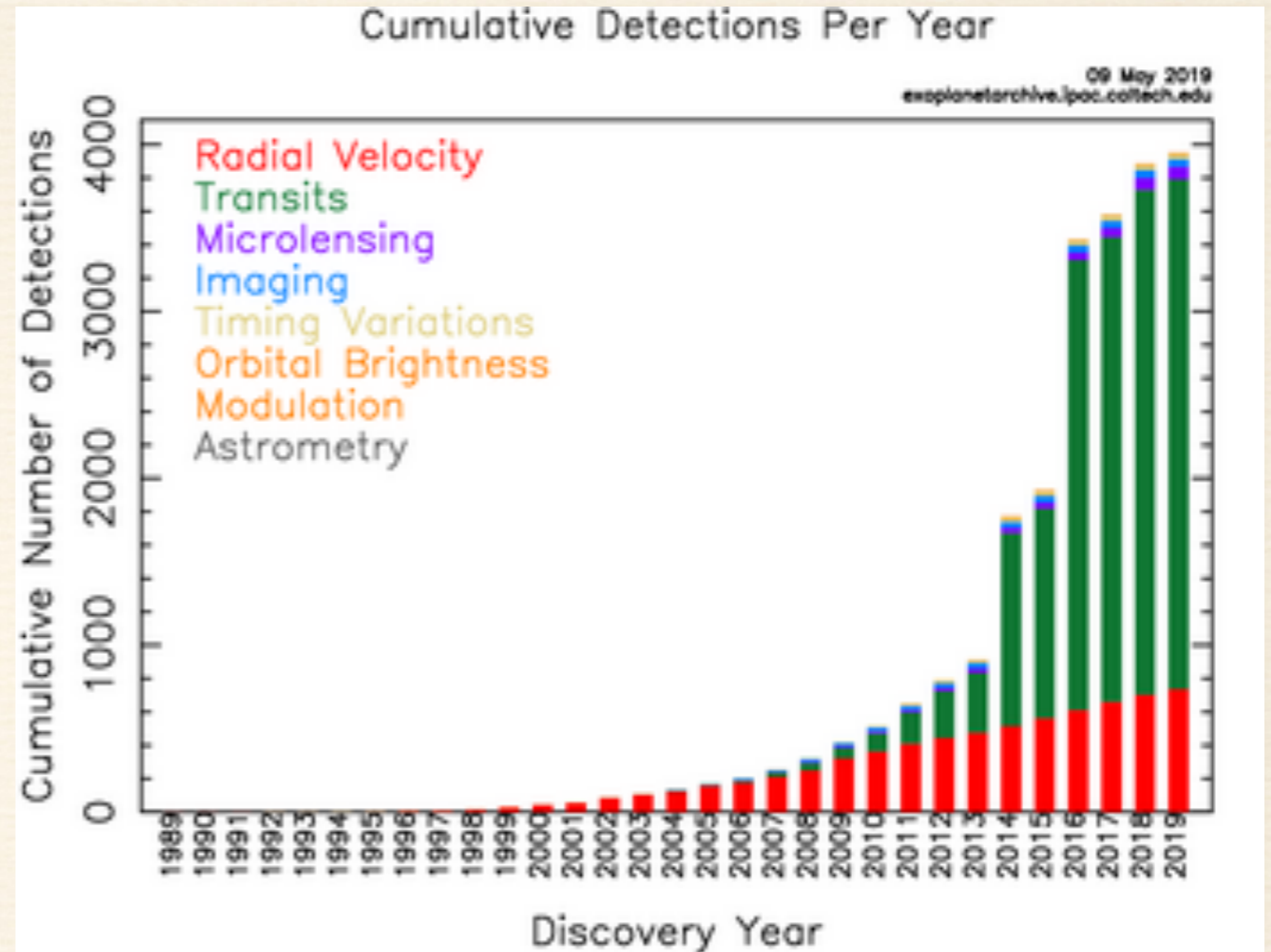
Le dimensioni relative dei pianeti del sistema solare



Simulazioni di un transito

- ❖ Può accadere che in determinati sistemi il pianeta transiti “di fronte” alla stella.
- ❖ Questo genera una riduzione, piccola, di luminosità.

A quanto siamo arrivati?



❖ Al 13 maggio 2019 siamo a:

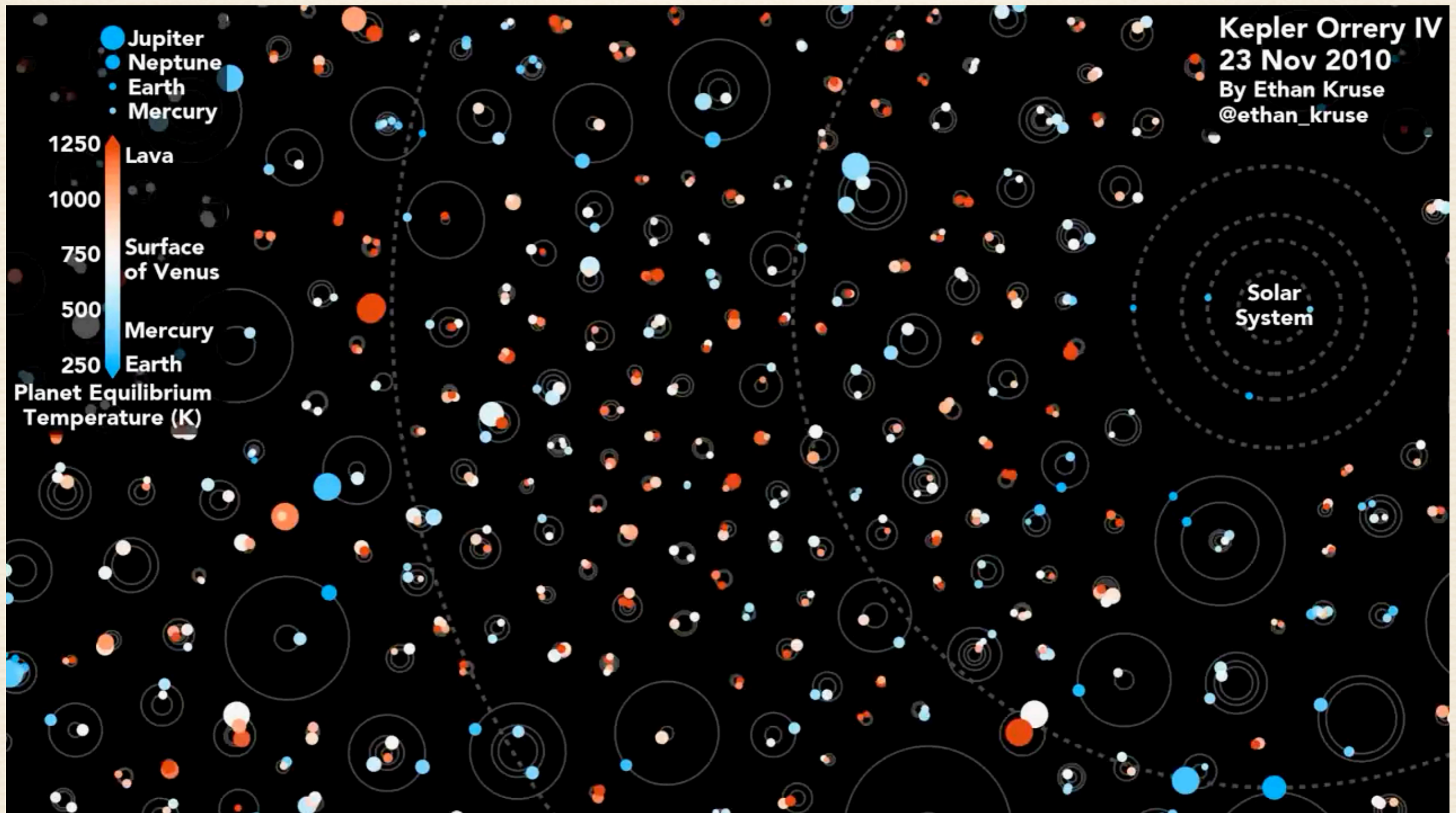
❖ 3952 pianeti “confermati”!

❖ 28 di taglia “terrestre”!



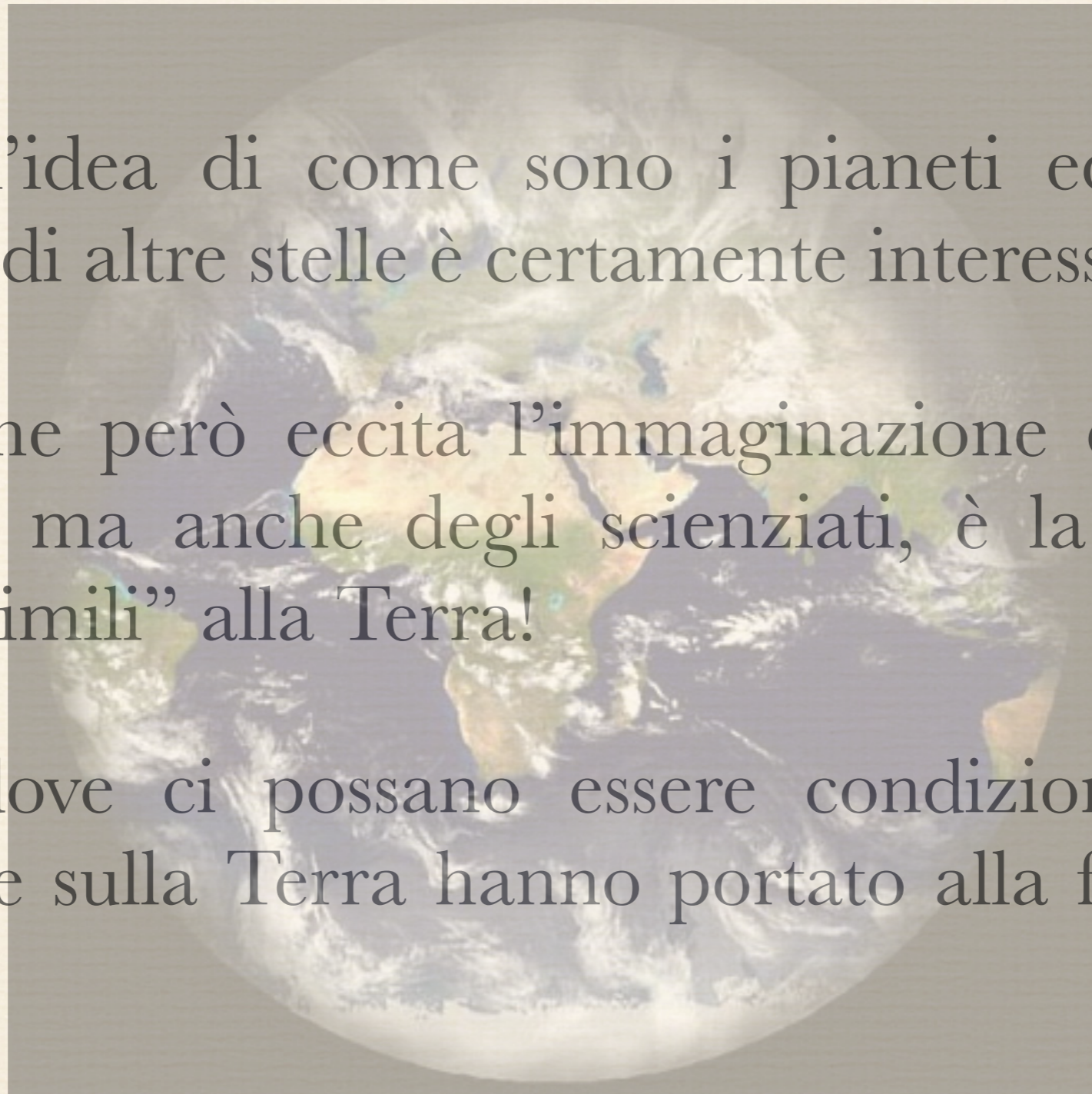
<http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu>

Per la maggior parte sono pianeti vicini alle loro stelle...



Ma cosa cerchiamo veramente?

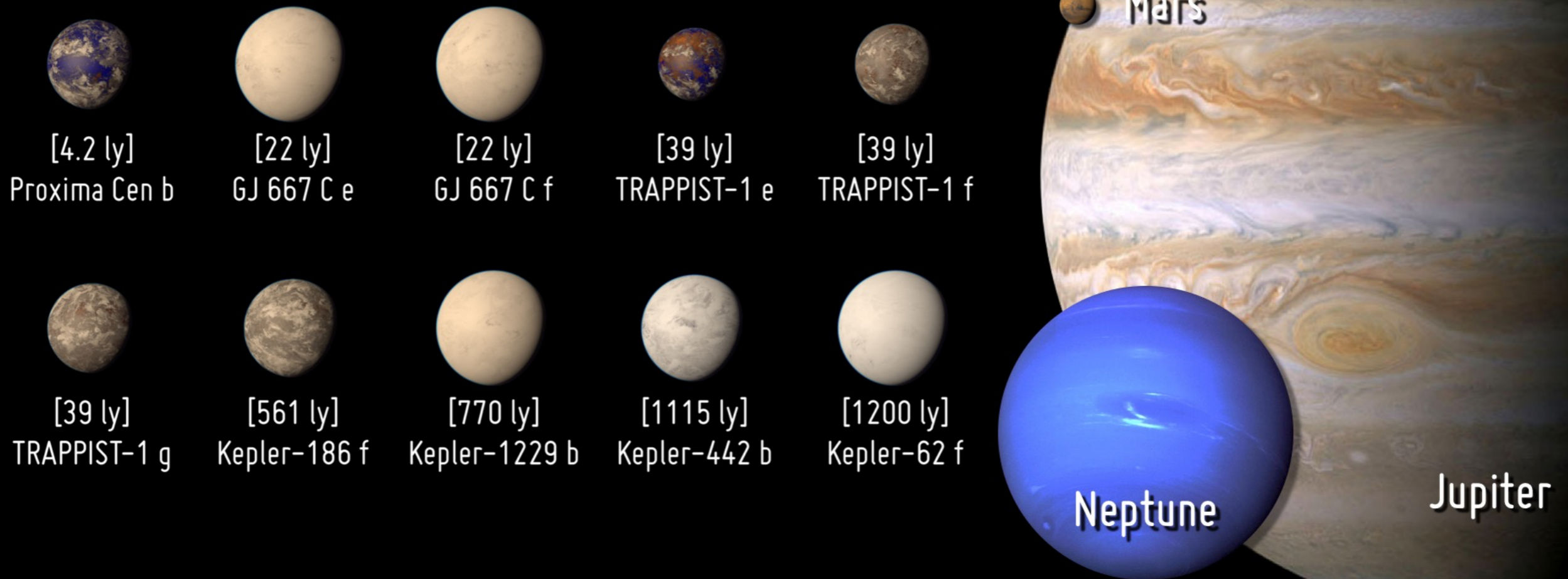
- ❖ Avere un'idea di come sono i pianeti ed i sistemi planetari di altre stelle è certamente interessante.
- ❖ Quello che però eccita l'immaginazione del grande pubblico, ma anche degli scienziati, è la ricerca di pianeti "simili" alla Terra!
- ❖ Pianeti dove ci possano essere condizioni simili a quelle che sulla Terra hanno portato alla formazione della vita.



Dal “catalogo di eso-pianeti abitabili”:

Potentially Habitable Exoplanets

Ranked by Distance from Earth (light years)



Artistic representations. Earth, Mars, Jupiter, and Neptune for scale. Distance from Earth is between brackets.

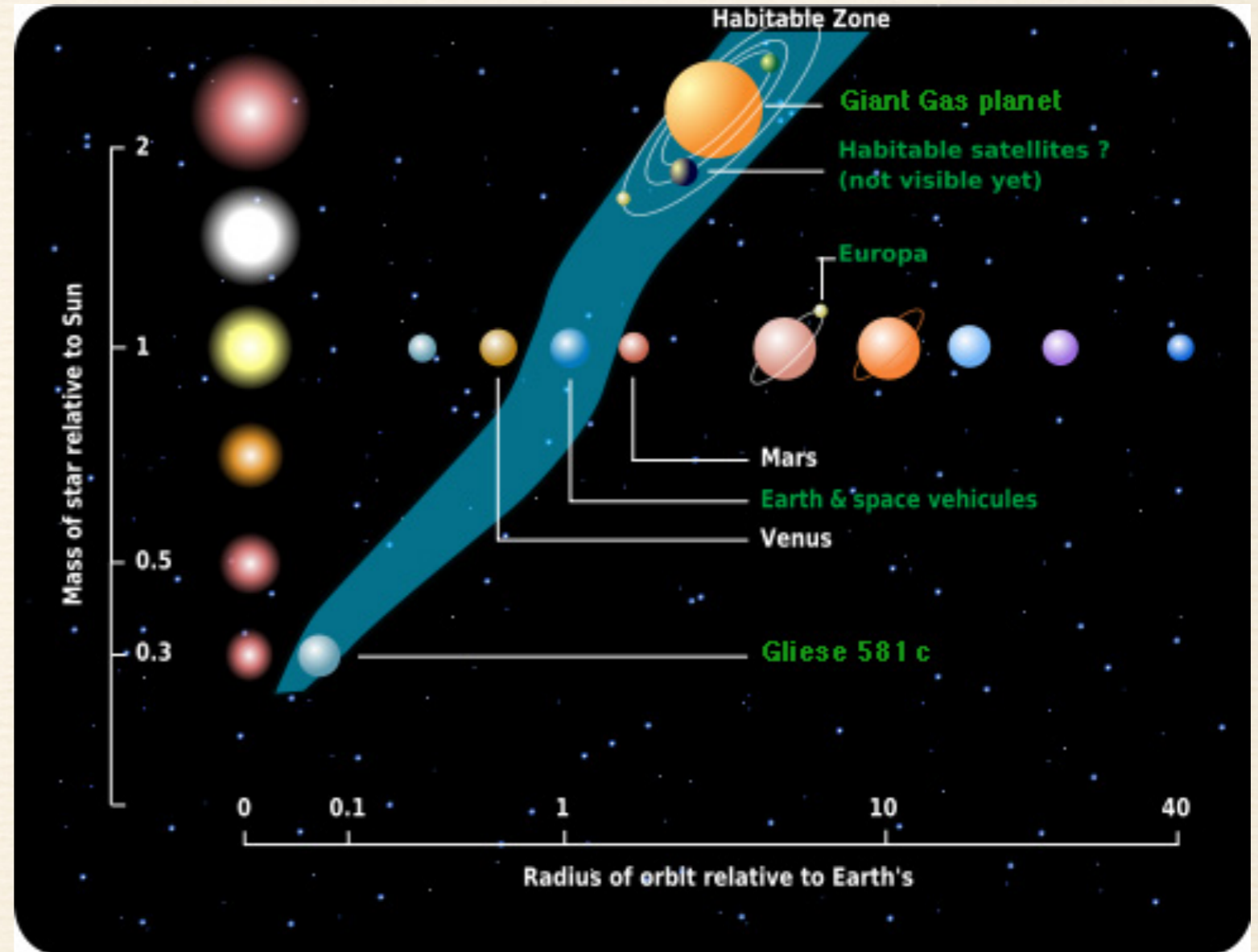
CREDIT: PHL @ UPR Arcibo (phl.upr.edu) Feb 1, 2019

16 terrestri, 32 super-terrestri ed 1 di piccola massa.

<http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog>

La zona abitabile

- ❖ La “zona abitabile” è una fascia intorno ad una stella dove la temperatura è tale da poter avere un pianeta con acqua liquida.
- ❖ Più una stella è massiccia, più la zona lontana dalla stella.
- ❖ Le stelle massicce però hanno vita breve.
- ❖ Mentre quelle deboli sono spesso molto variabili.
- ❖ Al momento ci sono alcune decine di pianeti con orbite entro la zona di abitabilità!



In maggiore dettaglio...

- ❖ Il problema dell'abitabilità ha molti aspetti da considerare:
 - ❖ tipo di stella (spettro, età, composizione chimica...);
 - ❖ distanza pianeta-stella;
 - ❖ eccentricità dell'orbita;
 - ❖ massa del pianeta;
 - ❖ densità del pianeta (gassoso, roccioso);
 - ❖ comunque, se ci limitiamo alla vita batterica tutto è più semplice...

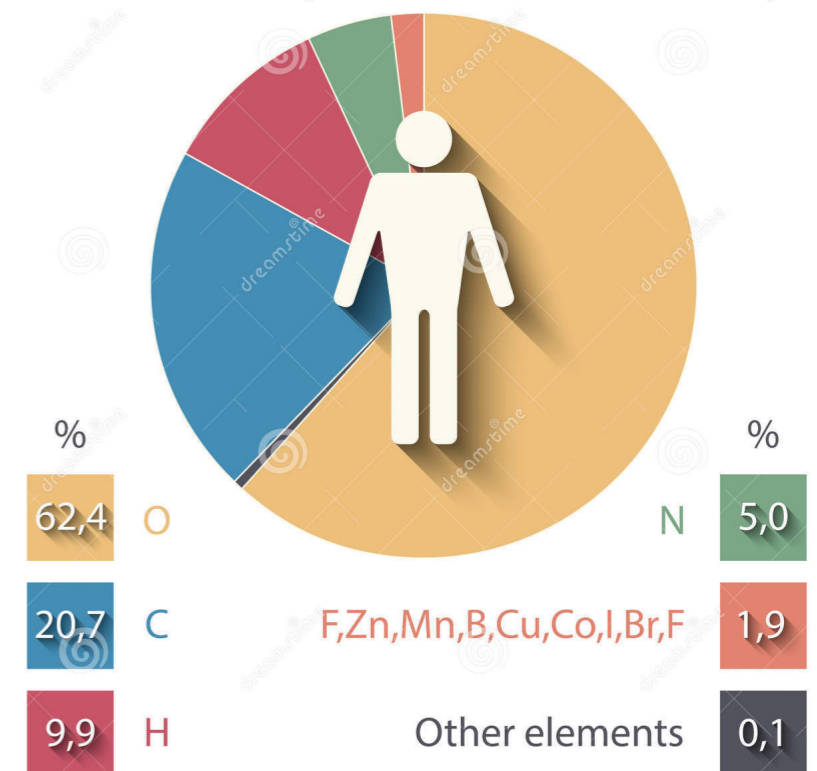


Composizione chimica (SPONCH)!

- ❖ Carbonio (C), idrogeno (H), ossigeno (O), azoto (N), zolfo (S), fosforo (P), ferro (Fe), magnesio (Mg)...
- ❖ Venere, Marte, e la Terra (ovvio...) vanno bene.
- ❖ Nel Sistema Solare interessanti anche Titano, Europa, Callisto, Ganimede, forse anche Cerere ed Encelado.

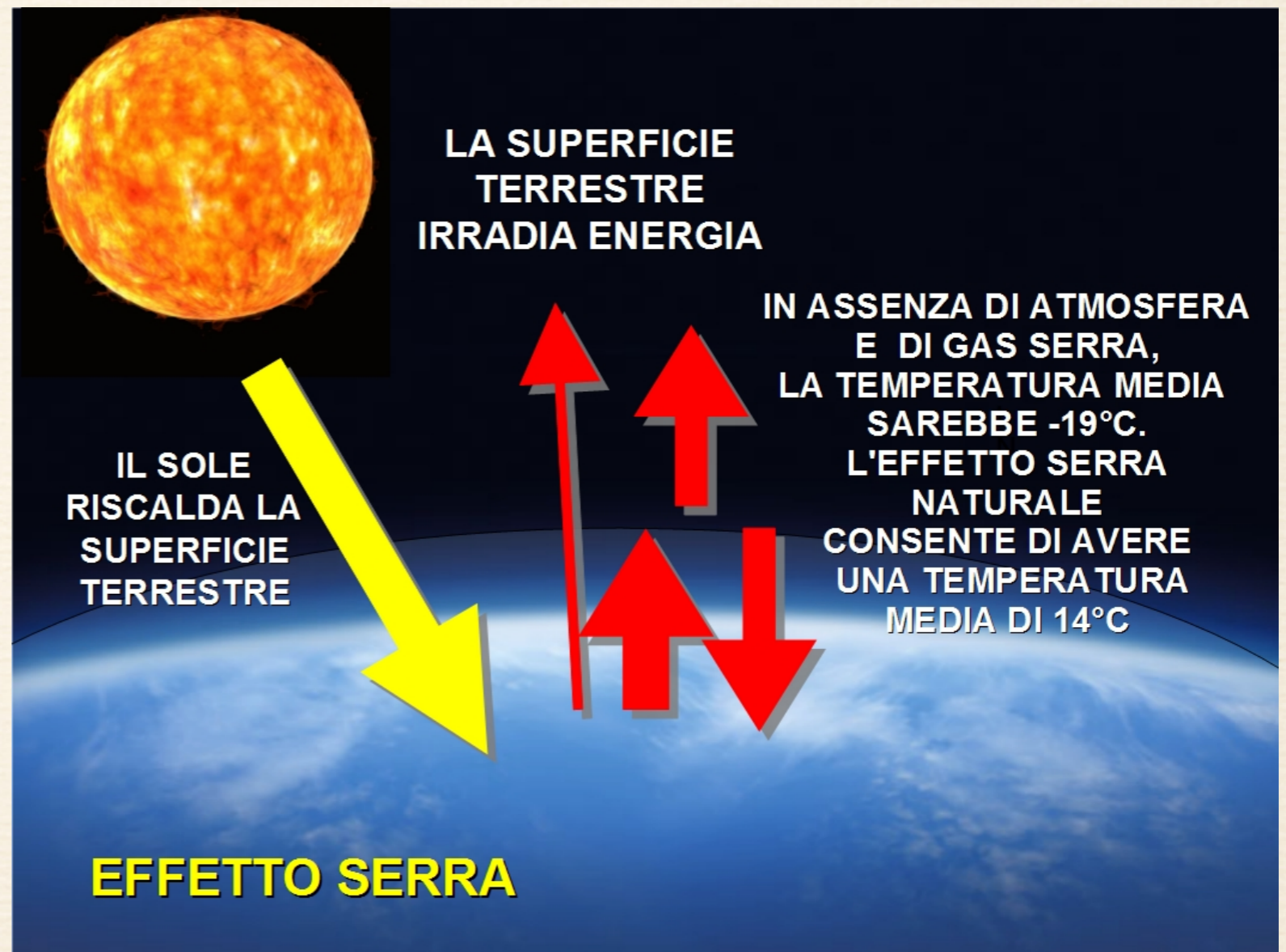


Elemental composition of the human body



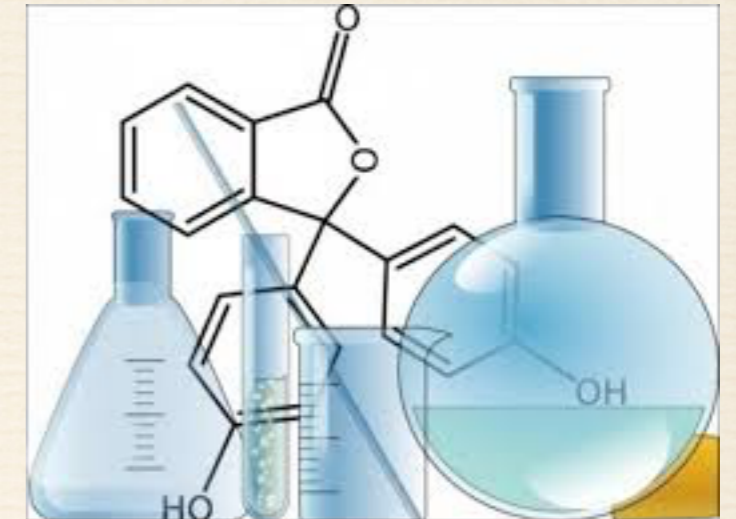
L'atmosfera

- ❖ Ad esempio, la Terra dovrebbe essere molto più fredda di come è se dipendesse solo dalla distanza dal Sole.
- ❖ Circa $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ invece dei $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$ che misuriamo (media).
- ❖ Questo dipende dall'atmosfera e dall'effetto serra che è attivo.



Sorella acqua...

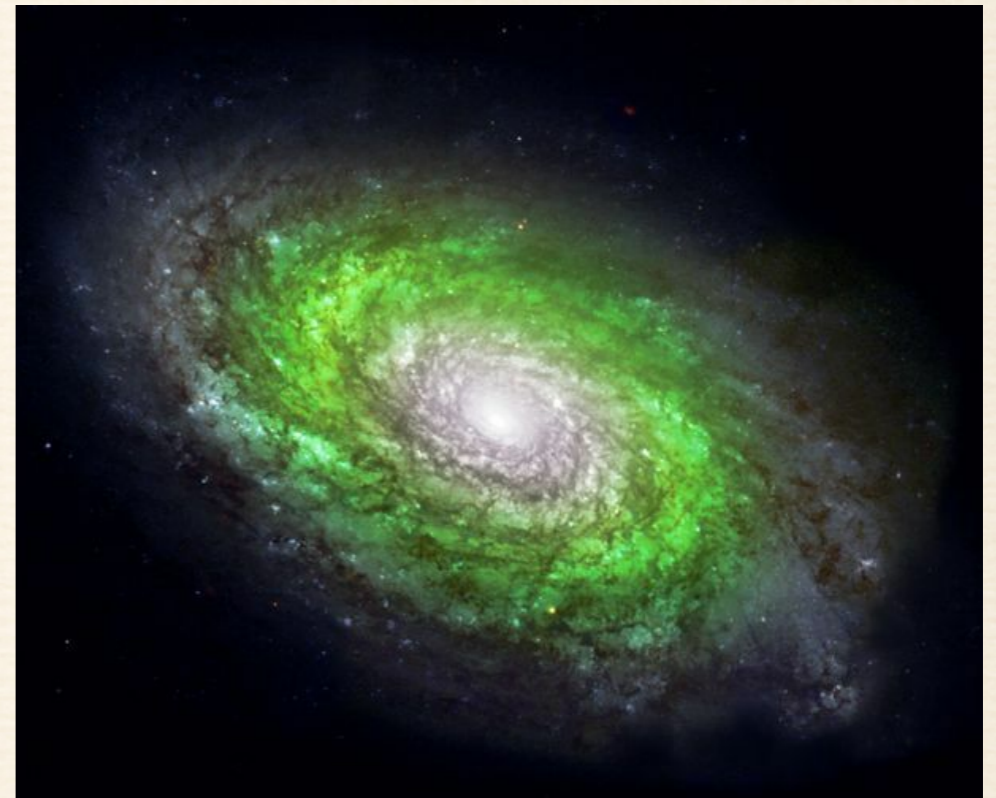
- ❖ L'acqua, liquida, è un elemento chiave.
 - ❖ È abbondante, e se liquida rende possibile il trasporto di energia, molecole... la chimica!
 - ❖ L'ammoniaca liquida, NH_3 , ed alcuni idrocarburi (metano CH_4 , etano C_2H_6) potrebbero anche servire allo scopo.
- ❖ L'acqua ha una caratteristica fondamentale, è un liquido polare!



L'acqua (liquida) è abbondante sulla Terra, ma è presente su Marte, e probabilmente all'interno di Europa e di altri satelliti del Sistema Solare.

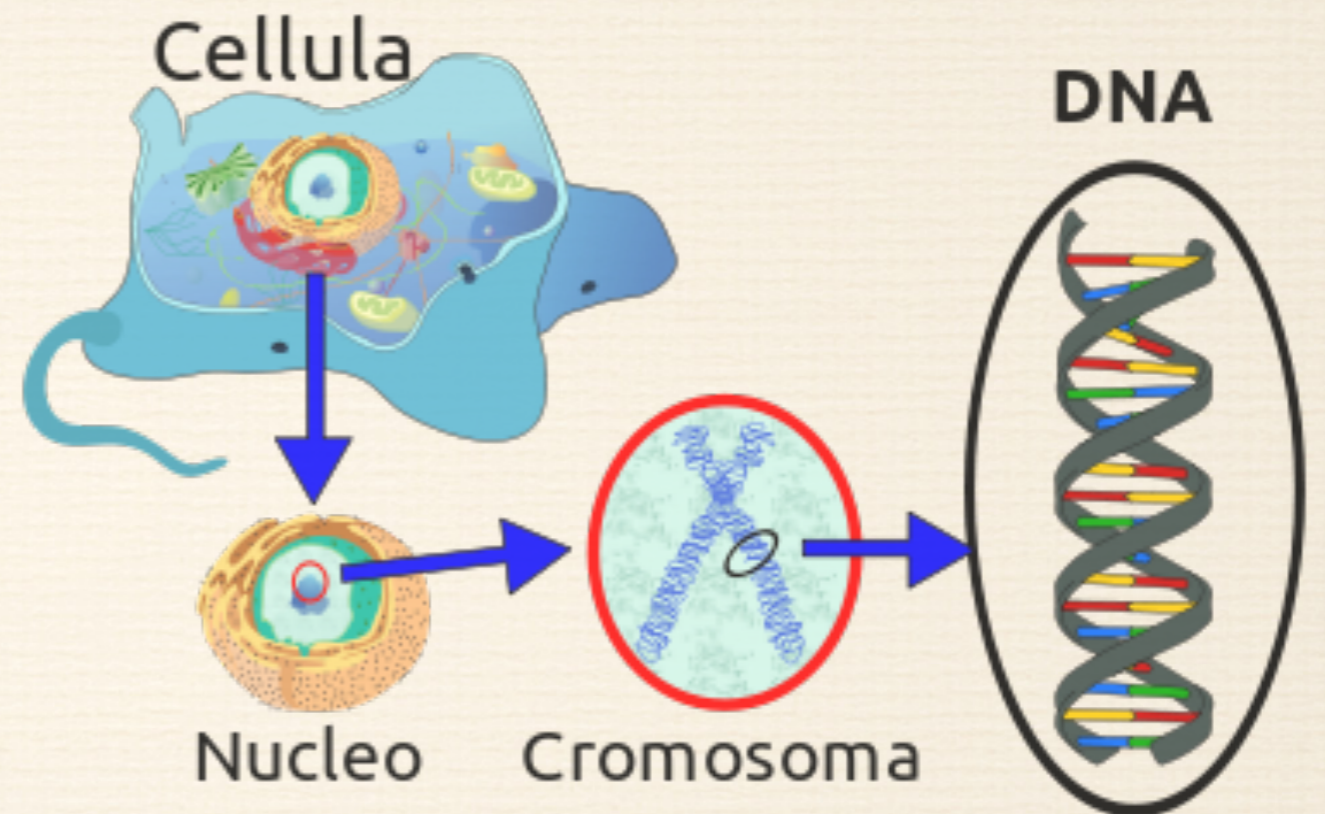
Dove, nella Galassia?

- ❖ È un aspetto poco noto, le zone interne a maggiore densità stellare sono forse inadatte.
- ❖ Eccessiva probabilità di supernove e lampi di luce gamma.
- ❖ Orbite complesse e maggiore probabilità di perturbazioni.



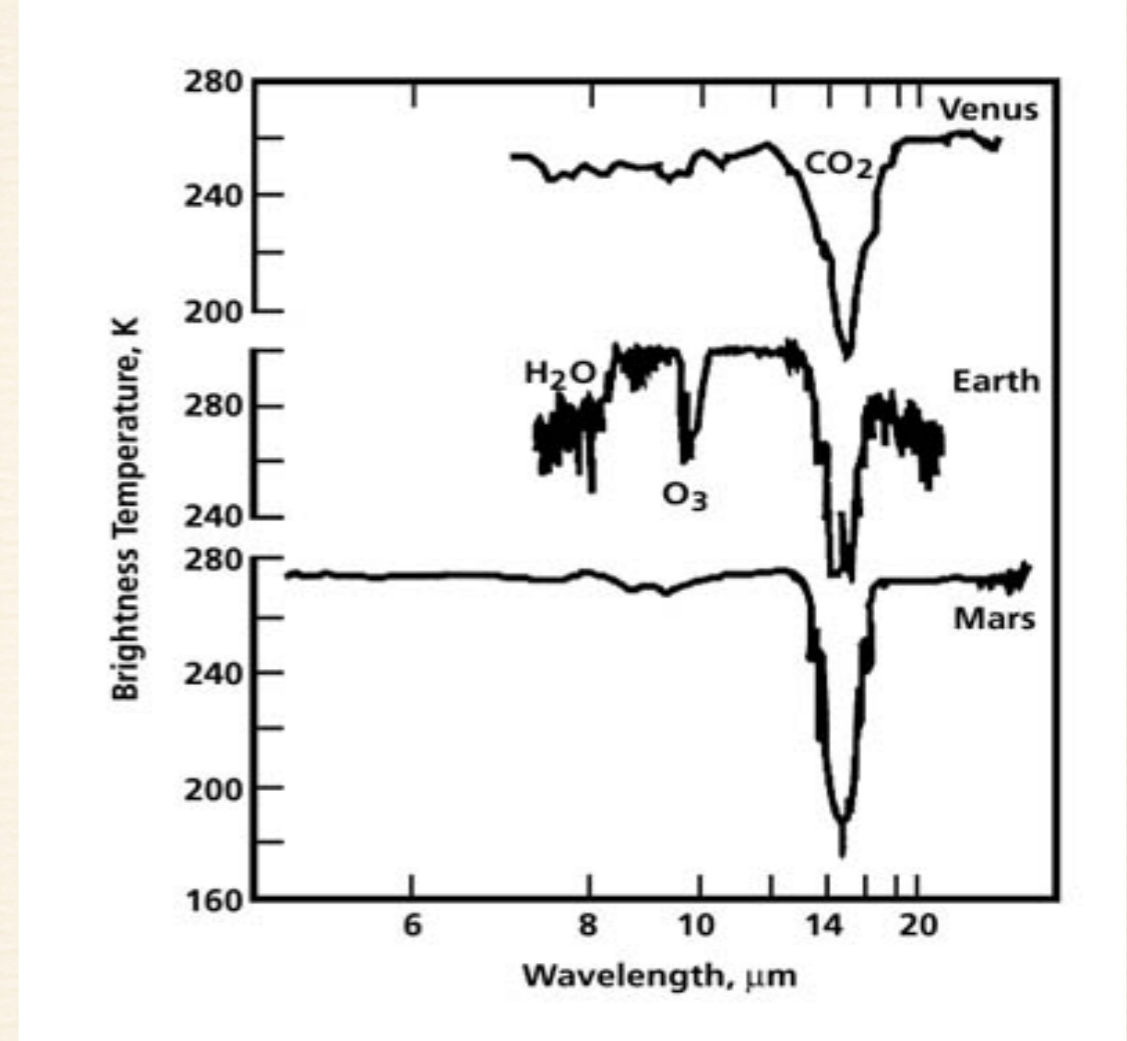
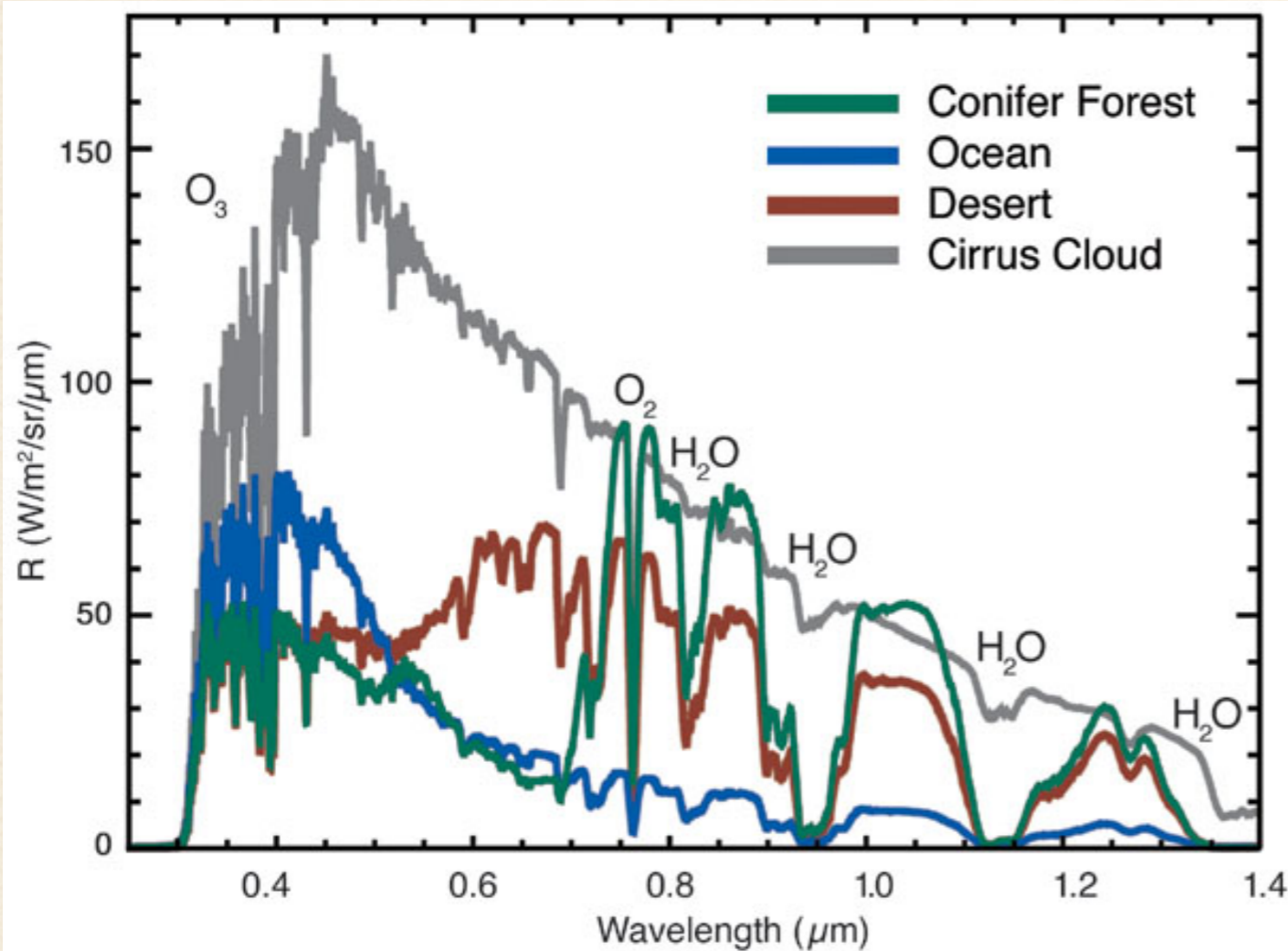
La Terra è speciale?

- ❖ Sì! Da molti punti di vista lo è.
- ❖ Se ci limitiamo alle condizioni di base per l'insorgere della vita "come noi la conosciamo" alcuni aspetti si possono definire:
 - ❖ Non è troppo fredda e neppure troppo calda, ovvero l'acqua è allo stato liquido.
 - ❖ Orbita intorno ad una stella che è stabile per un tempo sufficientemente lungo da garantire adeguate condizioni per la chimica necessaria alla vita.



- ❖ Altri fattori non sono ancora chiari, il ruolo della Luna ad esempio...

Alla ricerca dei “biomarcatori”



- ❖ Lo studio delle atmosfere degli exo-pianeti è quindi di importanza fondamentale.