

C'e' qualcun altro la' fuori? La caccia ai gemelli della Terra

Alessandro Sozzetti

(INAF - Osservatorio Astrofisico di Torino)



Ci Sono Altri Mondi?

- Il dibattito sulla "Pluralita' dei Mondi" e la vita extraterrestre e' vecchio quanto la storia del Pensiero Occidentale (ed anche di piu' ad Est!)
- Durante gli ultimi 25 secoli, il punto di vista del genere umano e' spesso cambiato



La Visione Atomista



“Ci sono mondi innumerevoli di dimensioni diverse. In alcuni mondi non ci sono ne’ Sole ne’ Luna, in altri sono piu’ grandi che nel nostro mondo, ed in altri piu’ numerosi. In alcuni posti ci sono piu’ pianeti, in altri meno (...); In alcuni mondi non ci sono creature viventi o piante o acqua”

Democritus, ca. 450 B.C.

“Ci sono infiniti mondi, sia simili che diversi dal nostro... Dobbiamo credere che in tutti i mondi ci siano creature viventi e piante ed altre cose che vediamo in questo mondo”

Epicurus, ca. 300 B.C

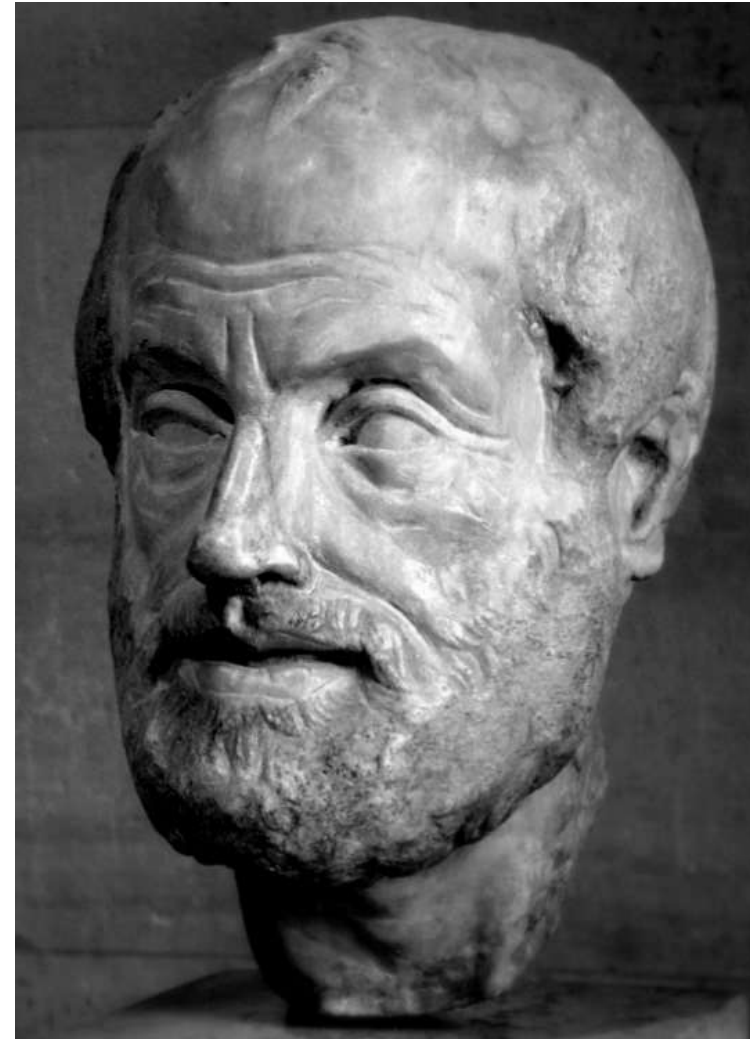
La Visione di Aristotele

“Non ci puo’ essere piu’ di un Mondo”
Aristotele, De Caelo, ca 350 B.C.

**Il mondo di Aristotele e’ geocentrico,
immutabile, ed unico.**

Non gli interessano i pianeti extrasolari.

**Sfortunatamente (“Ipse Dixit”), il suo influente
punto di vista resistera’ per 1500 anni!**



Teologi del Rinascimento...

- *"Riguardo alla domanda se Cristo possa redimere gli abitanti di un altro mondo, rispondo che Lui e' in grado di fare cio', anche se i mondi fossero infiniti. Pero' non sarebbe serio per Lui scendere su un altro mondo per dover morire di nuovo".*

William da Vorilong (ca.1450)



Martiri del Rinascimento...

L'anno 1584

“Ci sono innumerevoli soli ed innumerevoli terre ruotanti attorno ai loro soli esattamente nello stesso modo dei sette pianeti del nostro sistema solare. *Vediamo solamente i soli perche' sono i corpi piu' grandi e luminosi, ma i loro pianeti rimangono invisibili perche' piu' piccoli e non luminosi.*

Gli infiniti mondi nell'Universo non sono peggiori o meno abitati della nostra Terra”

Giordano Bruno
in *De L'infinito*
Universo E Mondi



Il Paradosso di Fermi

- Nel 1950, pranzando insieme a Teller nei laboratori di Los Alamos, chiede all'improvviso: 'Dove sono gli altri?'
- Cioe': le dimensioni e l'eta' dell'Universo suggeriscono che dovrebbero esistere tantissime civiltà extraterrestri tecnologicamente avanzate. Pero' questa ipotesi appare in totale disaccordo con la mancanza di evidenza osservativa che la supporti.
- In altre parole: se ci fossero davvero, dovrebbero già essere qui!



1960: L'Equazione di Drake

$$N = N_* \times f_p \times n_e \times f_\ell \times f_i \times f_c \times L/T_g$$

- **N** e' il numero di civilta' nella nostra galassia con cui possiamo sperare di poter comunicare
- **N_{*}** e' il numero totale di stelle nella nostra Galassia
- **f_p** e' la frazione di queste stelle che ha pianeti
- **n_e** e' il numero medio di pianeti di un sistema in grado potenzialmente di sostenere la vita
- **f_ℓ** e' la frazione di questi che effettivamente sviluppa la vita ad un certo punto
- **f_i** e' la frazione di questi che effettivamente sviluppa vita intelligente
- **f_c** e' la frazione di civilta' che sviluppa una tecnologia tale da diventare 'rivelabile' attraverso lo spazio interstellare
- **L** e' l'intervallo di tempo durante il quale tale civilta' e' 'rivelabile'
- **T_g** e' l'eta' della Galassia



'Non una risposta al paradosso di Fermi, ma piuttosto un modo di organizzare la nostra ignoranza sull'argomento'

(Carl Sagan, 1966)



Negli ultimi decenni, e' Hollywood a dire la sua...



*...ma gli astronomi stavano lavorando per
tramutare la fantascienza in scienza!*

Oggi, 21 anni fa:

FINE

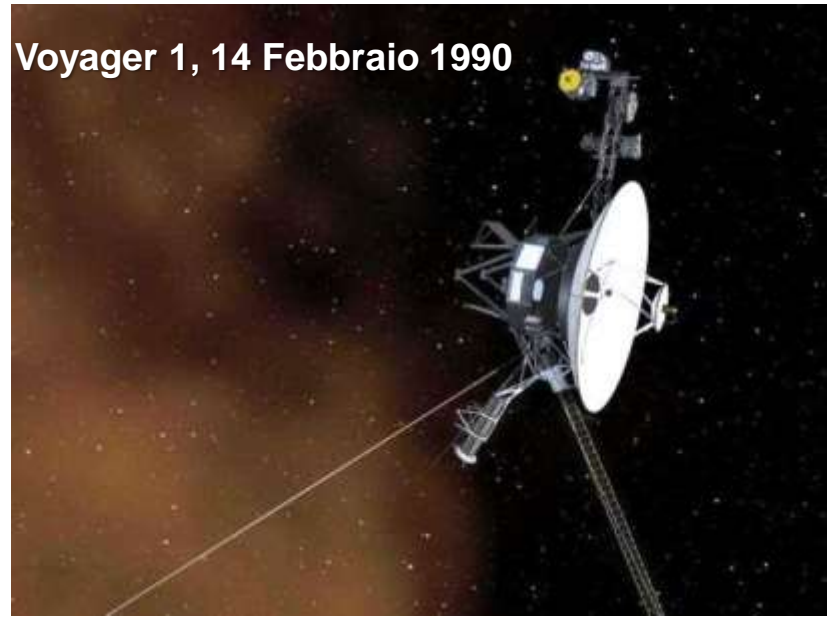
GRAZIE PER LA VOSTRA ATTENZIONE!

6 miliardi di km dalla Terra

Un 'Pallido Puntino Blu'
(Carl Sagan)



Voyager 1, 14 Febbraio 1990



La Via Lattea: 200 miliardi di stelle!



Come trovare l'ago nel pagliaio?

Come scopriamo un esopianeta?



E' molto difficile osservare direttamente un pianeta perché la stella è all'incirca un miliardo di volte più luminosa.



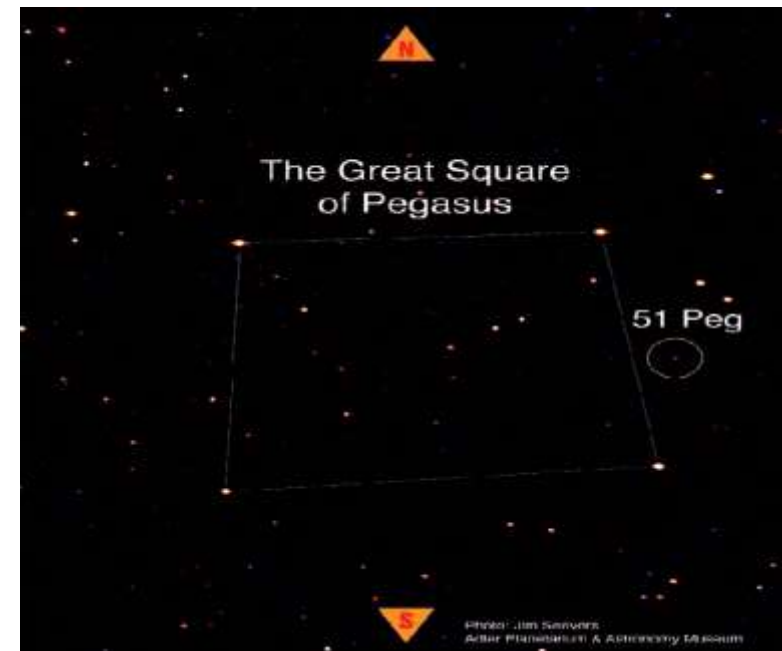
E' però possibile scoprire un esopianeta grazie a metodi indiretti, e cioè grazie agli effetti che il pianeta produce sulla stella.



Immagine artistica di un pianeta extrasolare (Greg Bacon, STScI)

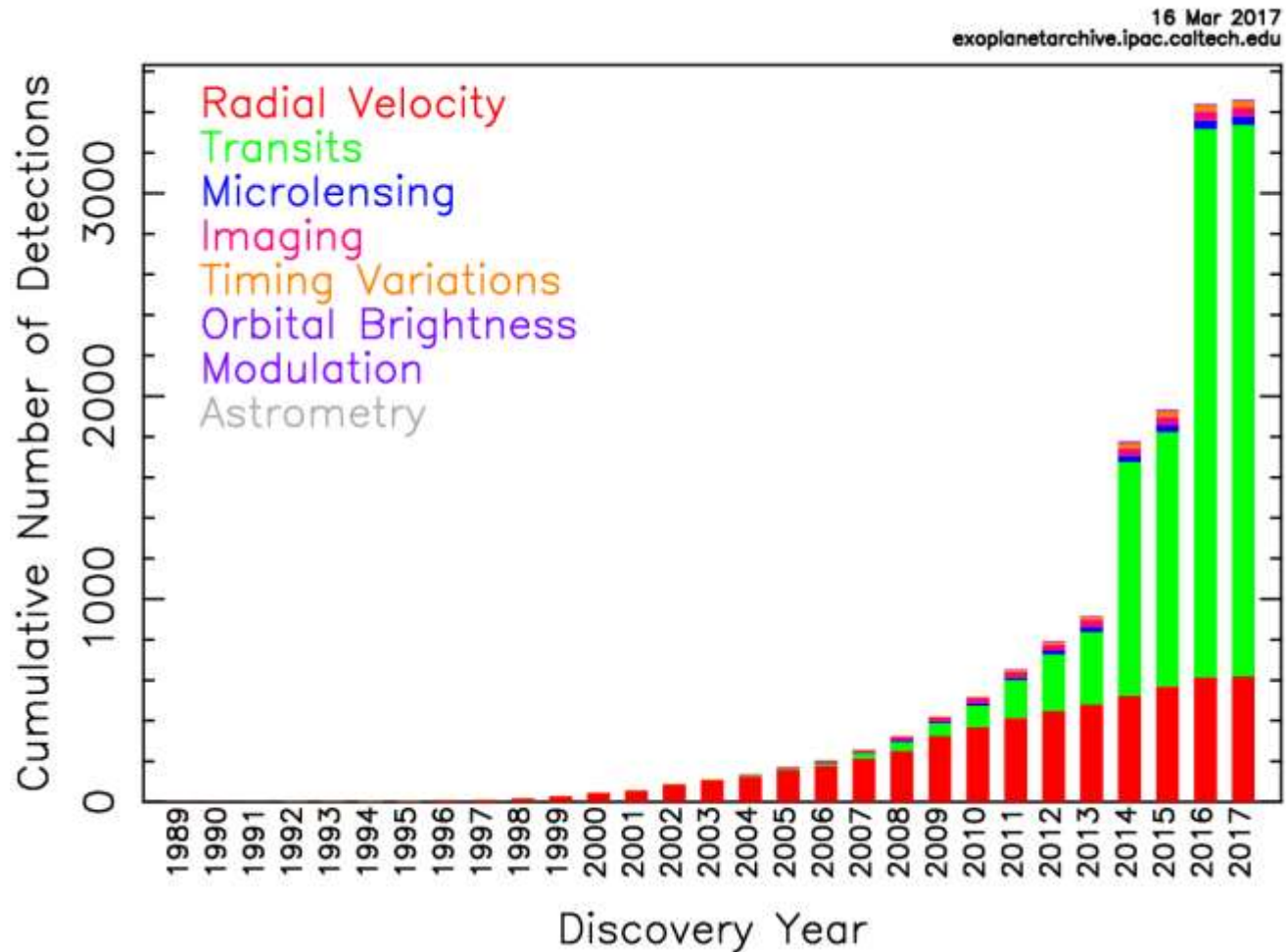


Mayor & Queloz:
'A Jupiter-Mass Companion
to a Solar-Type Star', Nature, 1995



Esopianeti: Oggi Sono Migliaia!

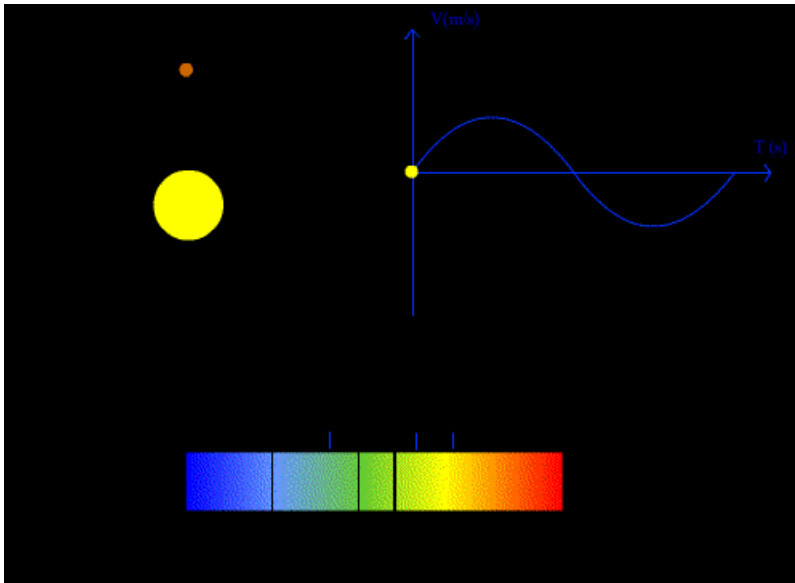
Cumulative Detections Per Year



$$N = N^* \times f_p \times n_e \times f_\ell \times f_i \times f_c \times L/T_g$$

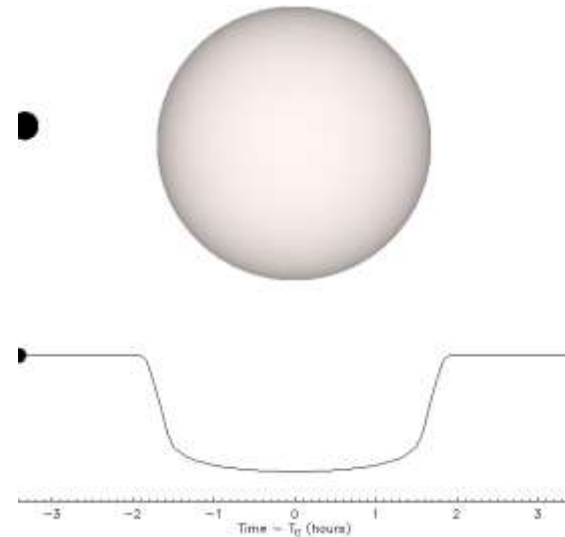
Gli Astronomi hanno sviluppato due ottimi metodi (*ma indiretti*) per trovare esopianeti

Metodo Doppler



Effetto della Gravitazione Universale
Determina la Massa del Pianeta

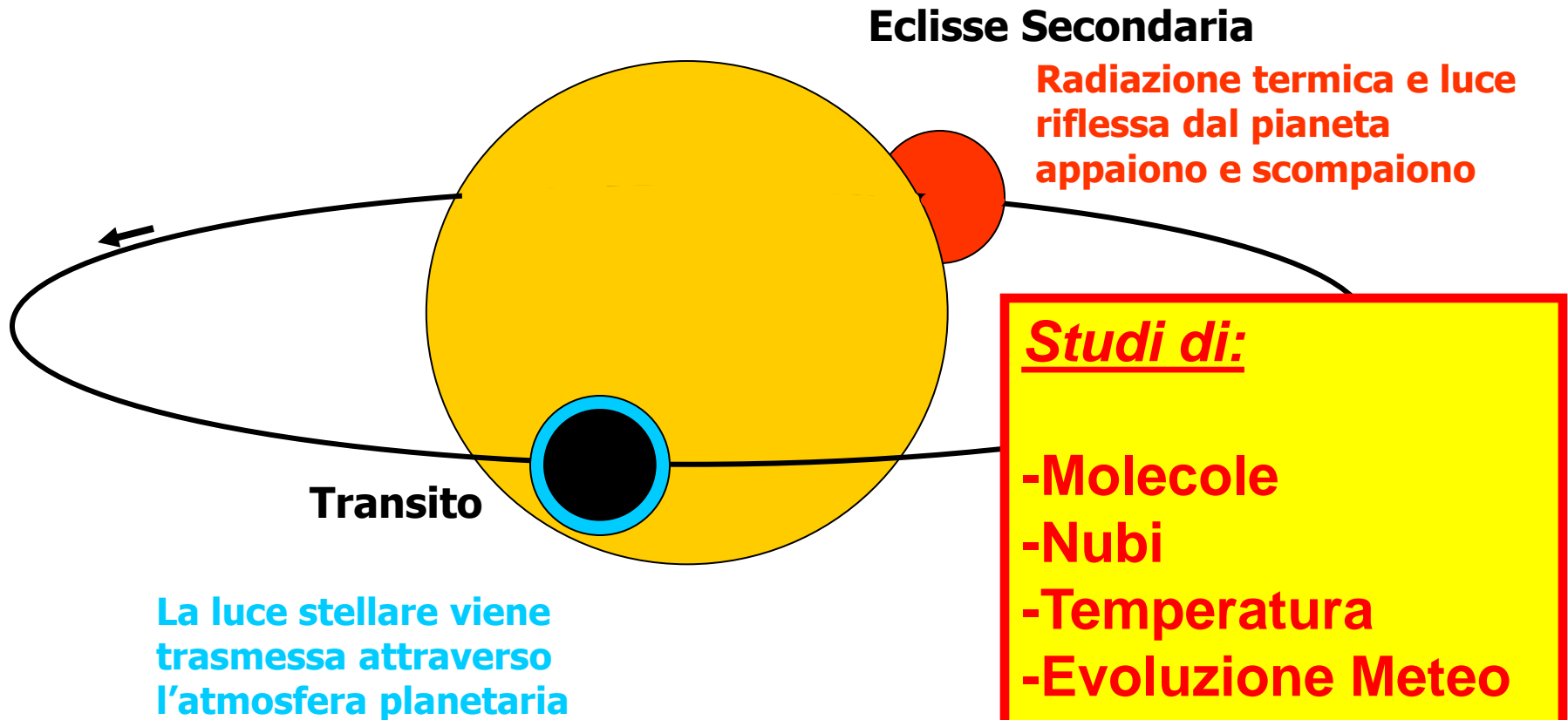
Metodo dei Transiti



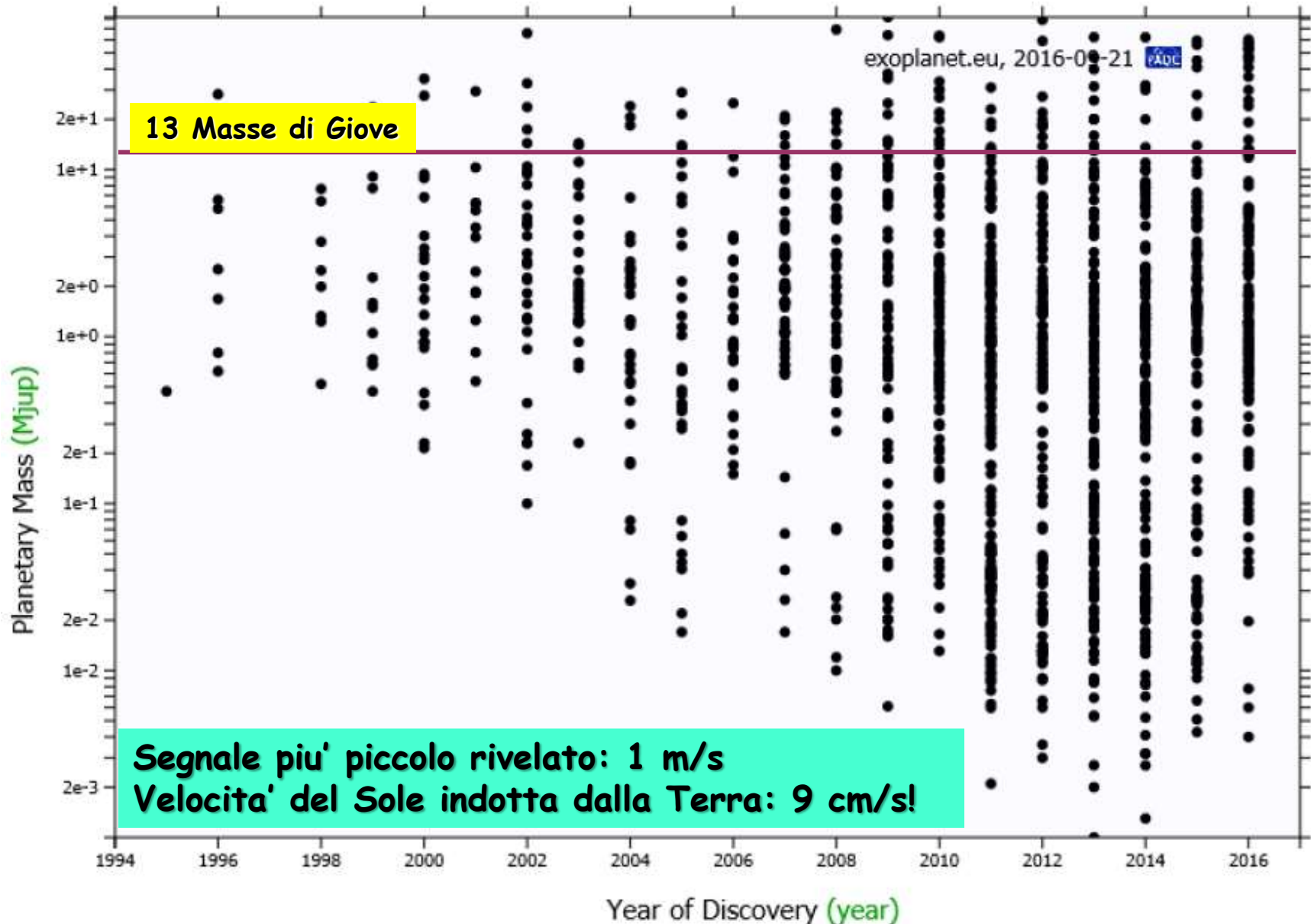
Sfrutta geometria e allineamento
Determina il Raggio del Pianeta

Otteni la densità planetaria e la sua composizione:
Gigante gassoso (Giove), ghiacciato (Nettuno), o pianeta roccioso (Terra)

I Transiti Permettono Studi Delle Atmosfere Che Non Sono Possibili Per Pianeti Non Transittanti



La Rivoluzione 'Doppleriana'



Ha cercato esopianeti in transito osservando oltre 150000 stelle in una regione del cielo vicino alla costellazione del Cigno.

La missione spaziale *Kepler* (NASA)

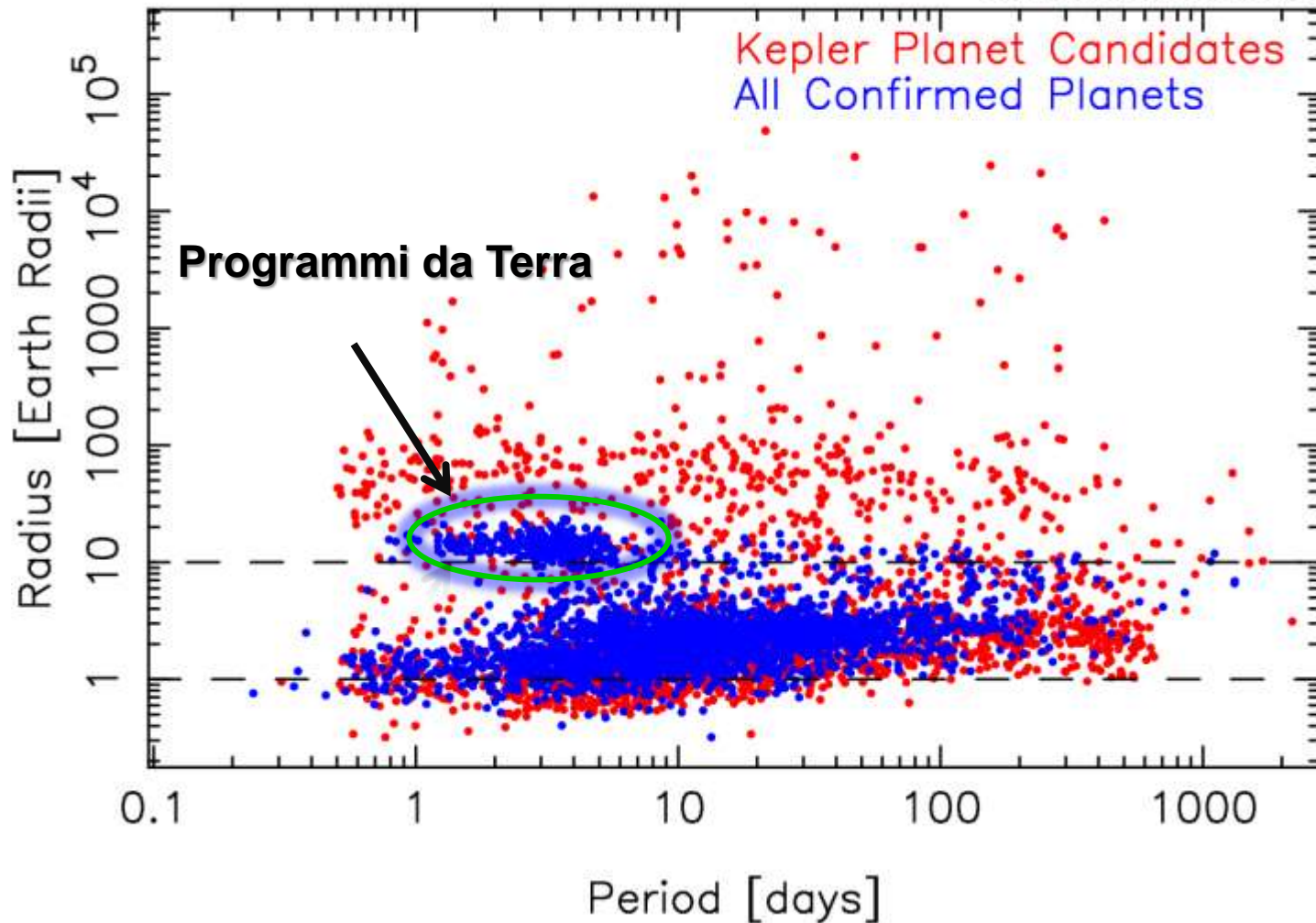
Ha scoperto quasi 4000 candidati planetari, molti dei quali hanno dimensioni simili alla Terra.



La Rivoluzione 'Kepleriana'

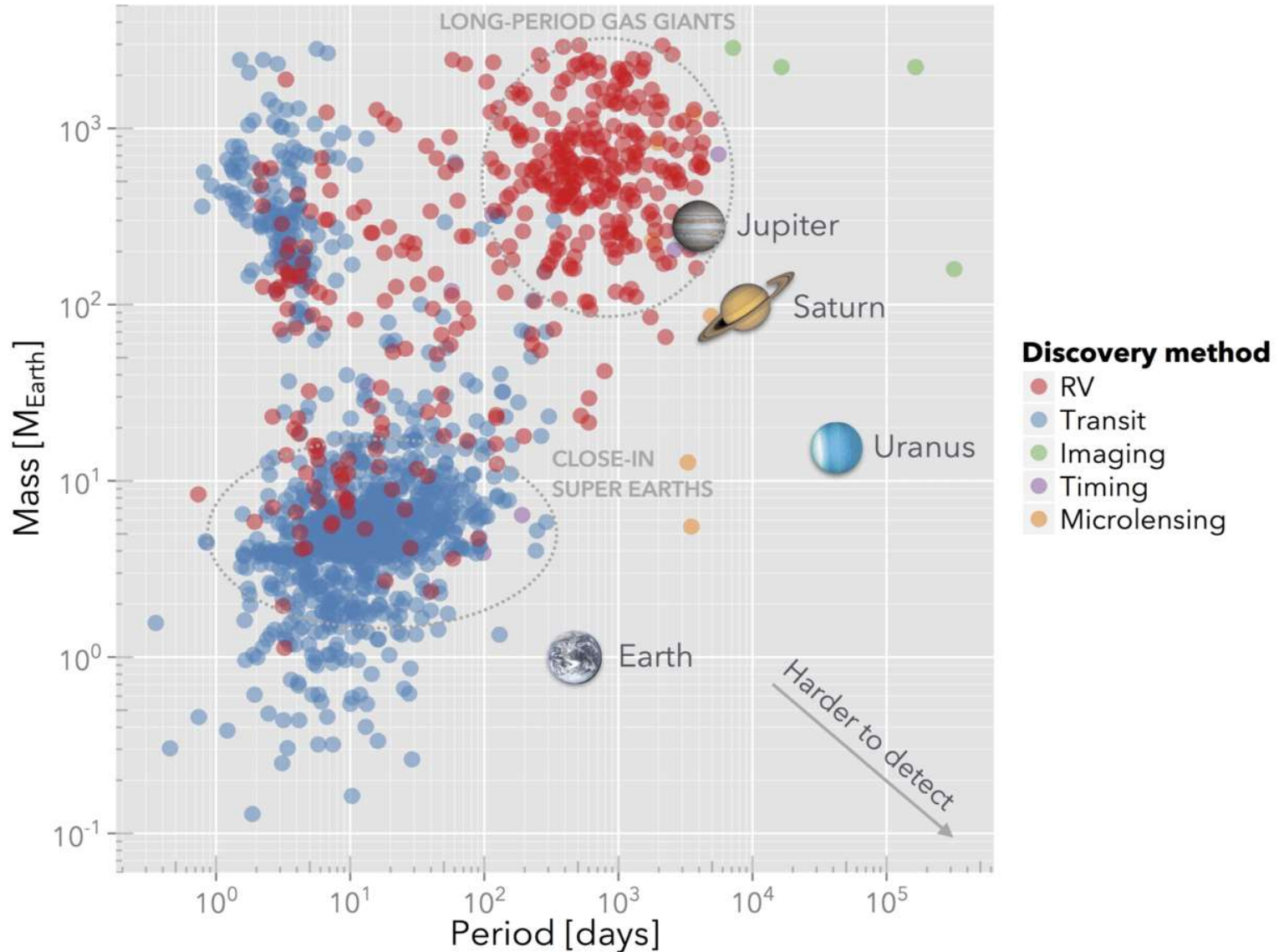
Radius – Period Distribution

16 Mar 2017
exoplanetarchive.ipac.caltech.edu

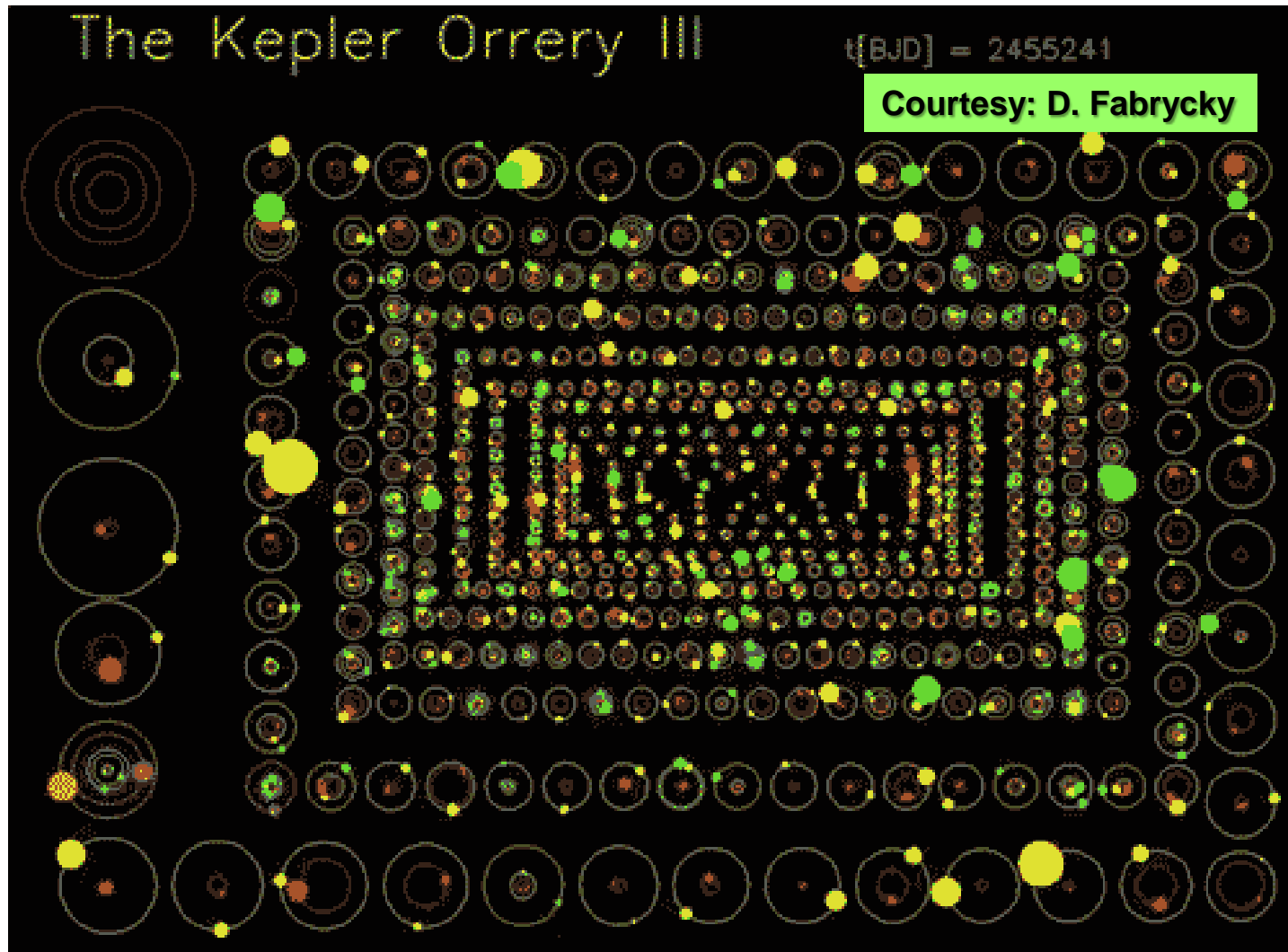


Le misure di Kepler sono 150 volte piu' precise di quelle ottenute da Terra!

La Diversita' degli Esopianeti

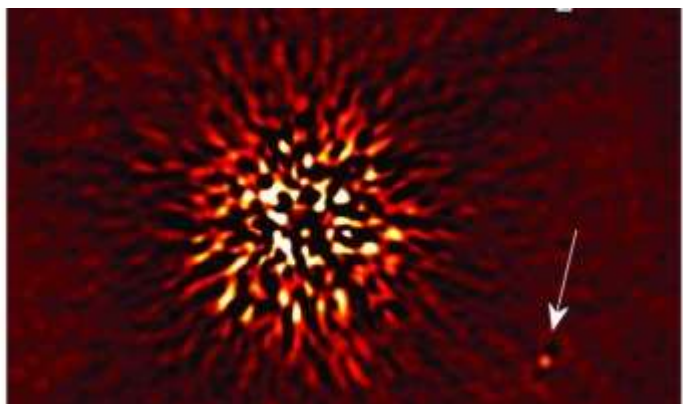
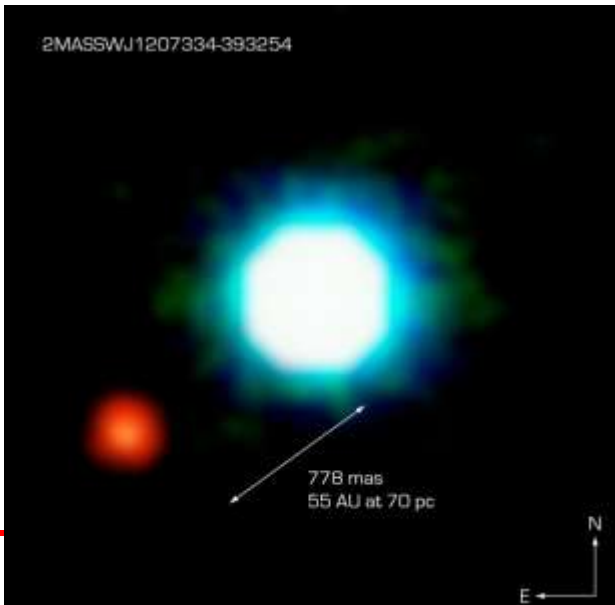
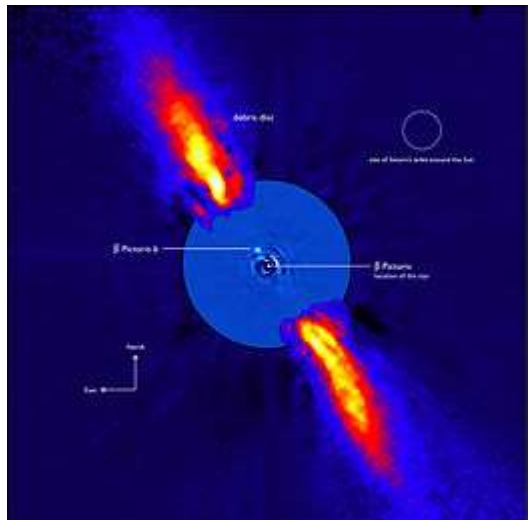
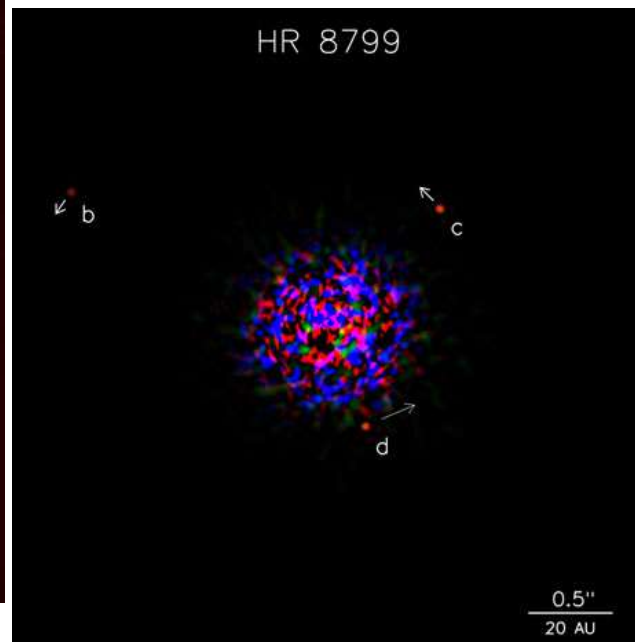
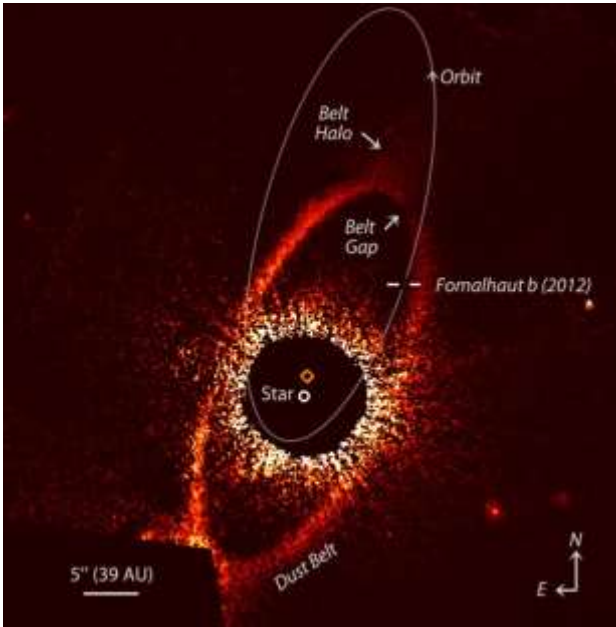
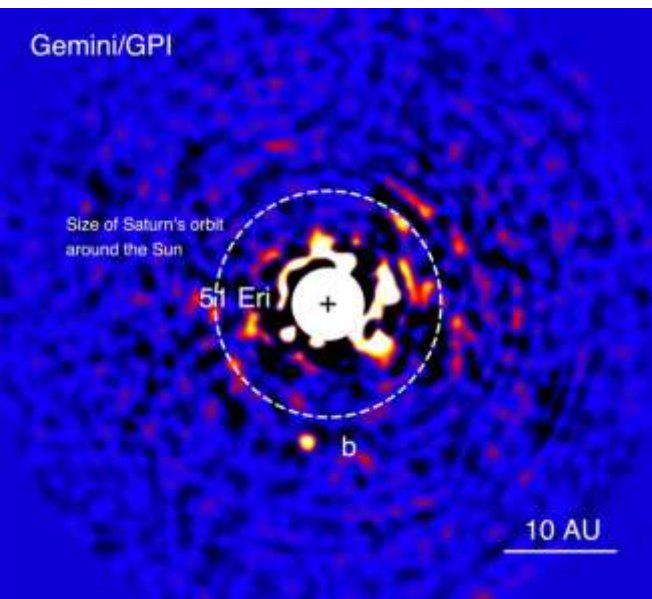


Architetture Planetarie

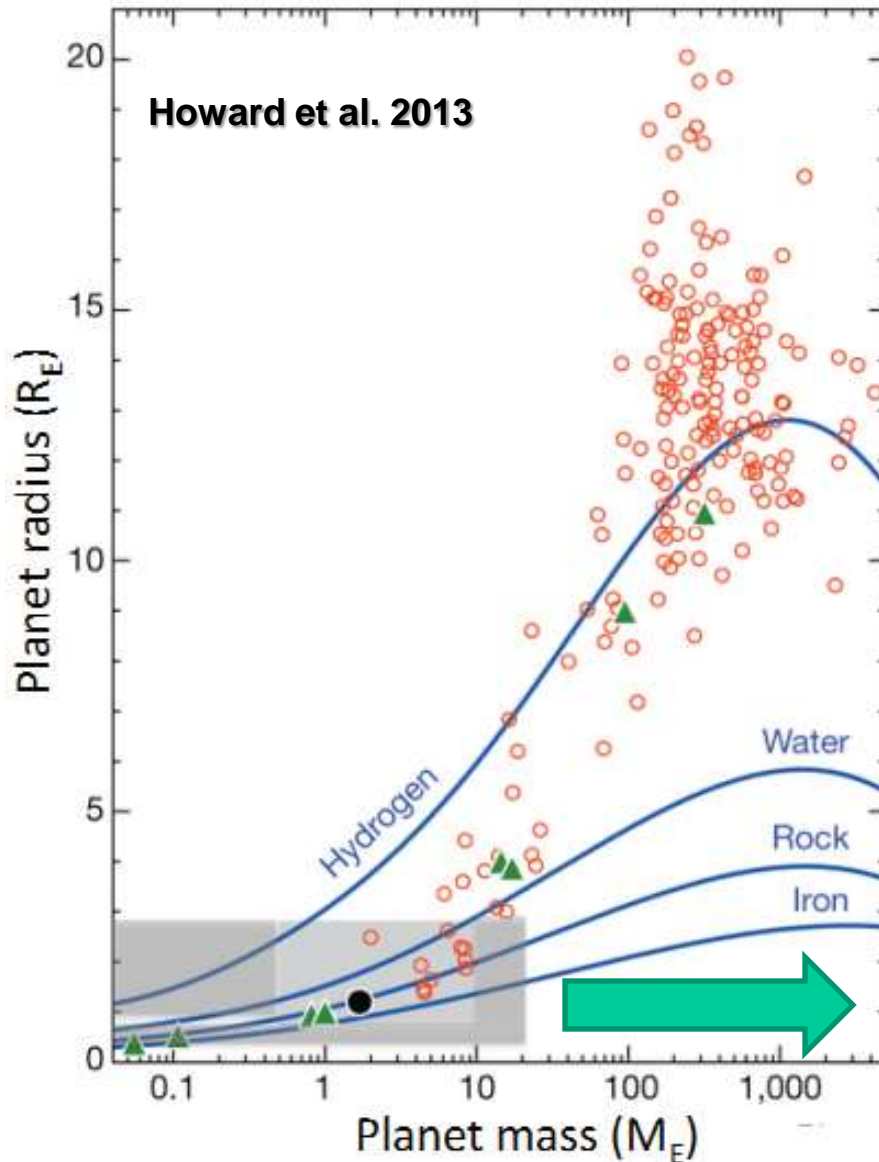


Centinaia di sistemi 'piatti', la grande maggioranza con raggi piccoli.

Immagini Dirette: Solo per Giganti!

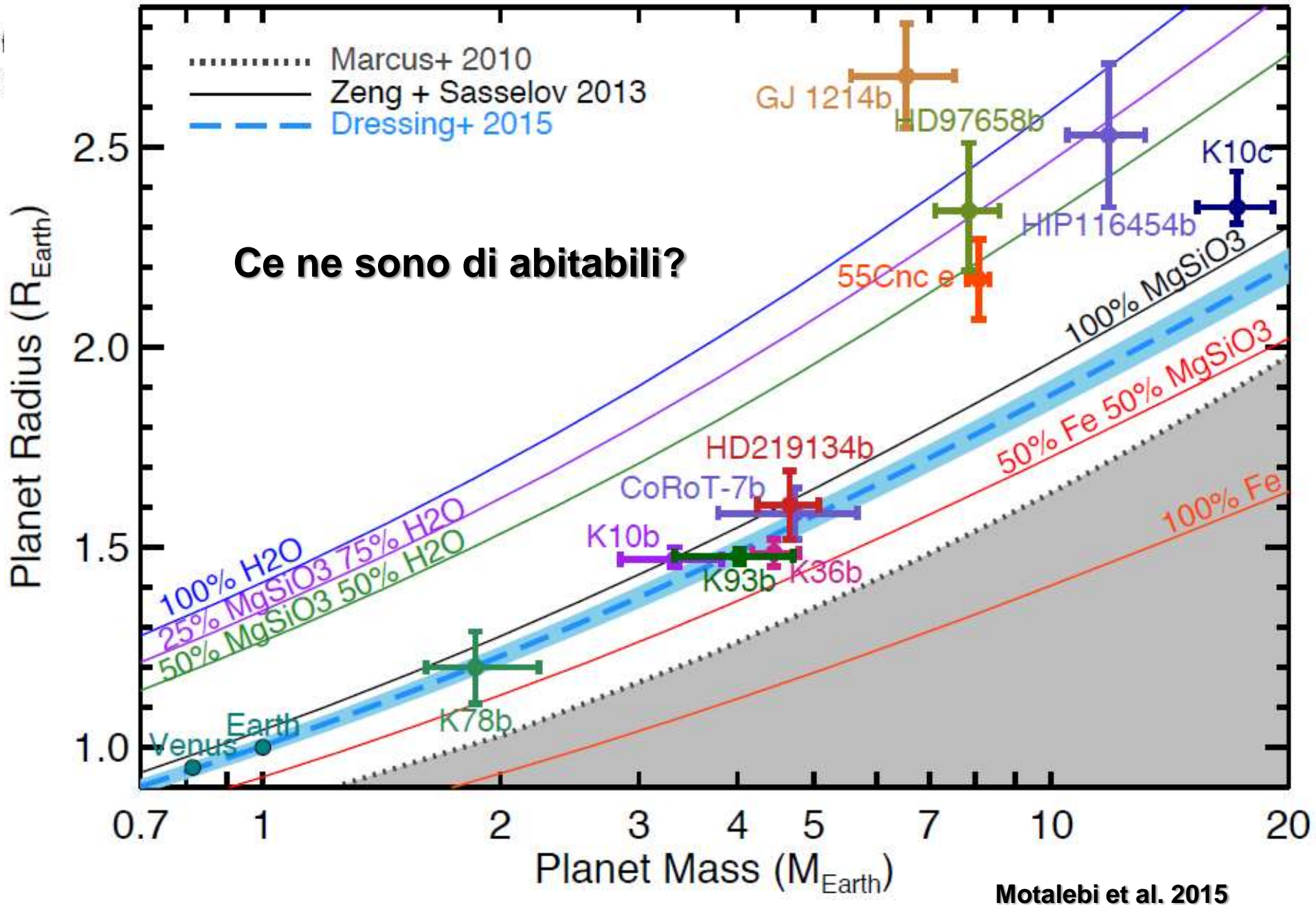


Composizione degli Esopianeti



- La diversità degli esopianeti è legata alla loro formazione ed evoluzione
- Le super-Terre: nuova classe di pianeti
- Pochissimi pianeti delle dimensioni della Terra sono stati studiati ad oggi. E' infatti molto più semplice rivelare pianeti giganti

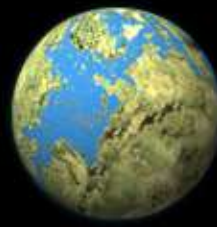
'Terre' e 'Super-Terre'



Molti dei nuovi pianeti sono troppo caldi o troppo freddi per supportare la vita.



Troppo
caldo!



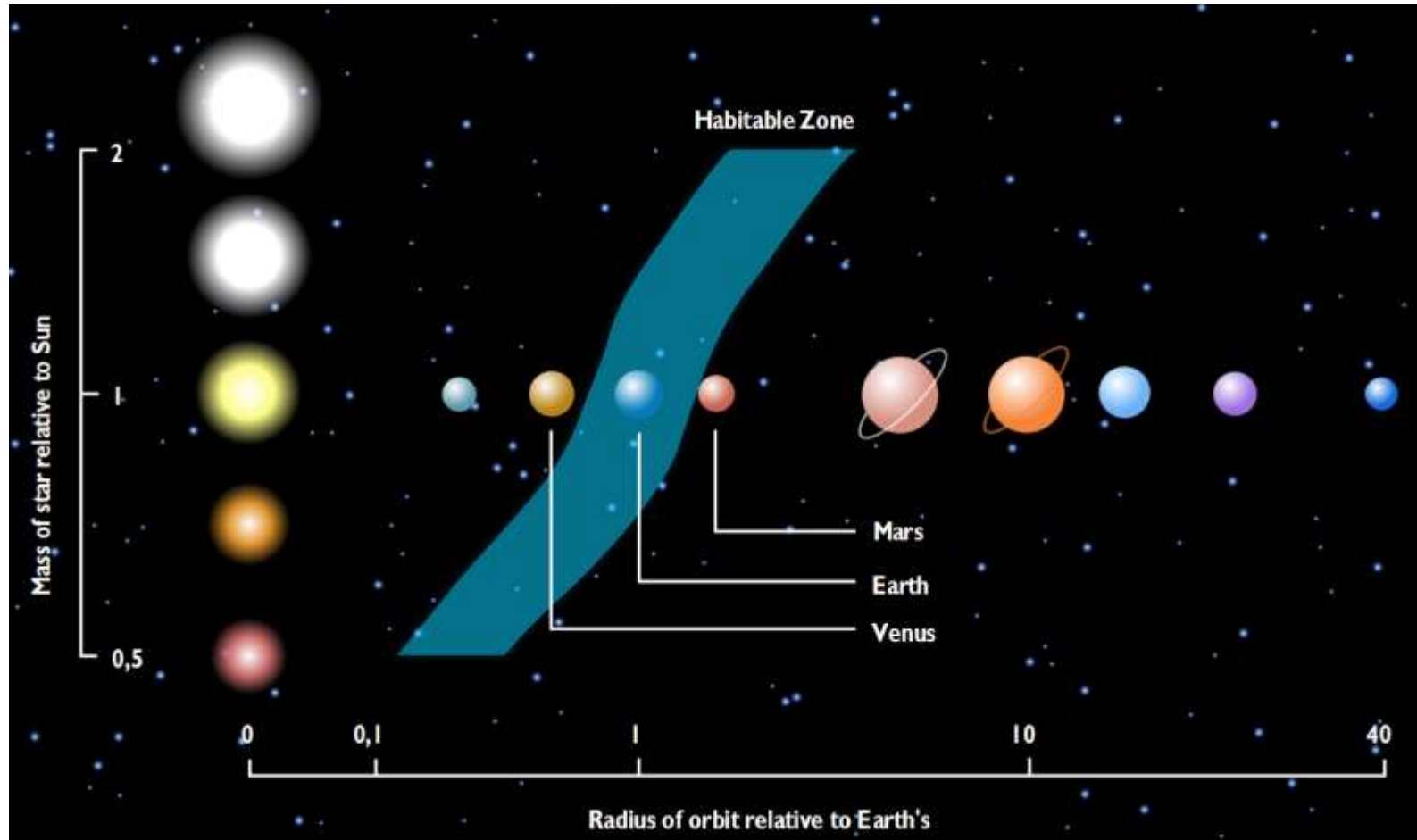
Giusto!



Troppo
freddo!

La maggior parte di loro ha orbite molto eccentriche, o si trovano troppo vicini alle loro stelle centrali.

La Regione di Abitabilita' Stellare



La regione di abitabilita' (HZ) in blu e' la distanza da una stella dove l'acqua liquida puo' esistere sulla superficie di un pianeta.



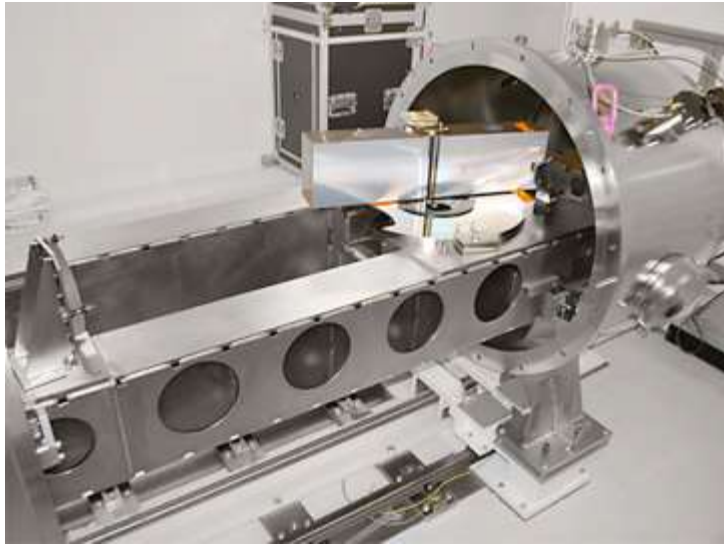
Atmosfera planetaria:

- scudo dalle radiazioni ultraviolette
- effetto serra: mantiene “caldo” il pianeta
- protezione dai meteoriti

Magnetosfera: protezione da particelle energetiche (raggi cosmici e protoni del vento solare) dannose per la vita

La presenza di satelliti: stabilizzazione dell'inclinazione del pianeta e quindi del suo clima

Lo spettrografo HARPS-North



- Permette di misurare variazioni della velocità stellare per effetto Doppler di 1 m/s (quella di una veloce camminata!)

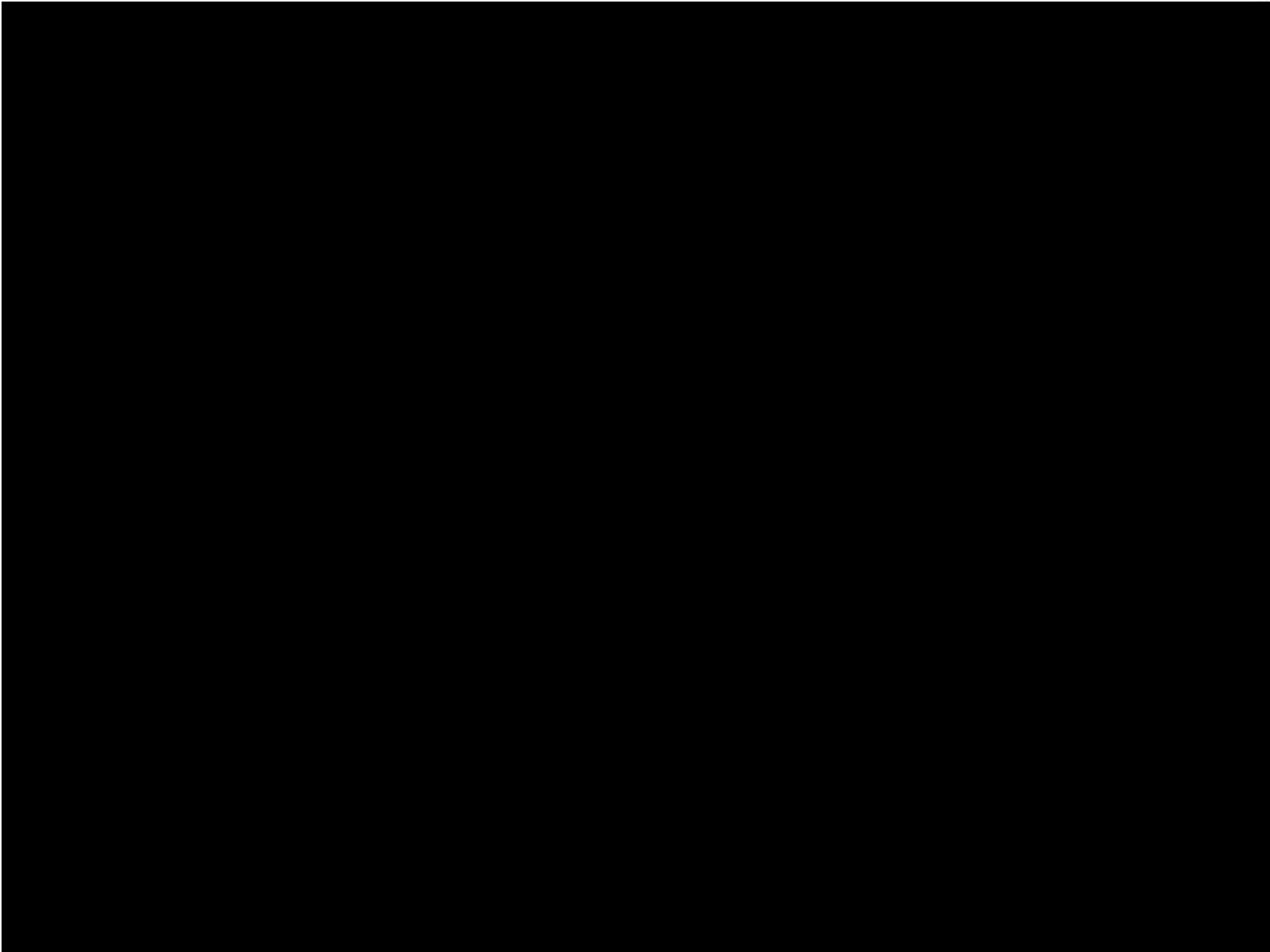
- E' stato installato ad aprile 2012 presso il Telescopio Nazionale Galileo che si trova alle Canarie (La Palma)



Inaugurazione di HARPS-N al TNG





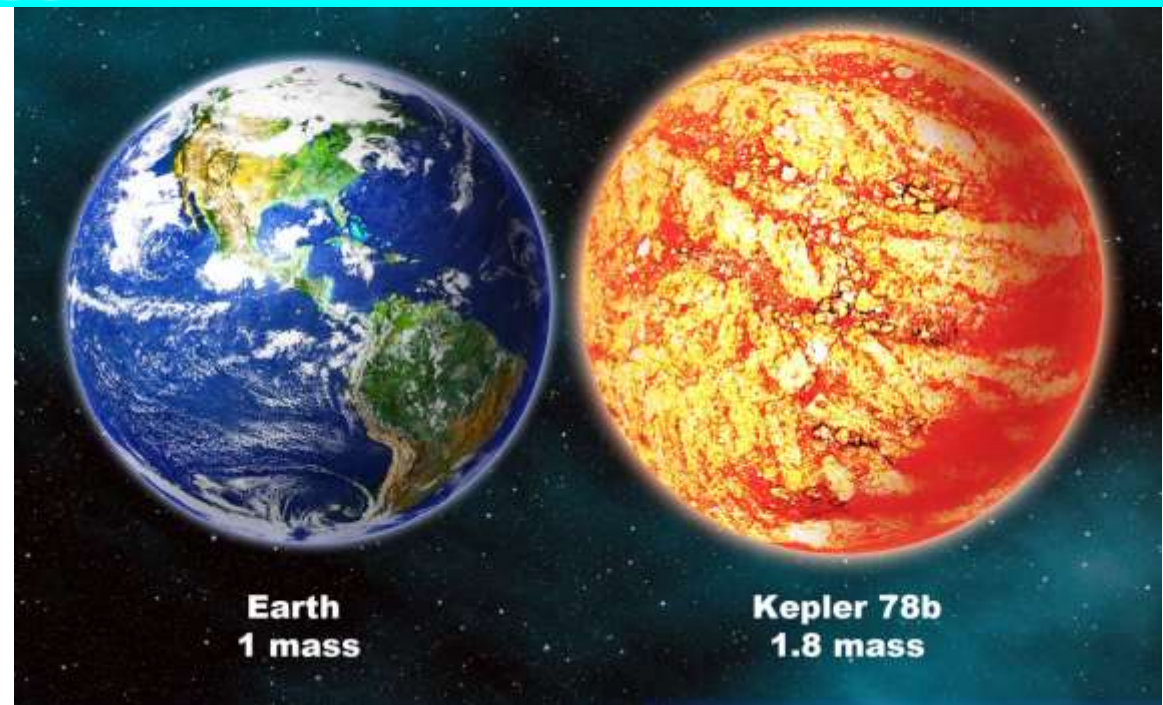


An Earth-sized planet with an Earth-like density

Francesco Pepe¹, Andrew Collier Cameron², David W. Latham³, Emilio Molinari^{4,5}, Stéphane Udry¹, Aldo S. Bonomo⁶, Lars A. Buchhave^{3,7}, David Charbonneau³, Rosario Cosentino^{4,8}, Courtney D. Dressing³, Xavier Dumusque³, Pedro Figueira⁹, Aldo F. M. Fiorenzano⁴, Sara Gettel³, Avet Harutyunyan⁴, Raphaëlle D. Haywood², Keith Horne², Mercedes Lopez-Morales³, Christophe Lovis¹, Luca Malavolta^{10,11}, Michel Mayor¹, Giusi Micela¹², Fatemeh Motalebi¹, Valerio Nascimbeni¹¹, David Phillips³, Giampaolo Piotto^{10,11}, Don Pollacco¹³, Didier Queloz^{1,14}, Ken Rice¹⁵, Dimitar Sasselov³, Damien Ségransan¹, Alessandro Sozzetti⁶, Andrew Szentgyorgyi³ & Christopher A. Watson¹⁶

L'oggetto piu' simile alla Terra mai scoperto!

**Misurato grazie al
cacciatore di pianeti
HARPS-N@TNG**

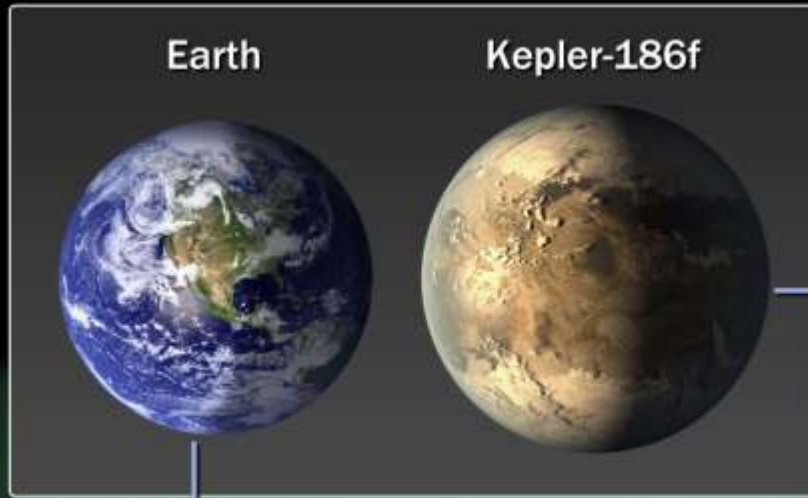


Una Terra sì', ma 'Infernale'

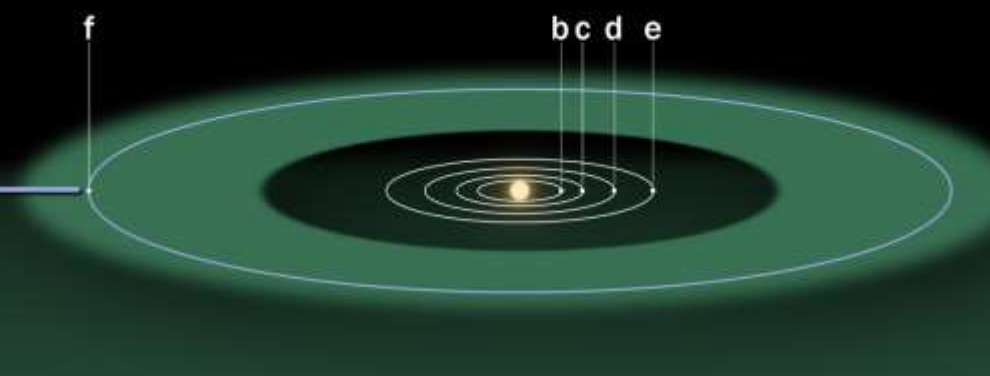


Un anno dura 8.5 hr su Kepler-78b. 3000 K di temperatura superficiale!

Kepler-186f



Kepler-186 System

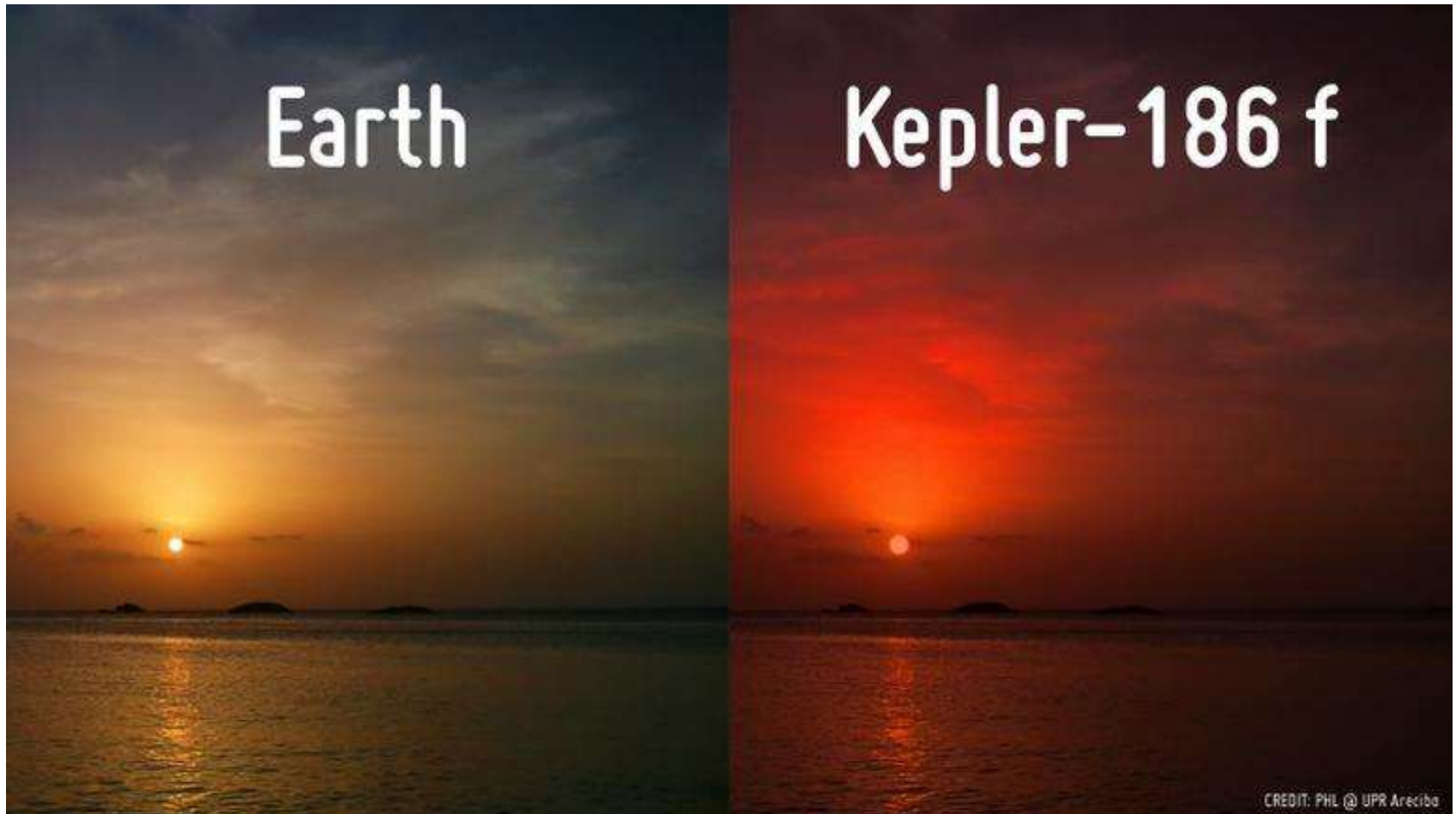


Solar System

Earth Venus Mercury

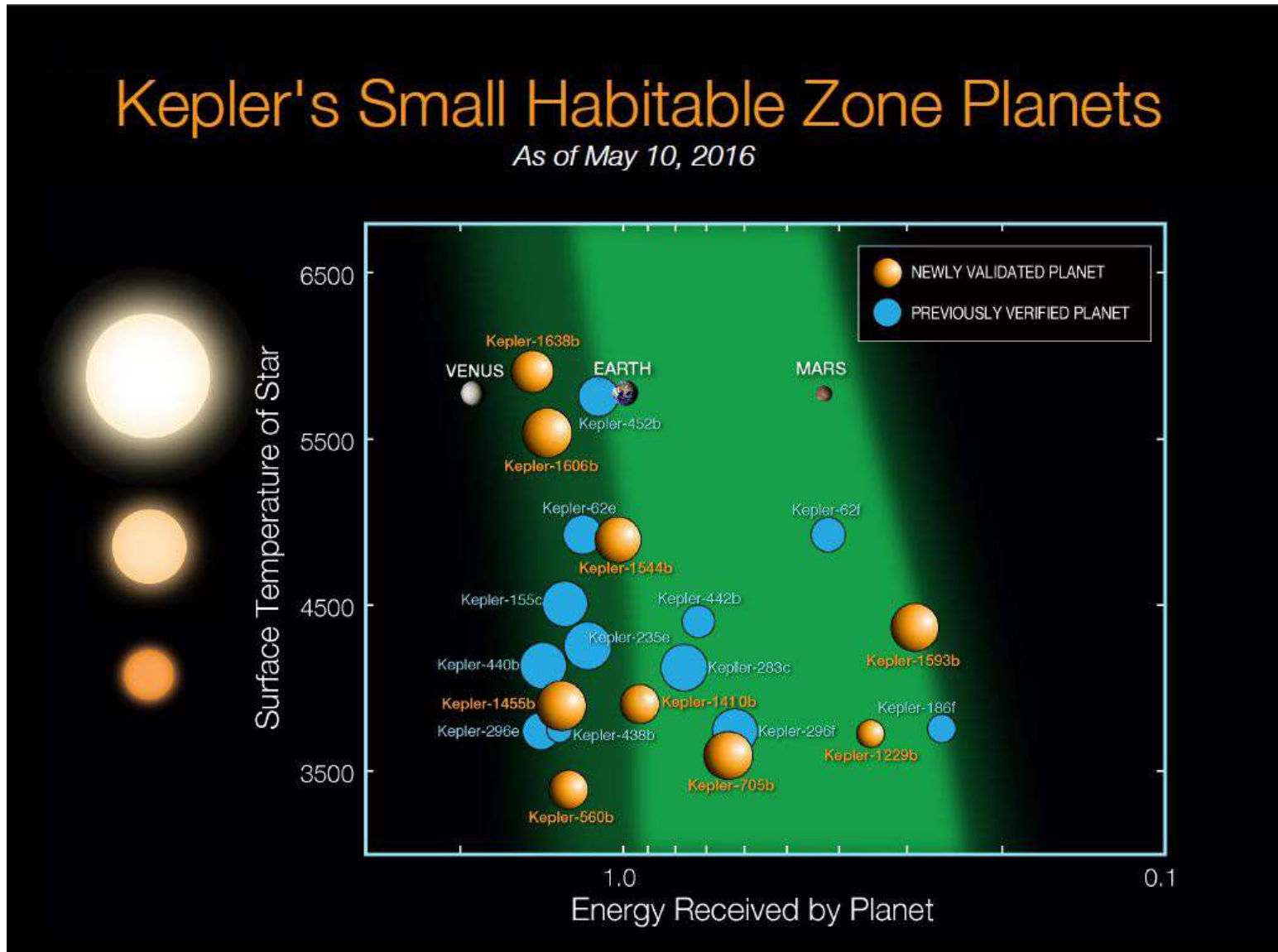
Planets and orbits to scale

Un pianeta potenzialmente abitabile (?), con il raggio della Terra!

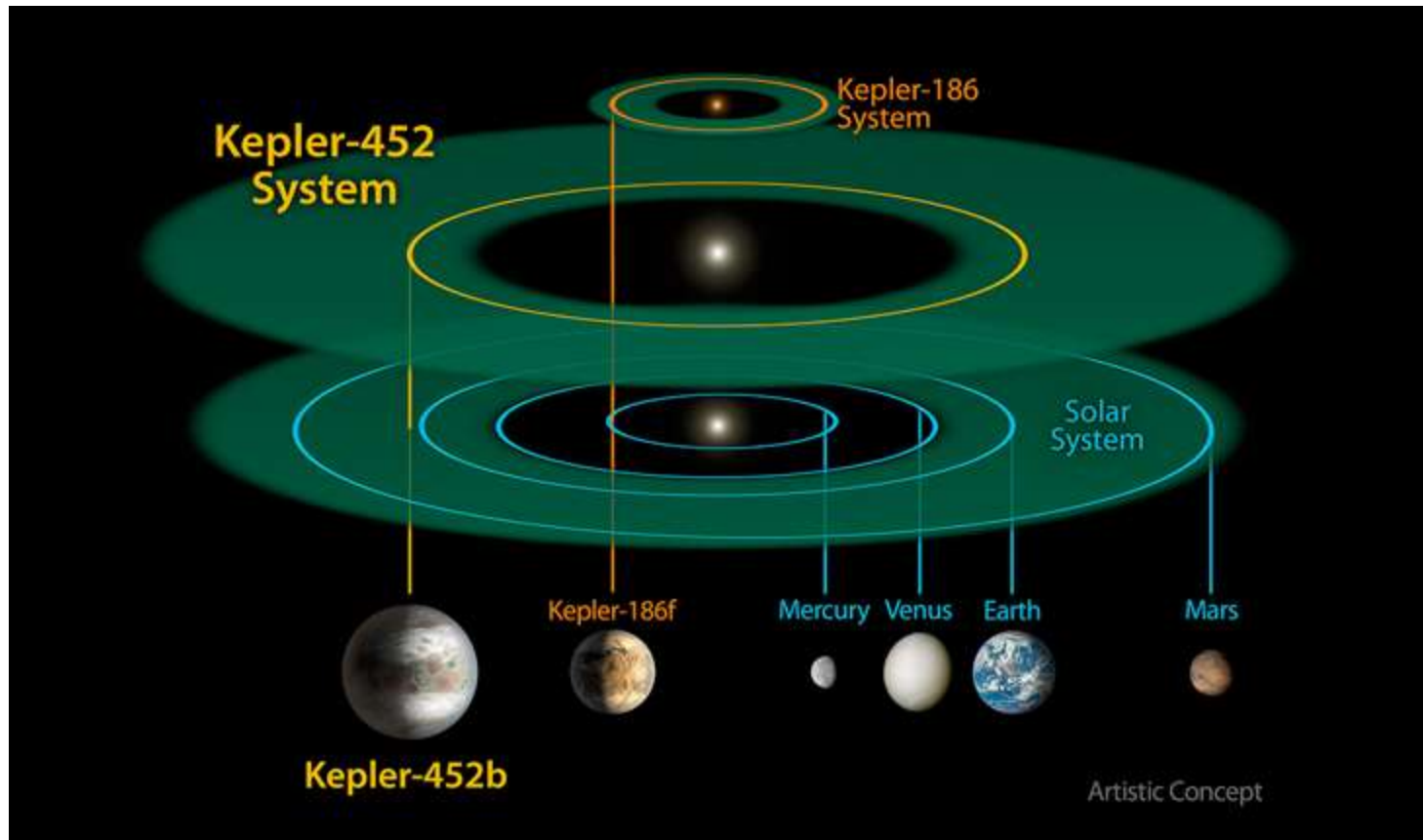


Kepler's Small Habitable Zone Planets

As of May 10, 2016



Kepler-452b: il pianeta più simile alla Terra?

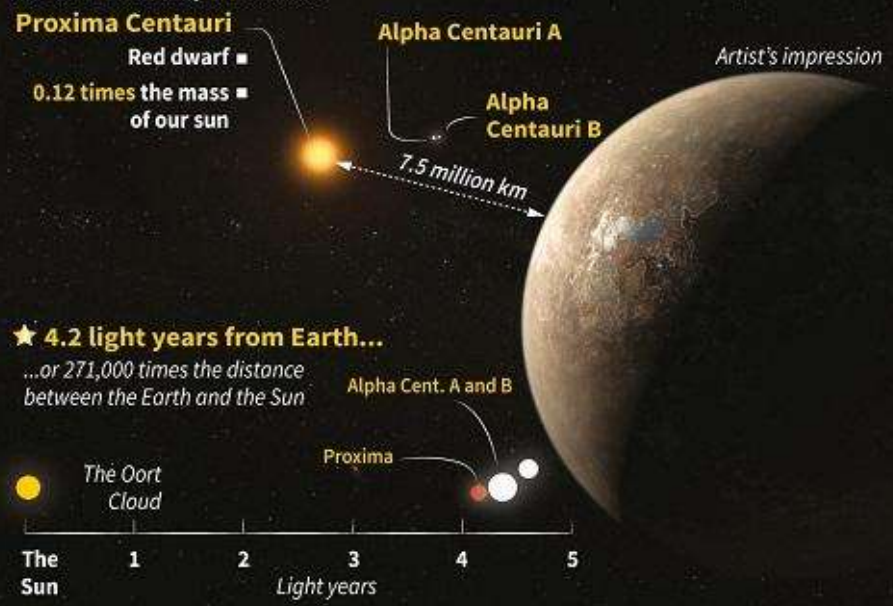


Ha un raggio di $1.6 R_{\oplus}$ e orbita nella zona abitabile di una stella simile al nostro Sole. Tuttavia, la sua stella è troppo lontana (~ 1400 anni luce) e perciò debole per riuscire a determinare la massa del pianeta, capire se possiede un'atmosfera e studiarla.

Earth-sized planet found in nearby solar system



The three stars of Alpha Centauri



Proxima b

- Rocky planet
- Mass: **1,3 times bigger** than Earth
- Orbit: **11.2 days**
- Temperature: compatible with presence of **water in its liquid state**
- Ultra-violet and x-rays **100 times stronger** than on Earth

Proxima Cen b

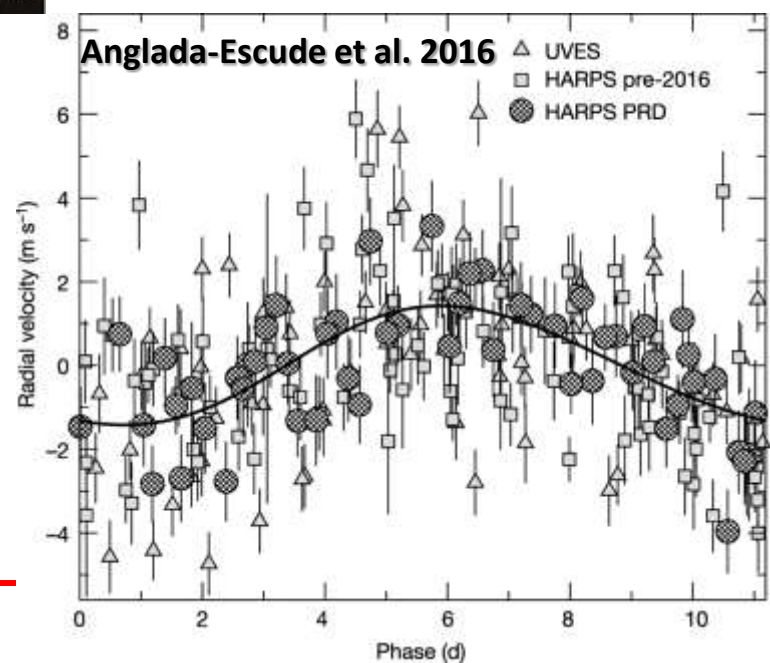
Segnale = 1.4 m/s

216 osservazioni in 16 anni

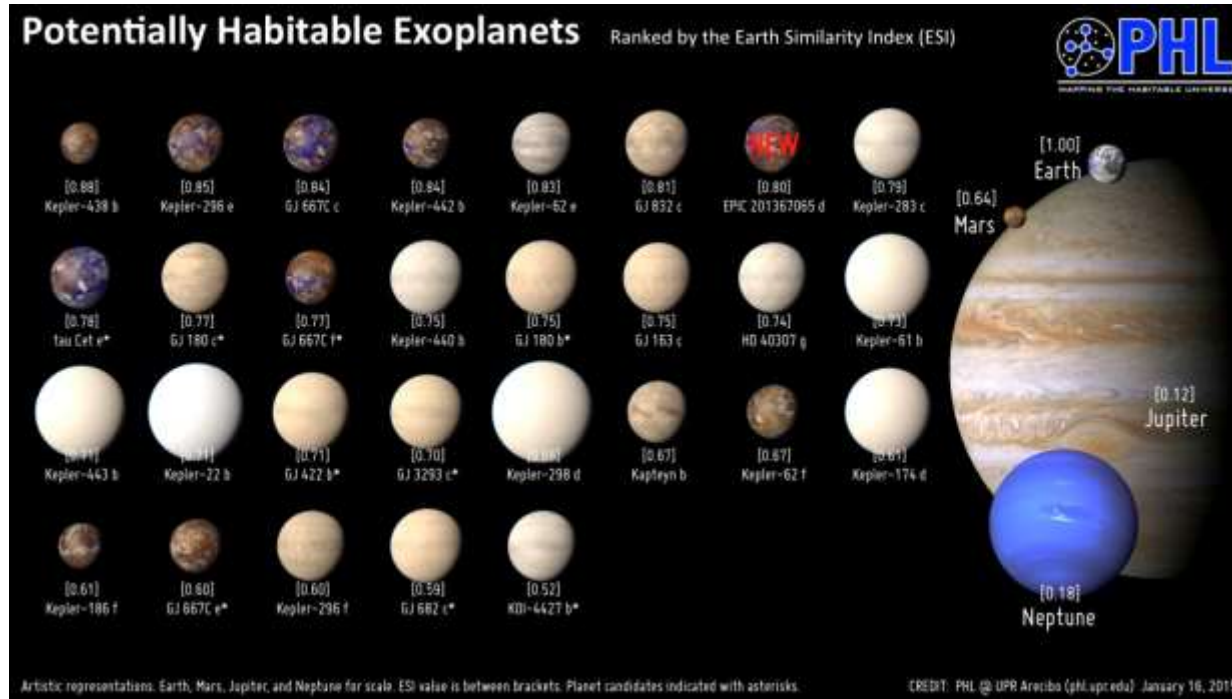
Sources: Nature, ESO/MKornmesser

© AFP

PLANET: Proxima B	
PROPERTY	VALUE
Planet Type	M-Warm Terran [1]
Mass	$\geq 1.27 \pm 0.18 M_{\oplus}$
Radius	$\sim 1.1 R_{\oplus}$ [2]
Period	11.186 ± 0.002 days
Semi-Major Axis	0.0485 ± 0.0046 AU
Stellar Flux	$0.70 S_{\oplus}$ [3]
Equilibrium Temp.	227 K [4]



Pianeti Terrestri, ma 'Abitabili'?



* Tipicamente orbitano stelle piu' piccole del nostro Sole

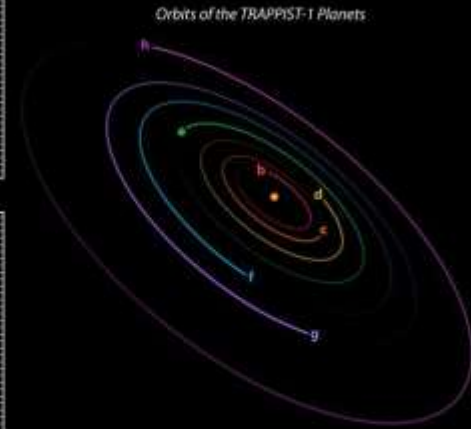
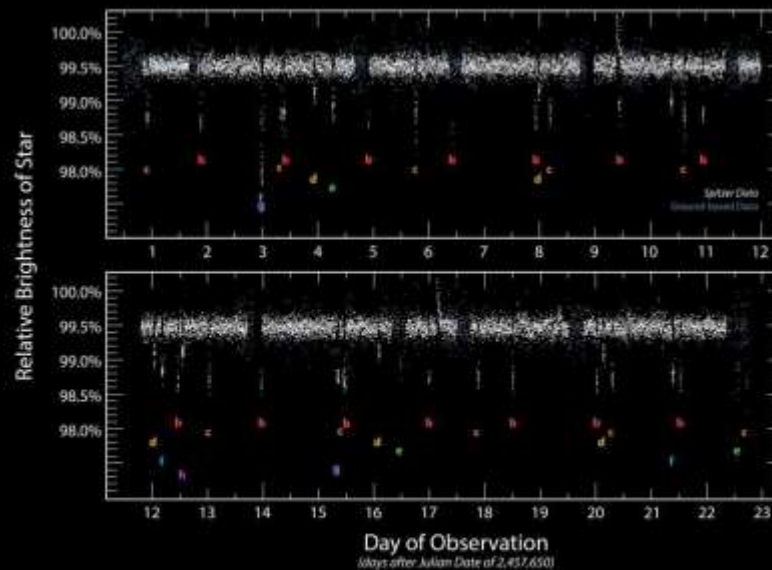
* In alcuni casi se ne conosce solo la massa, non il raggio

* In altri casi si conoscono solo i raggi, la massa e' incognita



7 Pianeti per TRAPPIST-1

- 1) Sistema eccezionale!
- 2) Per la prima volta si comincia a capire di cosa siano fatti i pianeti nella regione abitabile (d, e, f)
- 3) In futuro forse vedremo se hanno un'atmosfera!
- 4) La stella e' pero' davvero strana: grande come il nostro Giove, pesa solo l'8% del Sole. E' una 'nana ultra-fredda'

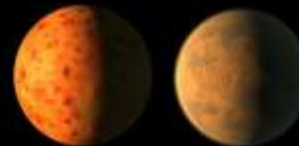


500 Hours of Exoplanet Transits in the TRAPPIST-1 System
NASA/JPL-Caltech/M. Gillon (Univ. of Liege, Belgium)

Spitzer Space Telescope • IRAC

TRAPPIST-1 System

Orbital Period
days
Distance to Star
Astronomical Units (AU)
Planet Radius
relative to Earth
Planet Mass
relative to Earth



b	c
1.51 days	2.42 days
0.011 AU	0.015 AU
1.09 R_{Earth}	1.06 R_{Earth}
0.85 M_{Earth}	1.38 M_{Earth}



d	e	f
4.05 days	6.10 days	9.21 days
0.021 AU	0.028 AU	0.037 AU
0.77 R_{Earth}	0.92 R_{Earth}	1.04 R_{Earth}
0.41 M_{Earth}	0.62 M_{Earth}	0.68 M_{Earth}



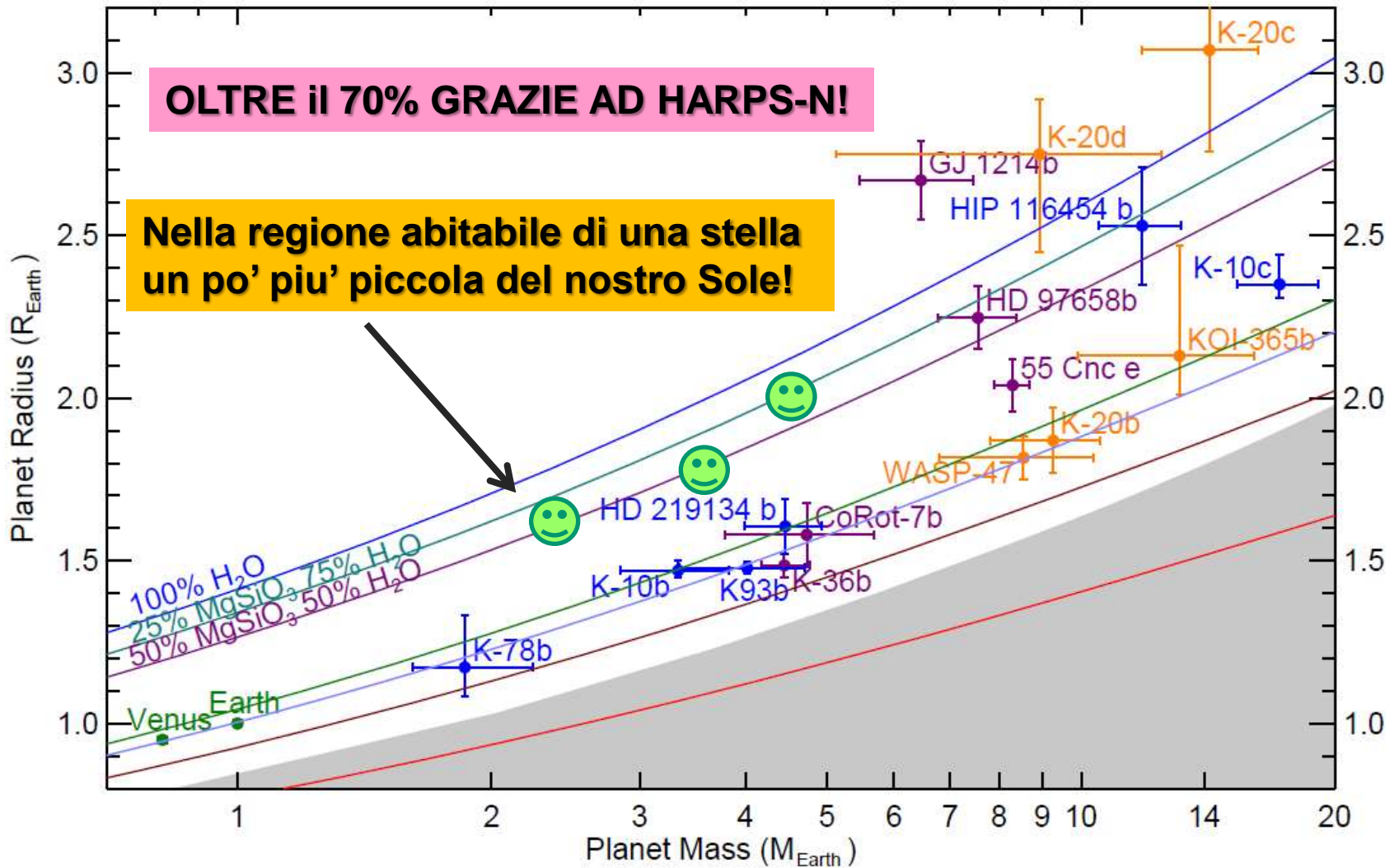
g	h
12.35 days	~20 days
0.045 AU	~0.06 AU
1.13 R_{Earth}	0.76 R_{Earth}
1.34 M_{Earth}	-

Solar System
Rocky Planets

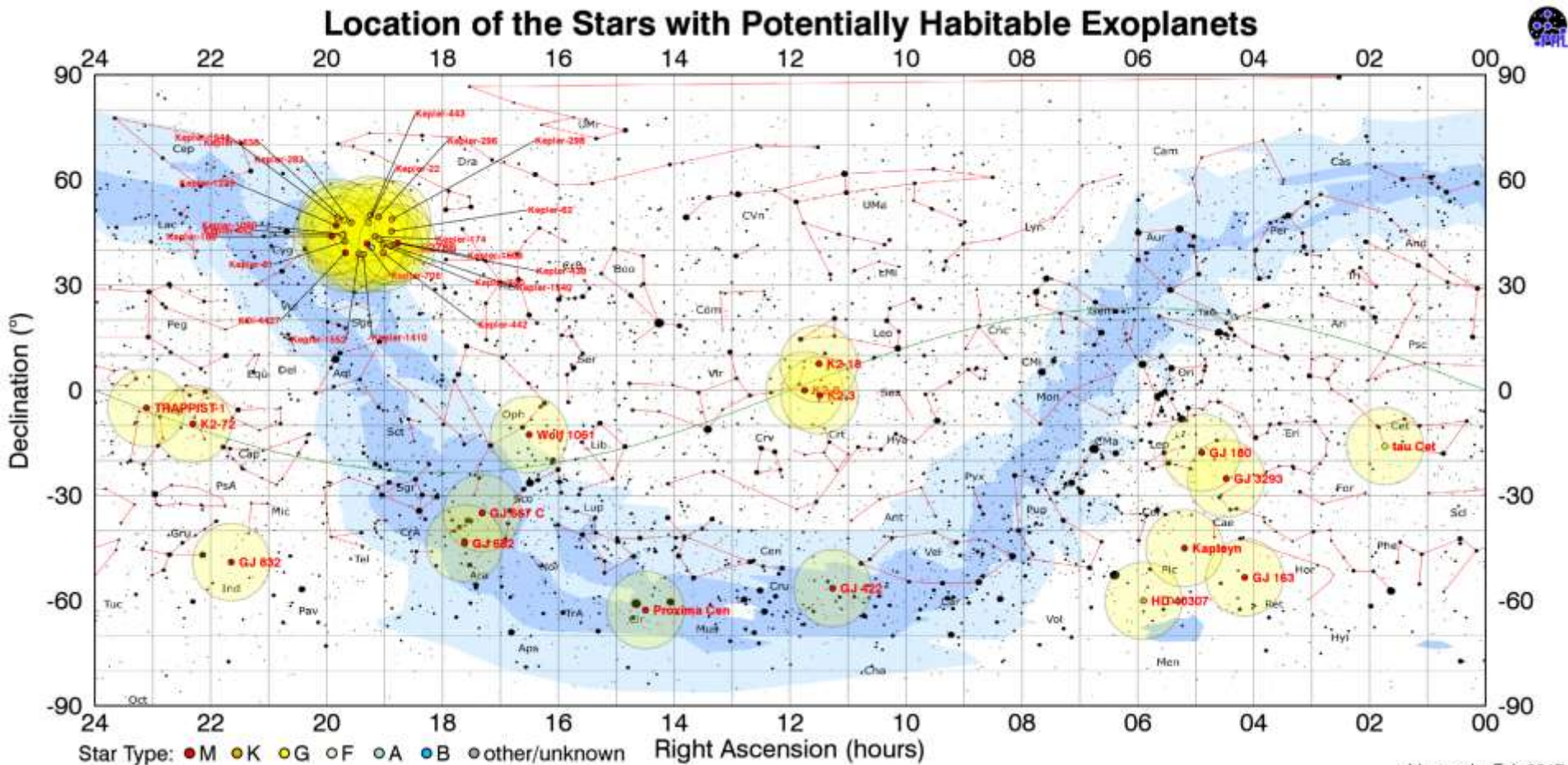
Orbital Period
days
Distance to Star
Astronomical Units (AU)
Planet Radius
relative to Earth
Planet Mass
relative to Earth



Struttura dei Pianeti Terrestri



OVUNQUE NELLA NOSTRA GALASSIA!



phl.upr.edu, Feb 2017

Quanti Ce Ne Potranno Essere?

1 in 5 stars harbors an Earth-sized planet in Habitable Zone

Earth-sized planet
in Habitable Zone

Miliardi e Miliardi!

$$N = N^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L/T_g$$

Alla Ricerca di Indicatori di Vita

James Webb Space Telescope
(lancio previsto ad ottobre 2018)



E come sapremo che un pianeta supporta la vita?

European Extremely Large Telescope
D=39 m, prima luce nel 2024



$$N = N^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L/T_g$$

O₃ Ozone, produced by plants, algae



H₂O Liquid water



Studiandone l'atmosfera!



Methane produced by living organisms



ESOPIANETI @ OATo



**Aldo, Mario, Paolo,
Matteo1, Domenico,
Gloria, Matteo2**

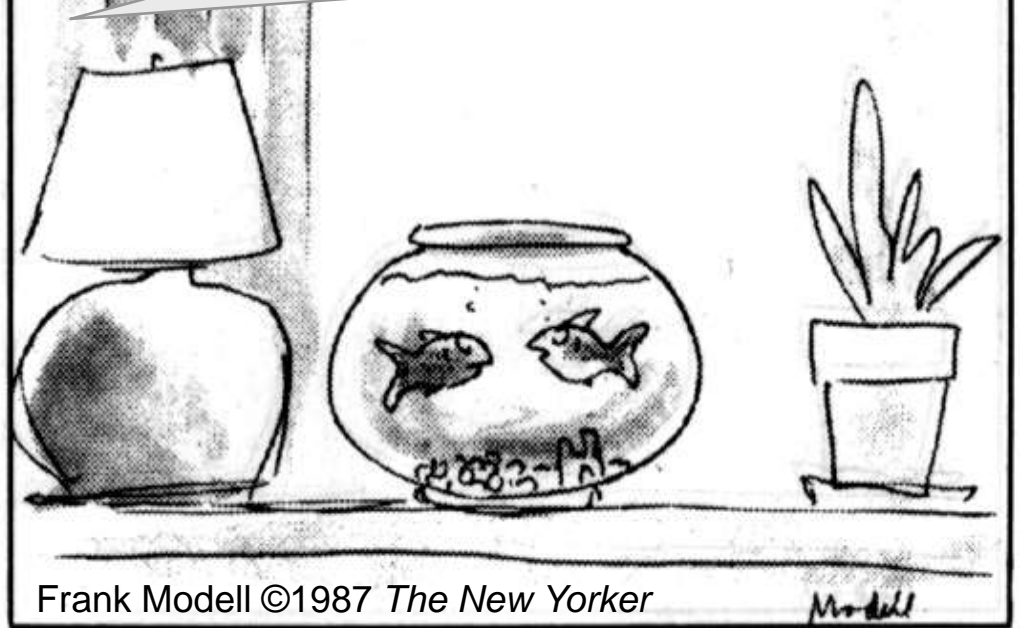


Siamo Soli?

VOI che ne pensate?



"Ti diro' qualcos'altro che penso. Penso che ci siano altre vasche da qualche parte la' fuori con vita intelligente come la nostra."



Frank Modell ©1987 The New Yorker