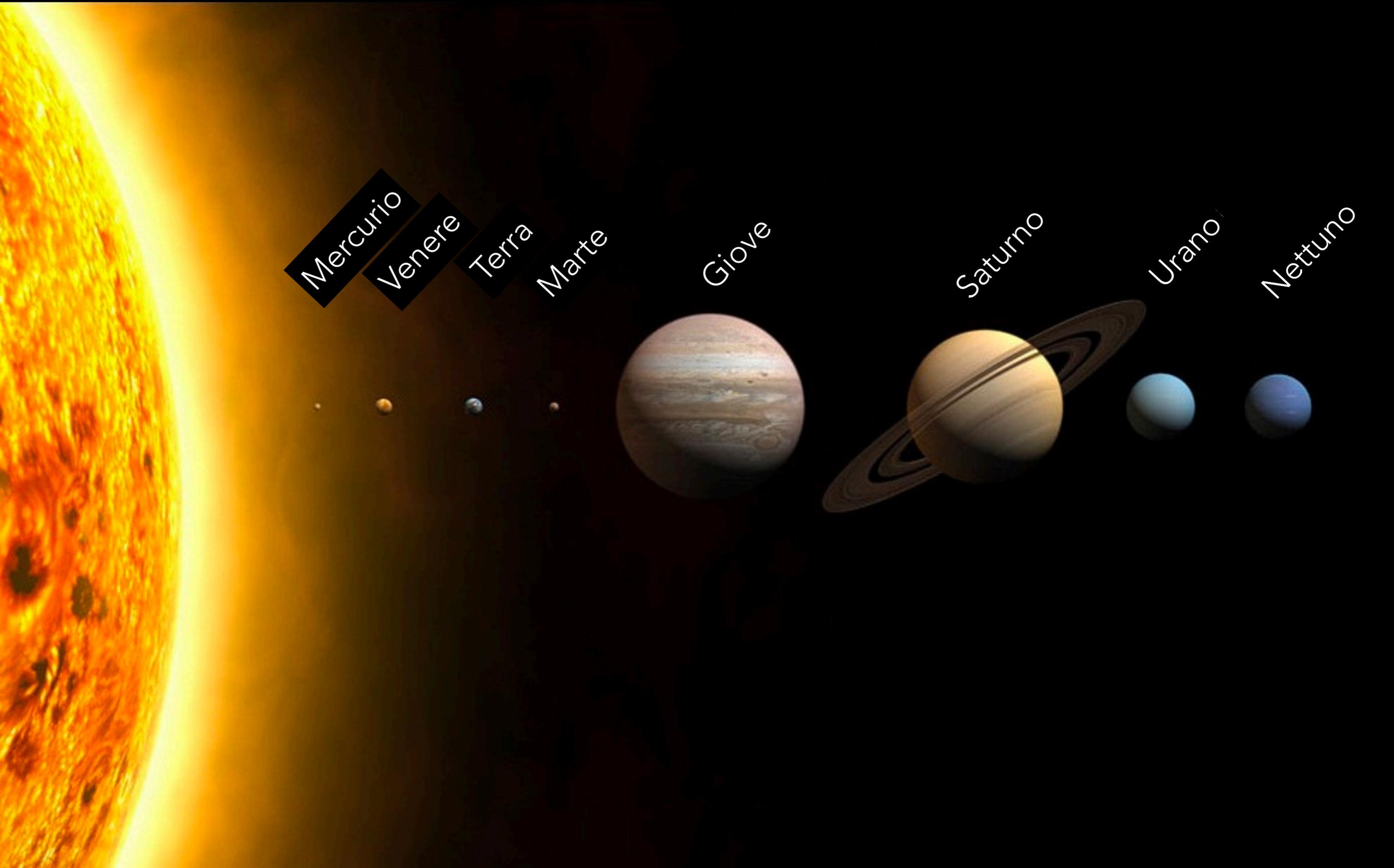


I PIANETI EXTRASOLARI. Altre terre nell'universo?

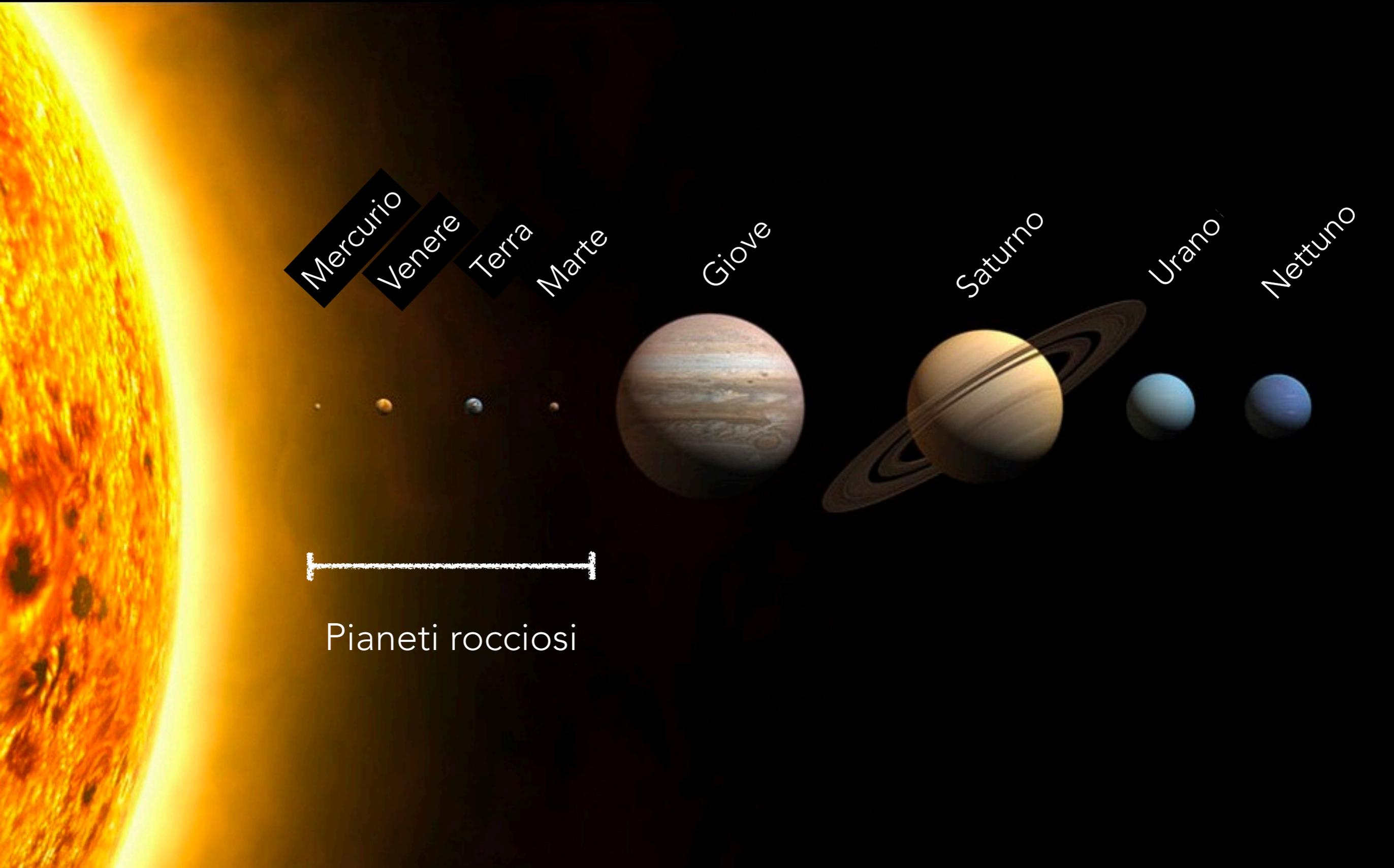
Aldo Bonomo

Istituto Nazionale di AstroFisica - Osservatorio Astrofisico di Torino

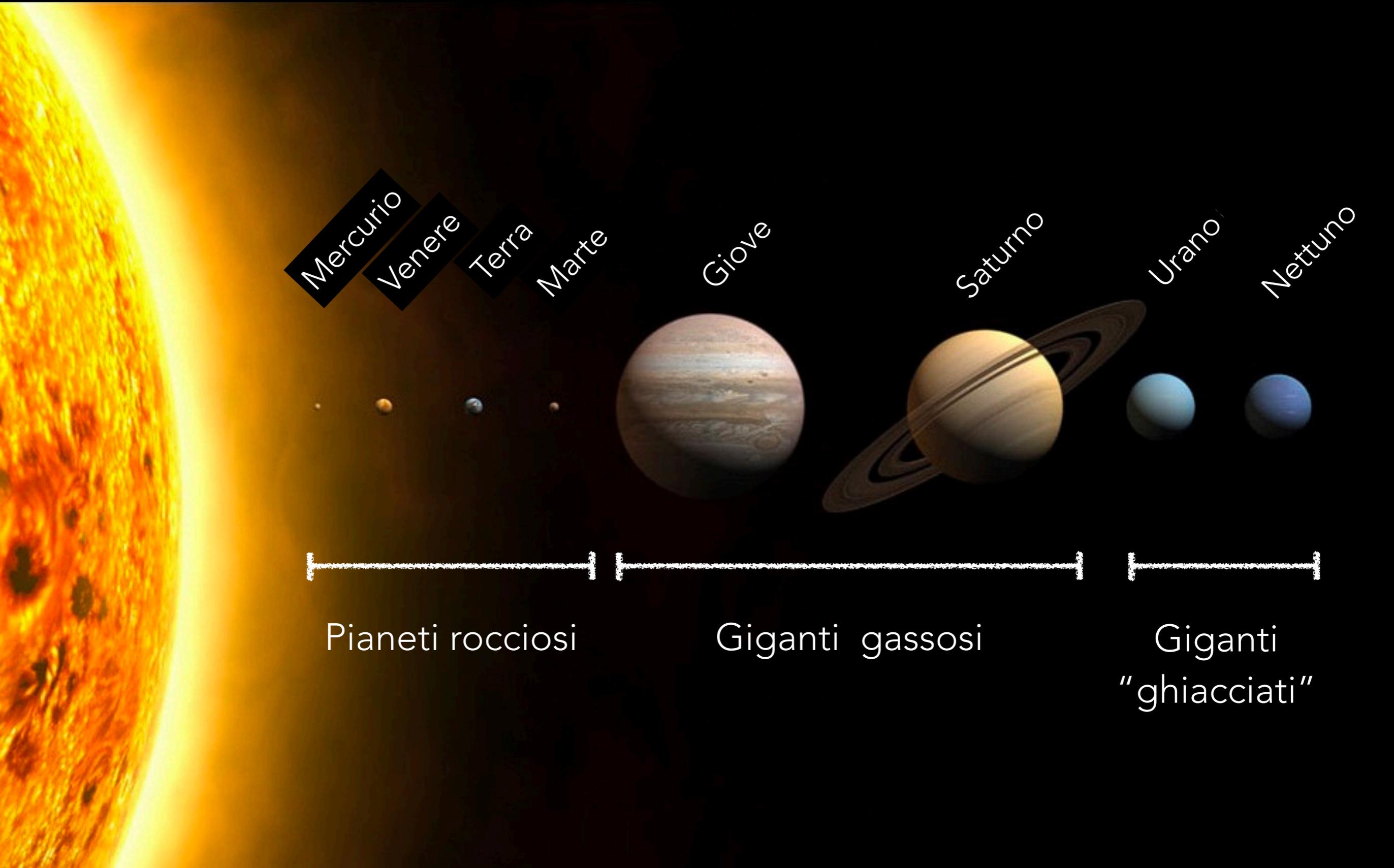
Il Sistema Solare



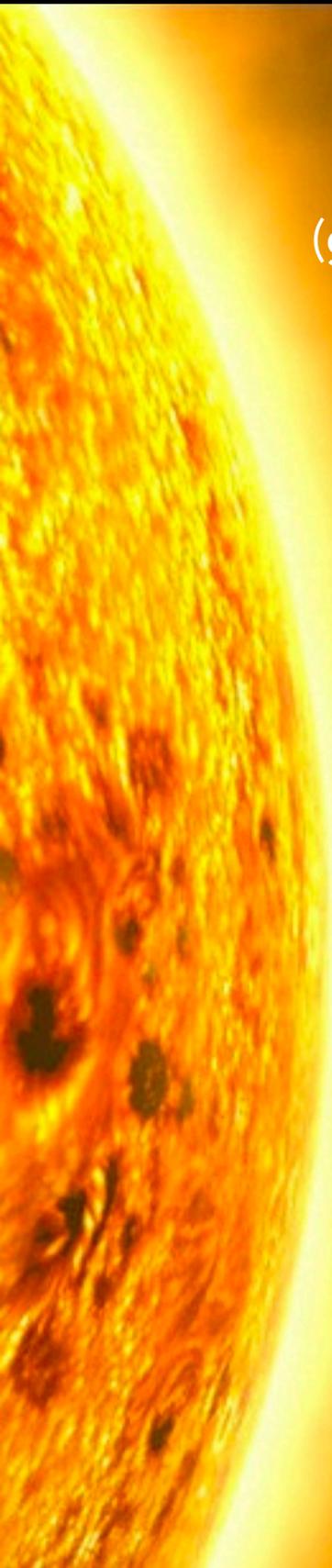
Il Sistema Solare



Il Sistema Solare



Il Sistema Solare



ρ_p
(g/cm³)

5.4

5.2

5.5

3.9

1.3

0.7

1.3

1.6

Mercurio

Venere

Terra

Marte

Giove

Saturno

Urano

Nettuno



Pianeti rocciosi



Giganti gassosi



Giganti
"ghiacciati"

La nostra galassia, la Via Lattea,
contiene circa 200 miliardi di stelle.



La nostra galassia, la Via Lattea, contiene circa 200 miliardi di stelle
e nell'Universo vi sono almeno 200 miliardi di galassie.

~10000 galassie osservate dal telescopio spaziale Hubble

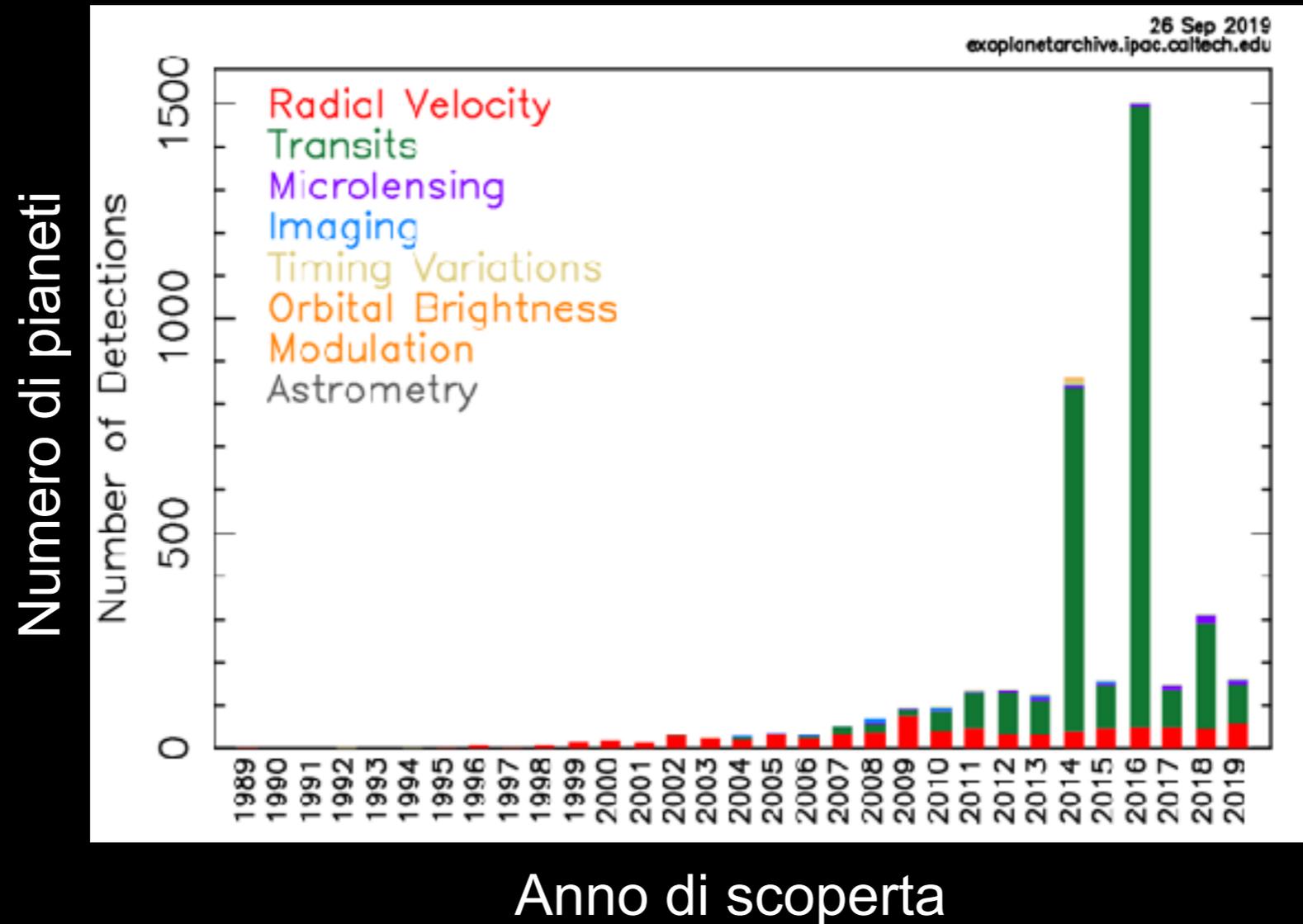
“Esistono molti mondi o non vi è che un solo mondo? Questa è una delle domande più eccelse che si possano incontrare nello studio della natura.”

Sant'Alberto Magno, 1260 circa

~10000 galassie osservate dal telescopio spaziale Hubble

I pianeti extrasolari o esopianeti

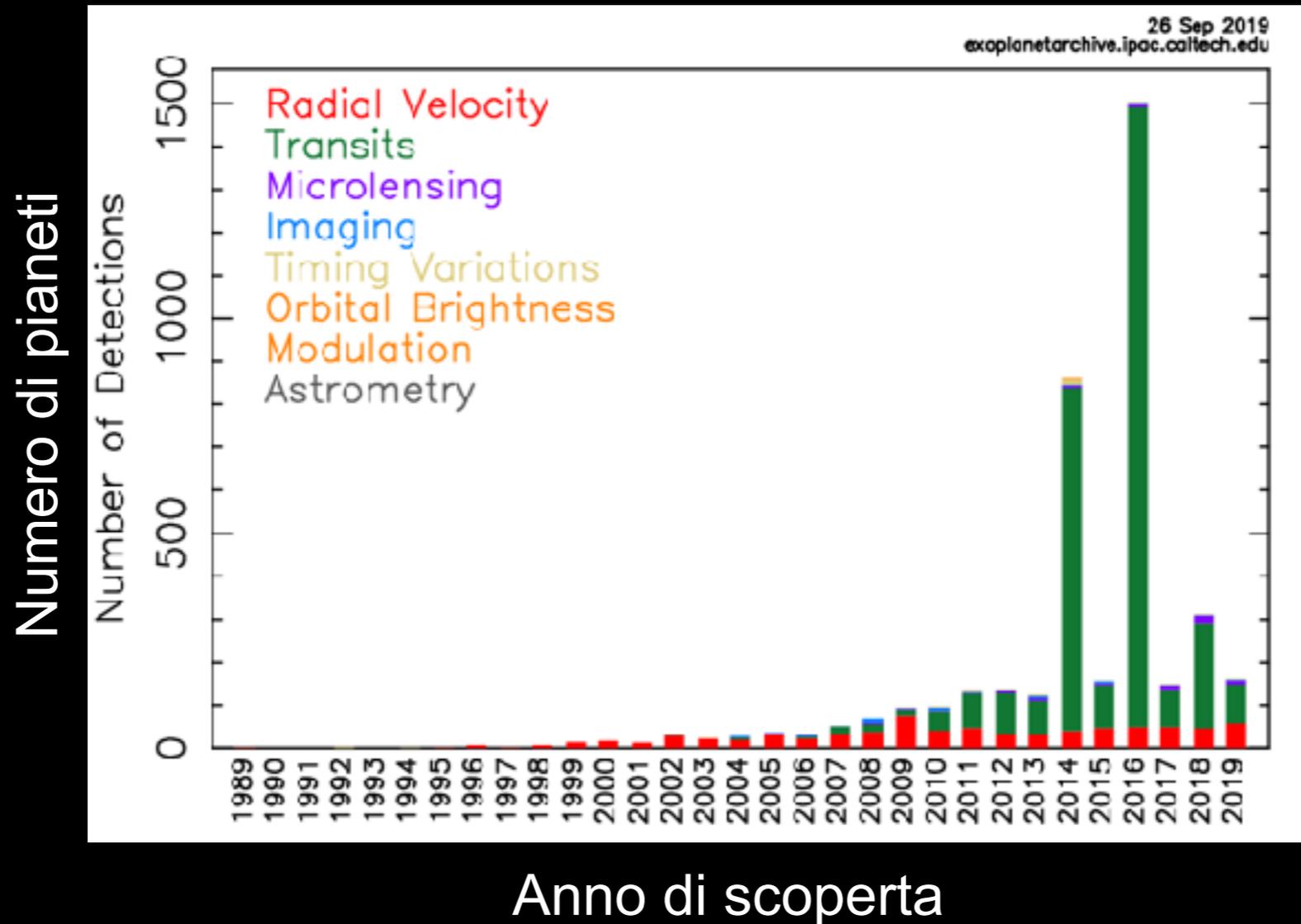
(ovvero pianeti che orbitano intorno ad altre stelle, al di fuori del Sistema Solare)



Oltre 4000 pianeti extrasolari e 650 sistemi planetari multipli (più pianeti orbitano intorno alla stessa stella) sono stati scoperti fino ad oggi.

I pianeti extrasolari o esopianeti

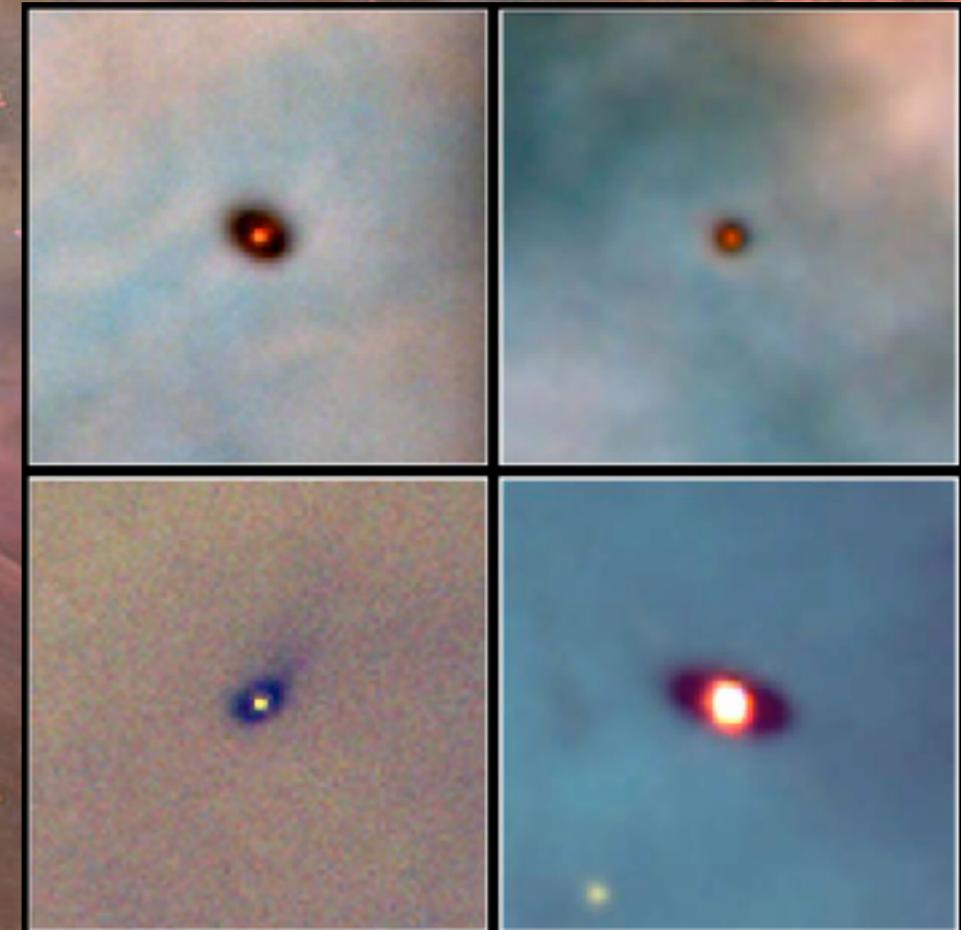
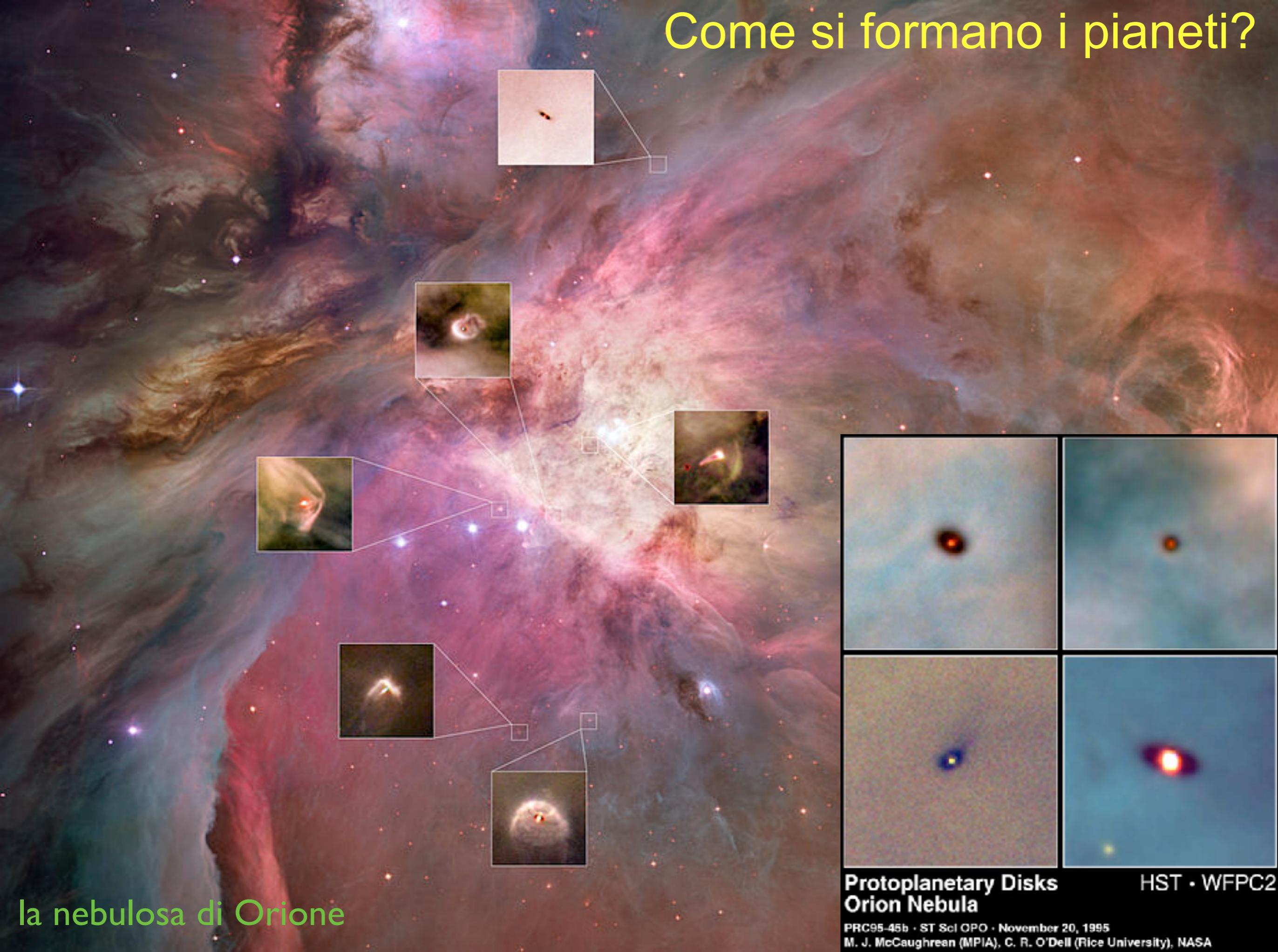
(ovvero pianeti che orbitano intorno ad altre stelle, al di fuori del Sistema Solare)



Oltre 4000 pianeti extrasolari e 650 sistemi planetari multipli (più pianeti orbitano intorno alla stessa stella) sono stati scoperti fino ad oggi.

Studi statistici mostrano che la maggior parte delle stelle hanno un sistema planetario.

Come si formano i pianeti?



Protoplanetary Disks
Orion Nebula

HST • WFPC2

PRC95-45b • ST ScI OPO • November 20, 1995
M. J. McCaughrean (MPIA), C. R. O'Dell (Rice University), NASA

la nebulosa di Orione

L'interesse per gli esopianeti

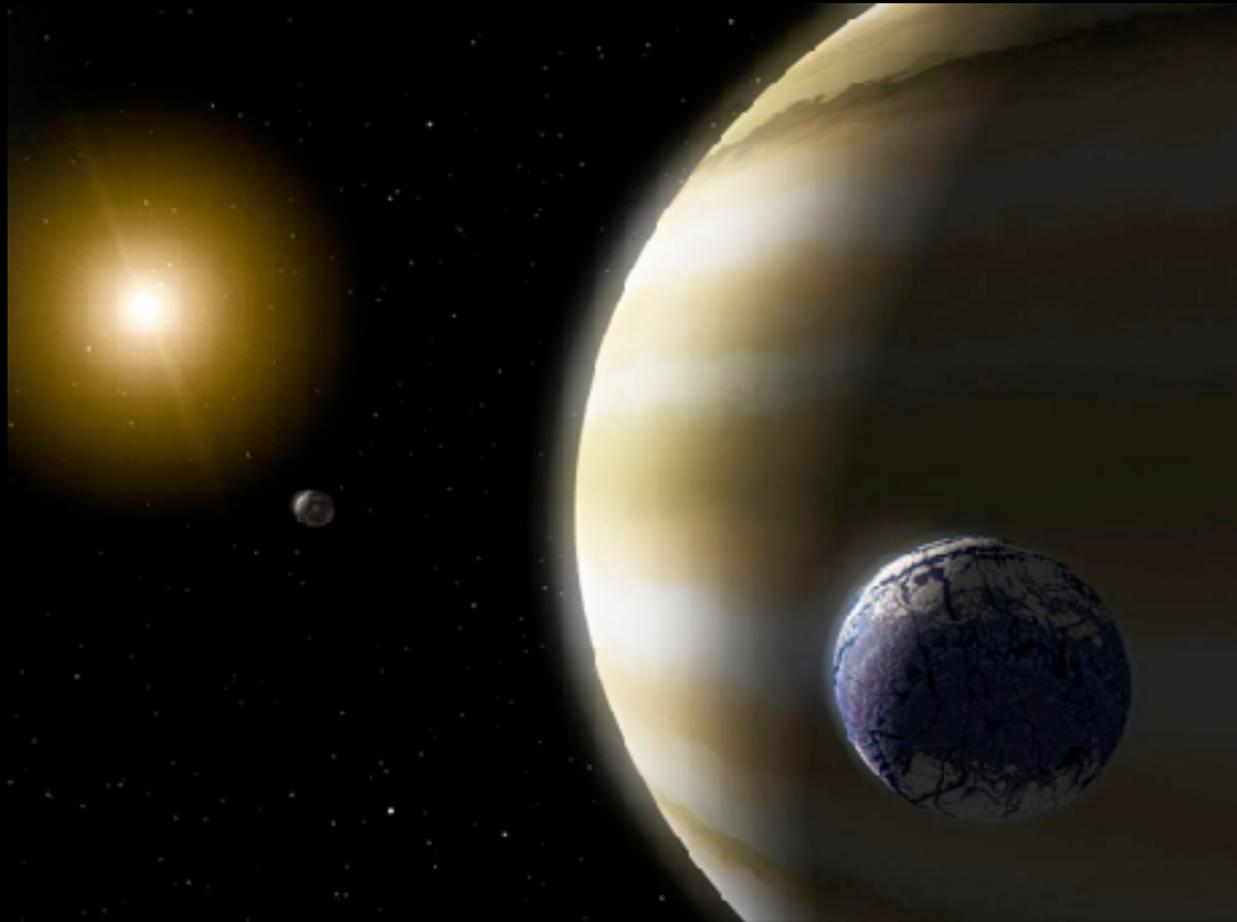
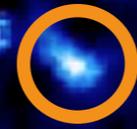


Immagine artistica di esopianeti

- Gli esopianeti sono simili ai pianeti del nostro Sistema Solare?
- Come si sono formati?
- Di cosa sono costituiti?
- Come interagiscono con altri pianeti dello stesso sistema e con la loro stella?
- Quanti pianeti sono abitabili? La comparsa della vita sulla Terra è un evento unico nel cosmo?
- Esistono altre forme di vita, anche intelligente, nell'Universo?

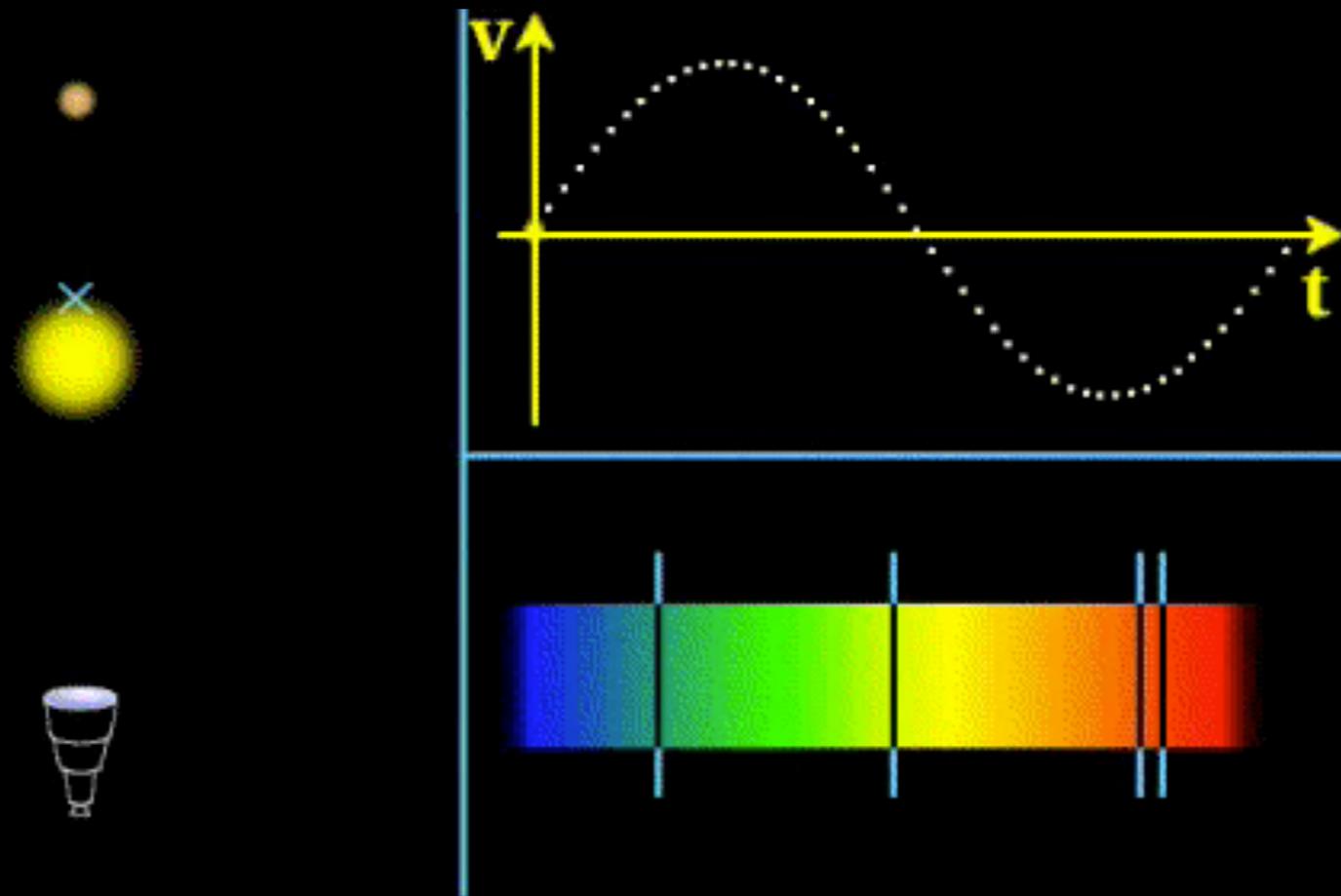


2009-07-31

20 au

Jason Wang /
Christian Marois

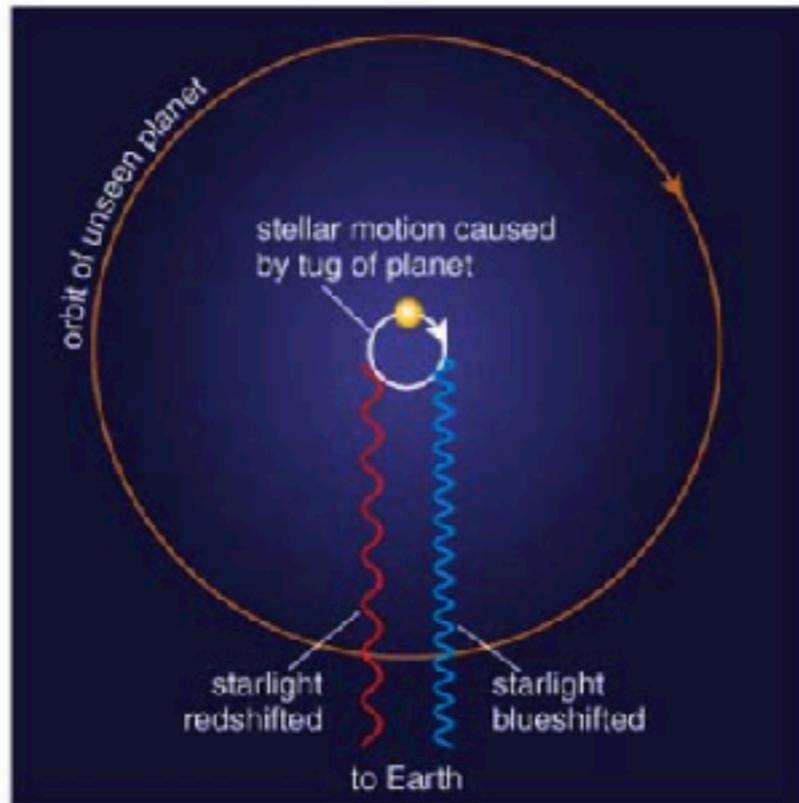
Il metodo Doppler



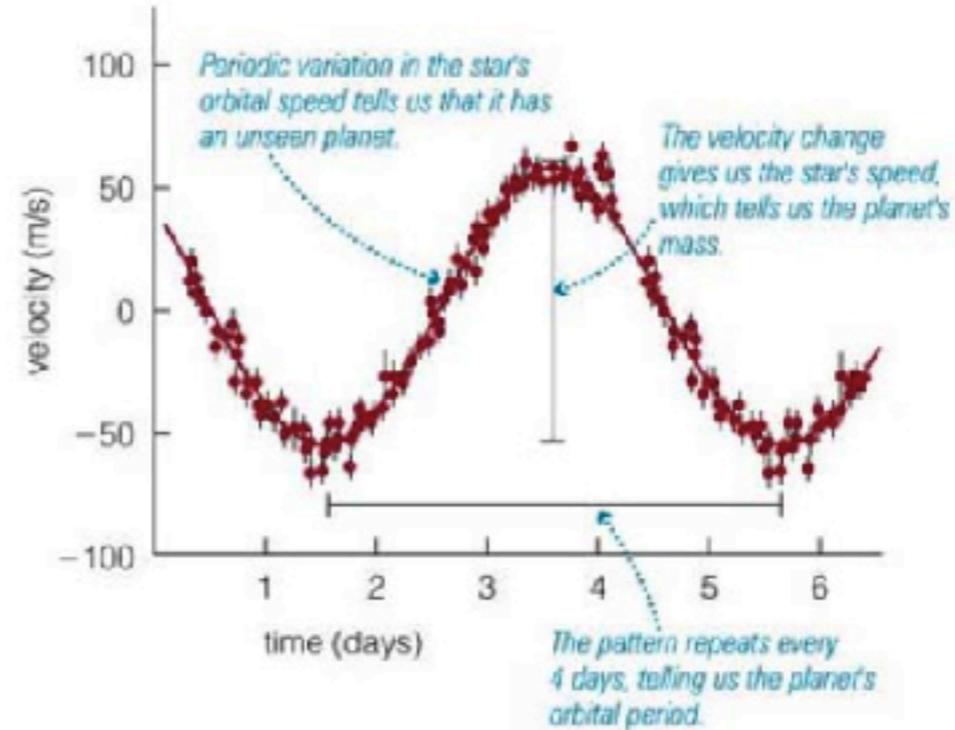
Il pianeta, anche se a noi “invisibile”, per la forza di gravitazione universale perturba la sua stella e fa sì che anch’essa compia un moto orbitale (della stessa durata del moto del pianeta).

Possiamo allora misurare la variazione di velocità della stella rispetto alla Terra durante il suo moto per un effetto fisico noto come effetto Doppler.

Il metodo Doppler



a Doppler shifts allow us to detect the slight motion of a star caused by an orbiting planet.



b A periodic Doppler shift in the spectrum of the star 51 Pegasi shows the presence of a large planet with an orbital period of about 4 days. Dots are actual data points; bars through dots represent measurement uncertainty.

Il pianeta, anche se a noi “invisibile”, per la forza di gravitazione universale perturba la sua stella e fa sì che anch’essa compia un moto orbitale (della stessa durata del moto del pianeta).

Possiamo allora misurare la variazione di velocità della stella rispetto alla Terra durante il suo moto per un effetto fisico noto come effetto Doppler.

Il metodo Doppler

1995: due ricercatori svizzeri, M. Mayor e D. Queloz, scoprono il primo pianeta extrasolare intorno ad una stella simile al Sole, 51 Pegasi

Si tratta di un pianeta gigante gassoso che orbita intorno alla sua stella in soli quattro giorni... mentre $P_{\text{orb}}=12$ anni

Trovandosi molto vicino alla sua stella, ha una temperatura superiore ai 1000°C . E' un cosiddetto "hot Jupiter" (gioviano caldo).



Immagine artistica di 51 Peg b





Nobel prize for physics 2019

Their work has contributed to our
"understanding of the evolution of the universe
and Earth's place in the cosmos"



*Theoretical discoveries in
physical cosmology*

*Discovery of an exoplanet orbiting
a solar-type star*



James Peebles

Canadian-American

aged 84, born in
Winnipeg (Canada)

- Albert Einstein
Professor of Science
at Princeton University



Michel Mayor

Swiss

aged 77, born in
Lausanne (Switzerland)

- Professor
at University
of Geneva



Didier Queloz

Swiss

aged 53

- Professor
at University
of Geneva and
Cambridge (UK)

Doctorate obtained in

• Princeton

• Geneva

• Geneva

Source: nobelprize.org

AFP photo, handout Princeton university /
Mark Czajkowski / University of Geneva

© AFP

Il metodo Doppler

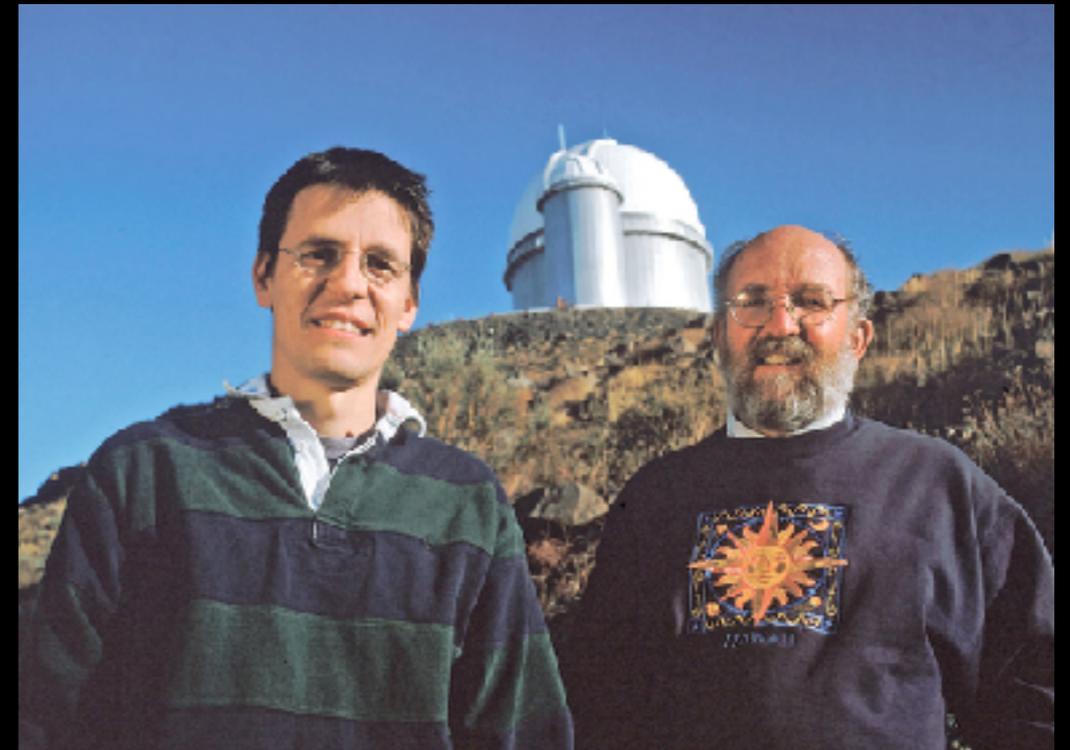
1995: due ricercatori svizzeri, M. Mayor e D. Queloz, scoprono il primo pianeta extrasolare intorno ad una stella simile al Sole, 51 Pegasi

Si tratta di un pianeta gigante gassoso che orbita intorno alla sua stella in soli quattro giorni... mentre $P_{\text{orb}}=12$ anni

Trovandosi molto vicino alla sua stella, ha una temperatura superiore ai 1000°C . E' un cosiddetto "hot Jupiter" (gioviano caldo).

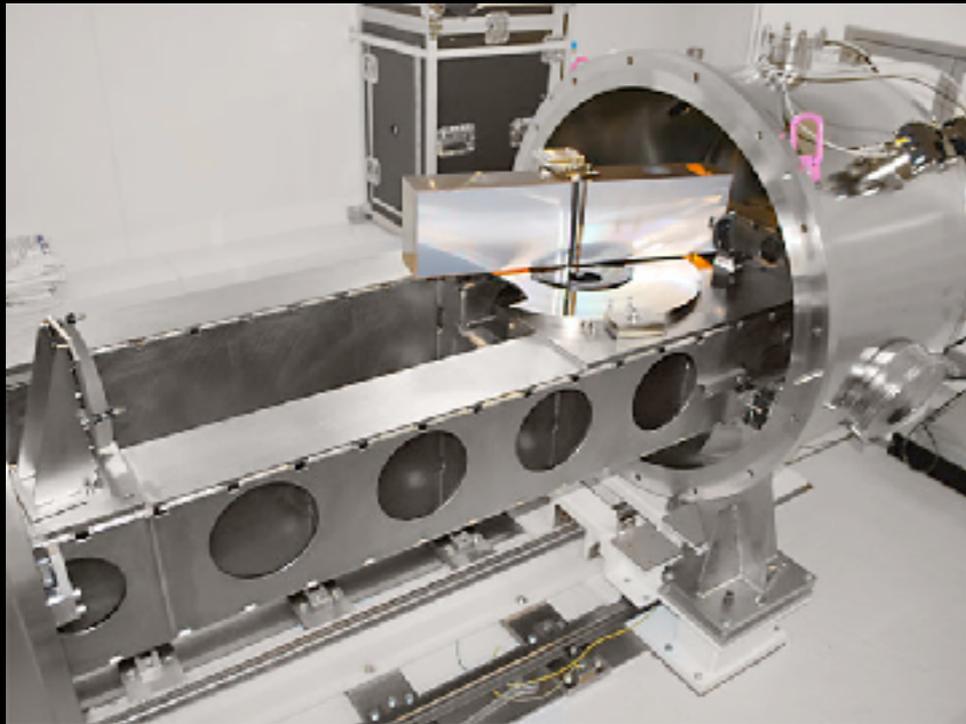


Immagine artistica di 51 Peg b



Ma stavano realmente cercando pianeti con un periodo così breve?

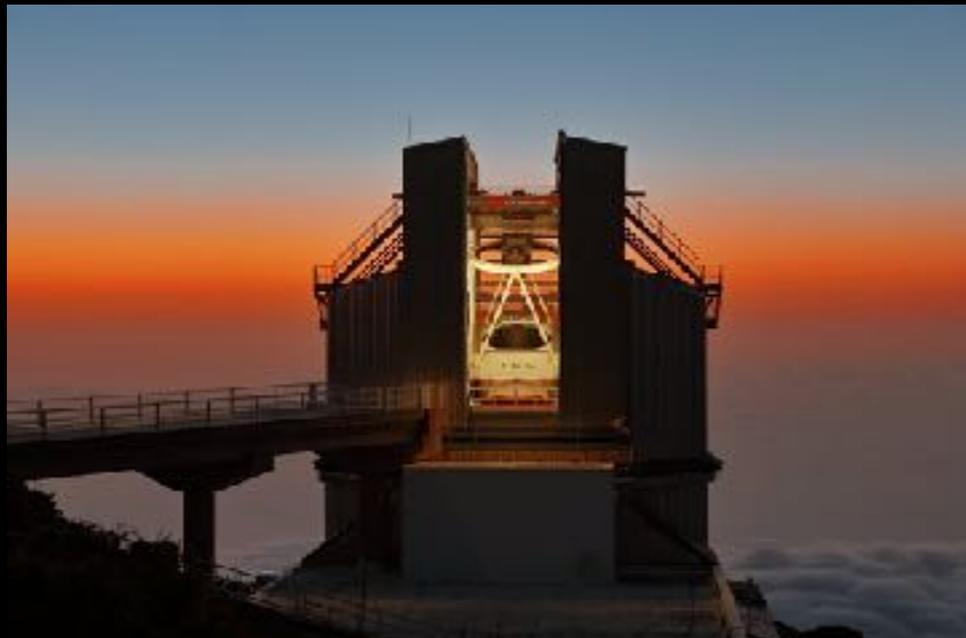
Lo spettrografo HARPS-North



- Permette di misurare lo spostamento di una stella per effetto Doppler con altissima precisione (1 m/s)

- E' stato installato ad aprile 2012 presso il Telescopio Nazionale Galileo che si trova alle Canarie (La Palma)

Il Telescopio Nazionale Galileo

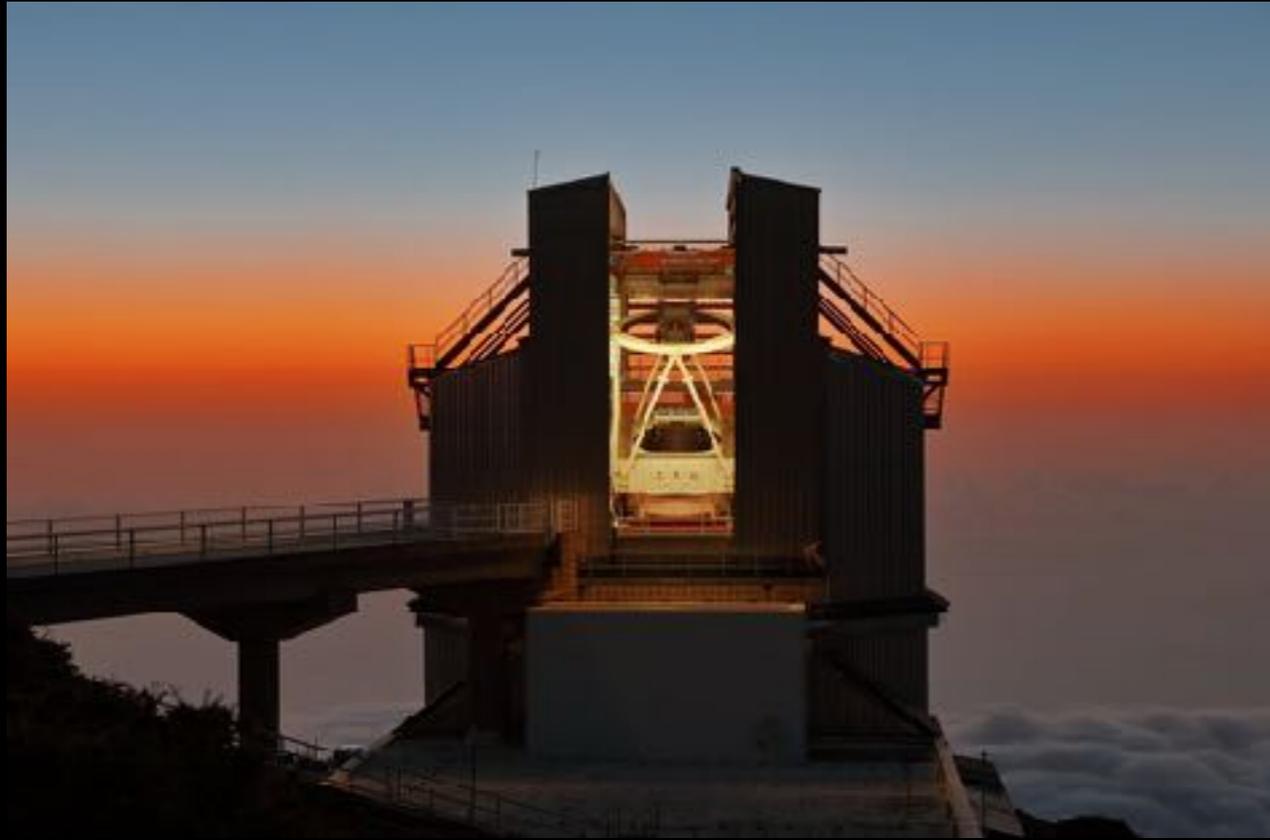




Roque de los Muchachos (La Palma)

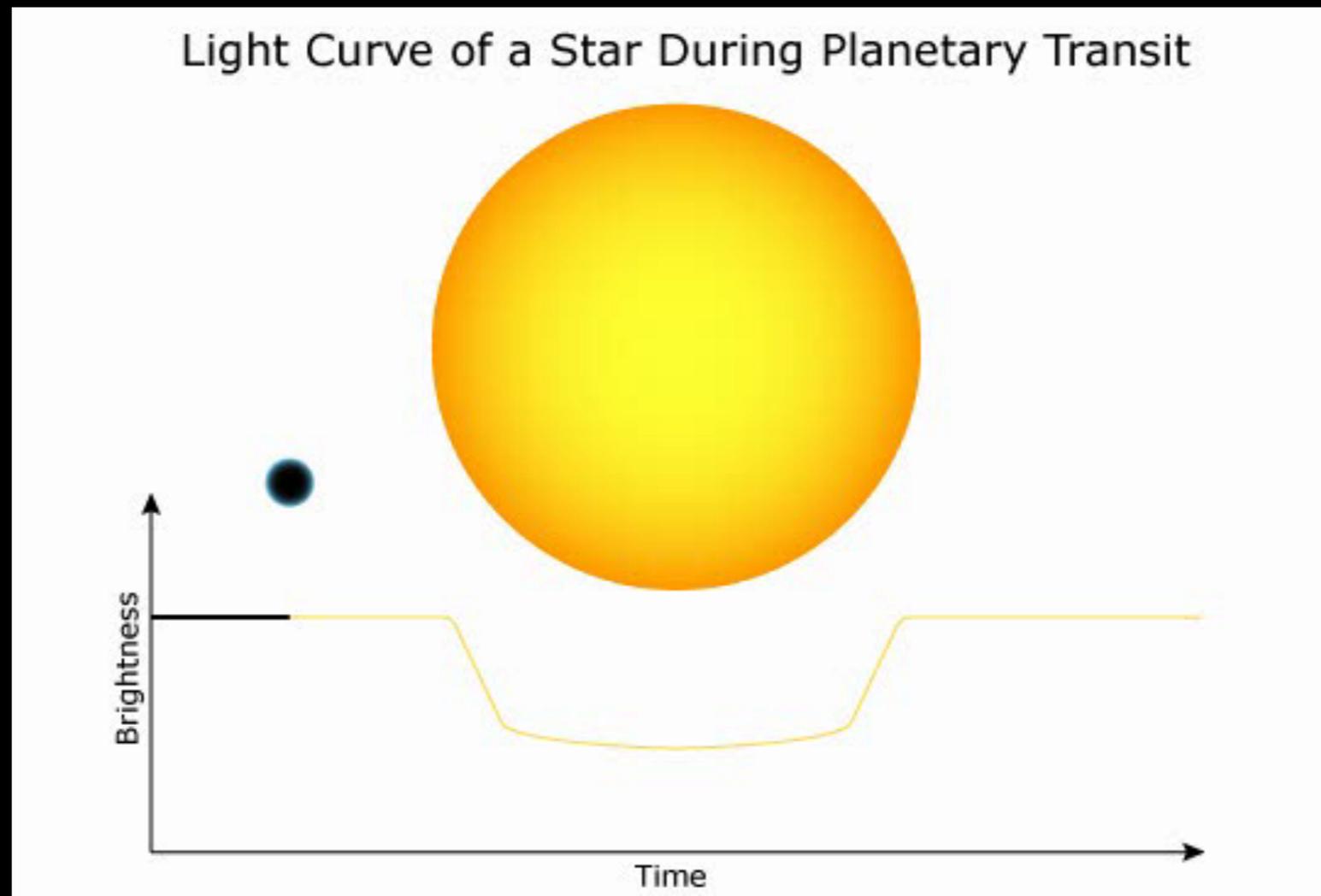


Roque de los Muchachos (La Palma)



video [Timelapse_TNG.mp4](#)

Il metodo dei transiti



Quando il pianeta passa davanti alla sua stella, occulta una parte del disco della stella che emette luce dando luogo a diminuzioni periodiche della luce della stella. Non vediamo il pianeta passare davanti alla stella perché le stelle ci appaiono puntiformi anche con i più potenti telescopi; possiamo solo rivelare le diminuzioni periodiche della luce della sua stella.

Per trovare pianeti più piccoli, delle dimensioni della Terra, occorre mandare dei satelliti nello spazio perché l'atmosfera terrestre limita la precisione dei telescopi da terra.

La missione spaziale *Kepler* (NASA)

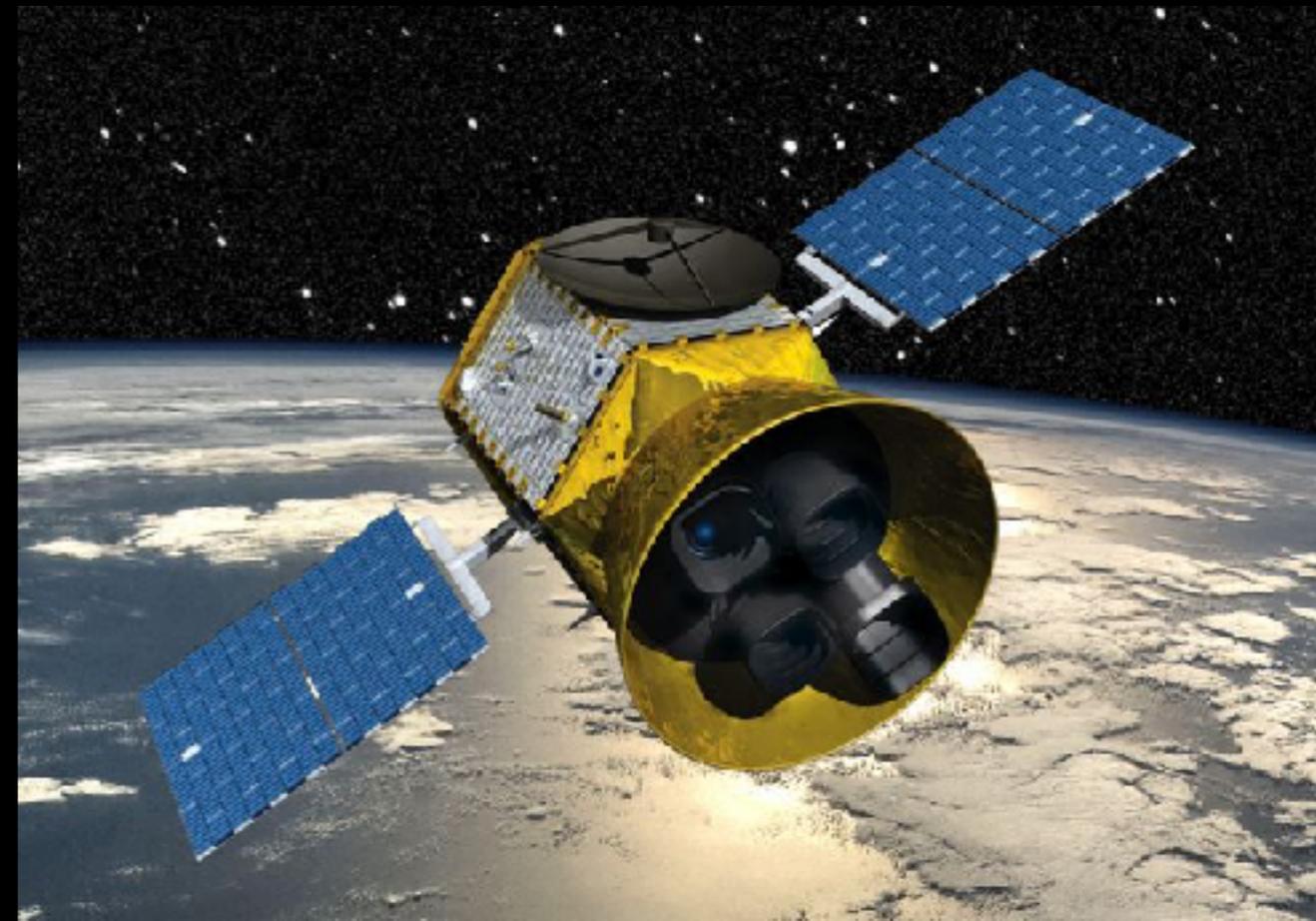
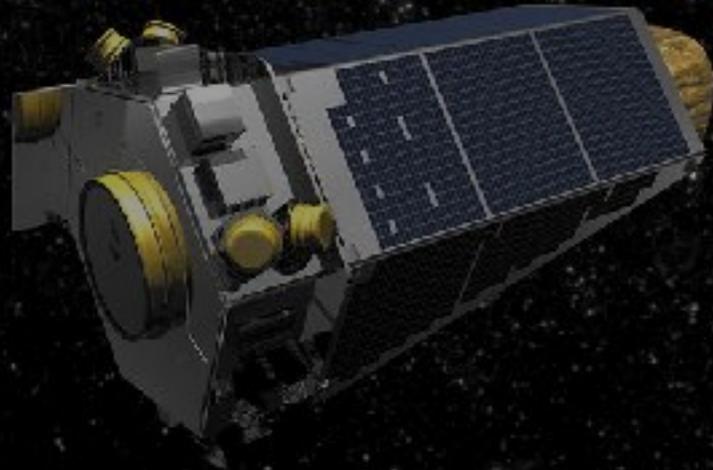
03/2009 - 10/2018

Ha scoperto oltre 4000 candidati planetari, alcuni dei quali hanno dimensioni della Terra, osservando nella costellazione del Cigno e in altri campi stellari.

Il telescopio spaziale *TESS* (NASA)

04/2018 -

Sta osservando quasi tutta la volta celeste anche se generalmente per meno tempo rispetto a Kepler.



Il telescopio spaziale *CHEOPS* (ESA) 12/2019 -

Video courtesy of
arianespace
arianegroup

00:15

Lancio il 18/12/2019
dalla Guyana Francese

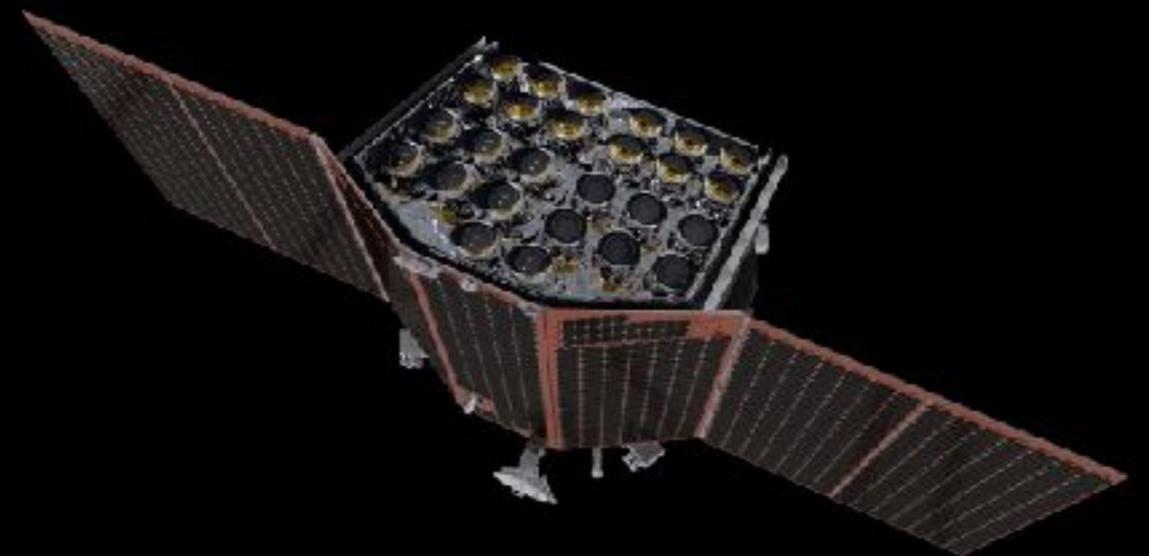
Osserva le stelle più vicine a noi, una alla volta,
per studiare meglio alcuni esopianeti già noti

Il telescopio spaziale *CHEOPS* (ESA) 12/2019 -



Lancio il 18/12/2019
dalla Guyana Francese

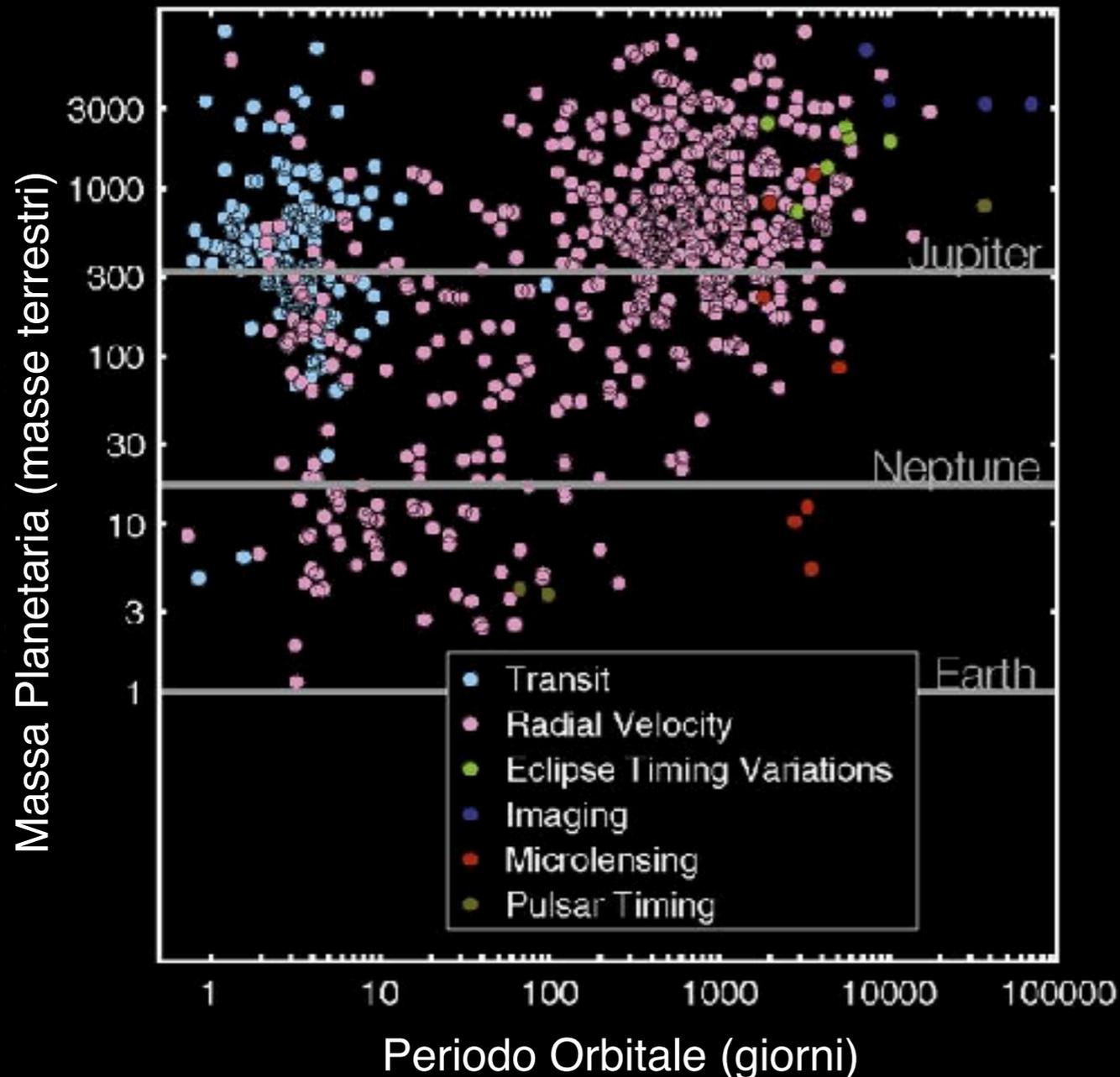
Il telescopio spaziale *PLATO* (ESA) 2026 -



Il telescopio spaziale *Kepler*: una rivoluzione

In orbita eliocentrica, ha a bordo un telescopio di 1 m, ma non è più operativo perché ha finito il carburante.

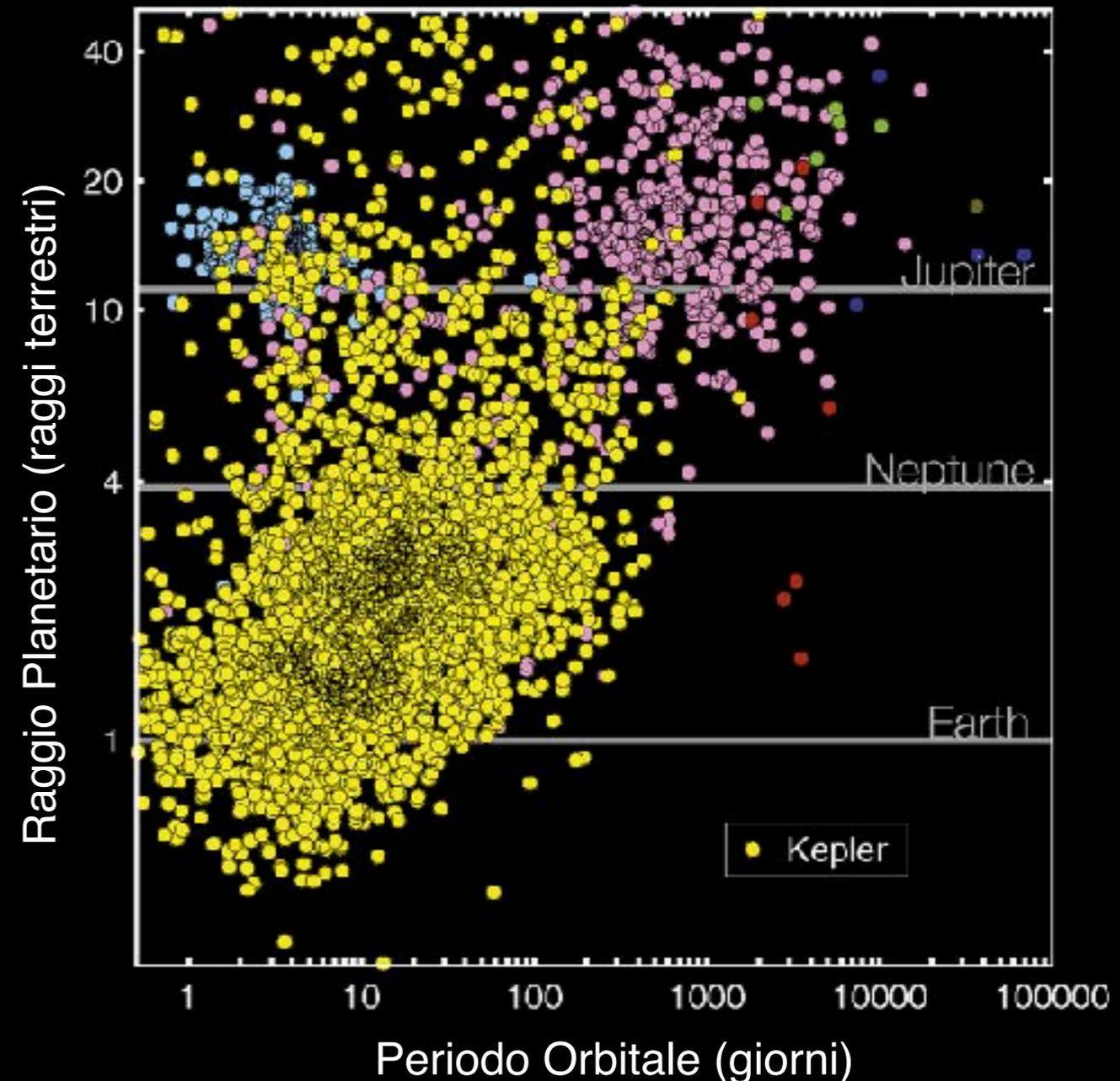
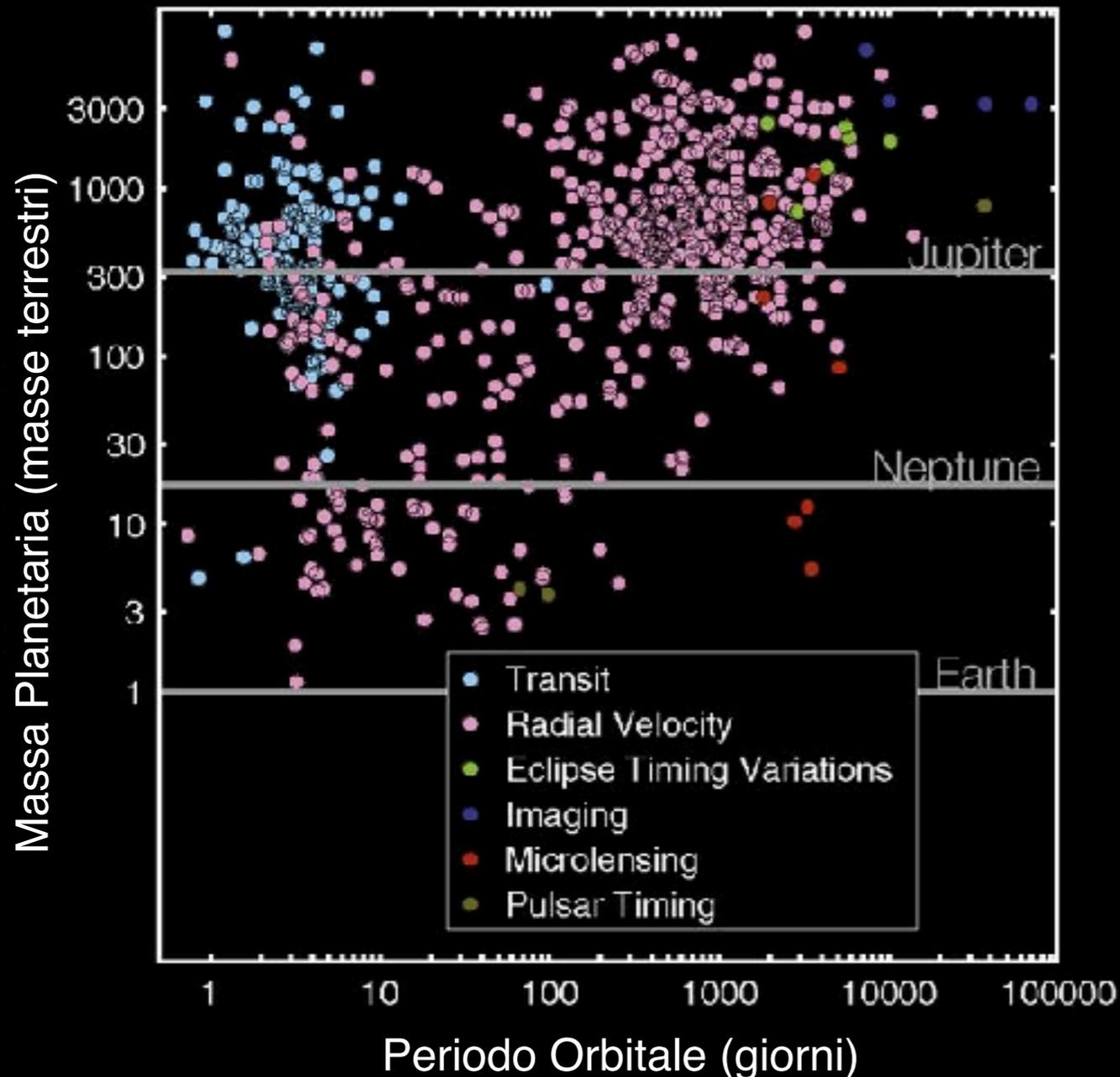
Ha scoperto moltissimi esopianeti, alcuni delle dimensioni della terra.



Il telescopio spaziale *Kepler*: una rivoluzione

In orbita eliocentrica, ha a bordo un telescopio di 1 m, ma non è più operativo perché ha finito il carburante.

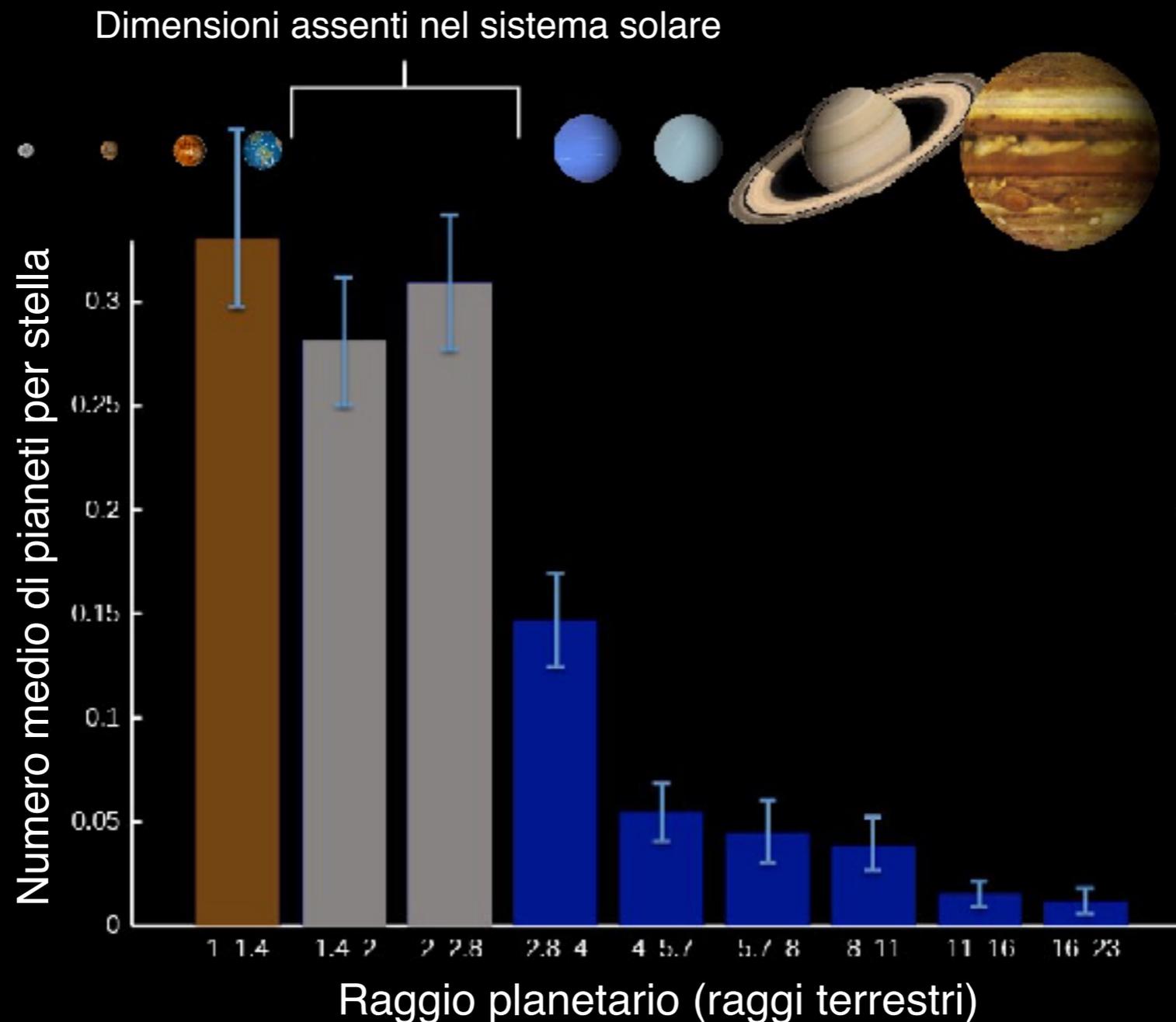
Ha scoperto moltissimi esopianeti, alcuni delle dimensioni della terra.



Il telescopio spaziale *Kepler*: una rivoluzione

I pianeti di piccola taglia sono molto più numerosi dei pianeti giganti.

Le super-Terre, che non esistono nel nostro sistema solare, si formano molto frequentemente attorno alle altre stelle.



La straordinaria diversità dei pianeti extrasolari

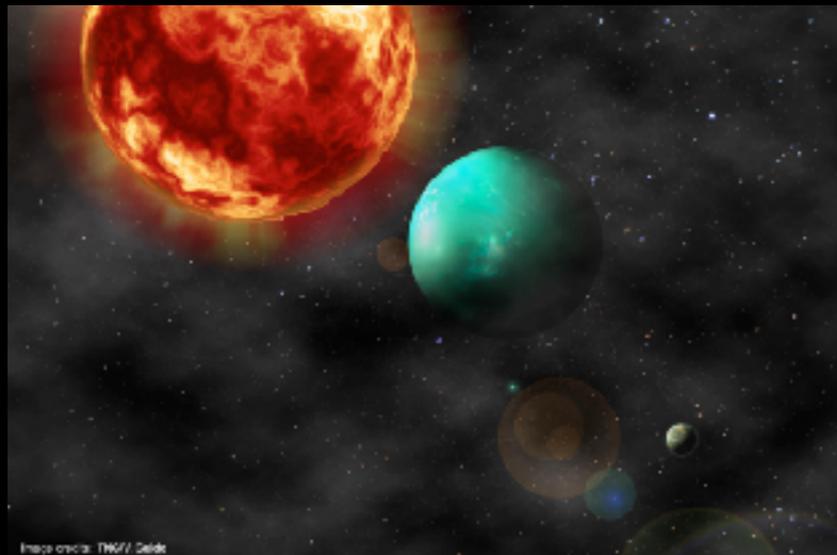


planeti infernali

compiono un giro completo attorno alla propria stella in meno di un giorno e hanno pertanto temperature molto elevate ($T_{eq} > 2000^{\circ} C$); quelli rocciosi sono verosimilmente ricoperti da oceani di lava...

superTerre

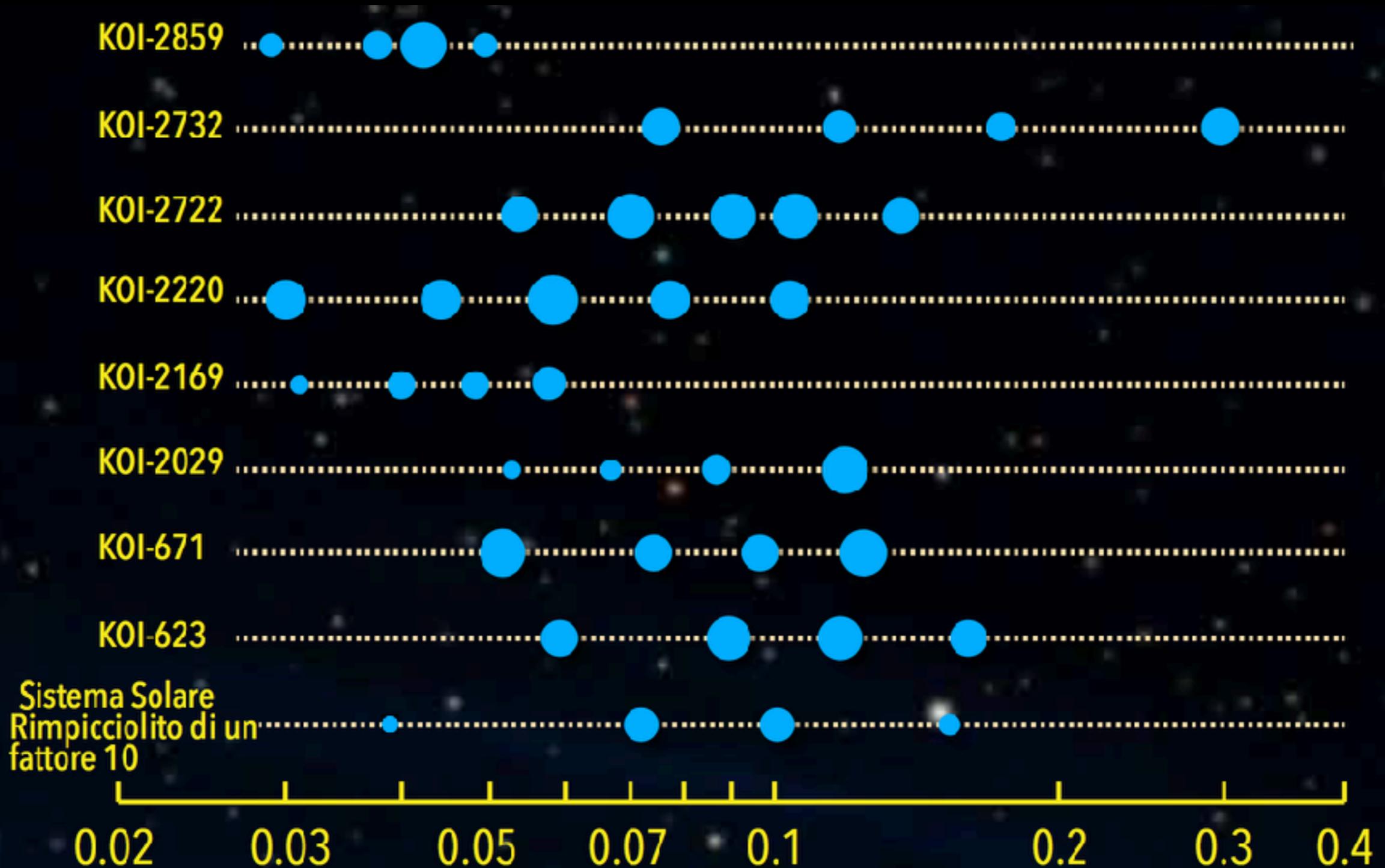
pianeti con masse di 3-10 volte quella della Terra: non esistono nel Sistema Solare ma sono molto frequenti attorno alle altre stelle in sistemi planetari compatti



sistemi planetari "invertiti"

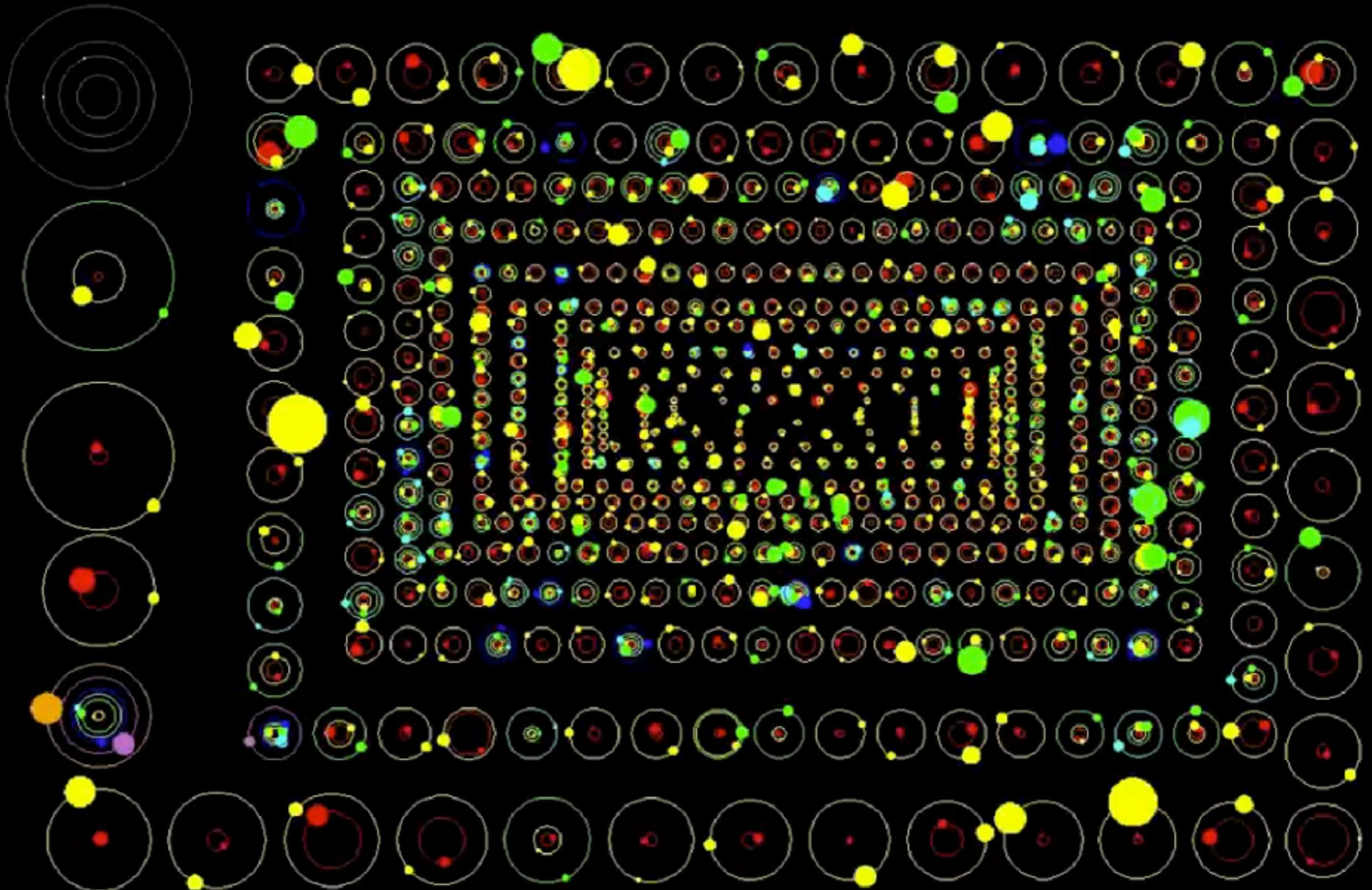
che contengono pianeti giganti all'interno e pianeti più piccoli in orbite esterne...

La diversità delle architetture dei sistemi planetari



The Kepler Orrery III

t[BJD] = 2455215



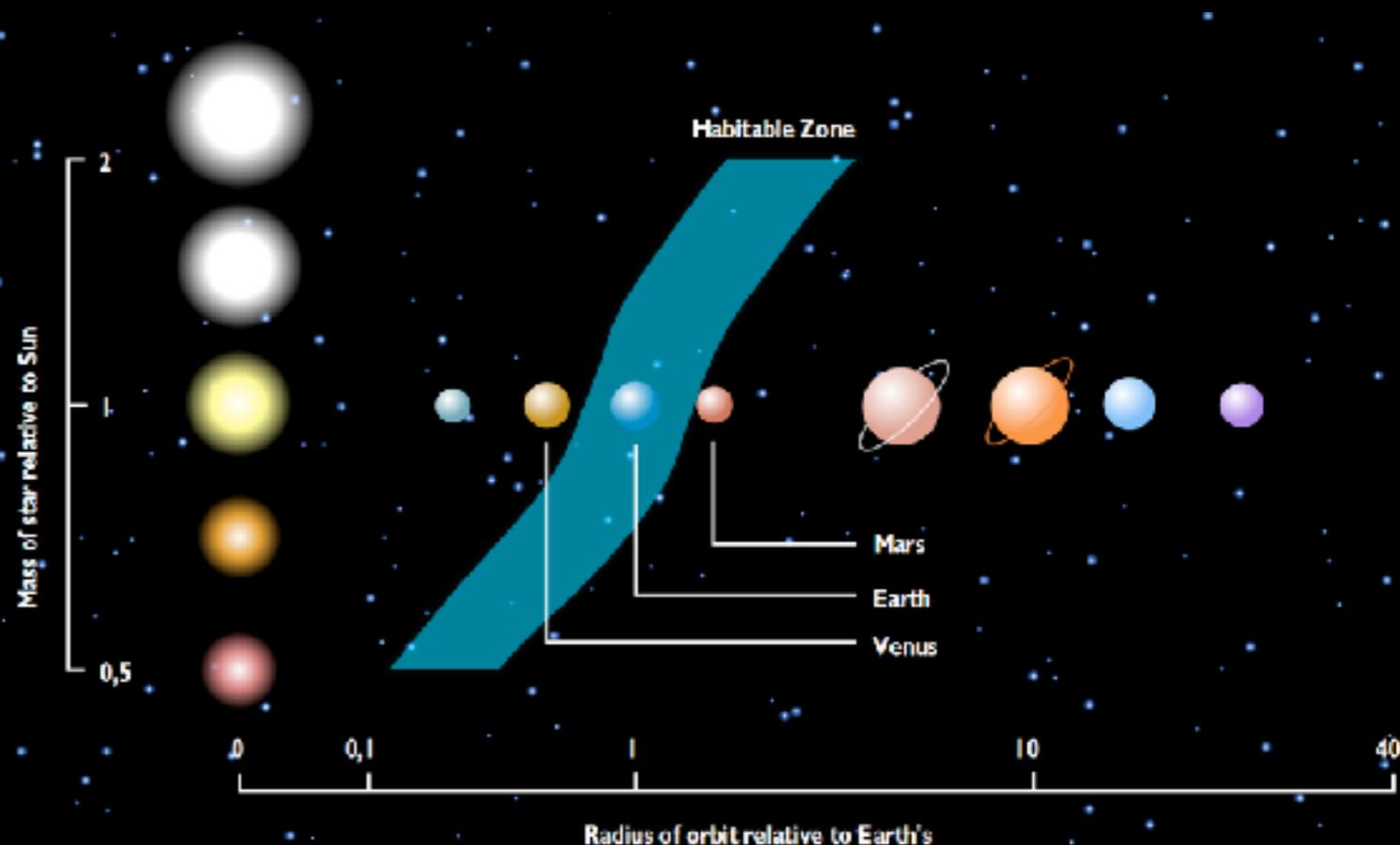
I pianeti nella zona abitabile



Sia spettrografi ad alta precisione (HARPS) sia telescopi spaziali (Kepler, TESS) permettono di scoprire pianeti nella zona abitabile, che è la distanza dalla stella alla quale l'acqua può trovarsi allo stato liquido.

La zona abitabile dipende dalla temperatura della stella e dal tipo di orbita (circolare o ellittica).

Ad oggi conosciamo circa una trentina di pianeti di piccola taglia (o massa) nella zona abitabile.



Ma la zona abitabile non basta...

La Terra è stata una culla adeguata per la nascita e lo sviluppo della vita

- ✓ pianeta roccioso
- ✓ acqua liquida
- ✓ atmosfera stabile
- ✓ attività vulcanica
- ✓ campo magnetico

Cascate di Iguazu

C'è vita sui gemelli della Terra?

L'universo tende a produrre gli elementi fondamentali per la vita

- ▶ il carbonio, elemento chimico fondamentale per la formazione delle molecole complesse, viene prodotto con alta efficienza all'interno delle stelle.
- ▶ alcune molecole complesse (i primi mattoni della vita, ad es. amminoacidi e basi azotate) si formano in regioni di formazione stellare o nei dischi protoplanetari prima ancora dei pianeti stessi!

FORMAZIONE STELLARE

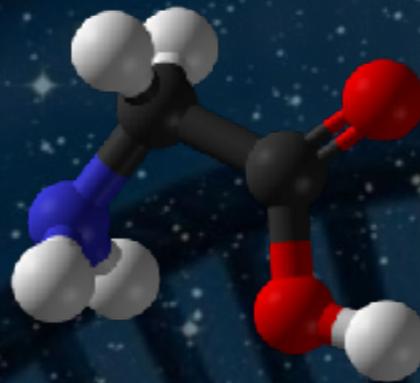


Acido cianidrico

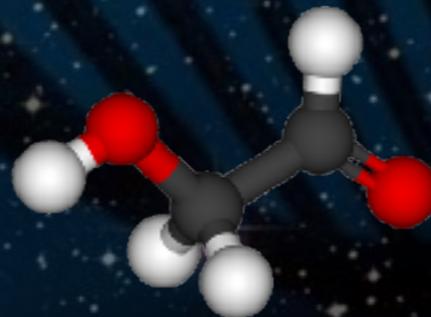


Formaldeide

COMETE

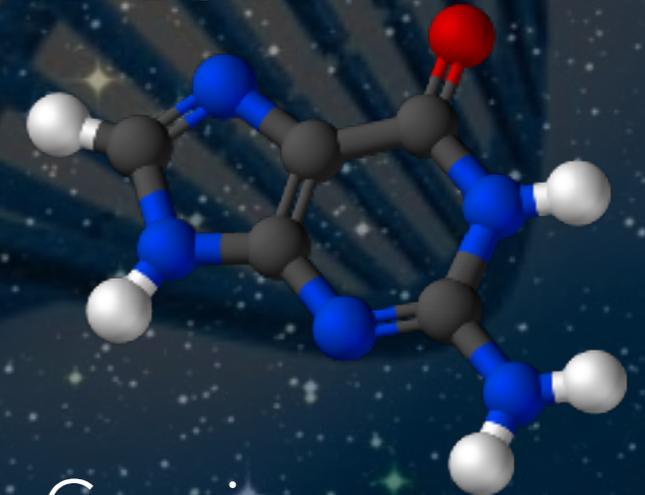


Glicina

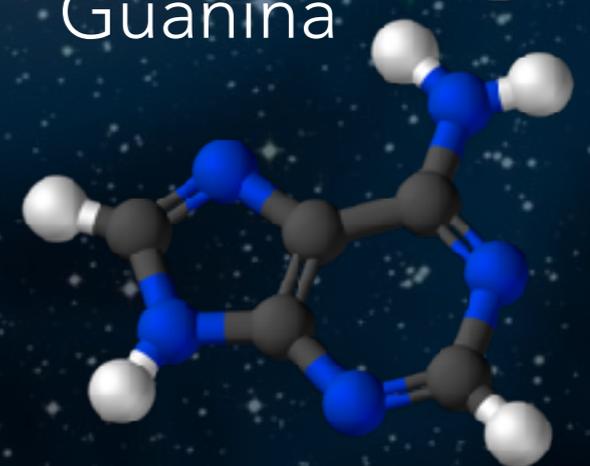


Glicolaldeide

METEORITI



Guanina



Adenina

C'è vita sui gemelli della Terra?

L'universo tende a produrre gli elementi fondamentali per la vita

Tuttavia, non sappiamo ancora come sia nata la vita sulla Terra; non conosciamo bene né sappiamo riprodurre in laboratorio il passaggio dalla materia organica alle biomolecole complesse e alle prime cellule.

FORMAZIONE STELLARE

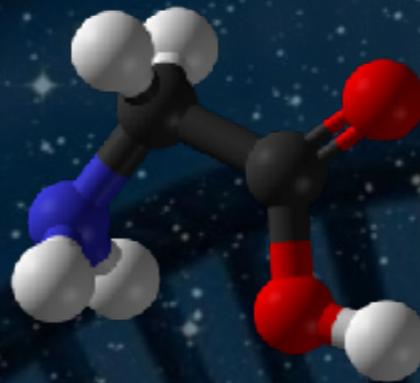


Acido cianidrico

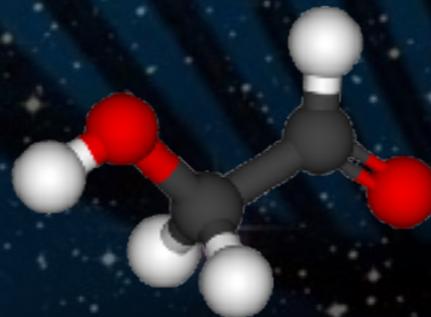


Formaldeide

COMETE

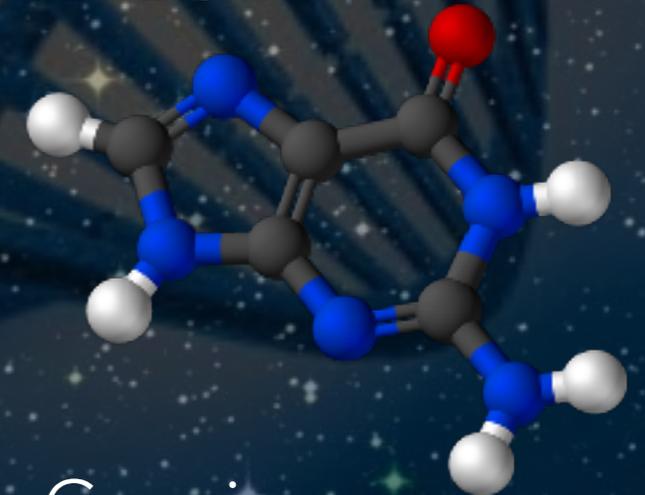


Glicina

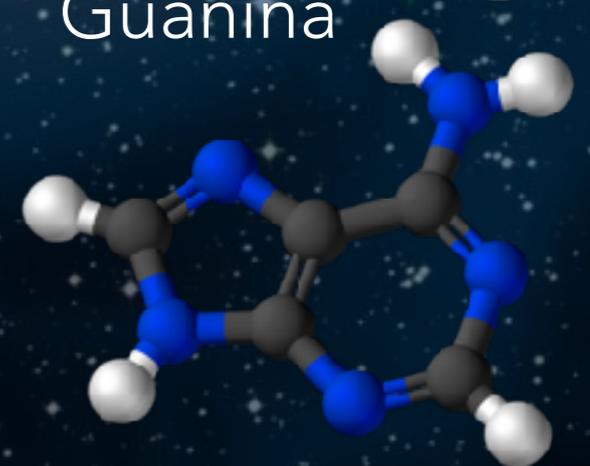


Glicolaldeide

METEORITI

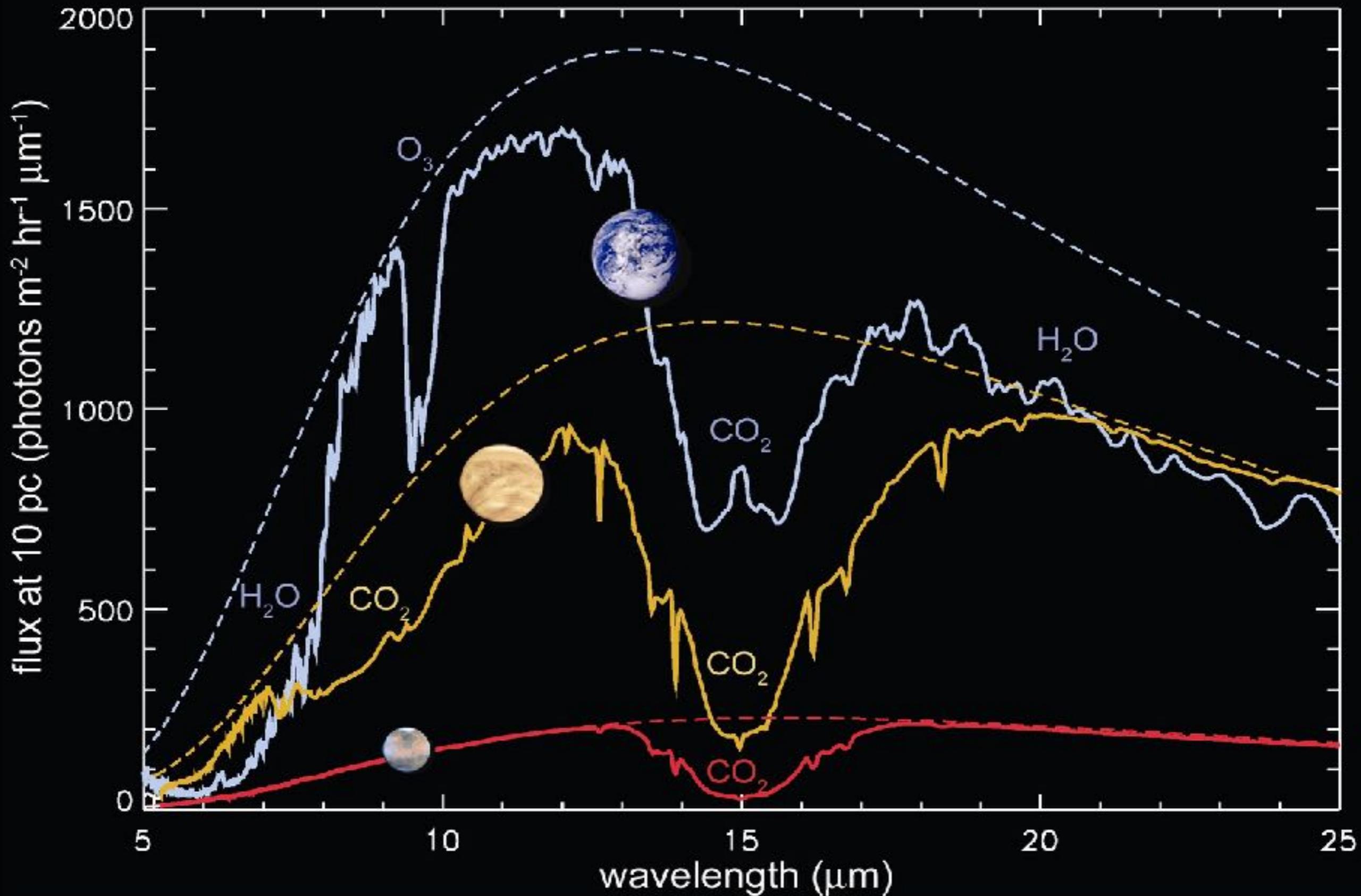


Guanina



Adenina

Alla ricerca di indicatori di vita



Alla ricerca di indicatori di vita

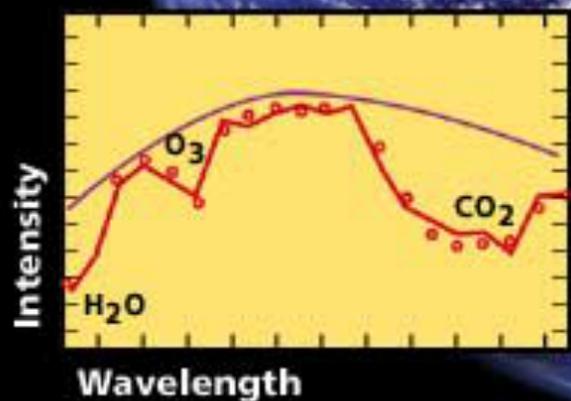
O₃ Ozone, produced by plants, algae



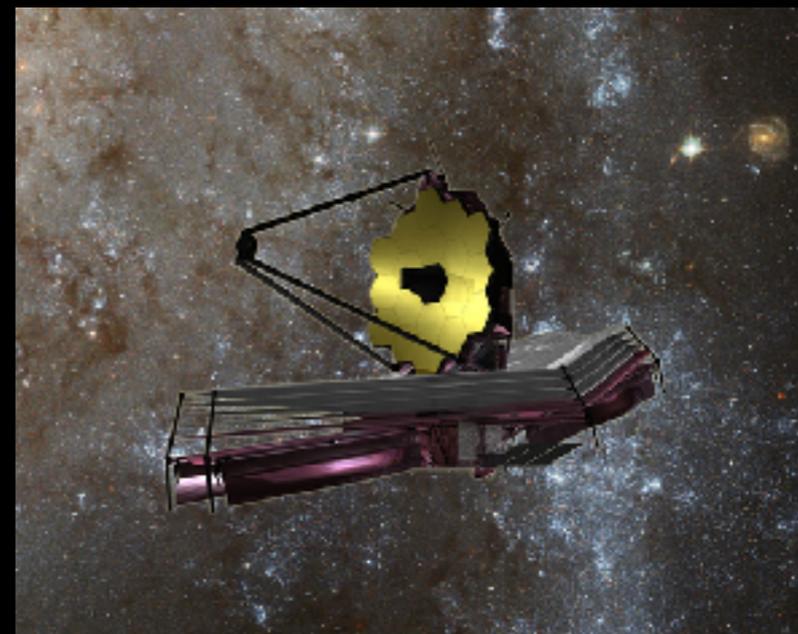
H₂O Liquid water



Methane produced by living organisms



**James Webb Space Telescope
(lancio previsto nel 2021)**



**European Extremely Large Telescope
D=39 m, prima luce nel 2026+**





*La domanda che ci assilla è di dove proveniamo e dove andiamo.
È per questo che abbiamo l'ansia di scoprire tutto quanto possiamo.
E nel tentativo proviamo un piacere, lo troviamo estremamente interessante.*

Erwin Schrödinger

A night sky filled with stars and the Milky Way galaxy. In the foreground, the top of a telescope dome is visible. The text is overlaid on the right side of the image.

Niuna cosa maggiormente dimostra la grandezza e la potenza dell'umano intelletto, né l'altezza e nobiltà dell'uomo, che il poter l'uomo conoscere e interamente comprendere e fortemente sentire la sua piccolezza.

Quando egli, considerando la pluralità de' mondi, si sente essere infinitesima parte di un globo ch'è minima parte d'uno degli infiniti sistemi che compongono il mondo, e in questa considerazione stupisce della sua piccolezza, e profondamente sentendola e intentamente riguardandola, perde quasi se stesso nel pensiero della immensità delle cose [...]; allora con questo atto e con questo pensiero egli dà la maggior prova possibile della sua nobiltà, della forza e della immensa capacità della sua mente, la quale rinchiusa in sì piccolo e menomo essere, è potuta pervenire a conoscere e intender cose tanto superiori alla natura di lui, e può abbracciare e contener col pensiero questa immensità medesima della esistenza e delle cose.

G. Leopardi

The end

