

# I pianeti extrasolari



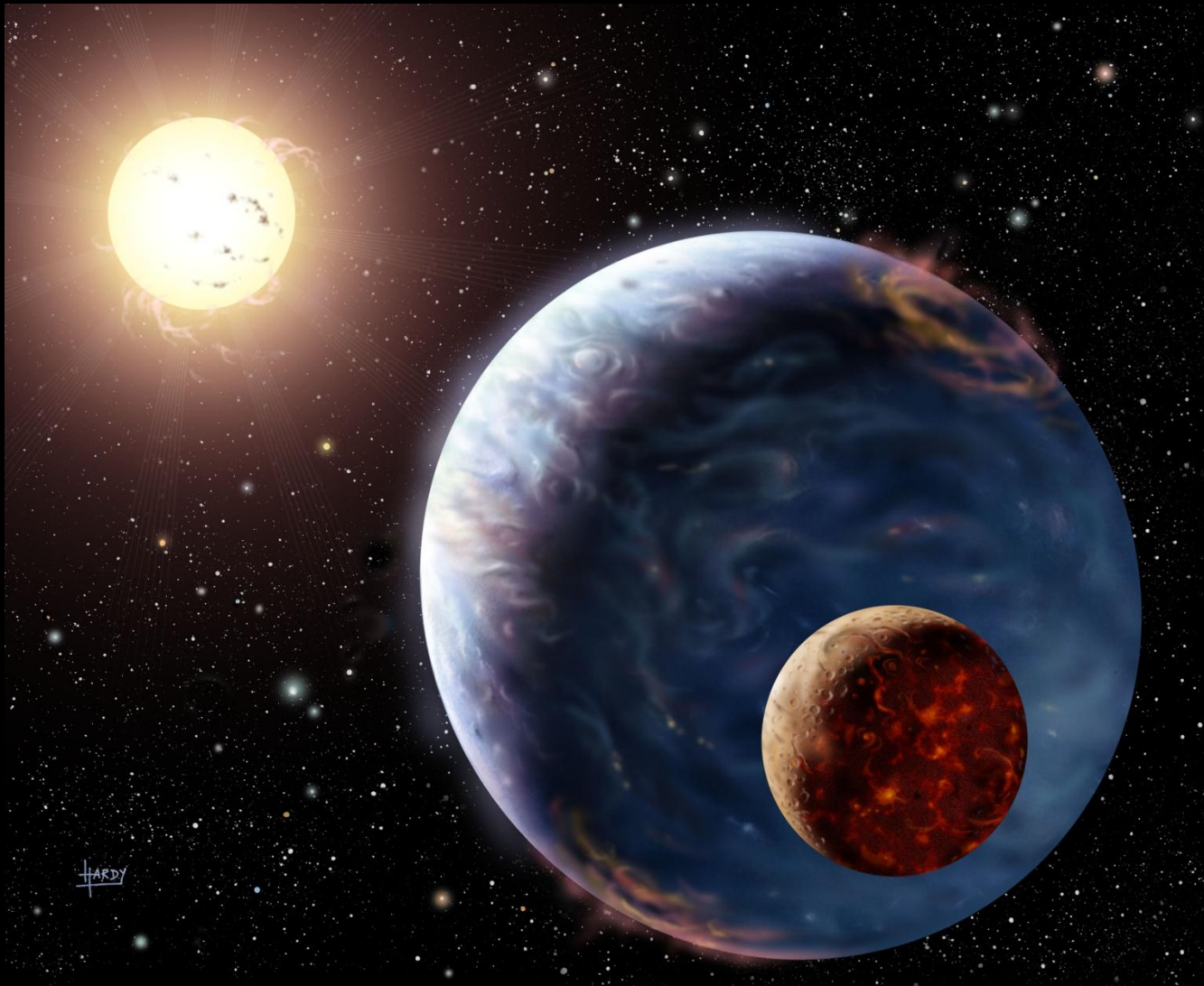
Bedogni Roberto

*INAF Osservatorio Astronomico di Bologna  
via Ranzani, 1 40127 - Bologna - Italia*

<http://www.bo.astro.it/~bedogni/primolevi>

email: [roberto.bedogni@oabo.inaf.it](mailto:roberto.bedogni@oabo.inaf.it)

# I pianeti extrasolari

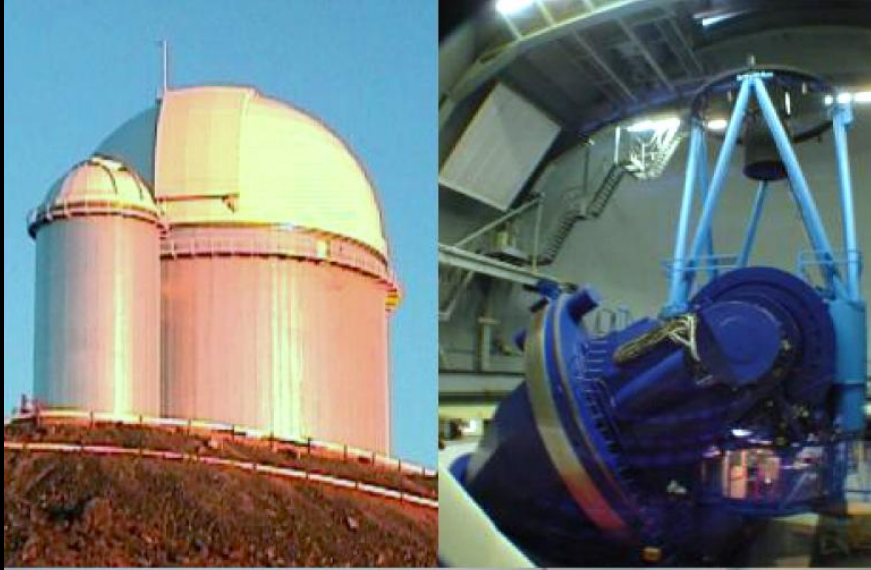


NB: le immagini riportate dei pianeti extrasolari NON sono, salvo esplicita indicazione, immagini «reali» ma «artwork» cioè rappresentazioni artistiche di fantasia

# Storia della scoperta dei Pianeti Extrasolari

- 1952**: Struve propone il metodo delle velocità radiali per la ricerca di pianeti extrasolari
- 1963-1969**: van de Kamp, cerca di applicare il metodo astrometrico alla **Stella di Barnard**
- 1990**- HST (Hubble Telescope) prime misure astrometriche
- 1994** Wolszczan – scopre i primi pianeti attorno a pulsar
- 1995** Queloz/Mayor scoprono il primo pianeta **51 Pegasi b** con il metodo delle velocità radiali
- 1995** Marcy/Butler/Fisher confermano la applicabilità del metodo spettroscopico per i pianeti extrasolari

# HARPS (*High Accuracy Radial velocity Planet Searcher*)



HARPS è uno spettrografo di grande precisione installato nel 2002 sul telescopio di 3,6 metri di diametro dell'ESO posto all'Osservatorio di La Silla, in Cile.

È diventato operativo a febbraio 2003

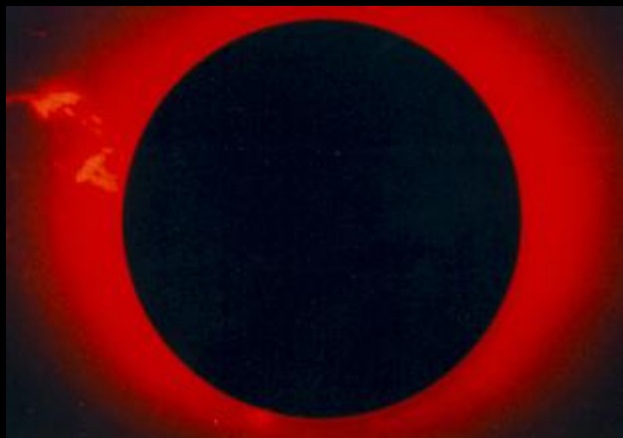
HARPS può raggiungere una precisione di 0,97 m/s (3,5 km/h) nella misura della velocità radiale



Stelle e pianeti

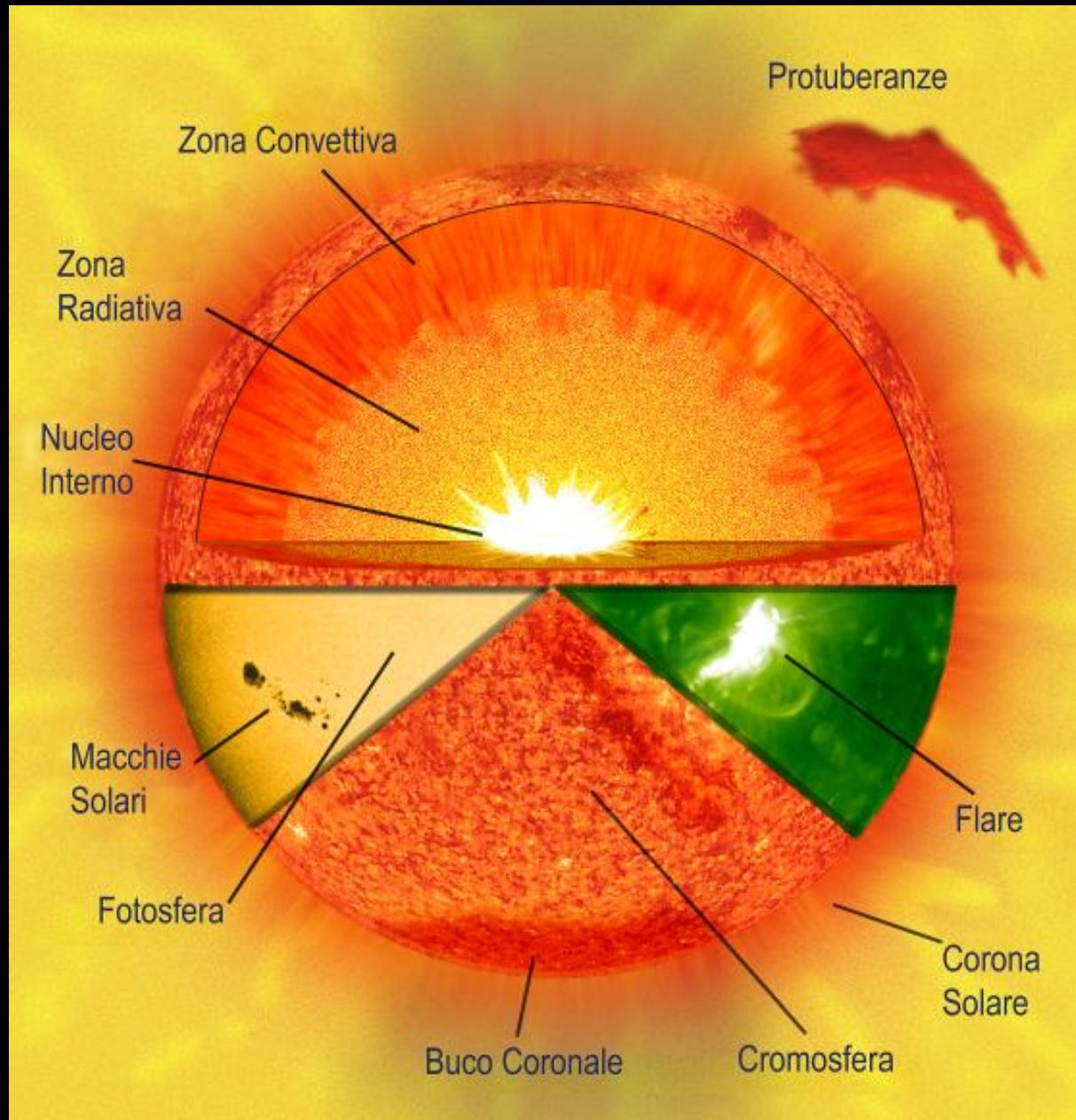
# I parametri fisici della stella "Sole"

Il Sole nella  
riga H  $\alpha$

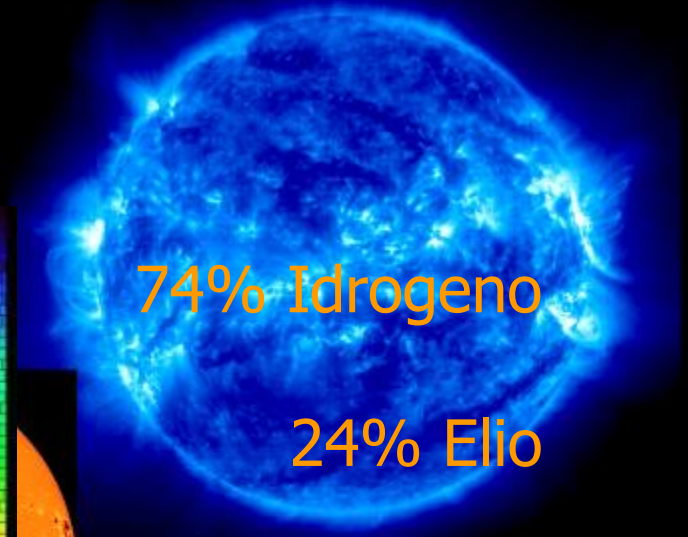
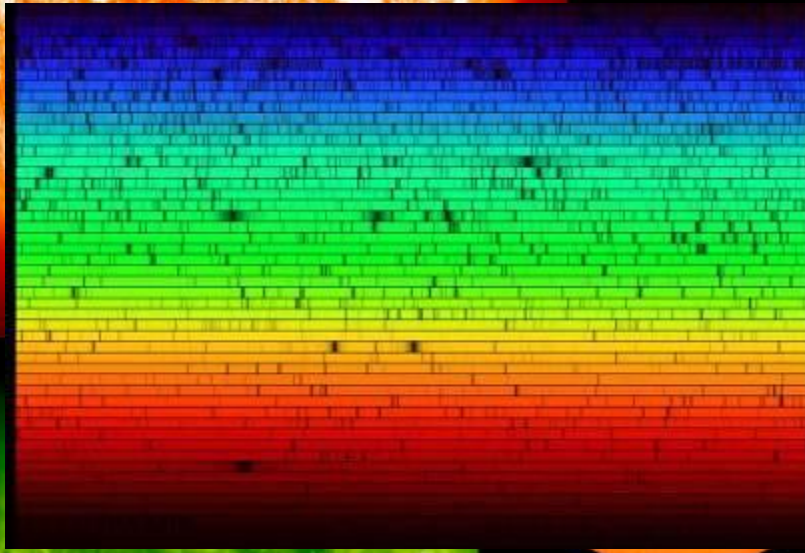
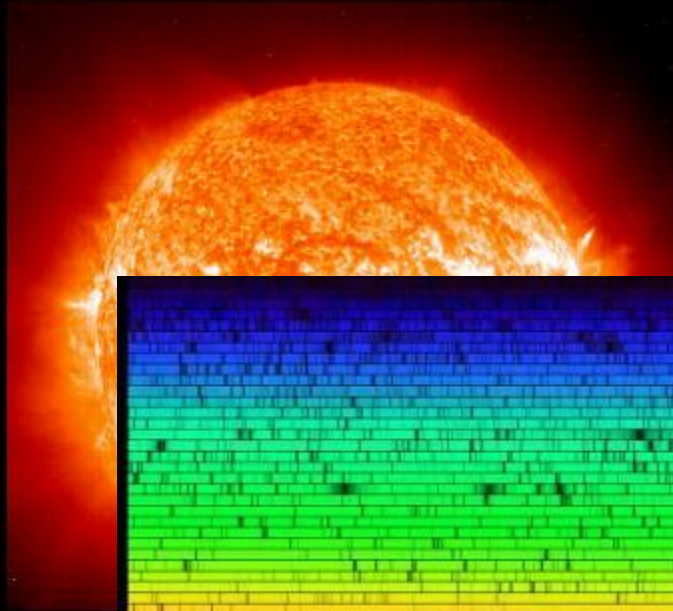


|                                                |                                       |
|------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Distanza (km)                                  | 149 597 970 km $\pm 2$                |
| Massa (kg)                                     | $1,989 \times 10^{30}$                |
| Massa                                          | <b>332 830 <math>M_{\odot}</math></b> |
| Raggio equatoriale (km)                        | 695 000                               |
| Raggio equatoriale                             | <b>109 <math>R_{\odot}</math></b>     |
| Periodo di rotazione (giorni)                  | 25-36                                 |
| Densità media (kg/m <sup>3</sup> )             | 1410                                  |
| Densità media (gr/cm <sup>3</sup> )            | 1,410                                 |
| Velocità di fuga (km/sec)                      | 618                                   |
| Accelerazione di gravità (m/sec <sup>2</sup> ) | 274                                   |
| Temperatura superficiale (°K)                  | 5780                                  |
| Luminosità (J/s)                               | $3,86 \times 10^{26}$                 |
| Magnitudine visuale                            | -26,8                                 |
| Magnitudine assoluta bol.                      | 4,74                                  |
| Età (miliardi di anni)                         | 4,55                                  |
| Tipo spettrale                                 | <b>G2V</b>                            |

# Come è fatto il Sole



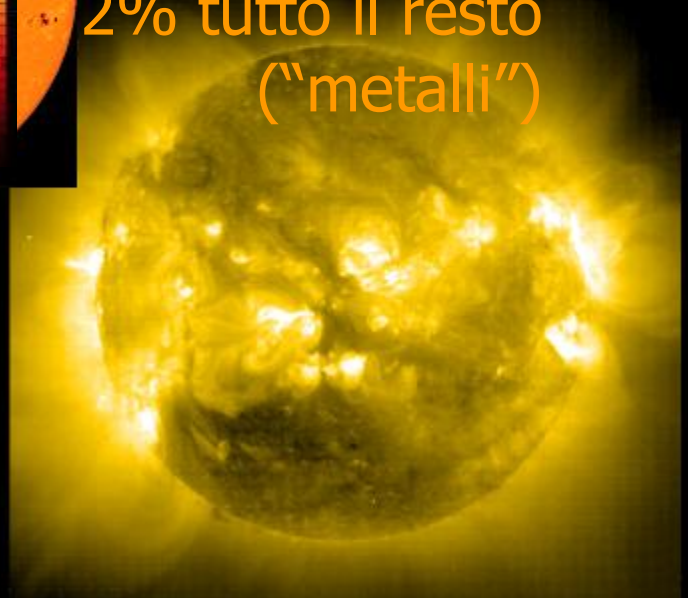
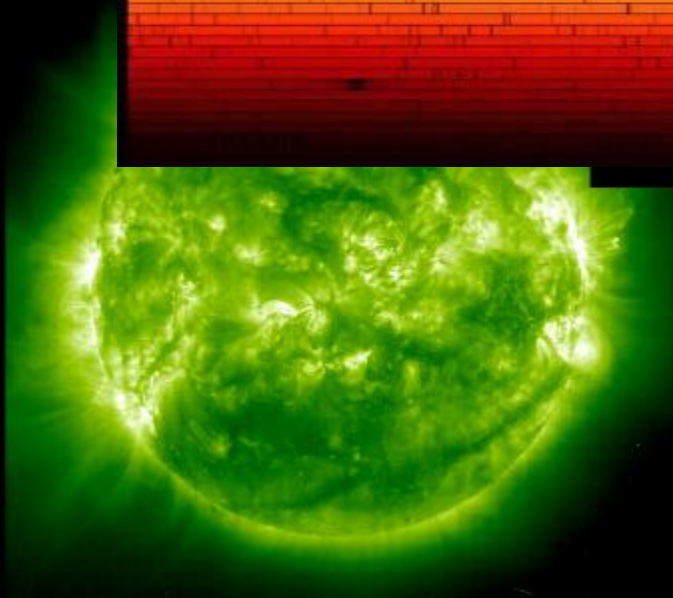
# Composizione chimica del Sole



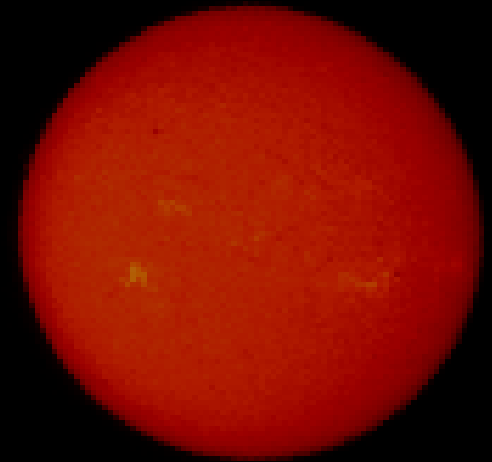
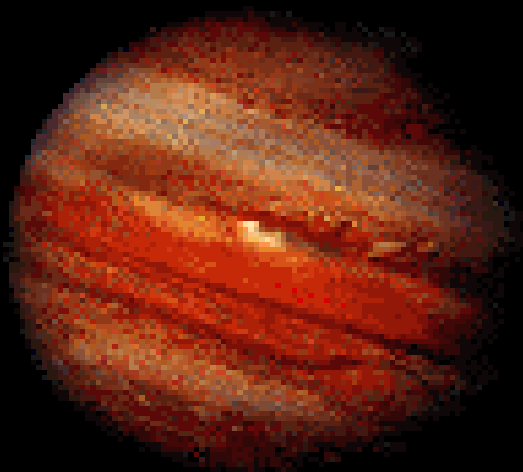
74% Idrogeno

24% Elio

2% tutto il resto  
("metalli")



# Stelle e pianeti



Stella - oggetto autogravitante che durante la sua evoluzione abbia prodotto la sua energia interna tramite reazioni nucleari.

Pianeta - corpo celeste che non sarà mai in grado di innescare le reazioni nucleari.

# Dalle stelle ai pianeti

## Stelle

La teoria dell'evoluzione stellare mostra che la massa minima per produrre l'innesco delle reazioni nucleari dell'Idrogeno è di circa:

0,08  $M_{\odot}$  (Masse Solari) che corrispondono a circa 80  $M_{\text{G}}$  (Masse Gioviane)

## Nane Brune

Ulteriori studi però hanno ridotto questo valore in quanto si è dimostrato che un oggetto celeste, con una sufficiente quantità Deuterio, può innescarne il bruciamento. La massa minima in questo caso si riduce a:

0,01  $M_{\odot}$  (Masse Solari) che corrispondono a 14-15  $M_{\text{G}}$  (Masse Gioviane)

## Pianeti Giganti e Pianeti Rocciosi

E' inoltre possibile avere corpi non stellari con produzione di energia per contrazione gravitazionale, come ad esempio i pianeti giganti del Sistema solare, che presentano un eccesso di energia prodotta nel loro interno.

Per i pianeti rocciosi l'energia interna (attività geologica) deriva o dal raffreddamento dopo la formazione (per impatti) oppure dal decadimento radioattivo (nucleo e mantello)

Nane Brune

# Le "Nane Brune" – al confine con i pianeti gassosi

Proprietà del Nucleo  
di una Nana Bruna

$$\rho \sim 10 - 1000 \text{ gr/cm}^3$$

$$T_c \leq 3 \cdot 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$P_c \sim 10^5 \text{ Mbar}$$

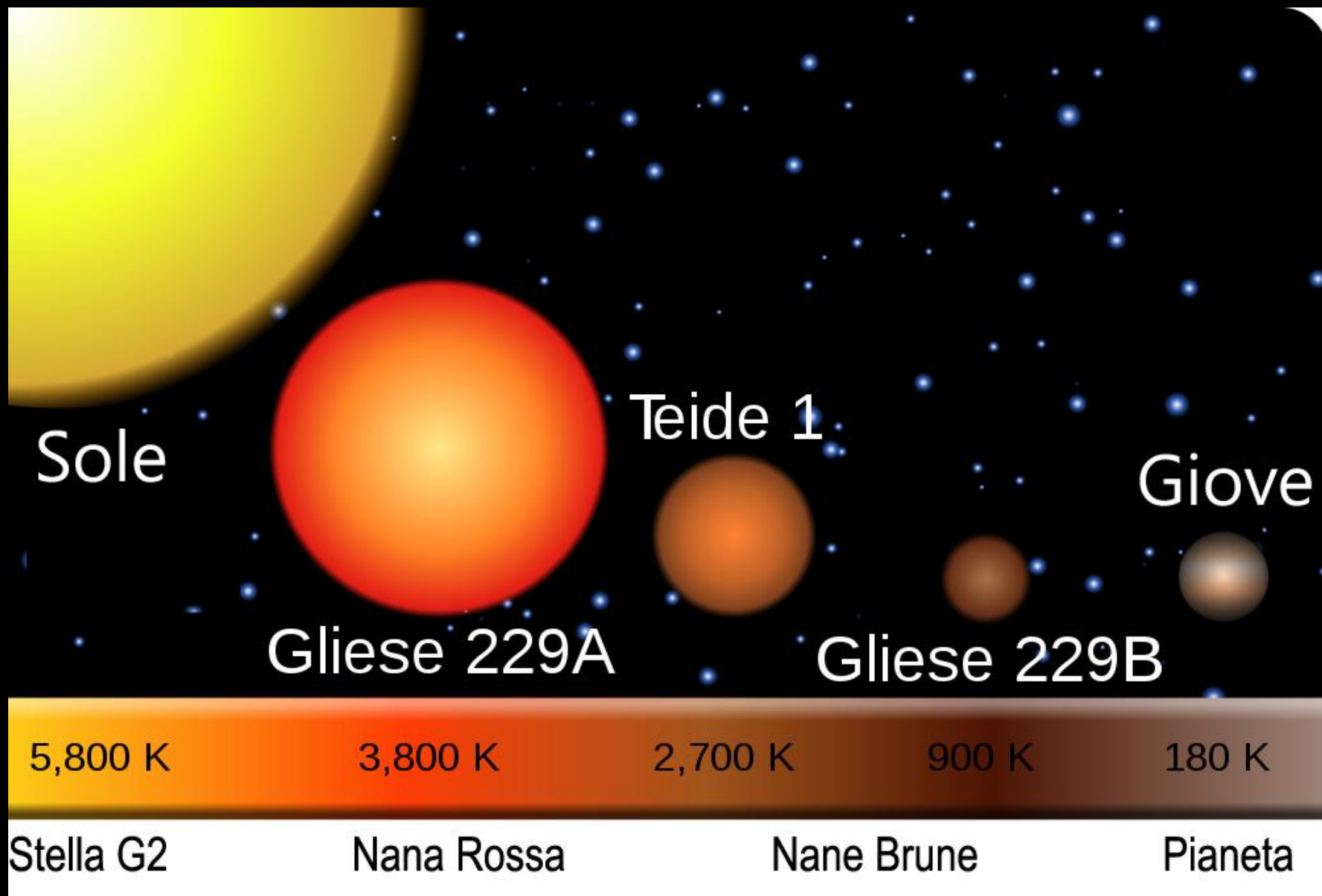


Le "Nane Brune" si formano come le stelle ma non accumulano abbastanza massa da generare le alte temperature capaci di innescare la fusione nucleare dell'Idrogeno fino a  $0,08 M_{\odot}$  nel loro nucleo ma è permesso il bruciamento del Deuterio.

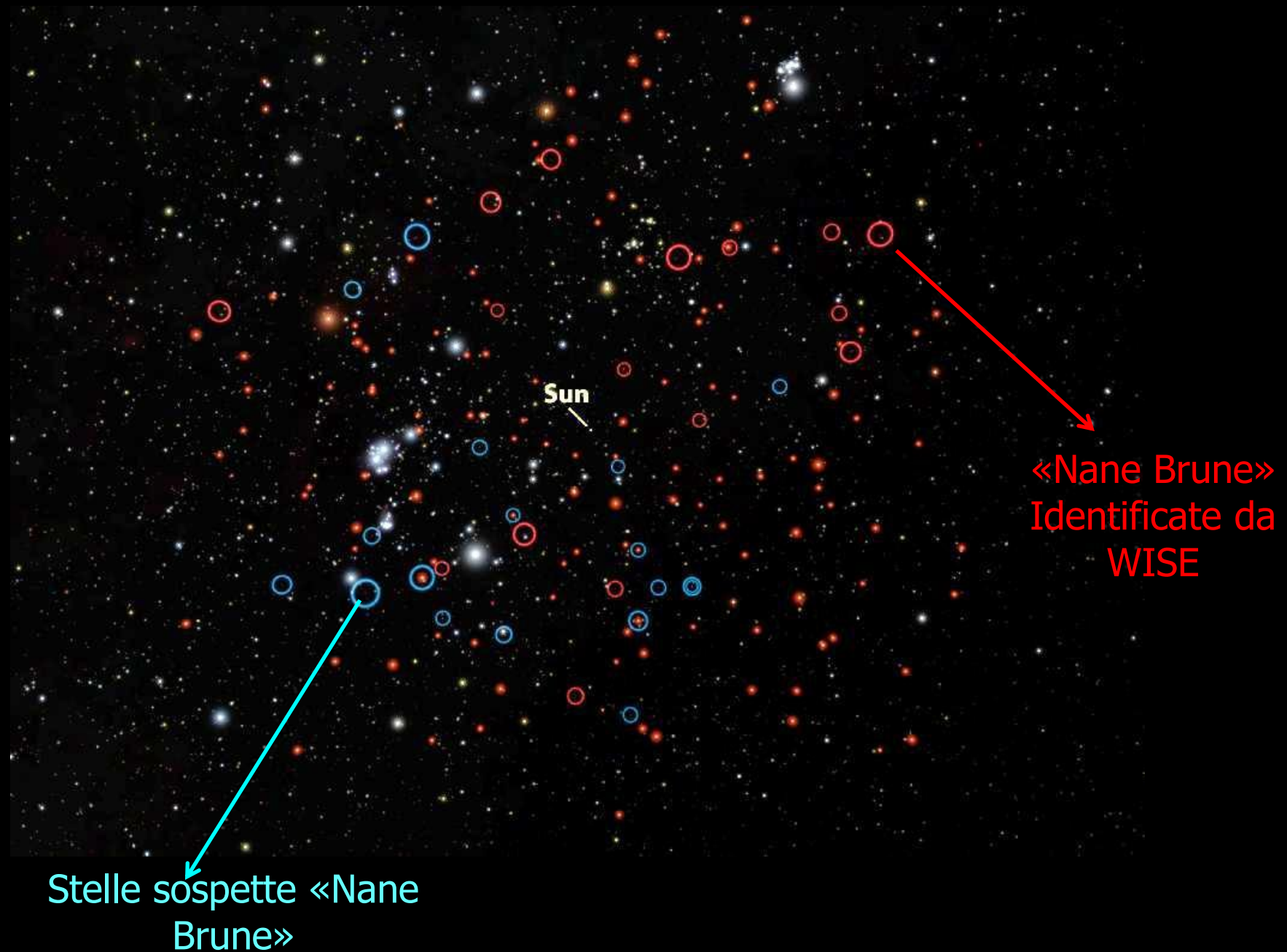
Il meccanismo di rilascio dell'energia per masse  $< 0,012$  masse solari è dovuto a lenta contrazione termica

NB anche le "Nane Brune" possono orbitare in un sistema binario.

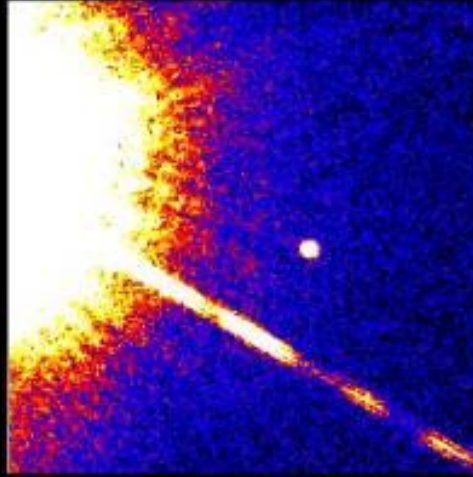
# "Nane Brune" osservate



# Le "Nane Brune" : WISE Wide-field Infrared Survey



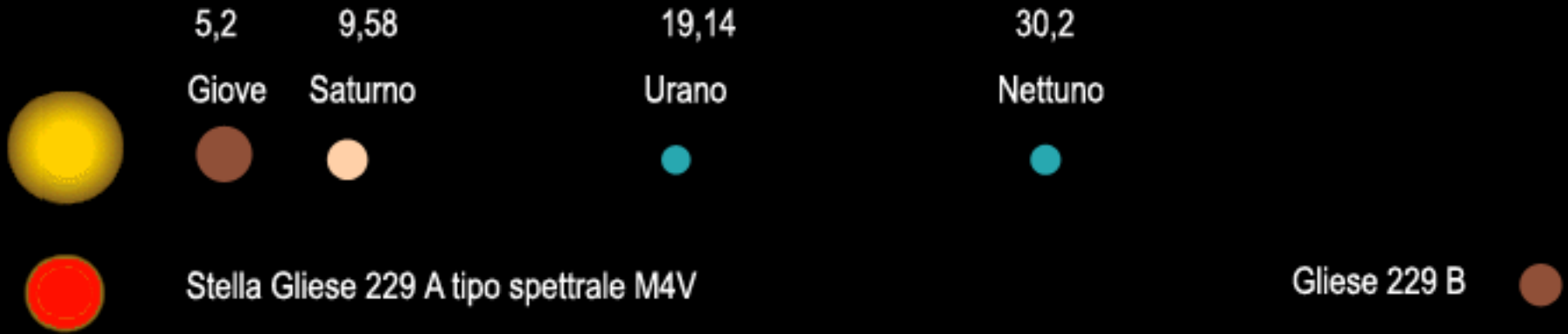
# Il sistema binario Gliese 229 A e B



Vista del Sistema Gliese 229 A e B ottenute con il Telescopio Spaziale HTS

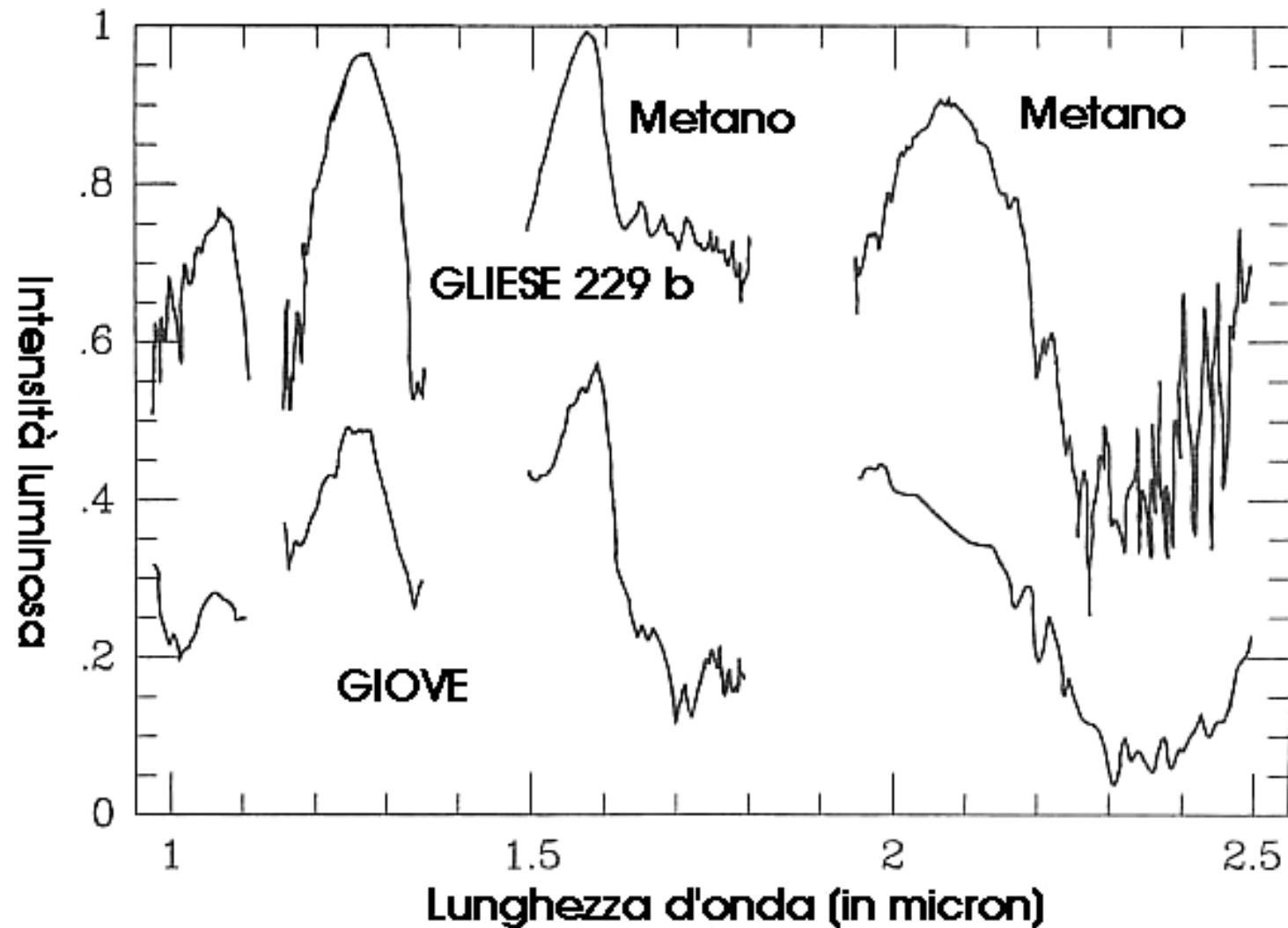
|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| Stella              | Gliese 229 A         |
| Distanza            | 19 a.l.              |
| Tipo spettrale      | M1V Nana Rossa       |
| Massa               | 0,31 $M_{\odot}$     |
| Età                 | --- Gyr              |
| Raggio              | 0,6 $R_{\odot}$      |
| Temperatura         | 3720 ° K             |
| Luminosità          | $L=0,0161 L_{\odot}$ |
| Magnitudine Visuale | 8,14                 |
| Metallicità [Fe/H]  | 0,2                  |

# La Nana Bruna Gliese 229 B



|                                   |                                       |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Nana Bruna                        | Gliese 299 B                          |
| Scoperta nel                      | 1995 Tadashi Nakajima                 |
| Tipo spettrale                    | T7P                                   |
| Massa                             | $\sim 40 M_G$ 0,024 - 0,062 $M_\odot$ |
| Raggio                            | 0,12 $R_\odot$                        |
| Temperatura                       | 1020 K (media)                        |
| Luminosità                        | $L=5,8 \cdot 10^{-6} L_\odot$         |
| Magnitudine visuale               | 31,81                                 |
| Periodo di rotazione su se stessa | 0,2 giorni (circa 6 ore)              |
| Periodo attorno a Gliese 229 A    | 200 anni                              |
| Semiasse Maggiore                 | 40 U.A.                               |

# Lo spettro della Nana Bruna Gliese 229 B



# Alcune Nane Brune scoperte

| Titolo                    | Nome della Nana Bruna          | Tipo spettrale | Coordinate RA/Dec                                                | Note               |
|---------------------------|--------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Prima Nana Bruna scoperta | Gliese 229 B                   | T6.5           | 06 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> 34.62 <sup>s</sup> - 21°51'52.1" | 1994               |
| Prima verifica            | Teide 1                        | M8             | 3 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup> 18.0 <sup>s</sup> +24°22'31"      | 1995               |
| Prima con un pianeta      | 2MASSW J1207334-393254         | M8             | 12 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup> 33.47 <sup>s</sup> - 39°32'54.0" |                    |
| Sistema binario           | Epsilon Indi Ba, Bb            | T1 + T6        |                                                                  | Distanza: 3,626 pc |
| Sistema triplo            | DENIS-P J020529.0-115925 A/B/C | L5, L8 and T0  | 02 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup> 29.40 <sup>s</sup> - 11°59'29.7" |                    |
| Tardo tipo spettrale      | ULAS J0034-00                  | T9             |                                                                  | 2007               |
| Con emissione X           | Cha Halpha 1                   | M8             |                                                                  | 1998               |
| Con brillamenti X         | LP 944-20                      | M9V            | 03 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> 35.22 <sup>s</sup> - 35°25'44.1" | 1999               |

# Pianeti extrasolari

# L'Enciclopedia dei Pianeti Extrasolari



The screenshot shows the Exoplanet.eu website. At the top, there is a navigation bar with flags of various countries and a menu with links: Inizio, Catalog, Diagrams, Bibliografia, Searches, Congressi, Altri Siti, and VO. The main content area is divided into several sections. On the left, there is a large heading 'The Extrasolar Planets Encyclopaedia' followed by a brief history and contact information. To the right of this, there are two boxes: 'Catalog' with a calendar icon and 'Diagrams' with a 3D pie chart icon. Below these, there are four more sections: 'News' with a list of recent discoveries, 'Informazioni introduttive', 'Bibliografia', 'Searches', 'Congressi', 'Lavoro teorico', 'Altri siti', and 'Other tools'. Each section has a brief description and a 'Last update' date.

**Exoplanet.eu**

Inizio Catalog Diagrams Bibliografia Searches Congressi Altri Siti VO

## The Extrasolar Planets Encyclopaedia

Prima versione: Febbraio 1995  
Jean Schneider, CNRS/LUTH - Osservatorio di Parigi  
Last update: 31 gennaio 2013 (862 planets)  
Please report any problems to [vo.exoplanet@obspm.fr](mailto:vo.exoplanet@obspm.fr)



### Catalog

Filter, sort, export — arbitrary data manipulations with the Extrasolar Planets Encyclopaedia



### Diagrams

Analyze the Extrasolar Planets Encyclopaedia data online. Simple plotting tool right in the browser

### News

22 settembre 2011 **KIC 10905746 b** e **KIC 6185331 b**: i primi 2 Kepler candidati pianeti transiti rivelati da PlanetHunters (Fischer et al.).

15 settembre 2011 **Kepler-16 (AB)b**: il primo pianeta transitante attorno a un binaria (Doyle et al.).

12 settembre 2011 **41 nuovi pianeti HARPS** tra cui 16 Super-Terre - Mayor et al.) et 23 nuovi pianeti WASP. HD 97658 b è un pianeta transitante (Henry et al.).

31 agosto 2011 **Un pianeta abitabile** attorno a HD 85512? E cinque altre super-Terre (Pepe et al.). **PSR 1719-14 b**: un nuovo pianeta attorno a una pulsar (Bailes et al.).

02 febbraio 2011 **6 pianeti** attorno alla stella **Kepler-11**, tutti transiti (Lissauer et al.).

### Informazioni introduttive

Last update: 17 maggio 2012

### Bibliografia

Last update: 17 maggio 2012

### Searches

Last update: 18 aprile 2012

### Congressi

Last update: 17 maggio 2011

### Lavoro teorico

Last update: 03 aprile 2012

### Altri siti

Last update: 16 aprile 2012

### Other tools

Last update: 16 aprile 2012

Dove trovare le informazioni sui pianeti extrasolari?

Enciclopedia dei Pianeti Extrasolari (in italiano)

All'indirizzo web: <http://exoplanet.eu/>

# Sistemi extrasolari confermati-2014

I candidati pianeti extrasolari rivelati al  
9-7-2014 sono 1810

## Metodi indiretti

Con il metodo delle velocità radiali: 430 Sistemi planetari; 547 pianeti (102 sistemi multipli)

Con il metodo delle occultazioni  
(transiti): 620 Sistemi planetari; 1140  
pianeti transitano davanti alla stella (352  
sistemi multipli)

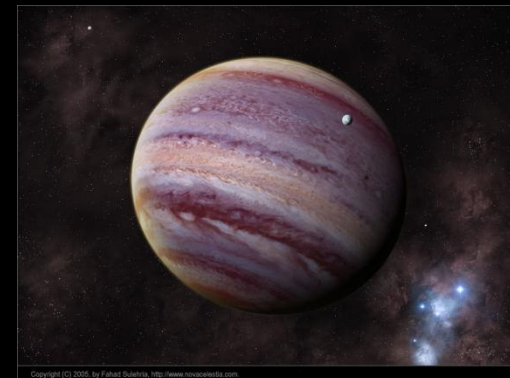
Con il metodo delle microlenti gravitazionali 28 Sistemi planetari; 30 pianeti (2 sistemi multipli)

## Metodi diretti

Con immagini 46 Sistemi planetari; 50 pianeti (2 sistemi multipli)

## Metodi radioastronomici (pulsar)

Con timing 12 Sistemi planetari; 15 pianeti (2 sistemi multipli)



*Fonte : <http://exoplanet.eu> NB: le immagini sono elaborazioni artistiche di fantasia*

# Sistemi extrasolari confermati-2016

I candidati pianeti extrasolari rivelati al 17-11-2016 sono 2615 Sistemi planetari; 3514 pianeti (597 sistemi multipli)

## Metodi indiretti

Con il metodo delle velocità radiali: 520 Sistemi planetari; 690 pianeti (123 sistemi multipli)

Con il metodo delle occultazioni (transiti): 2017 Sistemi planetari; 2695 pianeti transitano davanti alla stella (451 sistemi multipli)

Con il metodo delle microlenti gravitazionali 49 Sistemi planetari; 51 pianeti (2 sistemi multipli)

## Metodi diretti

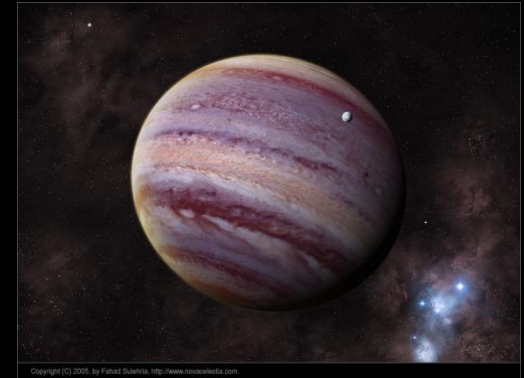
Con immagini 68 Sistemi planetari; 73 pianeti (3 sistemi multipli)

## Metodi radioastronomici (pulsar)

Con timing 19 Sistemi planetari; 24 pianeti (4 sistemi multipli)



NASA/ESA/BACON/STScI



Copyright (C) 2005, by Farhad Sulem, http://www.researchgate.net



*Fonte : <http://exoplanet.eu> NB: le immagini sono elaborazioni artistiche di fantasia*

# Sistemi extrasolari confermati-2017

I candidati pianeti extrasolari rivelati al 17-02-2017 sono 2687 Sistemi planetari; 3577 pianeti (602 sistemi multipli) NB candidati 4925-5987-750

## Metodi indiretti

Con il metodo delle velocità radiali: 602 Sistemi planetari; 699 pianeti (125 sistemi multipli)

Con il metodo delle occultazioni (transiti): 2033 Sistemi planetari; 2712 pianeti transitano davanti alla stella (452 sistemi multipli)

Con il metodo delle microlenti gravitazionali 51 Sistemi planetari; 51 pianeti (2 sistemi multipli)

## Metodi diretti

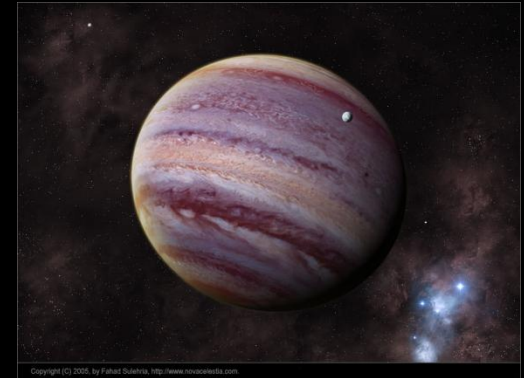
Con immagini 71 Sistemi planetari; 76 pianeti (3 sistemi multipli)

## Metodi radioastronomici (pulsar)

Con timing 19 Sistemi planetari; 24 pianeti (4 sistemi multipli)



NASA/ESA/BACON/STScI



Copyright (C) 2005, by Farhad Sulem, http://www.researchgate.com



*Fonte : <http://exoplanet.eu> NB: le immagini sono elaborazioni artistiche di fantasia*

# I metodi di osservazione dei pianeti extrasolari

## Perturbazioni gravitazionali sullo spettro

Il pianeta passando in prossimità della stella “perturba” la luminosità della stella stessa. Questa perturbazione si può evidenziare come un **effetto periodico sulla posizione delle righe spettrali della stella** purché sia più intensa delle sue perturbazioni cromosferiche e coronali.

## Perturbazioni gravitazionali sulla curva di luce (fotometriche o transiti)

Nel caso in cui il passaggio del pianeta avvenga lungo la linea di vista il pianeta eclissa la stella. Le **variazioni periodiche fotometriche** dell’eclisse rivelano l’esistenza del pianeta.

## Microlenti gravitazionali

I pianeti ruotando attorno alla stella **deflettono la luce della stella** stessa producendo una amplificazione della luminosità osservata.

## Metodi diretti (Imaging)

In alcuni casi particolari è persino possibile **l’osservazione diretta** dei pianeti separati dalla stella.

## Ricerca di radio emissione (Timing)

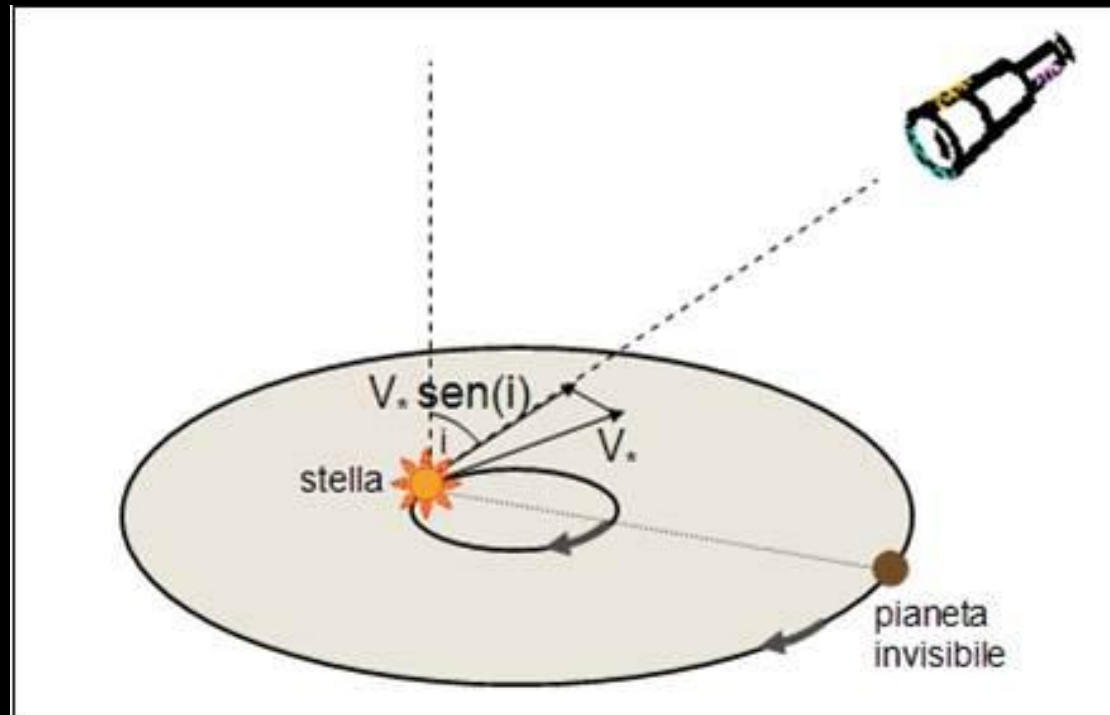
Attorno ad alcune pulsar si osservano pianeti il cui effetto è di indurre **sottoperiodi nel periodo principale della Pulsar (radio)**

# Metodo spettroscopico

## Velocità radiali

# I metodi indiretti-perturbazioni gravitazionali

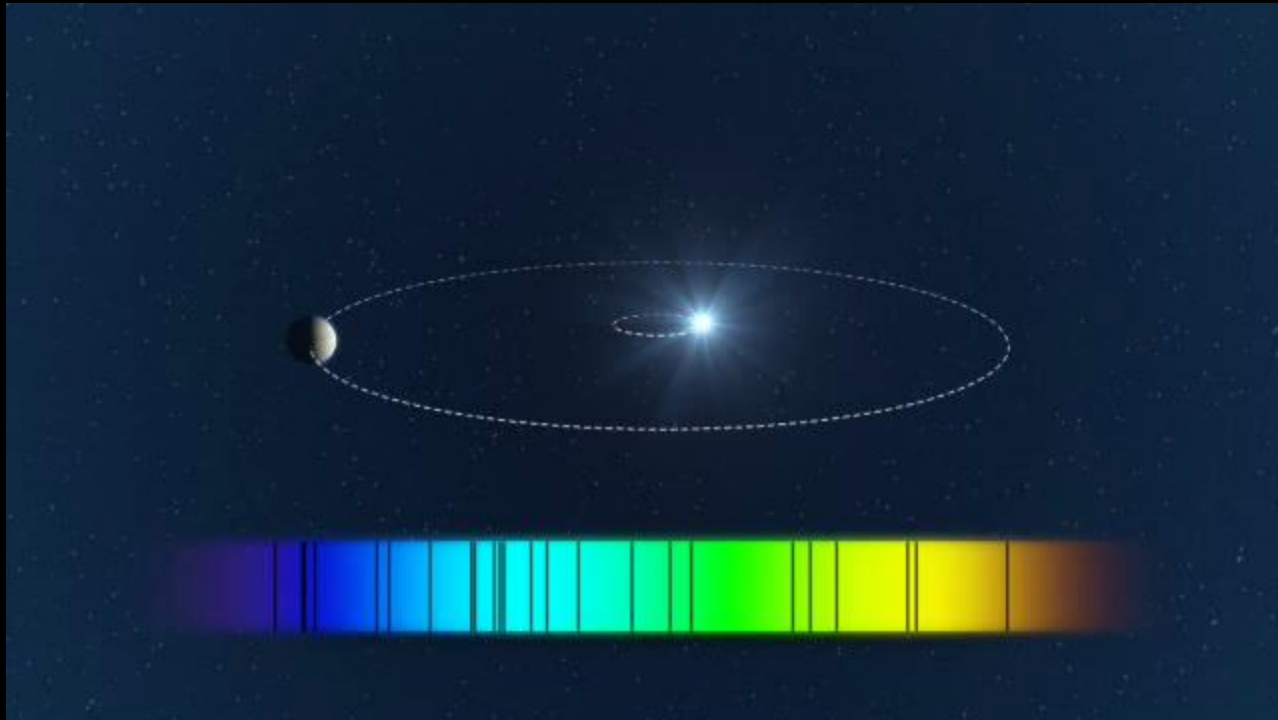
## La spettroscopia



### ➤ rilevazione indiretta *metodo spettroscopico*

Le tecniche spettroscopiche sono basate sulle misure degli spostamenti periodici verso il blu o verso il rosso (per effetto Doppler) delle linee spettrali della stella.

# Metodo delle velocità radiali



# «Visibilità» dei pianeti extrasolari

## rilevazione indiretta *metodo spettroscopico*

| Planet                   | Tipo Planetario           | Semiasse maggiore (U.A.) | Periodo orbitale | Velocità radiale (m/s) | Visibile con :                          |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------|------------------------|-----------------------------------------|
| <u>51 Pegasi b</u>       | <u>Hot Jupiter</u>        | 0,05                     | 4,23 giorni      | 55,9                   | Spettrografi prima generazione          |
| <u>55 Cancri d</u>       | <u>Gigante gassoso</u>    | 5,77                     | 14,29 anni       | 45,2                   | Spettrografi prima generazione          |
| <u>Giove</u>             | <u>Gigante gassoso</u>    | 5,20                     | 11,86 anni       | 12,4                   | Spettrografi prima generazione          |
| <u>Gliese 581c</u>       | <u>Super-terra</u>        | 0,07                     | 12,92 giorni     | 3,18                   | <b>Spettrografi seconda generazione</b> |
| <u>Saturno</u>           | <u>Gigante gassoso</u>    | 9,58                     | 29,46 anni       | 2,75                   | <b>Spettrografi seconda generazione</b> |
| <u>Alpha Centauri Bb</u> | <u>Pianeta terrestre</u>  | 0,04                     | 3,23 giorni      | 0,510                  | <b>Spettrografi seconda generazione</b> |
| <u>Nettuno</u>           | <u>Gigante ghiacciato</u> | 30,10                    | 164,79 anni      | 0,281                  | Spettrografi terza generazione          |
| <u>Terra</u>             | <u>Pianeta abitabile</u>  | 1,00                     | 365,26 giorni    | 0,089                  | Spettrografi terza generazione (forse)  |
| <u>Plutone</u>           | <u>Pianeta Nano</u>       | 39,26                    | 246,04 anni      | 0,00003                | Impossibile                             |

# I pianeti extrasolari-nomenclatura

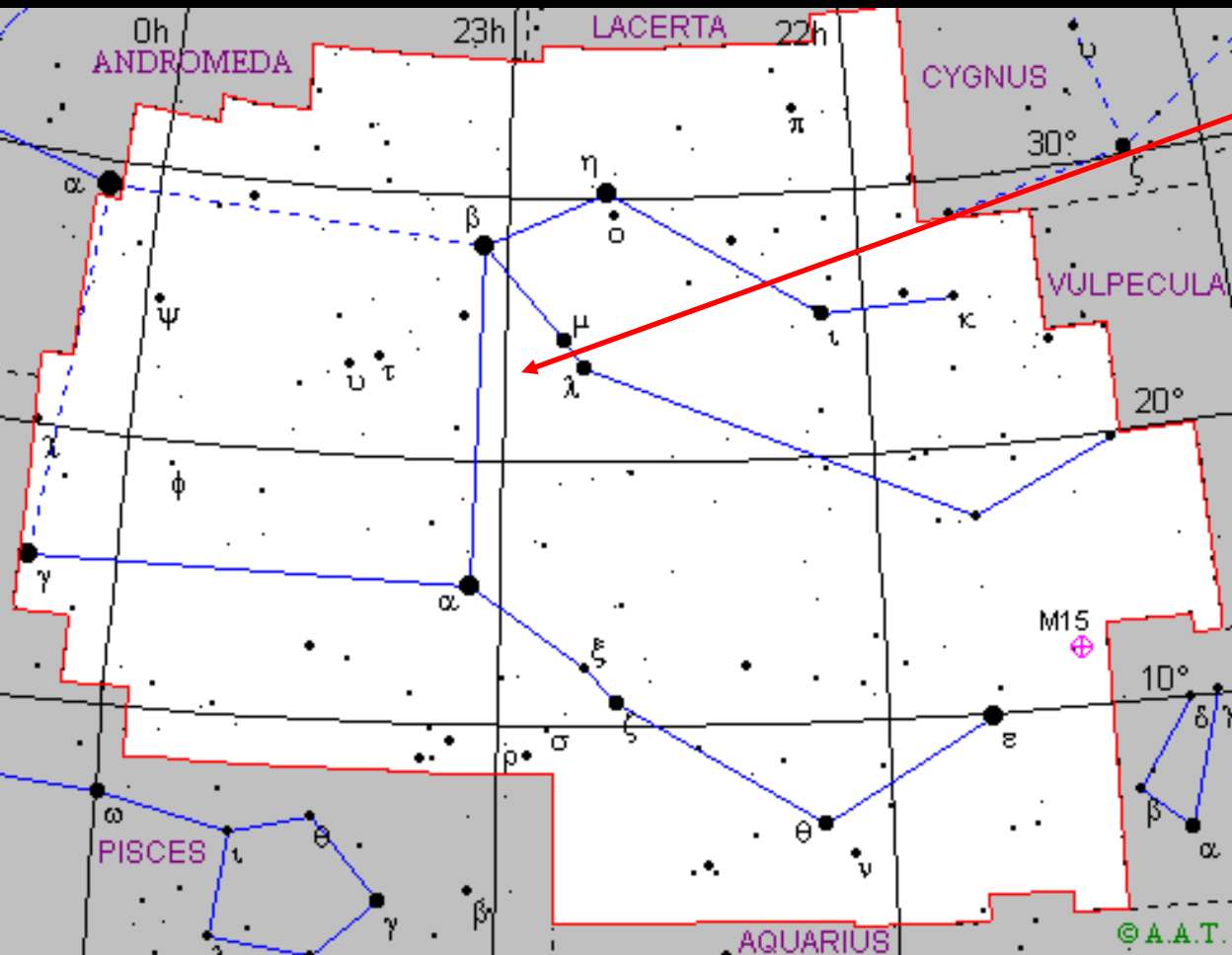


I Pianeti extrasolari prendono il nome della stella principale a cui si aggiunge una lettera latina (minuscola) b-c .... (NB a partire da b!)

es 55 Cancri la stella → 55 Cancri b-c-d-e : quattro pianeti extrasolari

Le immagini dei pianeti, escluse le mappe stellari, sono disegni elaborati sulla base delle caratteristiche, in parte supposte in parte ricavate dalle osservazioni

# Il sistema stellare 51 Pegasi



Costellazione di Pegaso

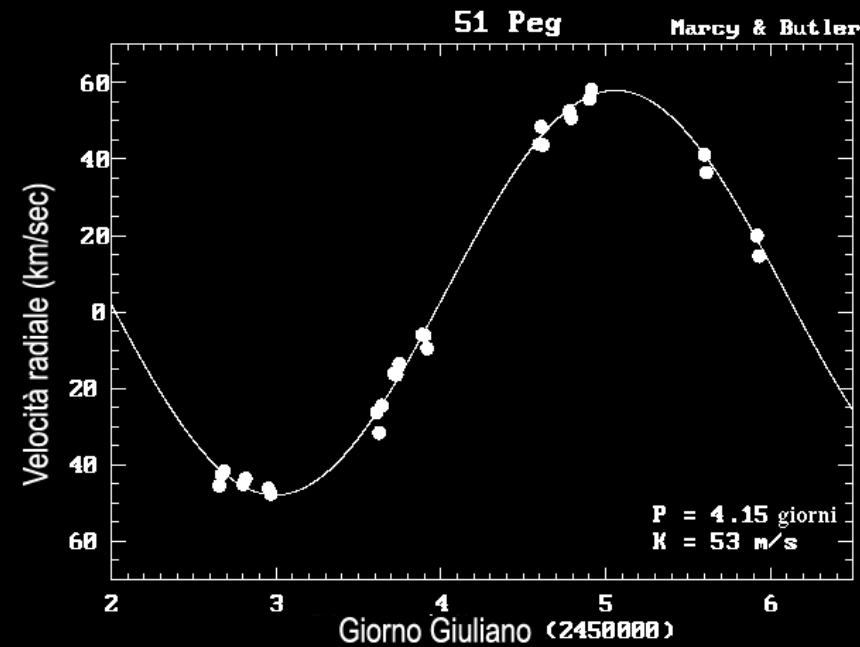
|                        |                                |
|------------------------|--------------------------------|
| Stella                 | 51 Pegasi b                    |
| Distanza               | 48 a.l.                        |
| Tipo spettrale         | G2IV<br>Sequenza<br>Principale |
| Massa                  | 1,11 M <sub>☉</sub>            |
| Età                    | 4 Gyr                          |
| Raggio                 | 1,266 R <sub>☉</sub>           |
| Temperatura            | 5793 ° K                       |
| Luminosità             | L=1,32 L <sub>☉</sub>          |
| Magnitudine<br>Visuale | 5,49                           |
| Metallicità<br>[Fe/H]  | 0,2                            |

# Il sistema planetario 51 Pegasi b

Metodo spettroscopico delle velocità radiali



Stella G2 IV M=1,1 Ms Temp=5793°K L=1,32 Ls R=1,26 Rs  
pianeta 51 Pegasi b M=0,46 Mg semiasse=0,052 U.A. periodo=4,23 giorni



Aggiornato 2014.12.20

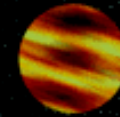
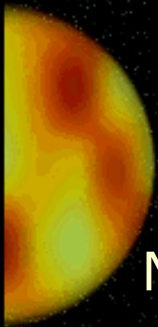
|                          |                                     |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Pianeta                  | 51 Pegasi b                         |
| Scoperto nel             | 1995                                |
| Semiasse maggiore orbita | 0,052 U.A.                          |
| Massa                    | 0,468 M <sub>G</sub> masse di Giove |
| Massa                    | 149 M <sub>T</sub> masse terrestri  |
| Inclinazione             | 80,9°                               |
| Periodo orbitale         | 4,23 giorni                         |
| Eccentricità             | 0                                   |
| Molecole                 | CO H <sub>2</sub> O                 |

# Il sistema planetario 51 Pegasi b - Hot Jupiters

Metodo spettroscopico delle velocità radiali

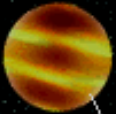
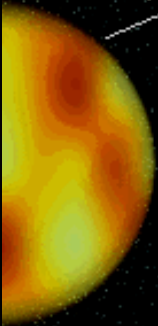
Sole

Giove



Nel Sistema solare Giove dista dal Sole 5,2 U.A.

La stella 51 Pegasi



Il Sistema extrasolare 51 Pegasi

Periodo orbitale=4,23077 giorni

Semi-asse maggiore dell'orbita=0,052 U.A.

Massa del pianeta  $\sim 0,468$  Masse di Giove

Il pianeta 51 Pegasi b

Confronto tra la collocazione del pianeta Giove nel nostro Sistema solare (in alto) e la disposizione planetaria nel Sistema extrasolare di 51 Pegasi b (in basso)

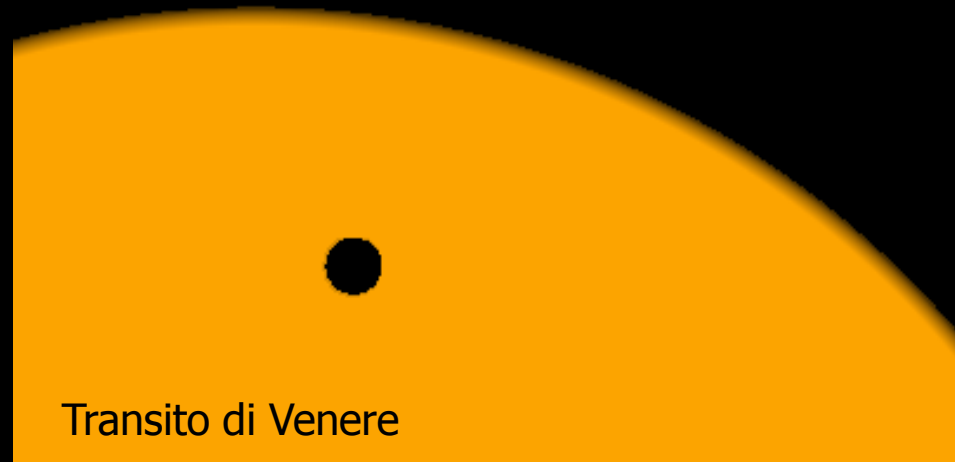
# Metodo fotometrico Transiti

# Metodo dei transiti

Se il pianeta si muove di fronte alla sua stella la luce diminuirà, seppur debolmente, in funzione delle dimensioni del pianeta.

E' più facile che l'effetto di "transito" si verifichi con pianeti di dimensioni simili a quelle di Giove.

Perché si verifichi il "transito" il piano dell'orbita del pianeta deve essere lungo la linea di vista.

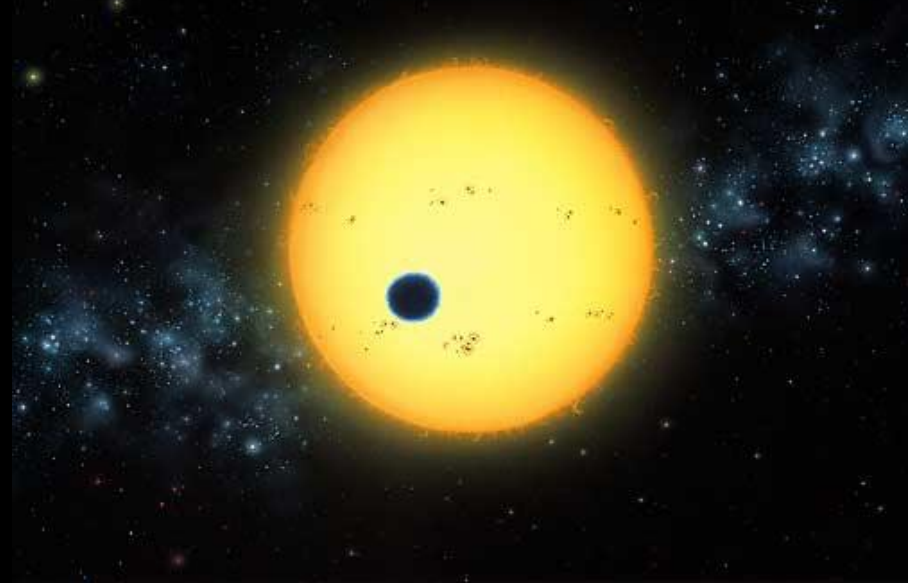


Transito di Venere

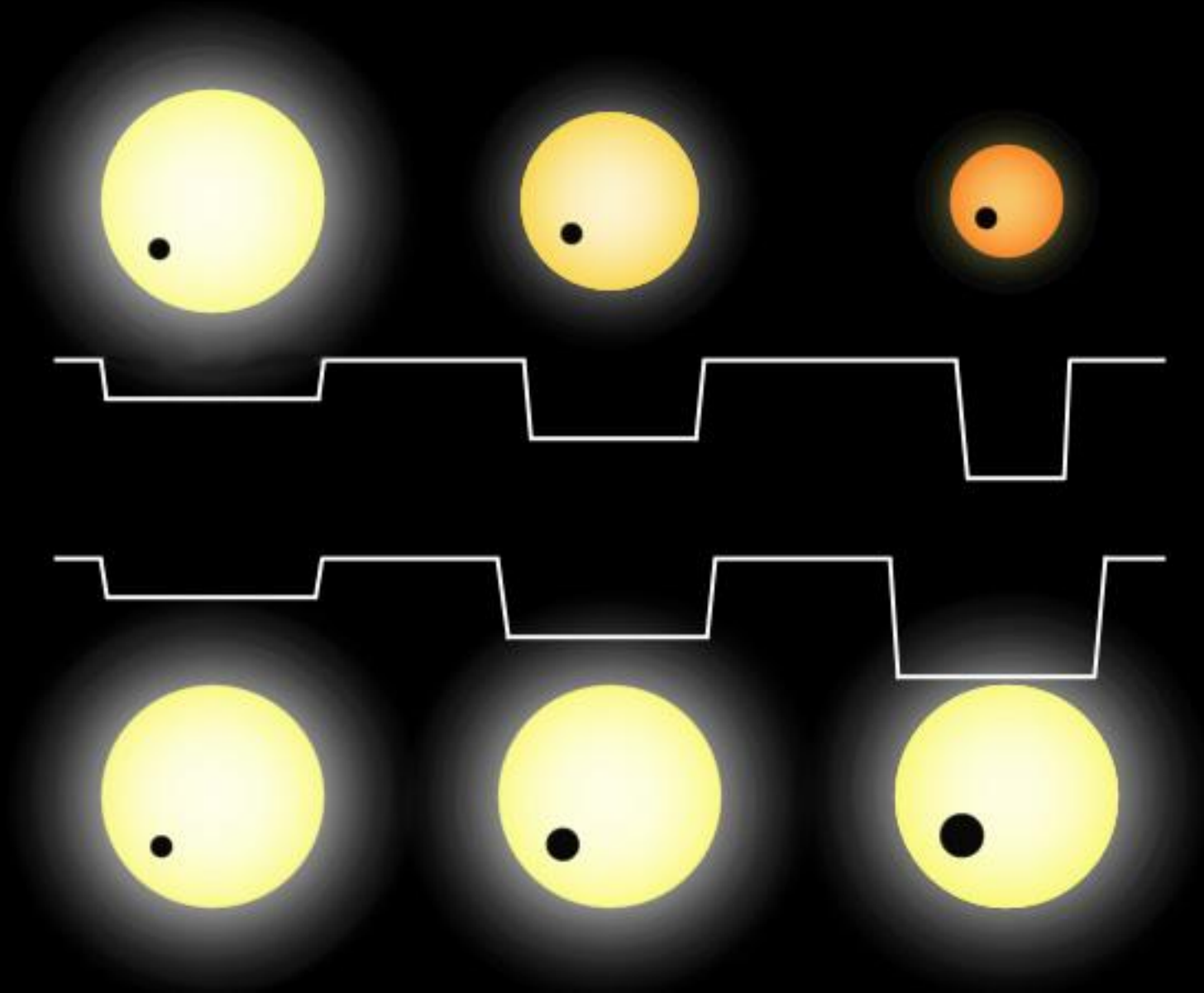


Transito di Mercurio

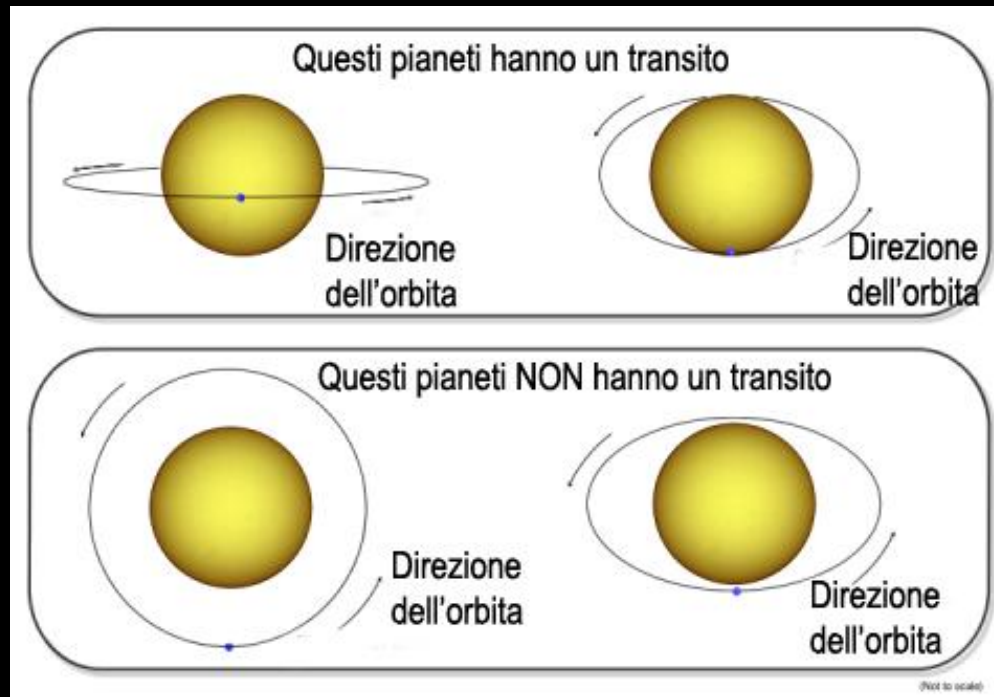
Transito di Giove (rappresentazione artistica)



# Metodo dei transiti e curva di luce fotometrica



# Metodo dei Transiti-geometrie ed allineamenti orbitali



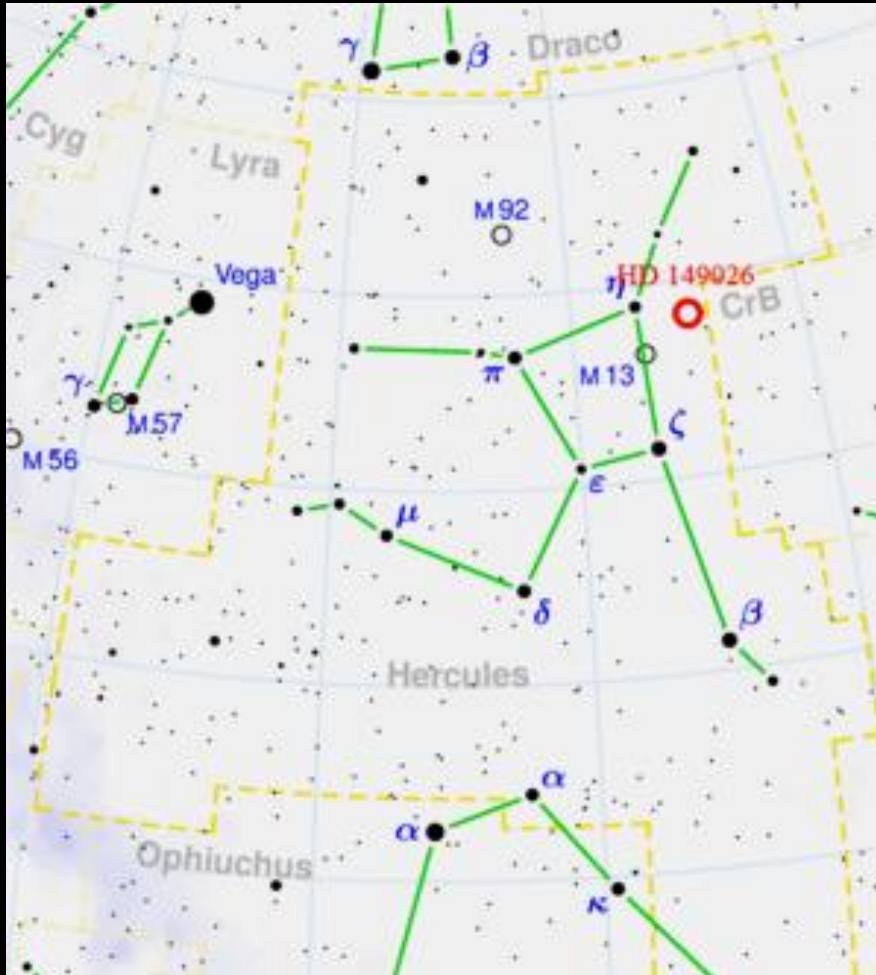
## A favore:

- Si può applicare a stelle lontane
- Il metodo ha sensibilità sufficiente per trovare "pianeti terrestri" di piccola massa
- Permette di calcolare i «diametri planetari» e calcolare le densità
- Può essere utilizzato per scoprire ed analizzare eventuali atmosfere planetarie

## Contro:

- Può individuare solo i pianeti lungo la linea di vista della Terra  $\sim 1\%$  dei sistemi solari
- L'osservazione fotometrica è lenta perché va ripetuta su molte orbite planetarie

# La stella HD 149026



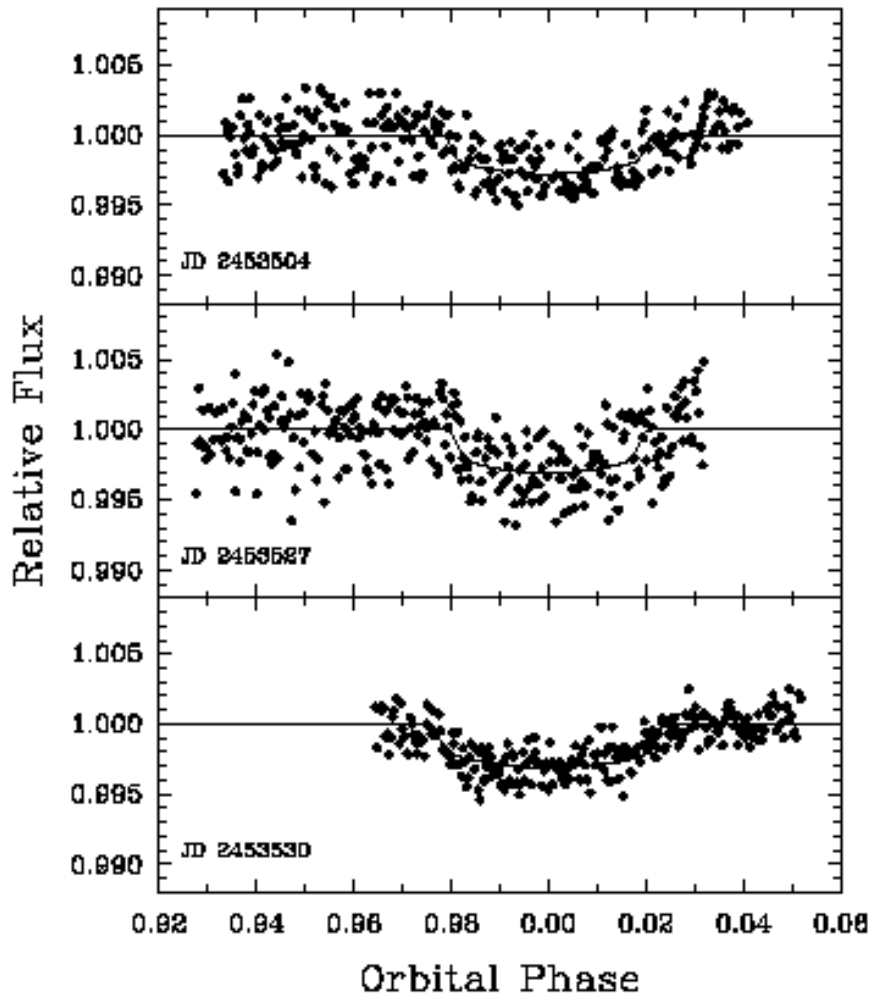
Costellazione di Ercole

|                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| Stella              | HD 149026             |
| Distanza            | 257 a.l.              |
| Tipo spettrale      | G0 IV                 |
| Massa               | 1,3 M <sub>☉</sub>    |
| Età                 | 2 Gyr                 |
| Raggio              | 1,5 R <sub>☉</sub>    |
| Temperatura         | 6147 ° K              |
| Luminosità          | L=2,72 L <sub>☉</sub> |
| Magnitudine Visuale | 8,15                  |
| Metallicità [Fe/H]  | 0,36                  |

# Il pianeta extrasolare HD 149026 b

## Metodo fotometrico dei transiti

- 19 -

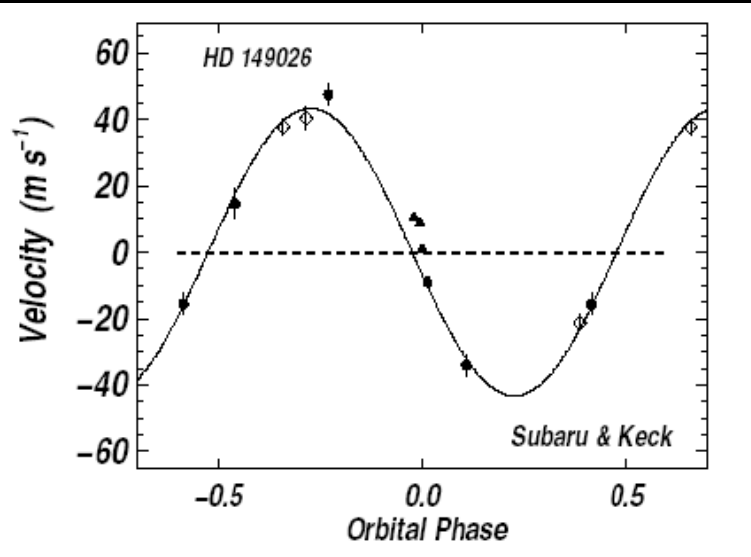


Il sistema extrasolare in HD 149206 oltre che osservabile con il metodo spettroscopico lo è anche con il metodo fotometrico:

1. Ha un pianeta con una massa pari a  $0,356 M_{\text{G}}$  cioè della taglia di Saturno circa  $1,22 M_{\text{Saturno}}$
2. Di questo pianeta extrasolare si osservano le occultazioni sulla stella centrale e questo permette di determinare l'inclinazione del piano dell'orbita rispetto al piano del cielo per cui la misura della massa e del raggio sono esatte !

# Il pianeta extrasolare HD 149026 b

## Metodo spettroscopico delle velocità radiali

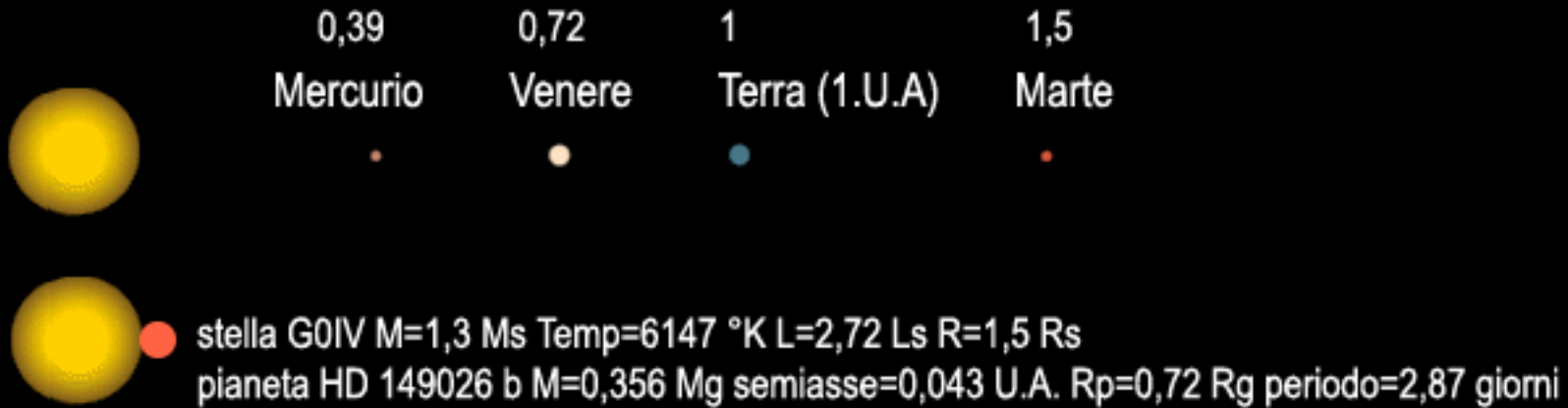


|                          |                                      |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Pianeta                  | HD 149026 b                          |
| Scoperto nel             | 2005                                 |
| Massa                    | 0,356 M <sub>G</sub> masse di Giove  |
| Massa                    | 113,2 M <sub>T</sub> masse terrestri |
| Semiasse maggiore orbita | 0,043 U.A. (Unità Astronomiche)      |
| Periodo orbitale         | 2,876 giorni                         |
| Raggio                   | 0,718 R <sub>G</sub>                 |
| Raggio                   | 7,9 R <sub>T</sub>                   |
| Densità                  | ~1,26 gr/cm <sup>3</sup>             |
| Inclinazione             | 85,3°                                |
| Eccentricità             | 0                                    |

Aggiornato 2014.12.20

# Il pianeta extrasolare HD 149026 b

Metodo spettroscopico delle velocità radiali e metodo fotometrico dei transiti

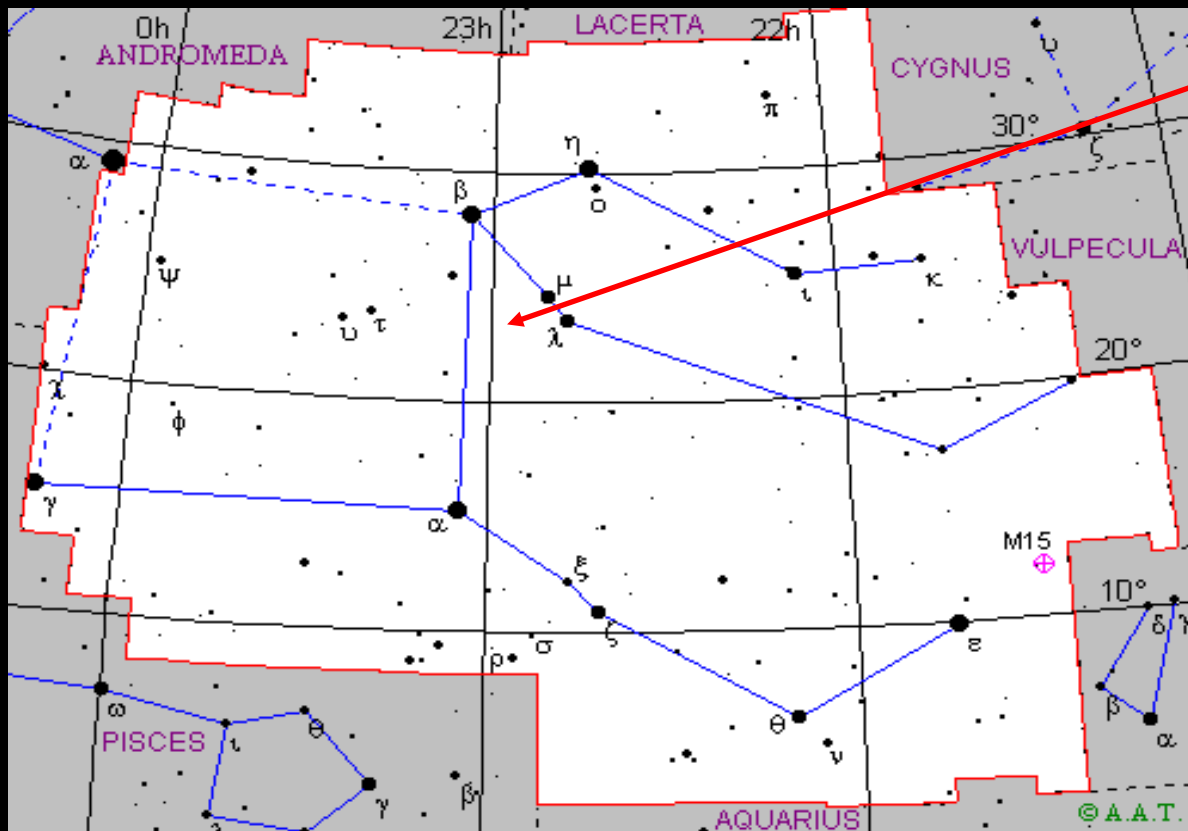


La stella HD149206 è più grande e luminosa del Sole.

Il pianeta extrasolare **HD 149206 b** è molto vicino alla sua stella, ha una massa simile a quella di Saturno, un raggio che è quasi 8 volte quello terrestre ed una densità che lo qualifica come un pianeta gassoso ed un periodo di soli 2,87 giorni.

Metodo diretto  
Imaginig

# La stella HR8799-stella variabile



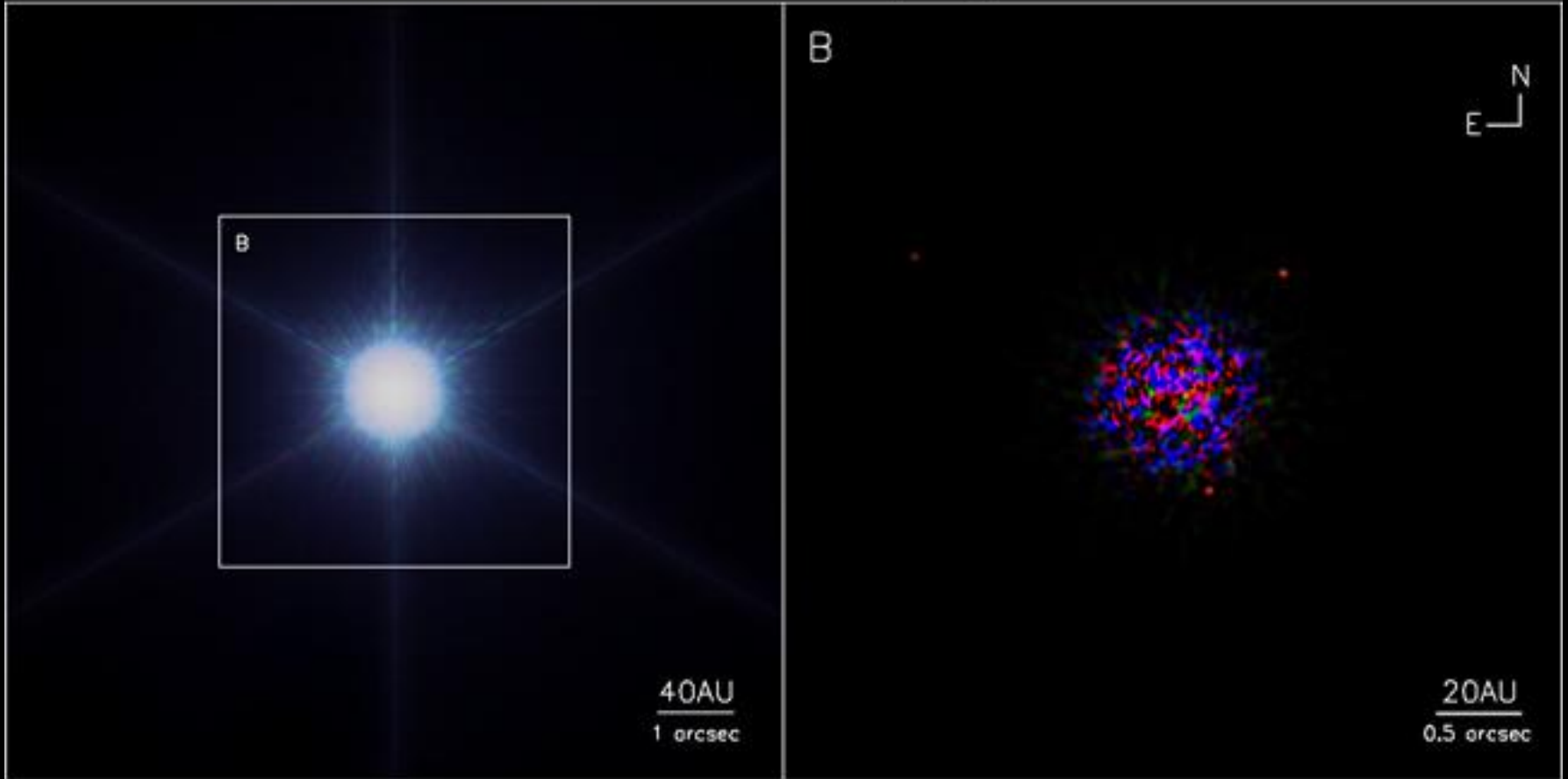
Costellazione di Pegaso

|                     |                             |
|---------------------|-----------------------------|
| Stella              | HR8799                      |
| Distanza            | 129 a.l.                    |
| Tipo spettrale      | A5 V<br>Sequenza principale |
| Massa               | 1,56 $M_{\odot}$            |
| Età                 | 0,06 Gyr                    |
| Raggio              | 1,5 $R_{\odot}$             |
| Temperatura         | 7430 ° K                    |
| Luminosità          | $L=4,92 L_{\odot}$          |
| Magnitudine Visuale | 5,96                        |
| Metallicità [Fe/H]  | -0.47                       |

# I pianeti HR8799 b,c,d

Metodo dell'imaging

## HR 8799 Planetary System

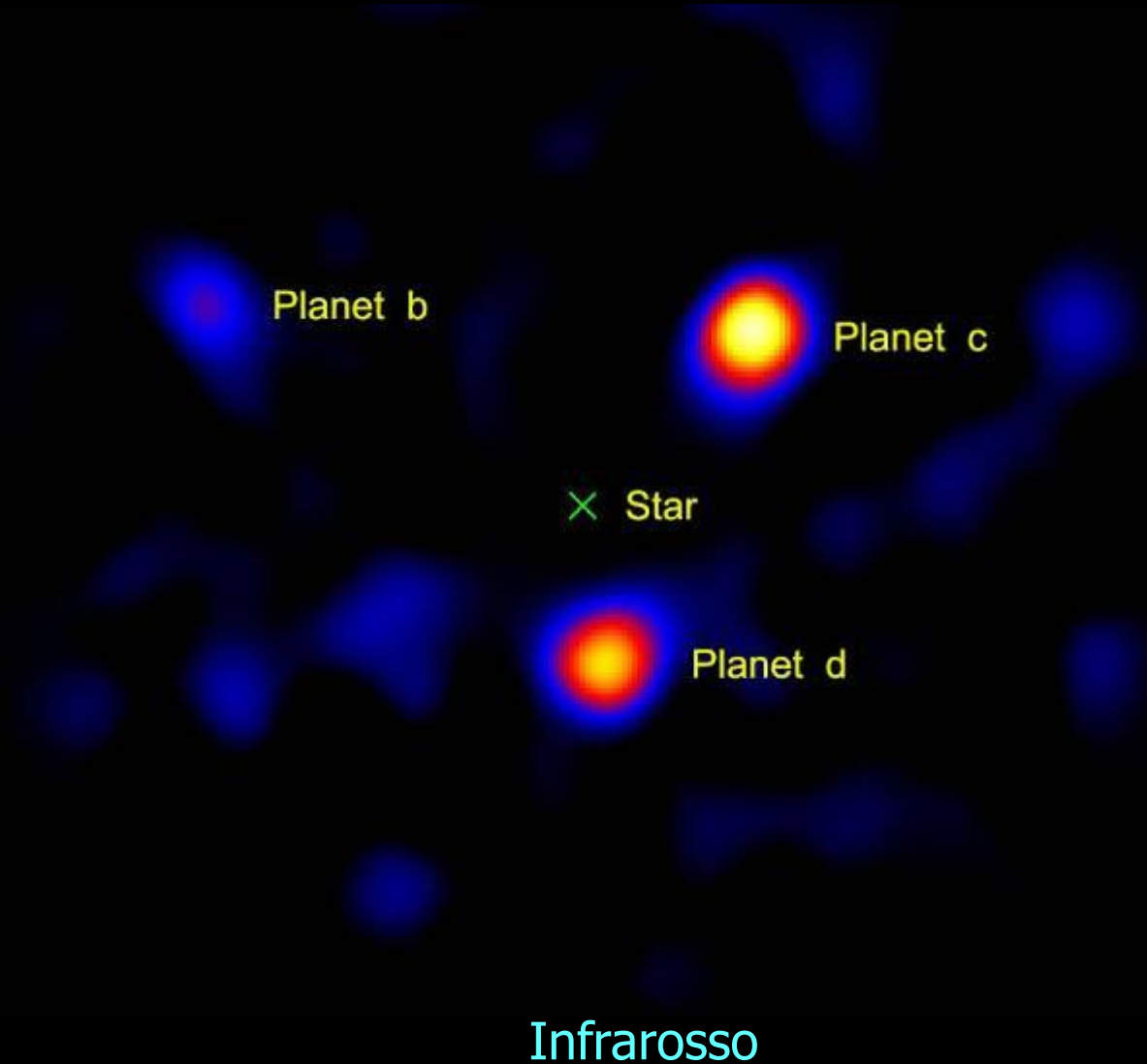


Visibile

Infrarosso

# I pianeti HR8799 b,c,d

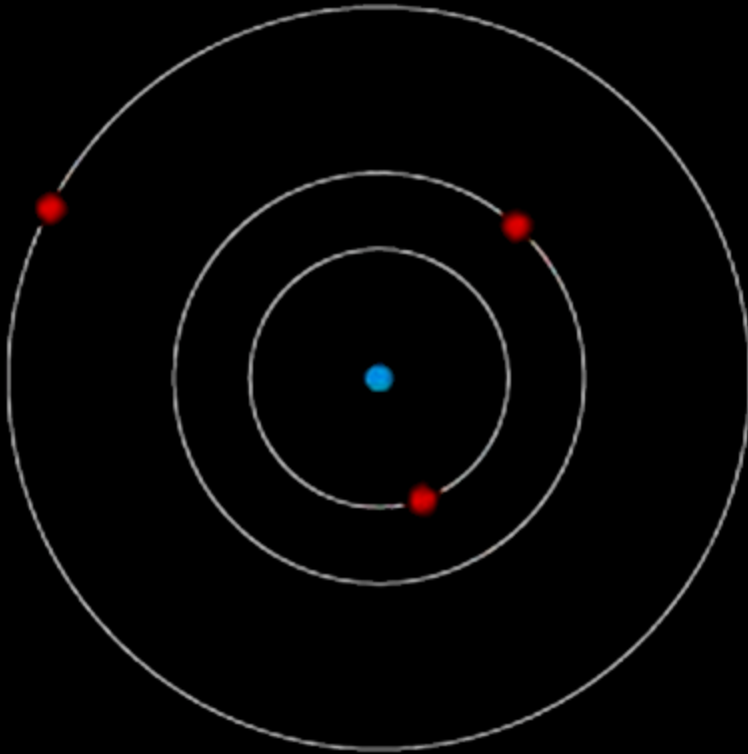
Metodo dell'imaging (Vortex Coronagraph)



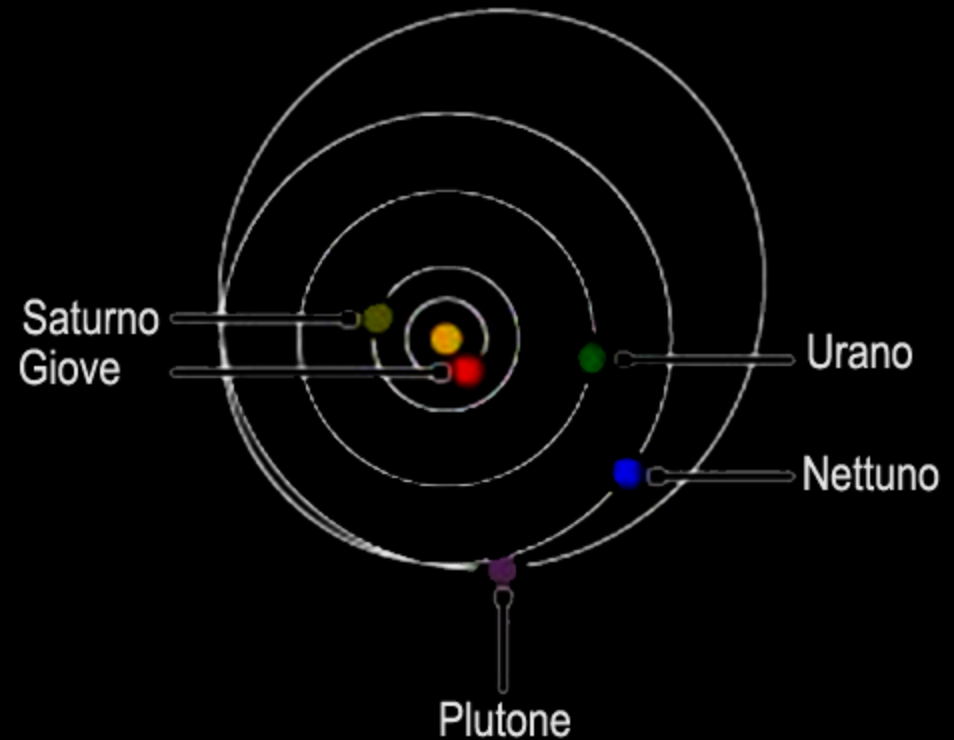
# I pianeti HR8799 b,c,d

Metodo dell'imaging

Il sistema planetario HR 799



Il nostro Sistema solare



# I pianeti HR8799 b,c,d,e

## Metodo dell'imaging



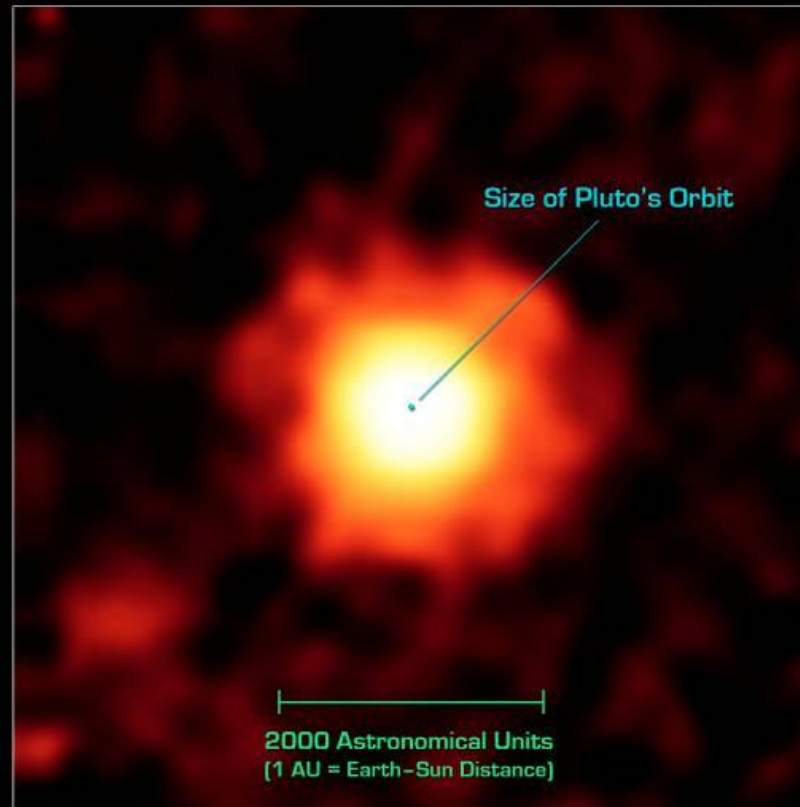
Aggiornato 2014.12.20  
NB i valori planetari sono  
molto incerti

Stella HR 8799 A5V  $M=1,56 M_{\odot}$  Temp=7430°K  $L=4,92 L_{\odot}$   $R=1,5 R_{\odot}$   
pianeta HR 8799 b  $M=7 M_{\oplus}$  semiasse=68 U.A. HR 8799 c  $M=10 M_{\oplus}$  semiasse=43 U.A.  
pianeta HR 8799 d  $M=10 M_{\oplus}$  semiasse=27 U.A. HR 8799 e  $M=9 M_{\oplus}$  semiasse=14,5 U.A.

| Pianeta                  | HR8799 e                          | HR8799 d                          | HR7999 c                          | HR7999 b                          |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Scoperto nel             | 2008                              | 2008                              | 2008                              | 2008                              |
| Massa                    | 9 $M_{\oplus}$ masse di Giove     | 10 $M_{\oplus}$ masse di Giove    | 10 $M_{\oplus}$ masse di Giove    | 7 $M_{\oplus}$ masse di Giove     |
| Massa                    | 2860 $M_{\oplus}$ masse terrestri | 3178 $M_{\oplus}$ masse terrestri | 3178 $M_{\oplus}$ masse terrestri | 2224 $M_{\oplus}$ masse terrestri |
| Semiasse maggiore orbita | ~14,5 U.A. (Unità Astronomiche)   | ~ 27 U.A. (Unità Astronomiche)    | ~42,9 U.A. (Unità Astronomiche)   | ~ 68 U.A. (Unità Astronomiche)    |
| Periodo orbitale         | 18000 giorni                      | 41054 giorni                      | 82145 giorni                      | 164250 giorni                     |
| Periodo orbitale         | ~ 100 anni                        | ~ 112 anni                        | ~ 225 anni                        | ~ 450 anni                        |
| Raggio                   | -                                 | 1,2 $R_{\oplus}$                  | 1,3 $R_{\oplus}$                  | 1,2 $R_{\oplus}$                  |
| Inclinazione             | -                                 | 28°                               | 28°                               | 28°                               |
| Eccentricità             | -                                 | 0,1                               | 0                                 | 0                                 |

# I pianeti HR8799 b,c,d,e

## Metodo dell' imaging



Debris Disk around Star HR 8799  
Spitzer Space Telescope • MIPS

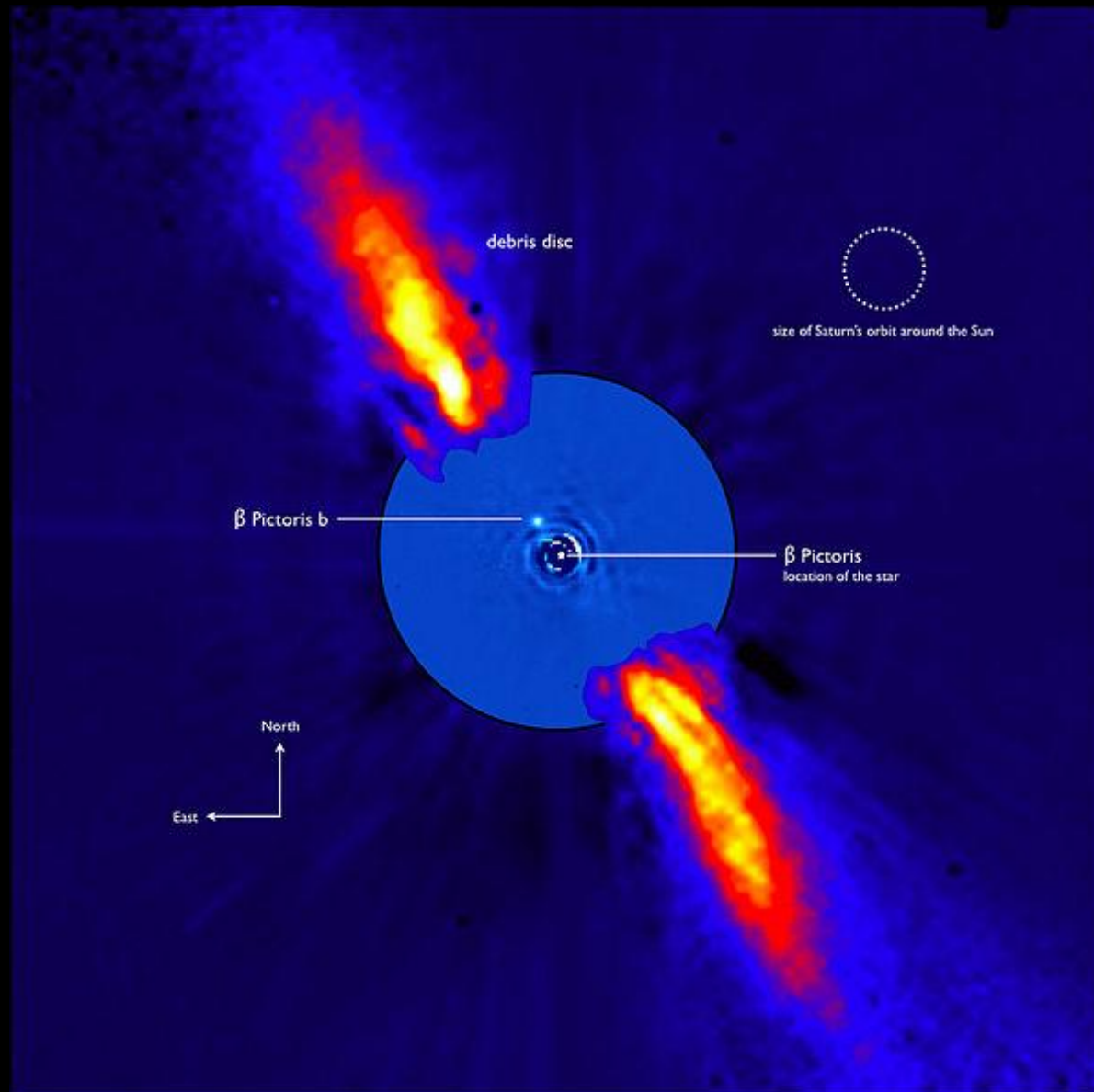
NASA / JPL-Caltech / K. Su (Univ. of Arizona)

sig09-008

Cintura asteroidale a circa 75 U.A.

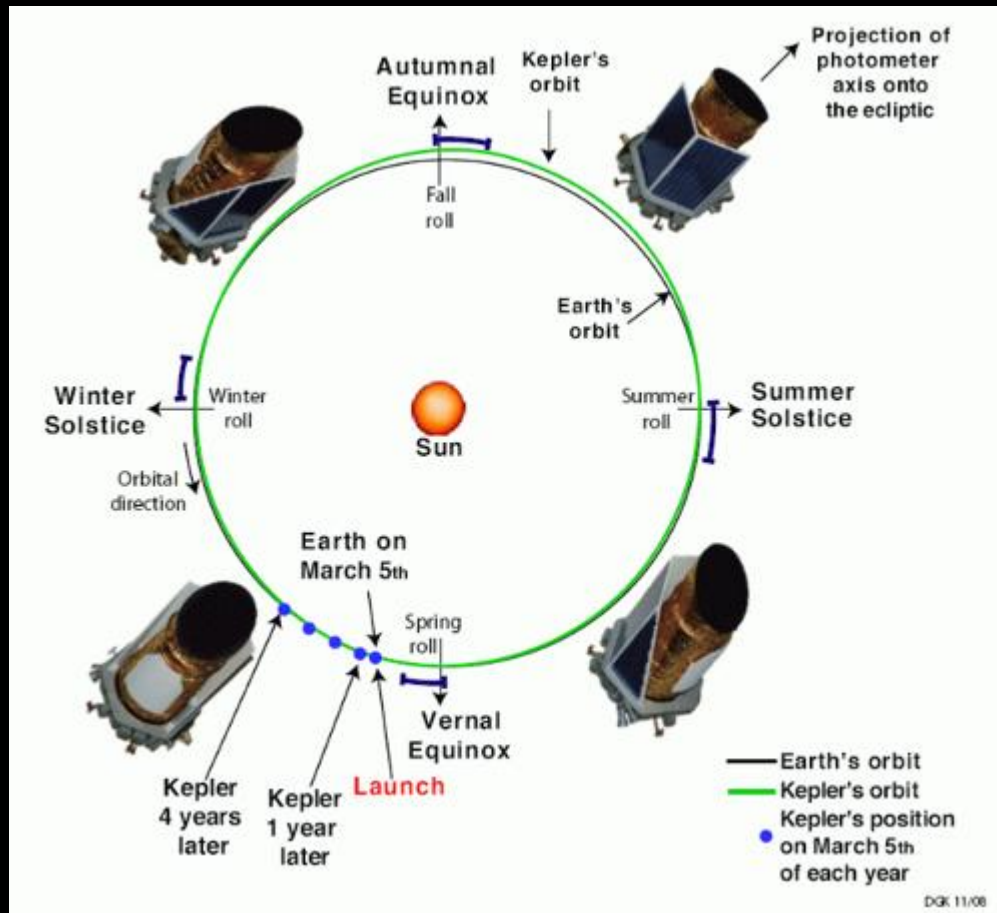
# Beta Pictoris

## Metodo dell'imaging (Coronagrafo)

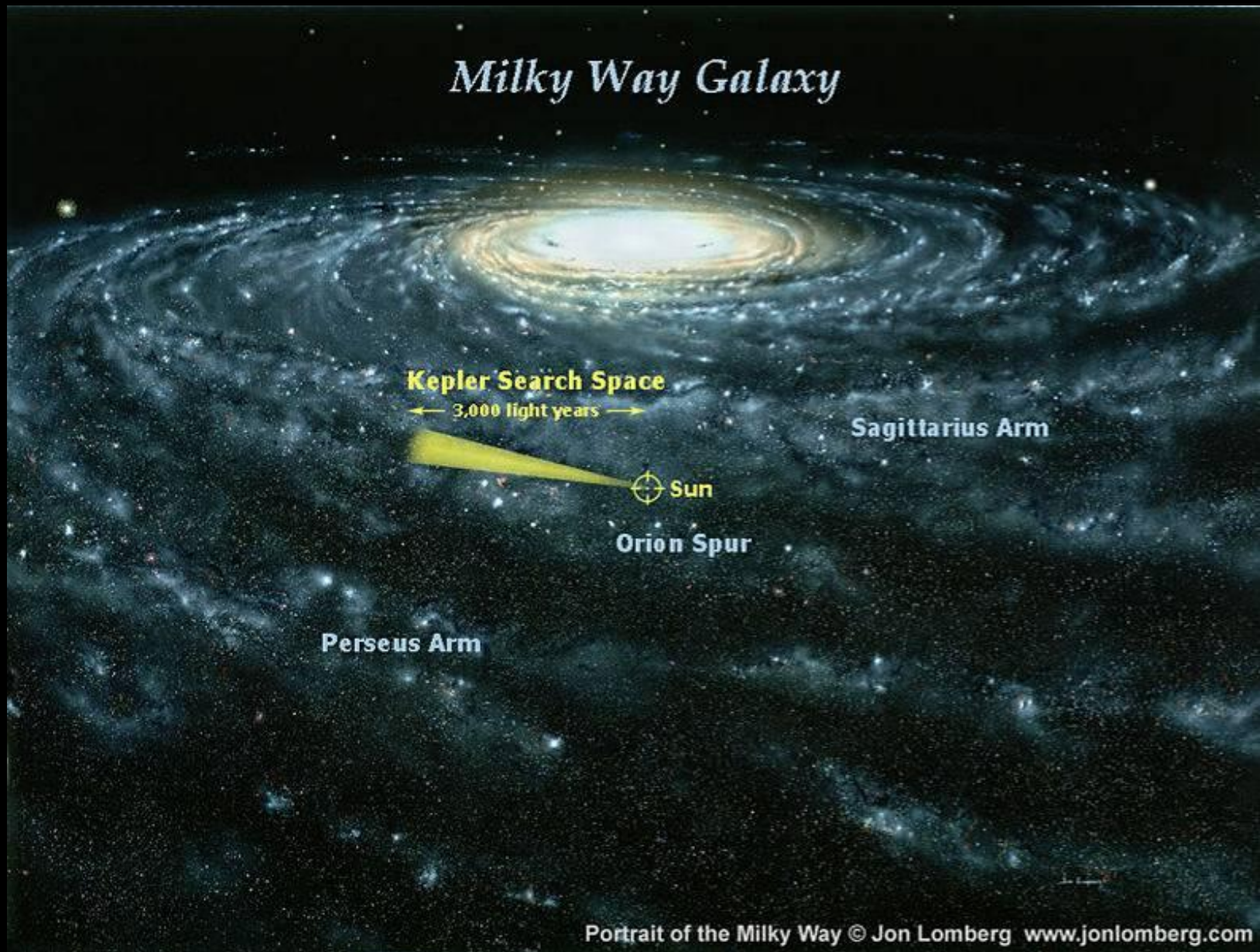


# Il telescopio Kepler e le «super-terre»

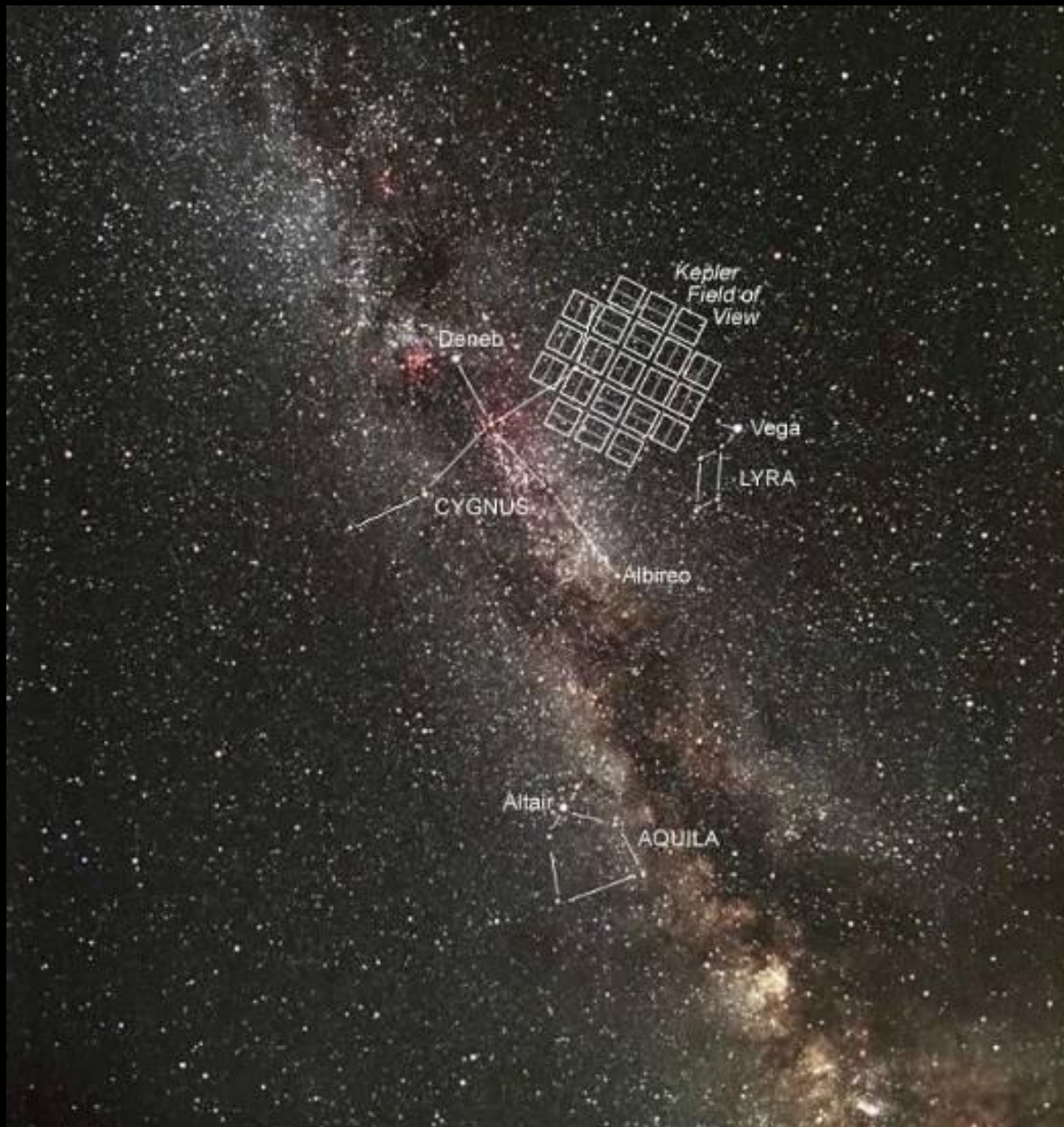
# Il telescopio Kepler



# Raggio d'azione del telescopio Kepler



# Il telescopio Kepler-area di selezione nel cielo



# Il sistema planetario Kepler 22

# La stella Kepler 452

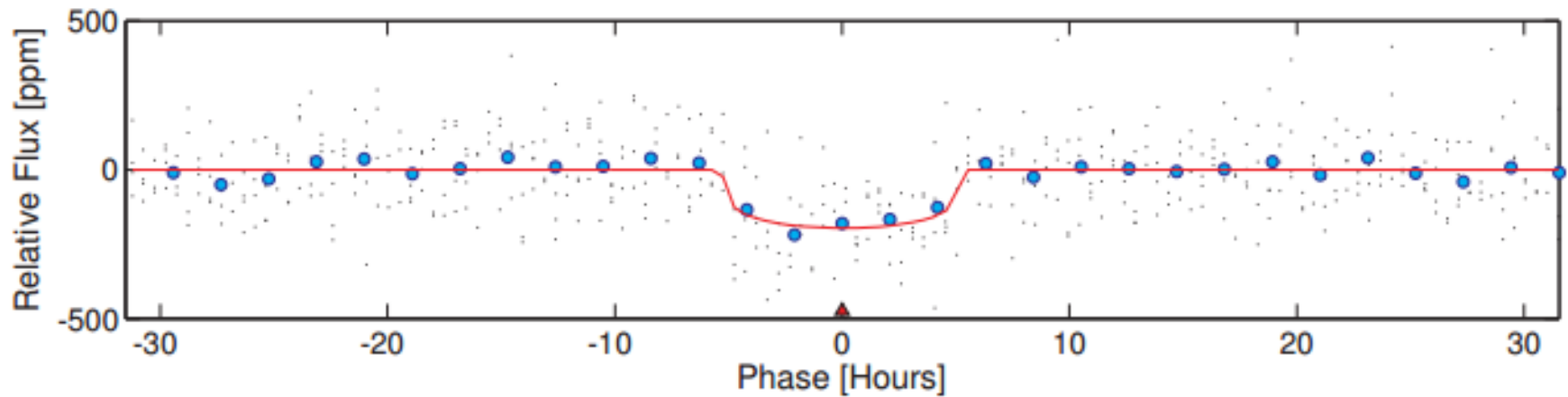


|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| Stella              | Kepler 452           |
| Distanza            | 1400 a.l.            |
| Tipo spettrale      | G2                   |
| Massa               | 1,04 M <sub>o</sub>  |
| Età                 | 6 Gyr                |
| Raggio              | 1,1 R <sub>o</sub>   |
| Temperatura         | 5757 ° K             |
| Luminosità          | L=1,2 L <sub>o</sub> |
| Magnitudine Visuale | 13,426               |
| Metallicità [Fe/H]  | 0,21                 |

Costellazione del Cigno

# Il pianeta extrasolare Kepler 452 b

## Metodo fotometrico dei transiti

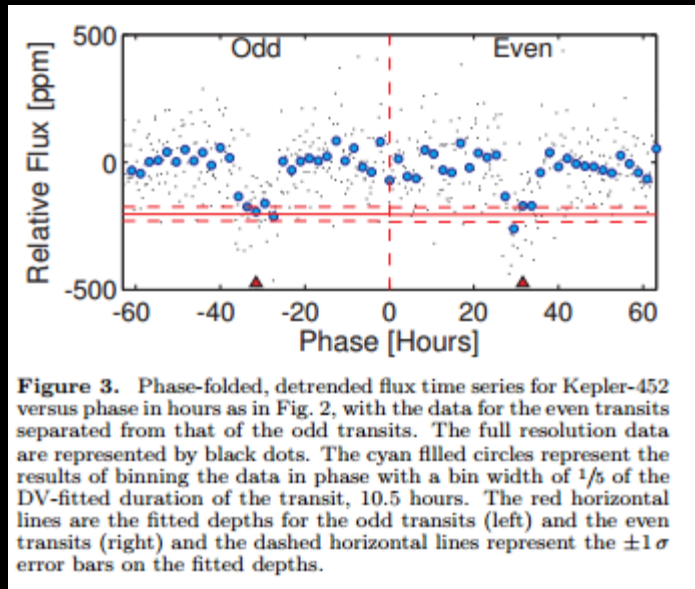


**Figure 2.** Phase-folded, detrended flux time series for Kepler-452 versus phase in hours. The flux time series plotted here is the same as that of Figure 1, except that it has been phase folded at the period of the planet, 384.84 days. The triangle symbol indicates the location of the four transits at zero phase. The full resolution data are represented by black dots. The cyan filled circles represent the results of binning the data in phase with a bin width of  $1/5$  of the DV-fitted duration of the transit, 10.5 hr.

Il sistema extrasolare Kepler 452b

# Il pianeta extrasolare Kepler 452b

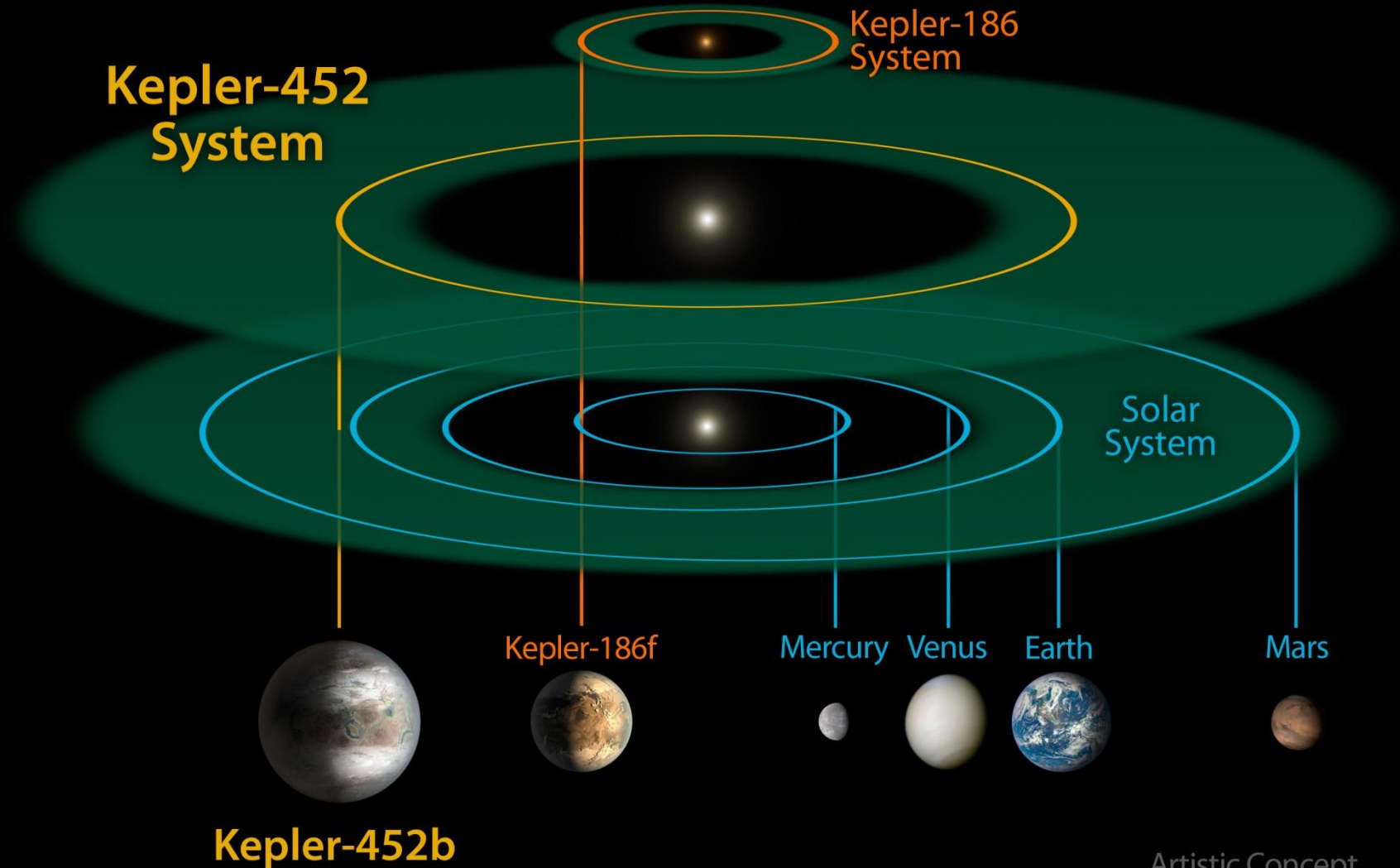
## Metodo spettroscopico delle velocità radiali



|                           |                                   |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Pianeta                   | Kepler 452 b                      |
| Scoperto nel              | 23-7-2015                         |
| Massa                     | $5 \pm 2 M_T$ masse terrestri (?) |
| Semiassse maggiore orbita | 1,046 U.A. (Unità Astronomiche)   |
| Periodo orbitale          | 384,8 giorni                      |
| Raggio                    | 0,148 $R_G$                       |
| Raggio                    | 1,63 $R_T$                        |
| Densità                   | $\sim \text{gr/cm}^3$             |
| Inclinazione              | 89,8 °                            |
| Indice abitabilità        | 0,83                              |

# Il pianeta Kepler 452 b

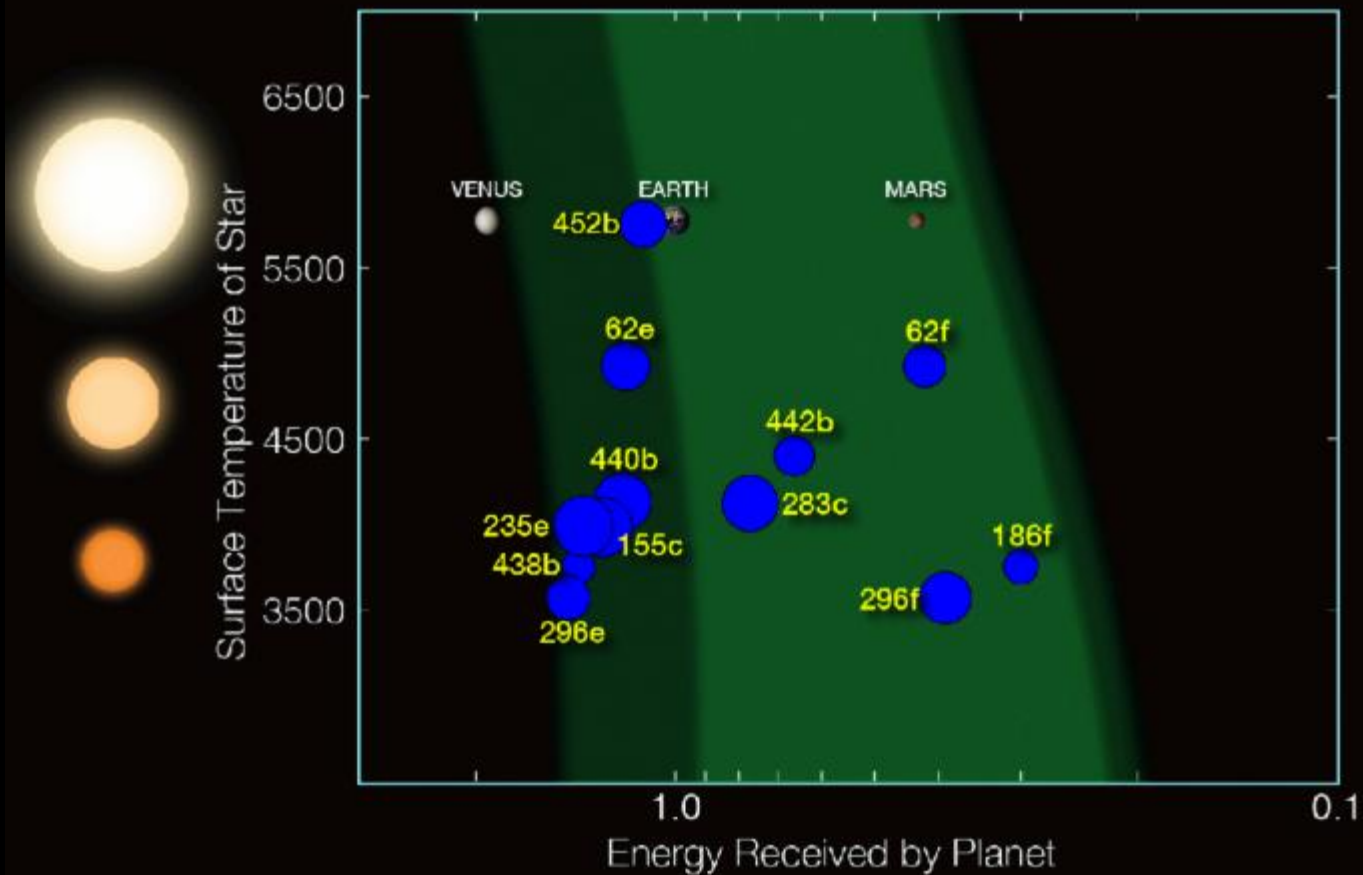
Metodo spettroscopico delle velocità radiali e metodo fotometrico dei transiti



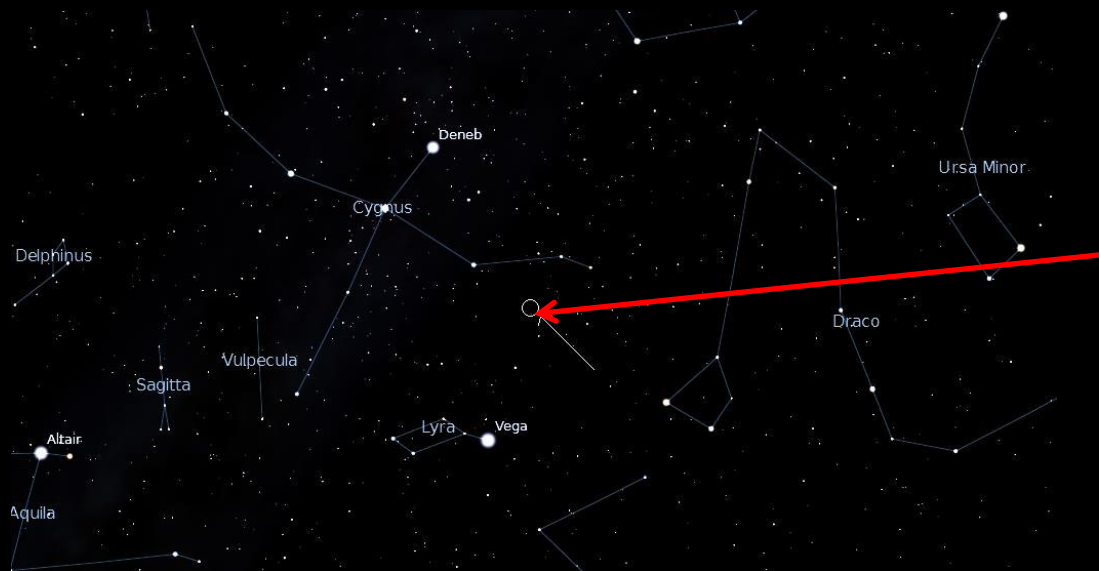
# Il pianeta extrasolare Kepler 452 b

Metodo fotometrico dei transiti

## Kepler Small Habitable Zone Planets Now Include One Orbiting a Sun-Like Star



# Il sistema stellare Kepler 22



Come tutti i candidati pianeti extrasolari della missione Kepler questi si trovano tra le costellazioni del Cigno e della Lira

|                     |                                             |
|---------------------|---------------------------------------------|
| Stella              | Kepler 22                                   |
| Distanza            | 619 a.l.                                    |
| Tipo spettrale      | G5<br>Nana Gialla<br>Sequenza<br>Principale |
| Massa               | 0,970 $M_{\odot}$                           |
| Età                 | - Gyr                                       |
| Raggio              | 0,979 $R_{\odot}$                           |
| Temperatura         | 5518 °K                                     |
| Luminosità          | $L=0,79 L_{\odot}$                          |
| Magnitudine Visuale | 12                                          |
| Metallicità [Fe/H]  | -0,29                                       |

# Il sistema di Kepler 22 b

metodo fotometrico dei transiti



Aggiornato 2014.12.20

Stella G5 M=0,97 Ms Temp=5518°K L=0,79 Ls R=0,979 Rs

planeta Kepler-22 b M=0,11 Mg 35 Mt semiasse=0,89 U.A. Rp= 0,21 Rg periodo=290 giorni

|                          |                                      |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Pianeta                  | Kepler 22b                           |
| Scoperto nel             | 2003                                 |
| Massa                    | < 0,11 M <sub>G</sub> masse di Giove |
| Massa                    | 35 M <sub>T</sub> masse terrestri    |
| Raggio                   | 0,21 R <sub>G</sub>                  |
| Inclinazione             | 89,7 °                               |
| Semiasse maggiore orbita | 0,849 U.A. (Unità Astronomiche)      |
| Periodo orbitale         | 290 giorni                           |
| Eccentricità             | -                                    |

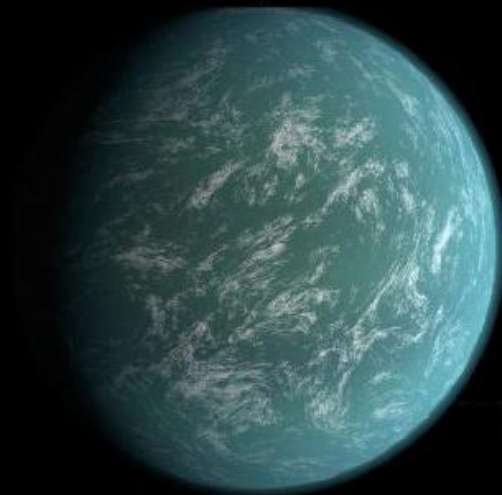
# Il sistema di Kepler 22 b

metodo fotometrico dei transiti

Il Sistema planetario Kepler-22

Zona Abitabile

Sistema solare



Kepler-22b



Mercurio



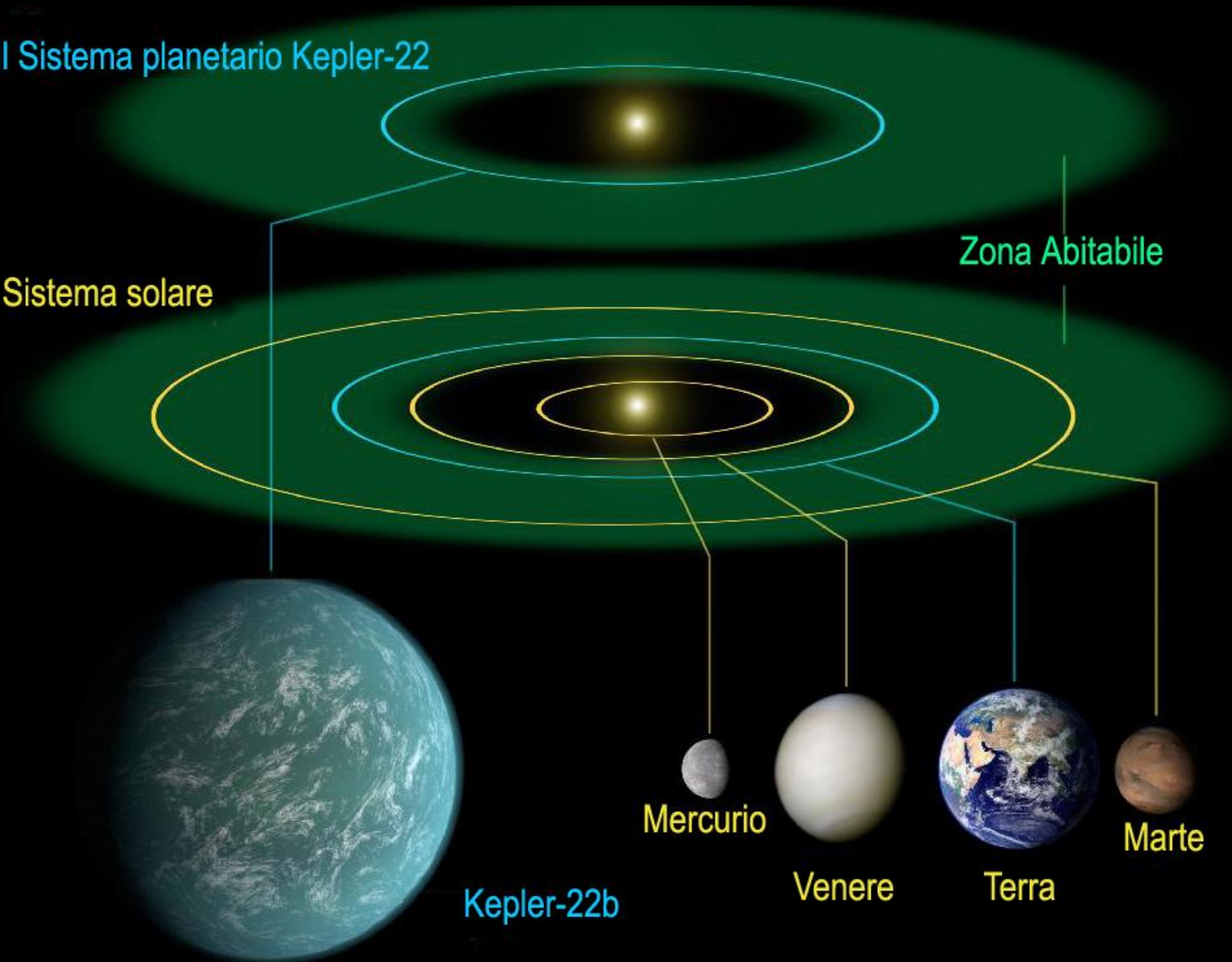
Venere



Terra

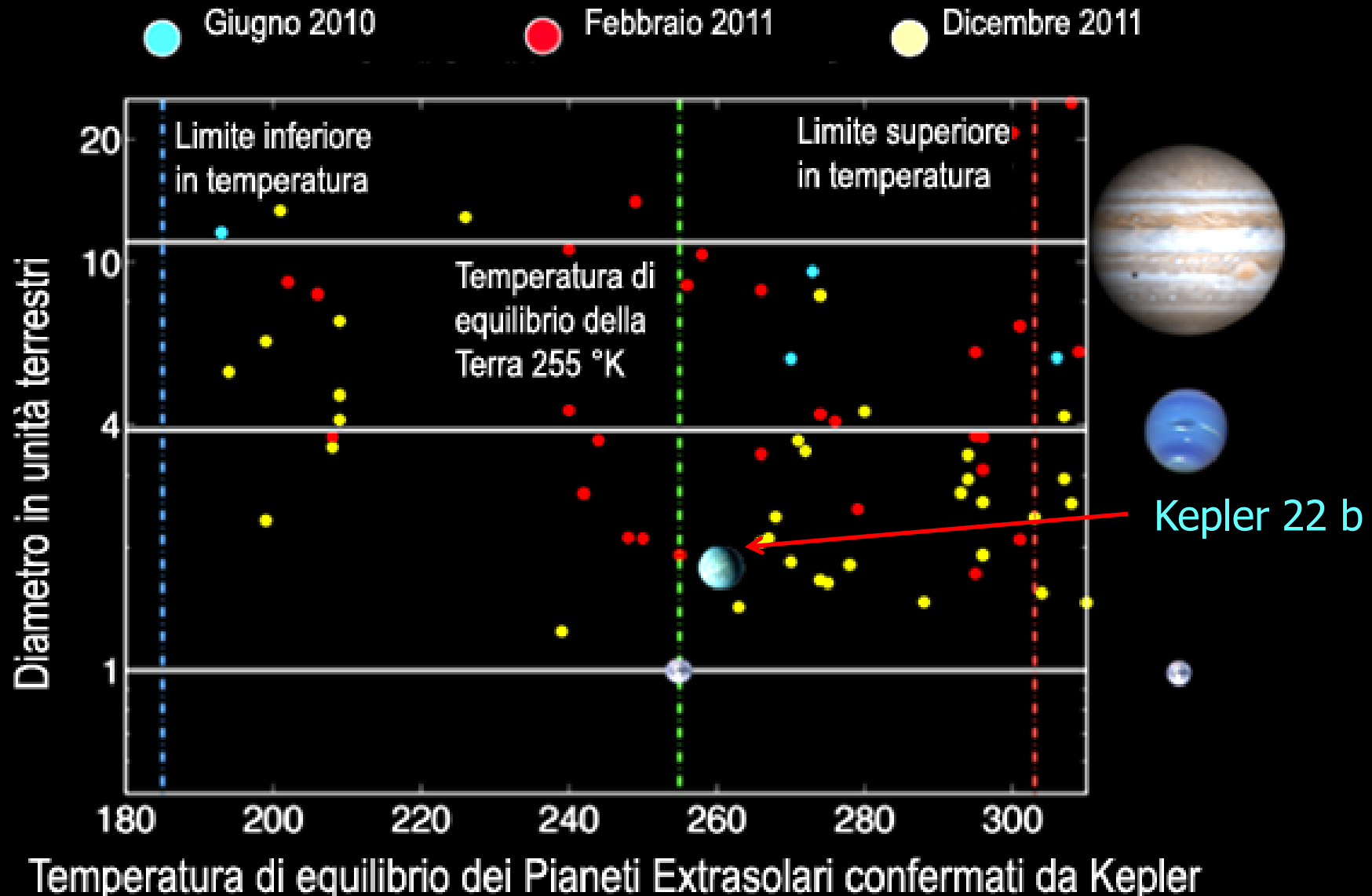


Marte



# Il sistema di Kepler 22 b

metodo fotometrico dei transiti



Super-Terre

# Super-Terre ed «Abitabilità»

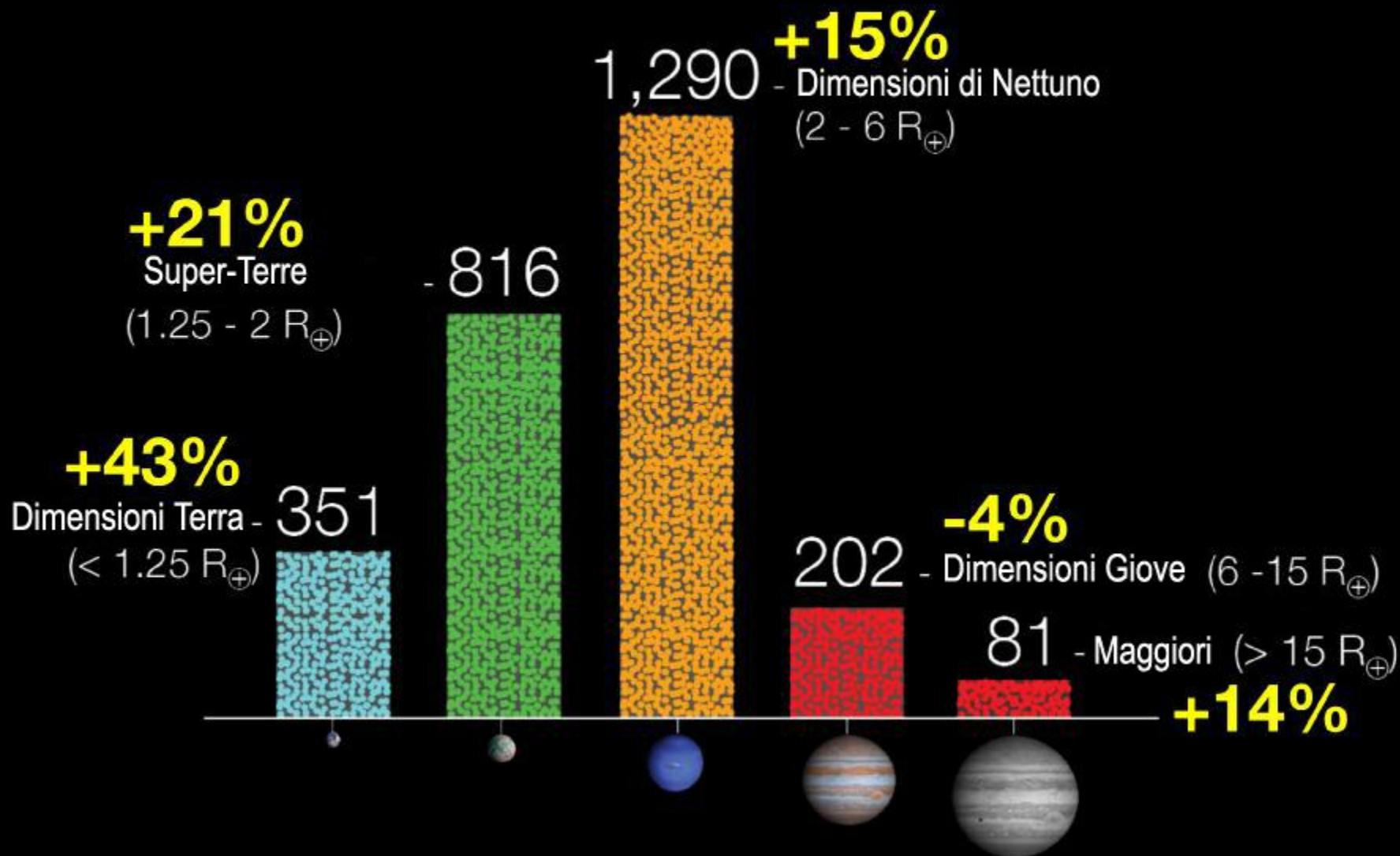
| nome              | Massa (M <sub>T</sub> ) | raggio (R <sub>T</sub> ) | Acc gravità (g) | Temp sup          | Semiassie (U.A.) | Eccentricità | Indice di somiglianza alla Terra | Abitabilità                                              | Distanza (al) |
|-------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------|------------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------|
| Alpha Centauri Bb | ≥1,1                    |                          |                 | 1200 K            | 0,04             |              |                                  | Troppo vicino alla stella                                | 4,23          |
| Gliese 581 e      | ≥1,7                    |                          |                 |                   | 0,029            | 0            |                                  | Temperature troppo alta difficile avere atmosfera        | 20            |
| 82 G, Eridani c   | ≥2,4                    |                          |                 |                   | 0,2036           | 0            |                                  | Troppo vicino alla stella                                | 19,71         |
| 82 G, Eridani b   | ≥2,7                    |                          |                 |                   | 0,1207           | 0            |                                  | Troppo vicino alla stella                                | 19,71         |
| HD 40307 e        | ≥3,5                    |                          |                 |                   | 0,1886           | 0,15         |                                  | Troppo vicino alla stella                                | 42            |
| HD 85512 b        | ≥3,6                    | 1,74                     | 1,33            | 351 K             | 0,26             | 0,11         | 0,76                             | Thermostat, il miglior candidato prima di Gliese 667C c, | 36            |
| HD 40307 b        | ≥4,2                    |                          |                 |                   | 0,047            | 0,2          |                                  | Troppo vicino alla stella                                | 42            |
| Tau Ceti e        | ≥4,3                    | ≥1,6                     |                 | 343 K             | 0,552 ± 0,02     | 0,05±0,02    | 0,77                             | Thermostat orbita entro la zona abitabile                | 11,90         |
| 82 G, Eridani d   | ≥4,8                    |                          |                 | 388 K             | 0,3499           | 0            |                                  | Troppo vicino alla stella                                | 19,71         |
| 61 Virginis b     | ≥5,1                    |                          |                 |                   | 0,050            | 0,12         |                                  | Troppo vicino alla stella                                | 28            |
| HD 40307 f        | ≥5,2                    |                          |                 |                   | 0,247            | 0,02         |                                  | Troppo vicino alla stella                                | 42            |
| Gliese 667C c     | 5,24                    |                          | 1,32            | 302 K             | 0,13             | 0,34         | 0,82                             | Mesoplanet                                               | 22            |
| Gliese 581 c      | ≥5,6                    |                          |                 |                   | 0,072            | 0            |                                  | Incerto, probabilmente fuori zona abitabile              | 20            |
| Gliese 581 d      | ≥5,6                    | 2,34                     | 1,2             | 233 K             | 0,218            | 0            | 0,69                             | Psychoplanet entro la zona abitabile                     | 20            |
| Gliese 667C b     | 6,30                    |                          | 1,44            | 445 K             | 0,05             | 0,09         |                                  | Troppo caldo                                             | 22            |
| Tau Ceti f        | ≥6,6                    |                          |                 | 233-323 K         | 1,35 ± 0,1       | 0,03 ± 0,3   | 0,71                             | Psychoplanet Orbita al confine esterno zona abitabile    | 11,90         |
| Gliese 876 d      | 6,8                     |                          |                 | 157-377°C (stima) | 0,021            | 0,21         |                                  | Troppo caldo                                             | 15            |
| HD 40307 c        | ≥6,8                    |                          |                 |                   | 0,081            | 0,06         |                                  | Troppo vicino alla stella                                | 42            |
| HD 40307 g        | ≥7,1                    |                          |                 | 279 K             | 0,600            | 0,29         | 0,79                             | Mesoplanet                                               | 42            |
| 55 Cancri e       | 8,6                     |                          |                 |                   | 0,016            | 0,17         |                                  | Troppo vicino alla stella                                | 40            |
| HD 40307 d        | ≥9,2                    |                          |                 |                   | 0,134            | 0,07         |                                  | Troppo vicino alla stella                                | 42            |

I dati sono aggiornati al 2013 !!

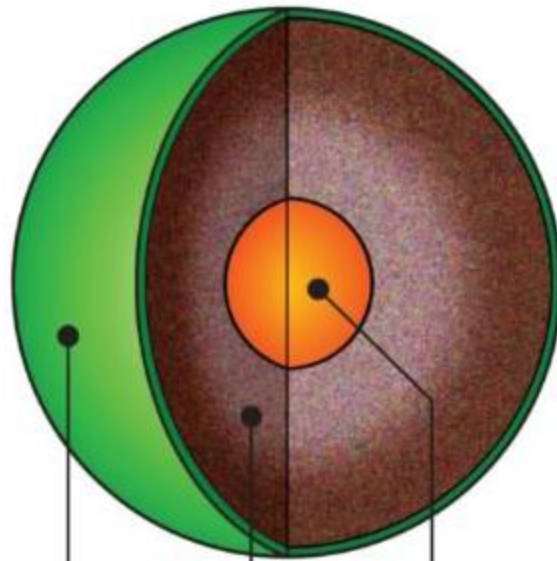
# Dimensioni delle Super-Terre



Kepler 5-12-2011



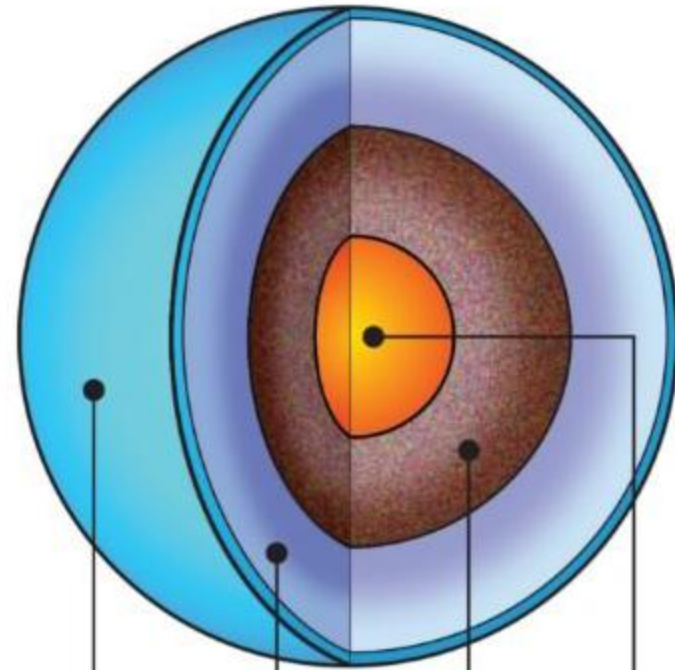
# Struttura interna di «Super-Terre»



Crosta

Mantello  
Silicati

Nucleo  
Ferro



Oceano  
liquido

Ghiaccio

Mantello  
Silicati

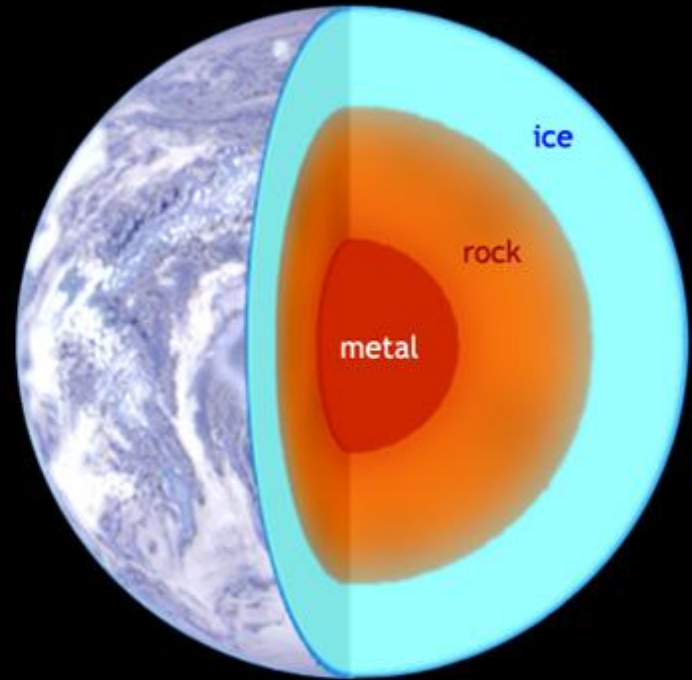
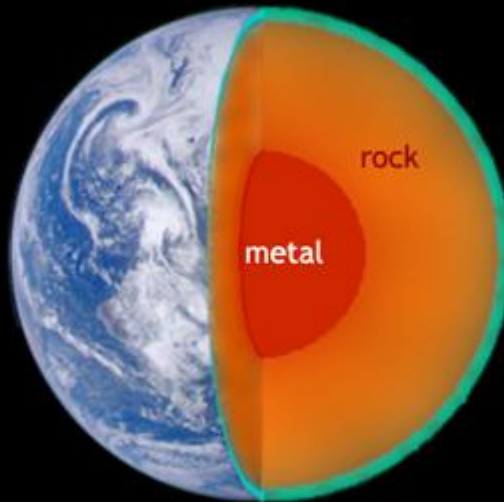
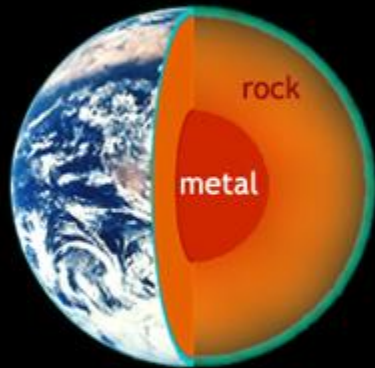
Nucleo  
Ferro

# Struttura interna di «Super-Terre»

$1 M_{\oplus}$

$3 M_{\oplus}$

$6 M_{\oplus}$



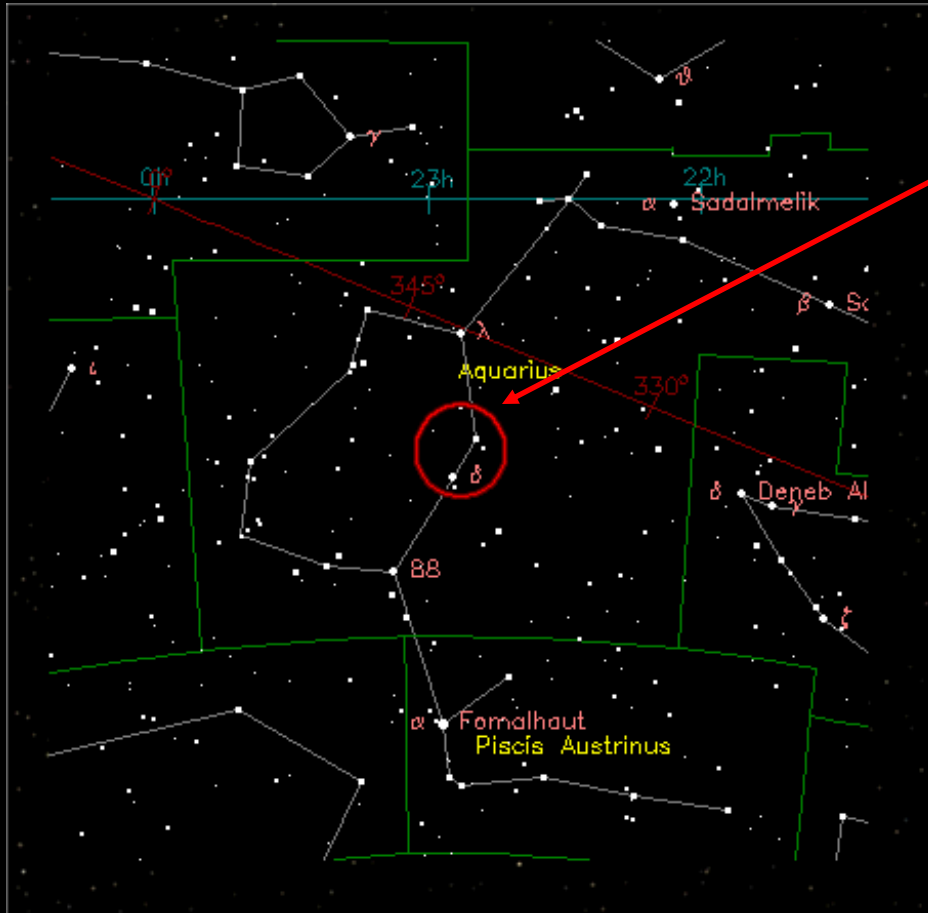
$1 R_{\oplus}$

$1.4 R_{\oplus}$

$1.8 R_{\oplus}$

# Il sistema planetario GJ 876-Gliese 876

# Il sistema stellare GJ 876-Gliese 876-Nana Rossa



Costellazione dell'Acquario

|                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| Stella              | Gliese 876          |
| Distanza            | 12 a.l.             |
| Tipo spettrale      | M4V Nana Rossa      |
| Massa               | 0,334 $M_{\odot}$   |
| Età                 | 2,5 Gyr             |
| Raggio              | 0,36 $R_{\odot}$    |
| Temperatura         | 3350 ° K            |
| Luminosità          | $L=0,013 L_{\odot}$ |
| Magnitudine Visuale | 10,17               |
| Metallicità [Fe/H]  | 0,05                |

# I pianeti extrasolari GJ876-Gliese 876 b,c,d,e

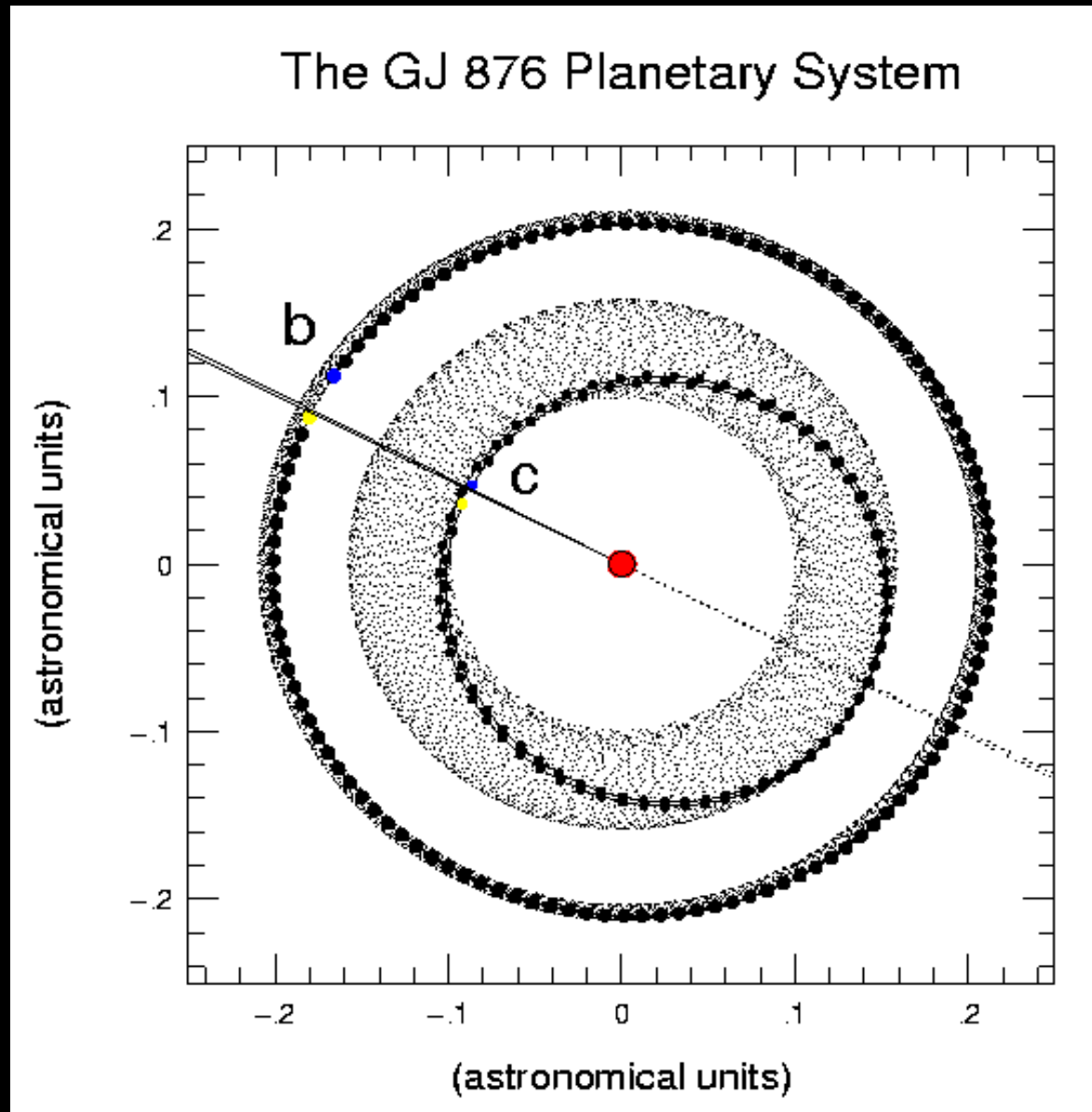
Metodo spettroscopico delle velocità radiali



Aggiornato 2014.12.20

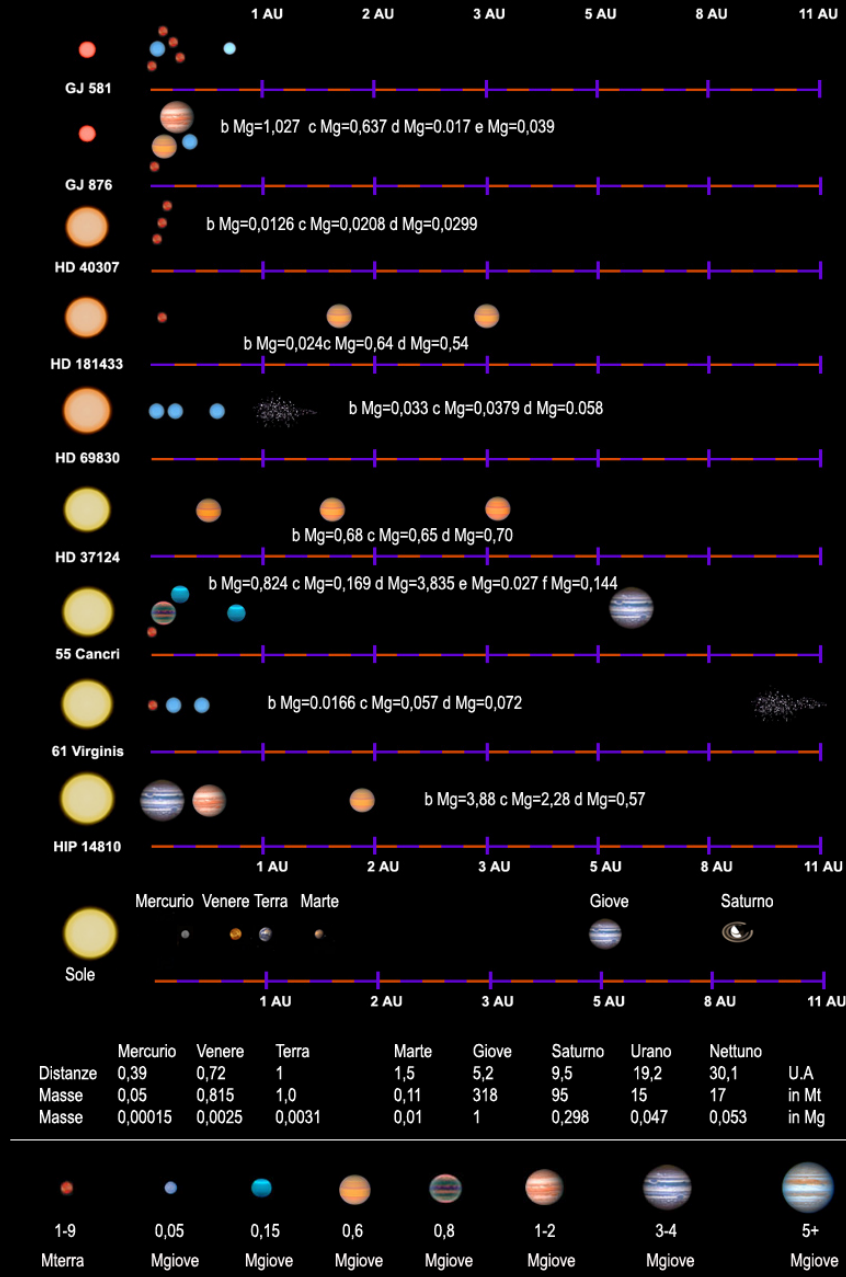
| Pianeta                     | Gliese 876 c                           | Gliese 876 d                           | Gliese 876 b                           | Gliese 876 e                           |
|-----------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Scoperto nel                | 2000                                   | 2005                                   | 2000                                   | 2010                                   |
| Massa                       | 0,637 M <sub>G</sub><br>masse di Giove | 0,017 M <sub>G</sub><br>masse di Giove | 1,927 M <sub>G</sub><br>masse di Giove | 0,039 M <sub>G</sub><br>masse di Giove |
| Massa                       | 202 M <sub>T</sub> masse<br>terrestri  | 5,4 M <sub>T</sub> masse<br>terrestri  | 613 M <sub>T</sub> masse<br>terrestri  | 12,4 M <sub>T</sub> masse<br>terrestri |
| Semiasse<br>maggiore orbita | 0,13 U.A.<br>(Unità<br>Astronomiche)   | 0,021 U.A.<br>(Unità<br>Astronomiche)  | 0,208 U.A.<br>(Unità<br>Astronomiche)  | 0,334 U.A.<br>(Unità<br>Astronomiche)  |
| Periodo orbitale            | 30,2 giorni                            | 1,94 giorni                            | 61,03 giorni                           | 124,7 giorni                           |
| Inclinazione                | 48,07°                                 | 50°                                    | 84°                                    | 59,5°                                  |
| Eccentricità                | 0,002                                  | 0,081                                  | 0                                      | 0,073                                  |

# Il sistema planetario GJ876-Gliese 876 b,c,d,e



# Sistemi extrasolari multipli

# Sistemi extrasolari multipli



# Sistemi extrasolari multipli

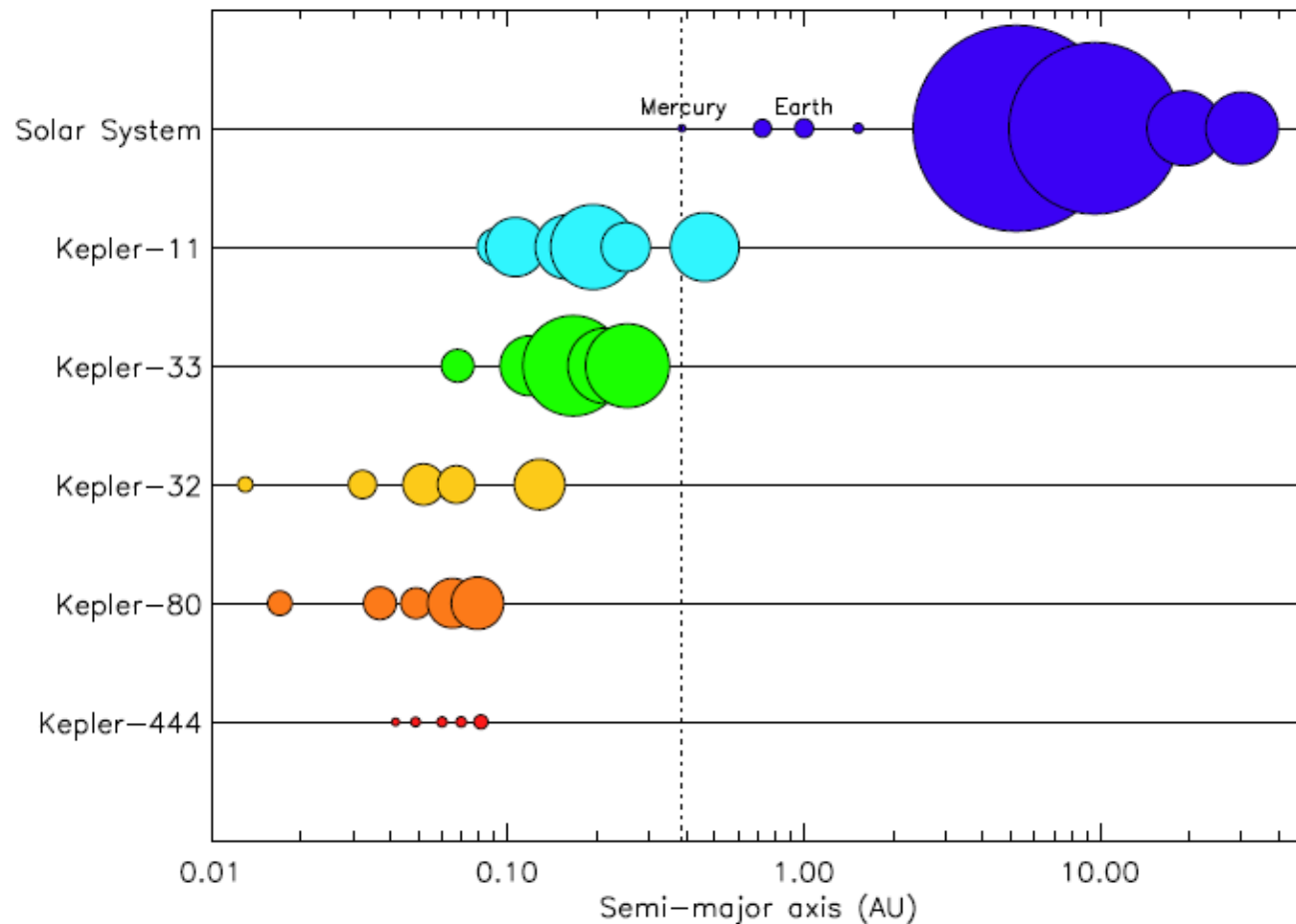
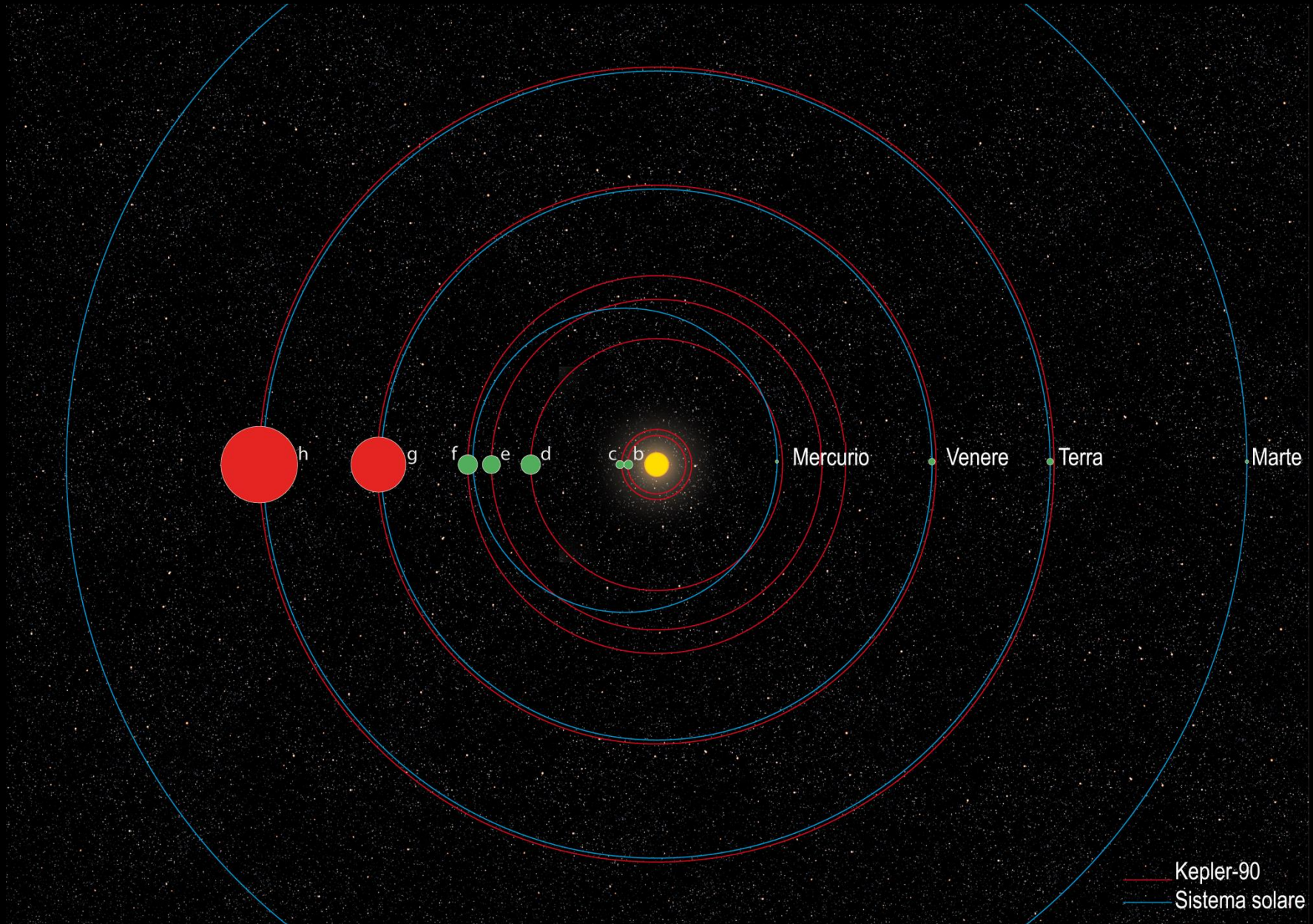
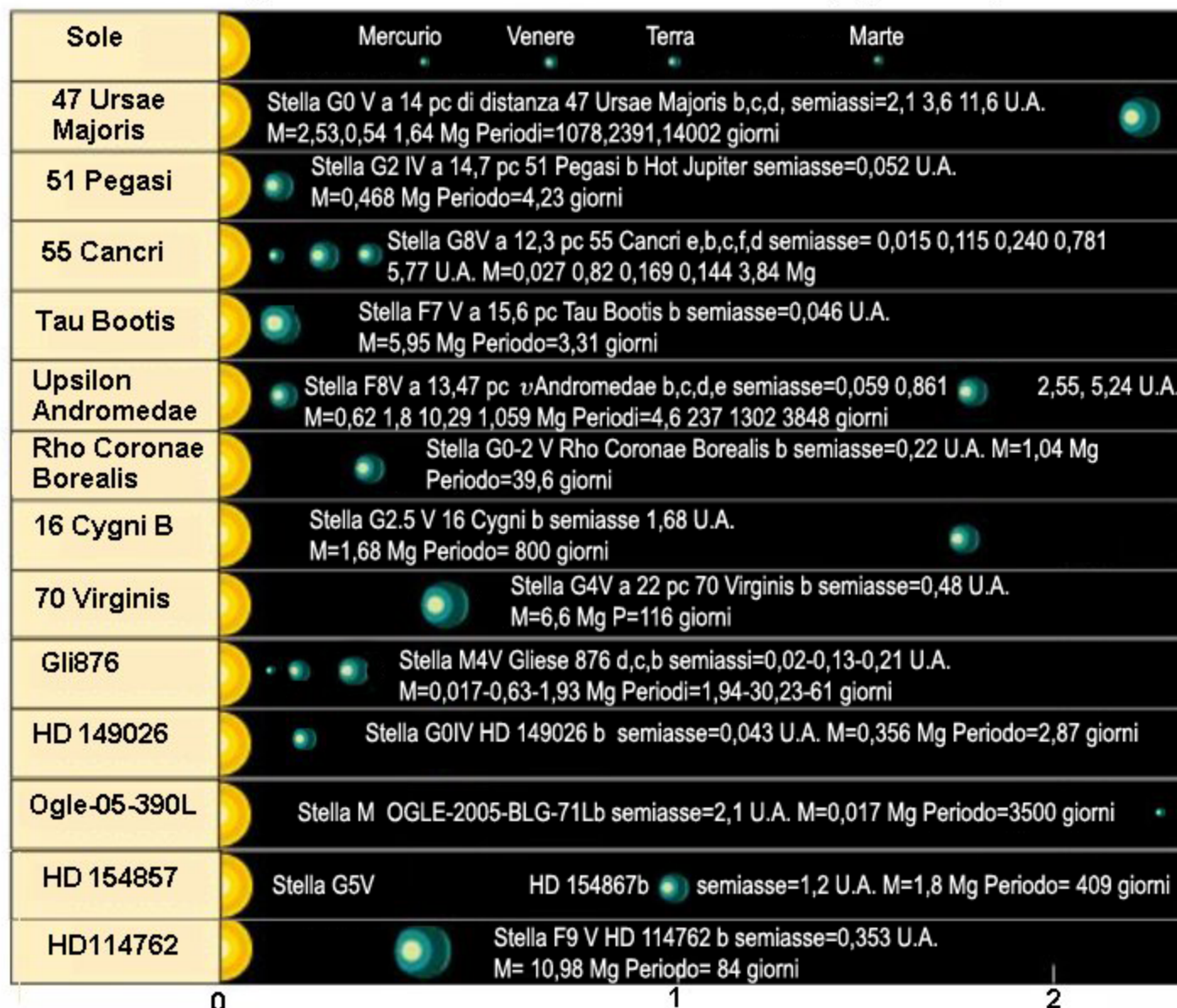


Fig. 10.— Semi-major axes of planets belonging to the highly-compact multiple-planet systems Kepler-444, Kepler-11, Kepler-32, Kepler-33, and Kepler-80. Semi-major axes of planets in the Solar System are shown for comparison. The vertical dotted line marks the semi-major axis of Mercury. Symbol size is proportional to planetary radius. Note that all planets in the Kepler-444 system are interior to the orbit of the innermost planet in the Kepler-11 system, the prototype of this class of highly-compact multiple-planet systems.

# Sistemi extrasolari multipli-Kepler 90



Mg=massa di Giove Mt=massa della Terra (Mg=317 Mt)



0

1

2

Semiassa maggiore dell'orbita in U.A.

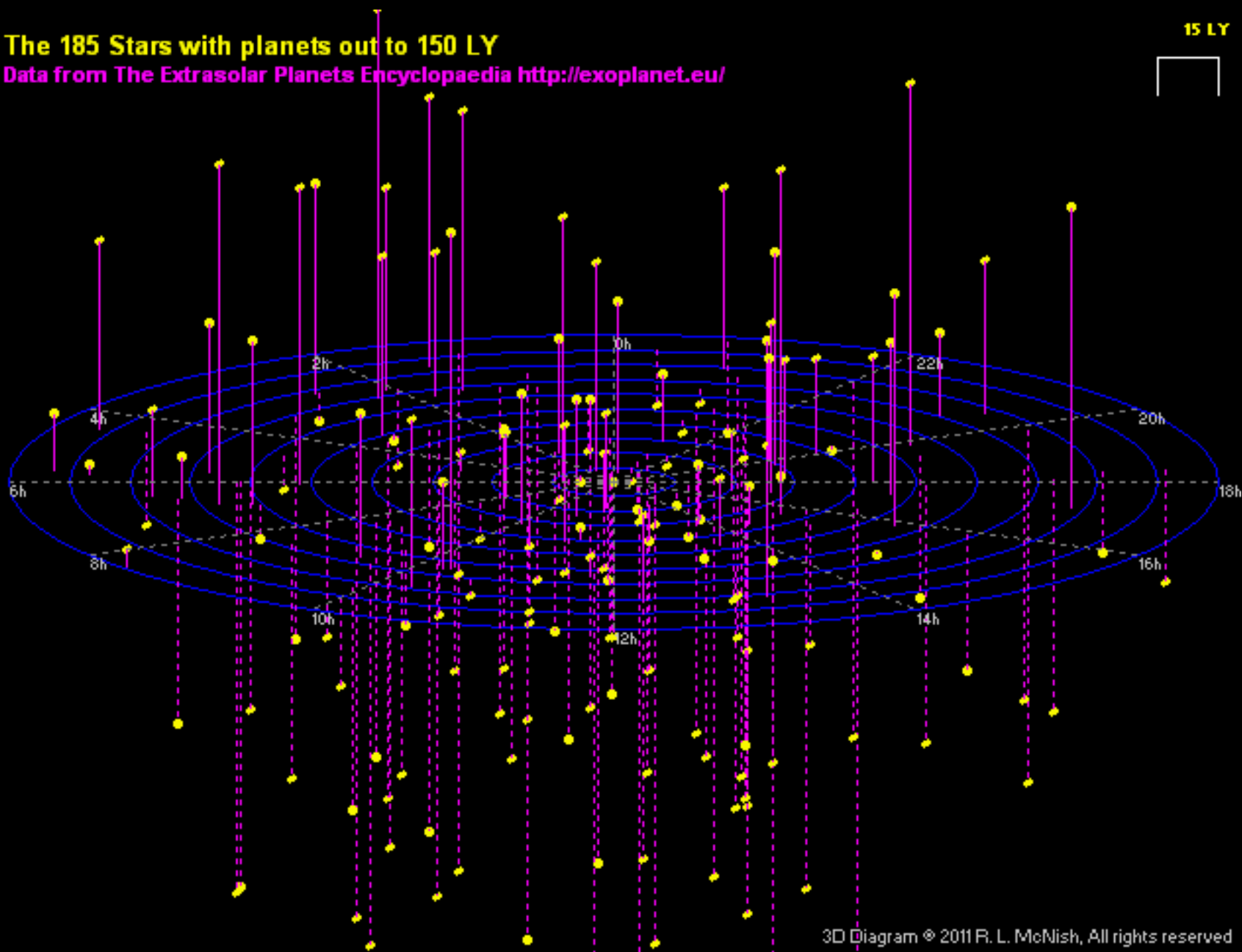
NB il confronto è fatto con le orbite dei pianeti interni (terrestri) del Sistema solare

# Pianeti extrasolari entro 150 a.l.

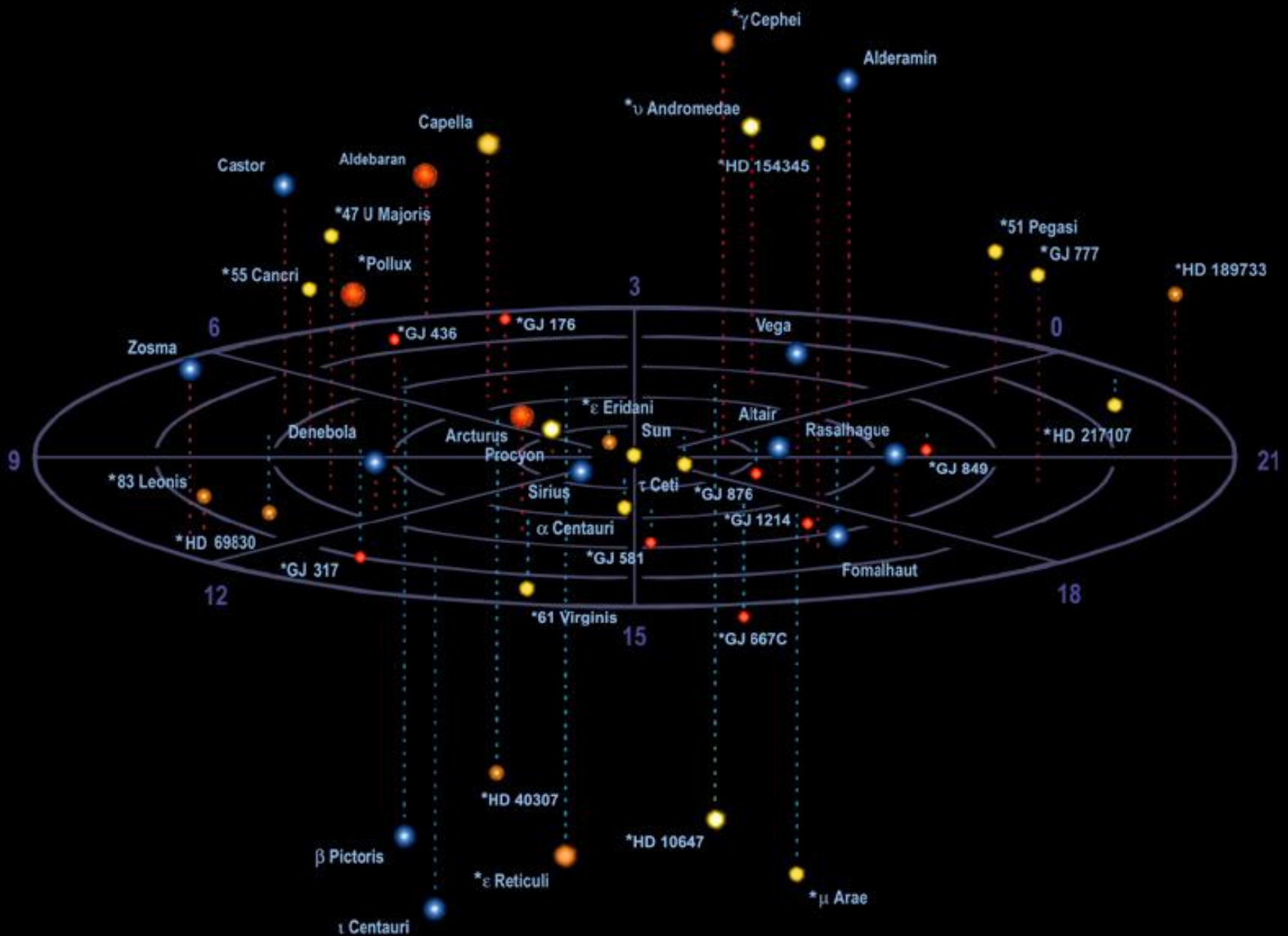
The 185 Stars with planets out to 150 LY

Data from The Extrasolar Planets Encyclopaedia <http://exoplanet.eu/>

15 LY



# Pianeti extrasolari entro 65,2 a.l.

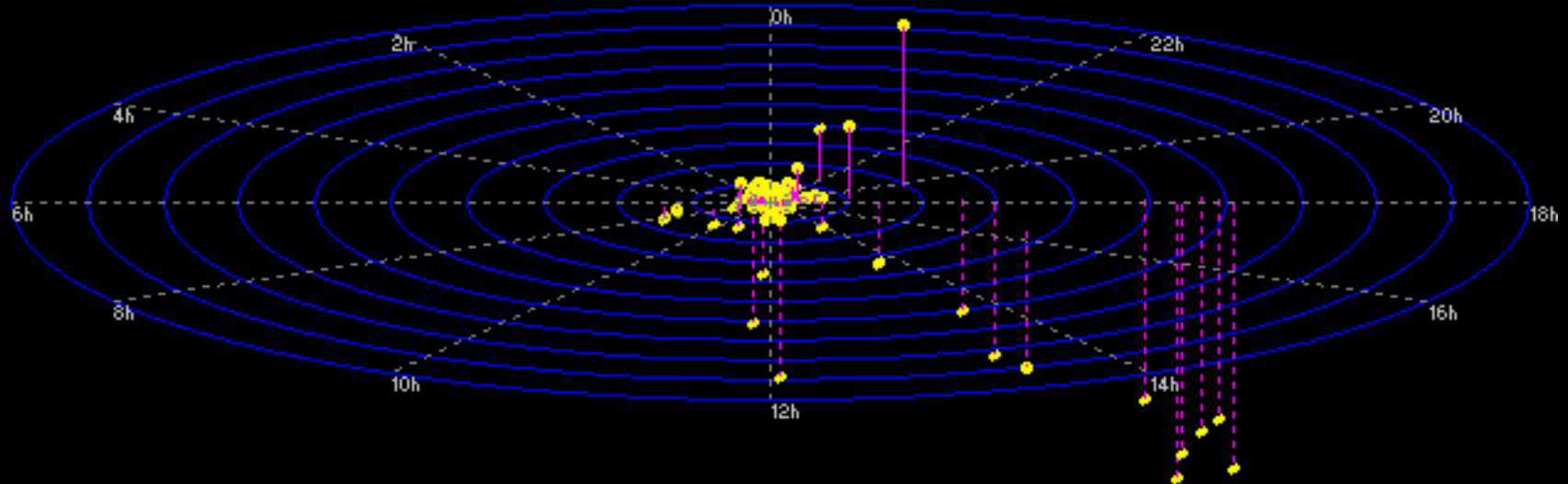


# Pianeti extrasolari entro 30000 a.l.

The 427 Stars with planets out to 30000 LY

Data from The Extrasolar Planets Encyclopaedia <http://exoplanet.eu/>

3,000 LY



Abitabilità

# Pianeti extrasolari nella zona di «abitabilità» ?

Potenziati esopianeti abitabili  
confrontati con la Terra e Marte

Terra 1,00  Marte 0,66 

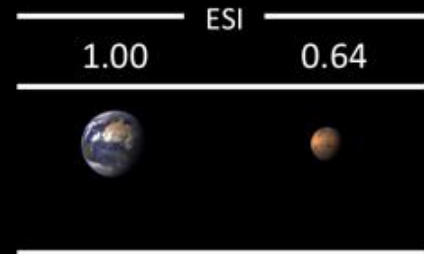
| #1                                                                                | #2                                                                                | #3                                                                                | #4                                                                                  | #5                                                                                  | #6                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Earth Similarity Index                                                            |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
| 0.92                                                                              | 0.85                                                                              | 0.81                                                                              | 0.77                                                                                | 0.73                                                                                | 0.72                                                                                |
|  |  |  |  |  |  |
| Gliese 581 g                                                                      | Gliese 667C c                                                                     | Kepler-22 b                                                                       | HD 85512 b                                                                          | Gliese 163 c                                                                        | Gliese 581 d                                                                        |
| Discovery Date                                                                    |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
| Sep 2010                                                                          | Nov 2011                                                                          | Dec 2011                                                                          | Sep 2011                                                                            | Sep 2012                                                                            | Apr 2007                                                                            |

Last Update: August 29, 2012

CREDIT: The Habitable Exoplanets Catalog, PHL @ UPR Arecibo (phl.upr.edu)

# Pianeti extrasolari nella zona di «abitabilità» ?

ESI=Earth Similarity Index



| #1   | #2   | #3   | #4   | #5   | #6         | #7   | #8   | #9   |
|------|------|------|------|------|------------|------|------|------|
| 0.82 | 0.82 | 0.79 | 0.75 | 0.74 | (ESI) 0.69 | 0.68 | 0.67 | 0.50 |



Kepler-62 e

Apr 2013



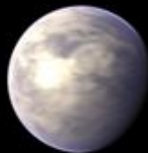
Gliese 581 g\*

Sep 2010



Gliese 667C c

Nov 2011



Kepler-22 b

Dec 2011



Tau Ceti e\*

Dec 2012



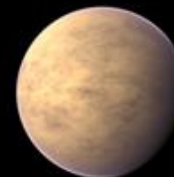
Kepler-62 f

Apr 2013



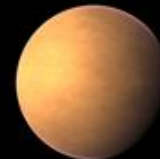
Gliese 163 c

Sep 2012



HD 40307 g\*

Nov 2012



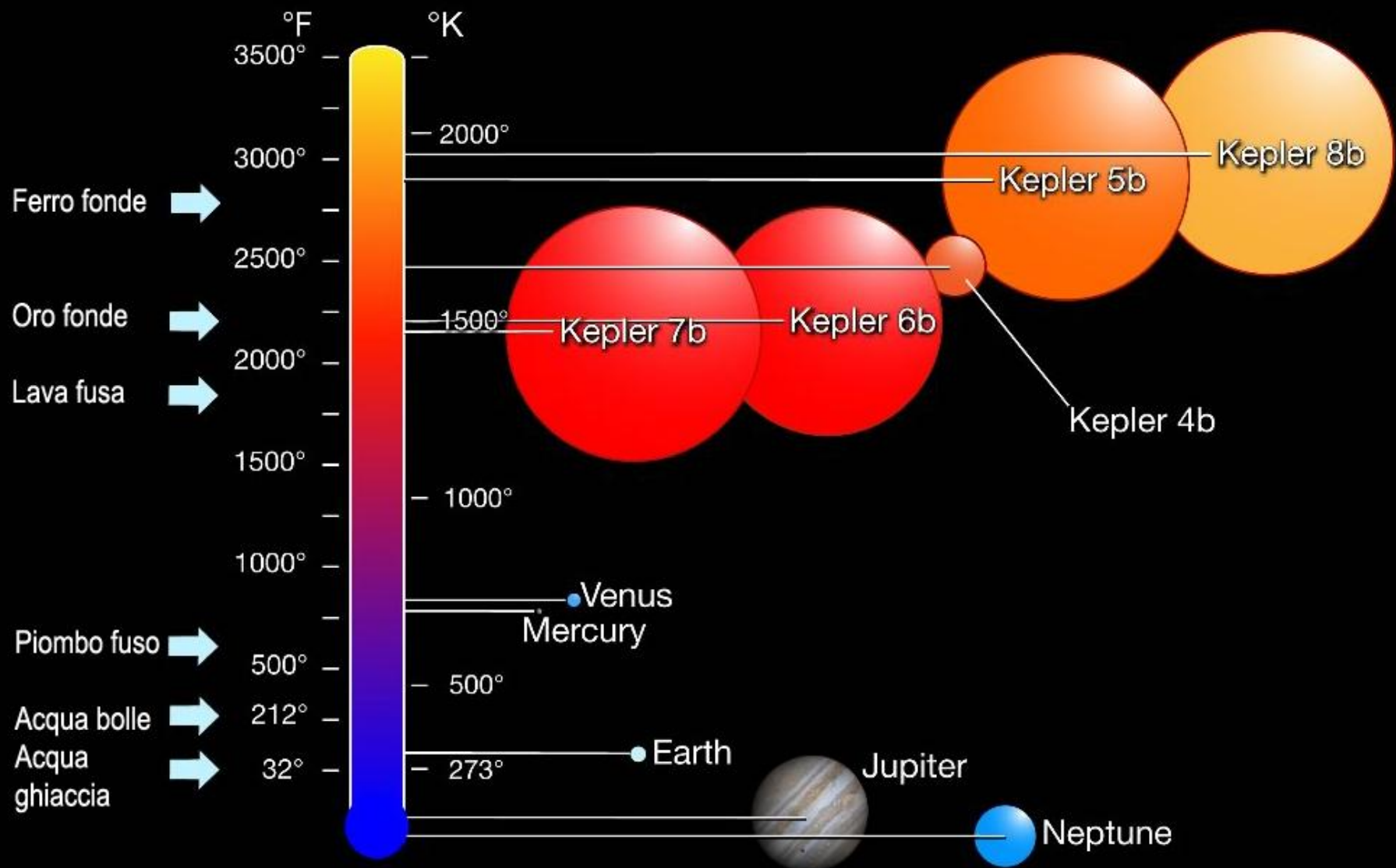
Gliese 581 d

Apr 2007

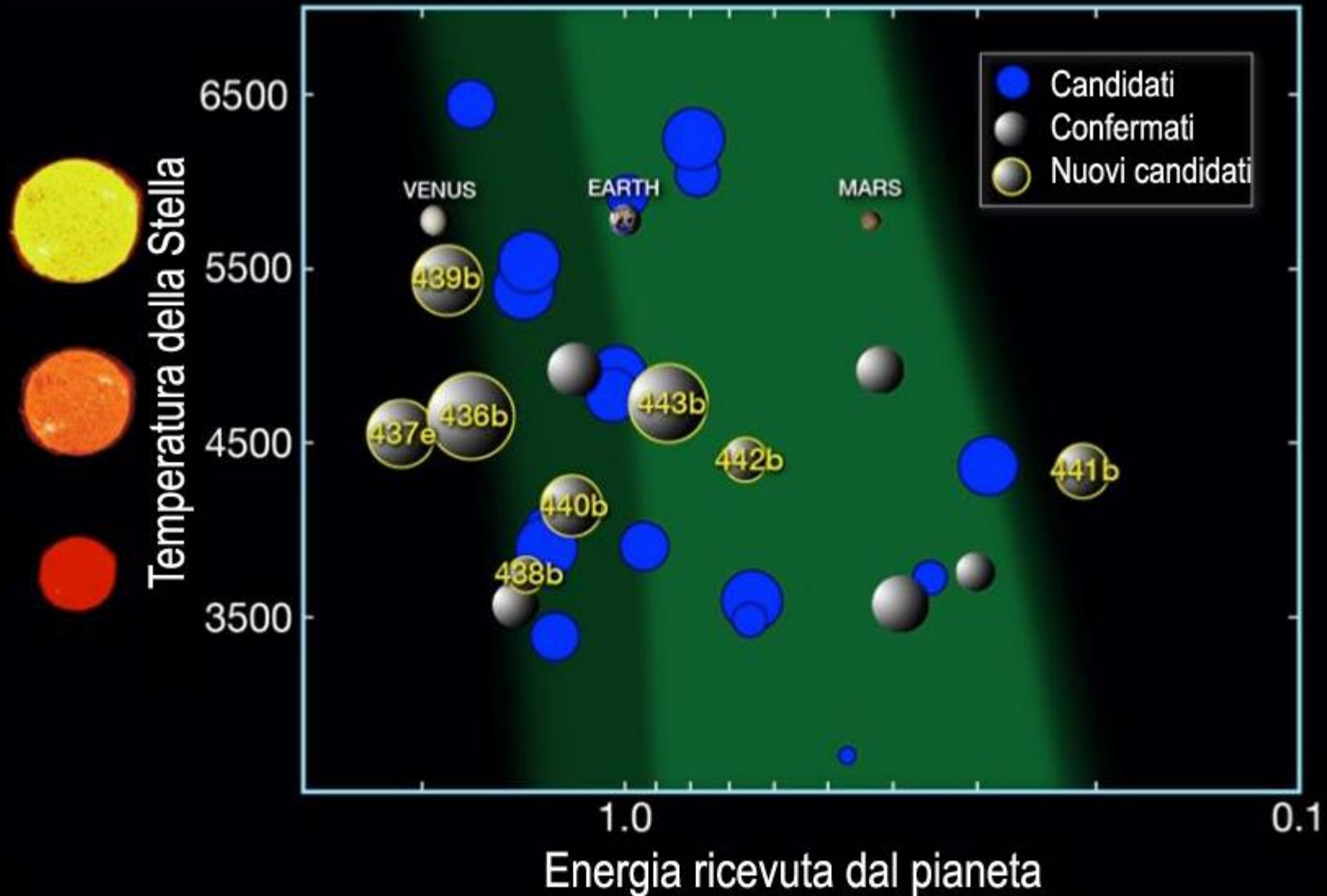
\*planet candidates

CREDIT: PHL @ UPR Arecibo (phl.upr.edu) April 18, 2013

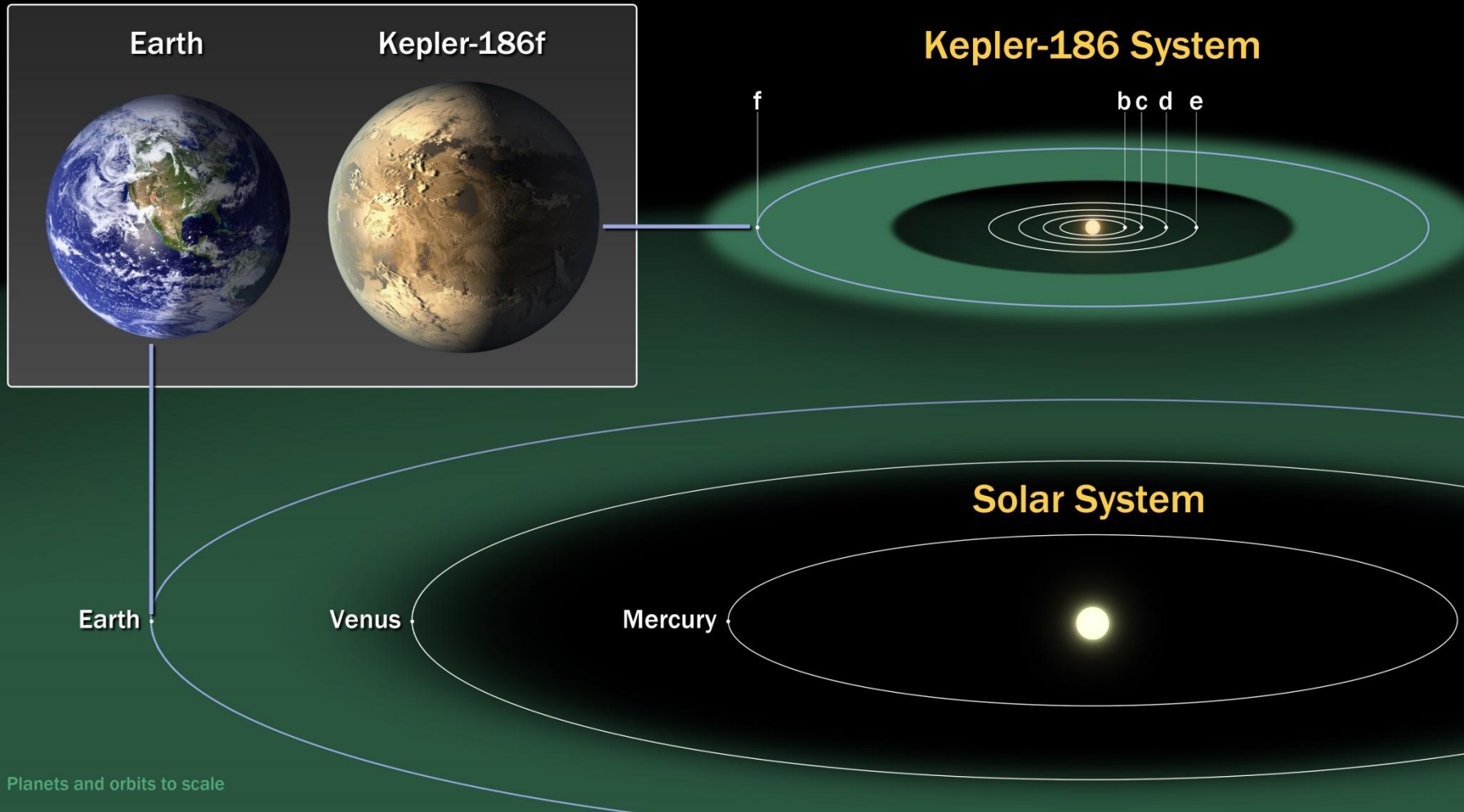
# Pianeti extrasolari temperature e dimensioni



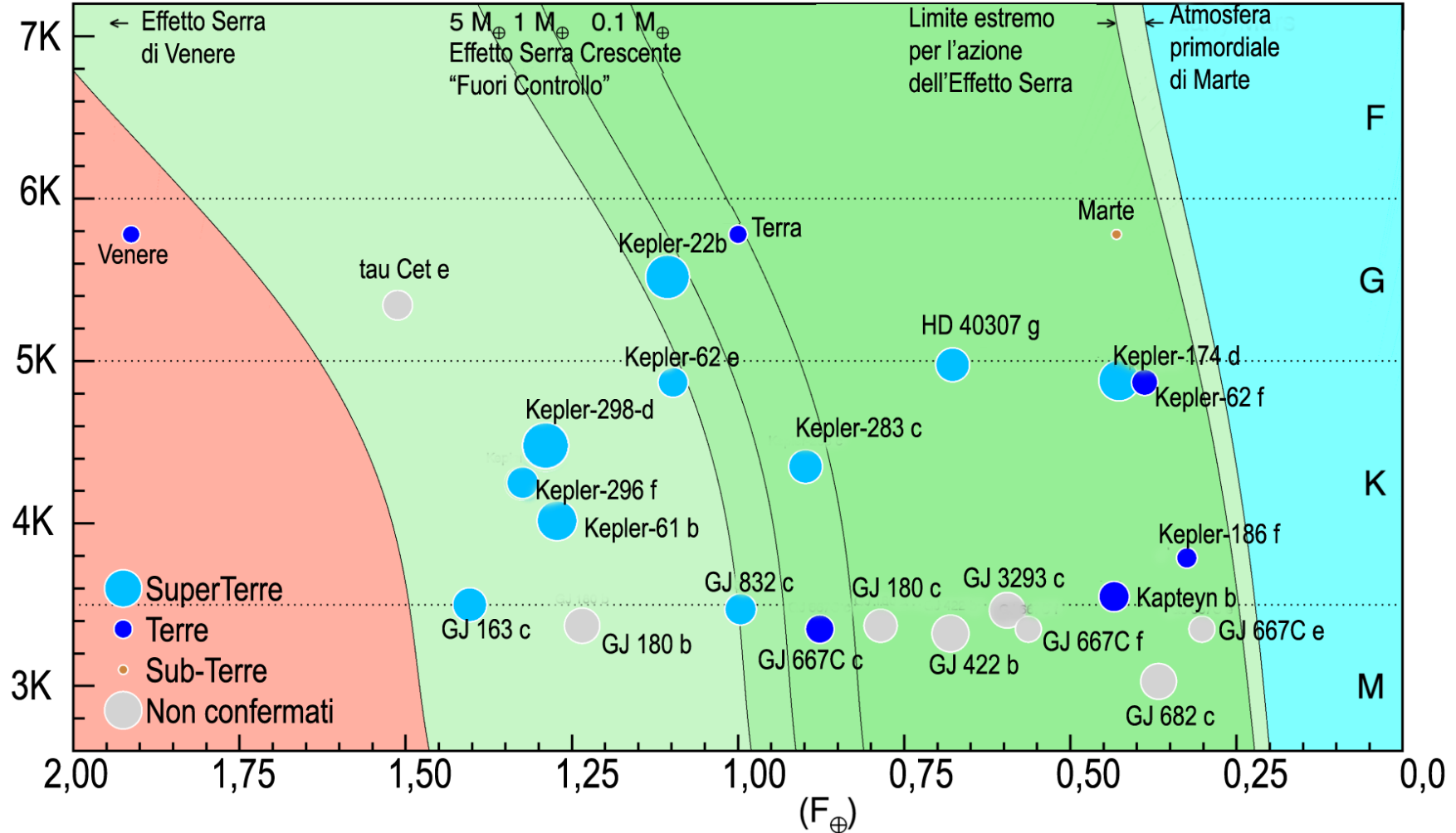
# Pianeti extrasolari Kepler al 15 gennaio 2015



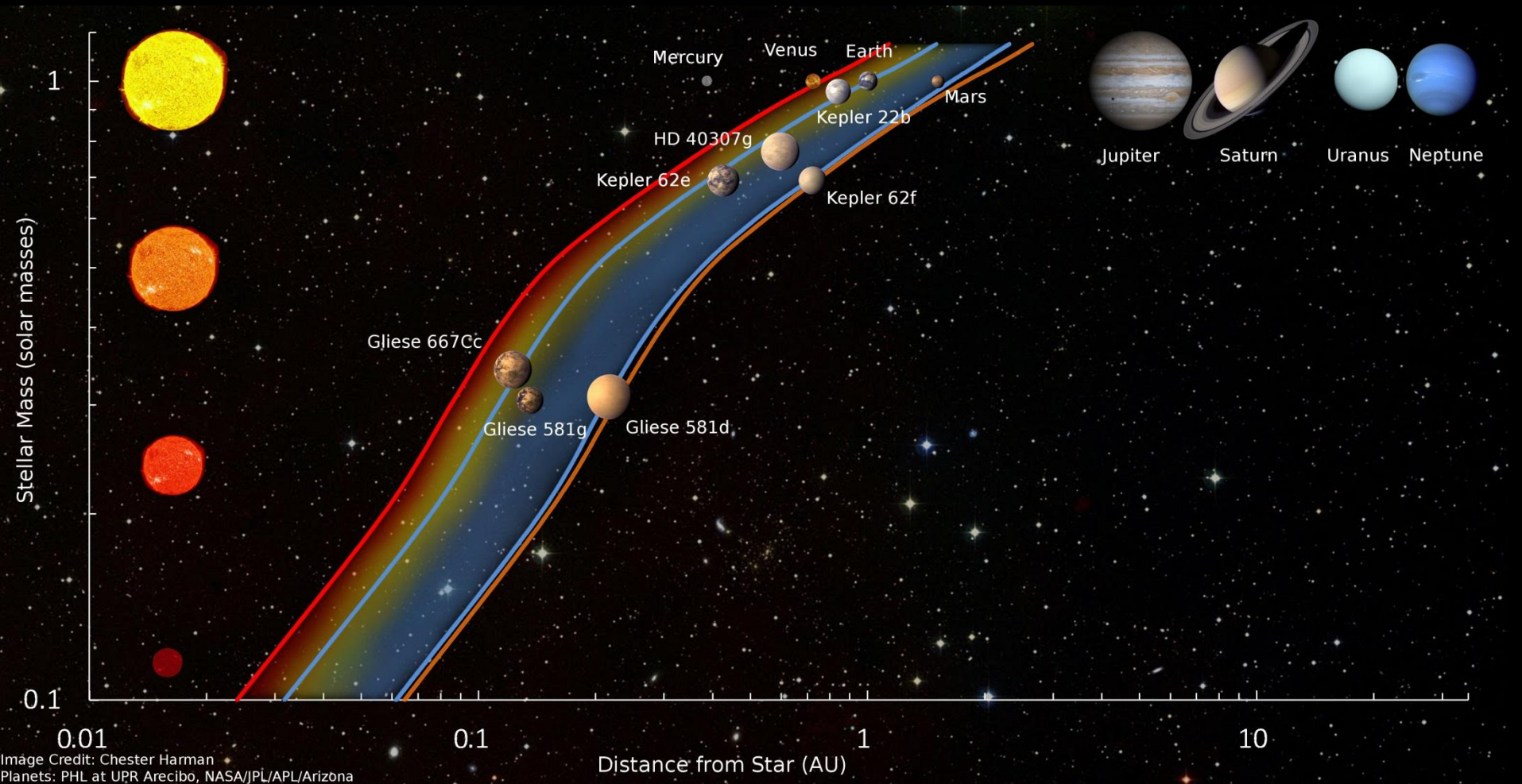
# Il sistema planetario Kepler-186 «Abitabilità»



# Candidati pianeti «Abitabili»



# Candidati pianeti «Abitabili»



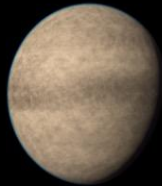
# Candidati pianeti «Abitabili»

## Potentially Habitable Exoplanets

Ranked by Distance from Earth (light years)



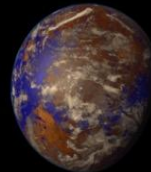
[4 ly]  
Proxima b



[13 ly]  
Kapteyn b\*



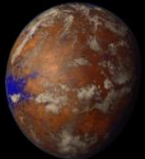
[14 ly]  
Wolf 1061 c



[22 ly]  
GJ 667 C c



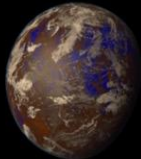
[22 ly]  
GJ 667 C e\*



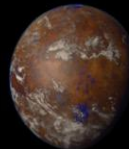
[22 ly]  
GJ 667 C f\*



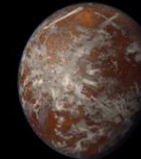
[561 ly]  
Kepler-186 f



[770 ly]  
Kepler-1229 b



[1115 ly]  
Kepler-442 b



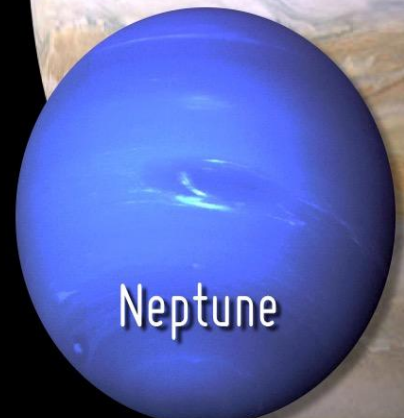
[1200 ly]  
Kepler-62 f



Earth



Mars



Neptune

Artistic representations. Earth, Mars, Jupiter, and Neptune for scale.

Distance is between brackets. Planet candidates indicated with asterisks.

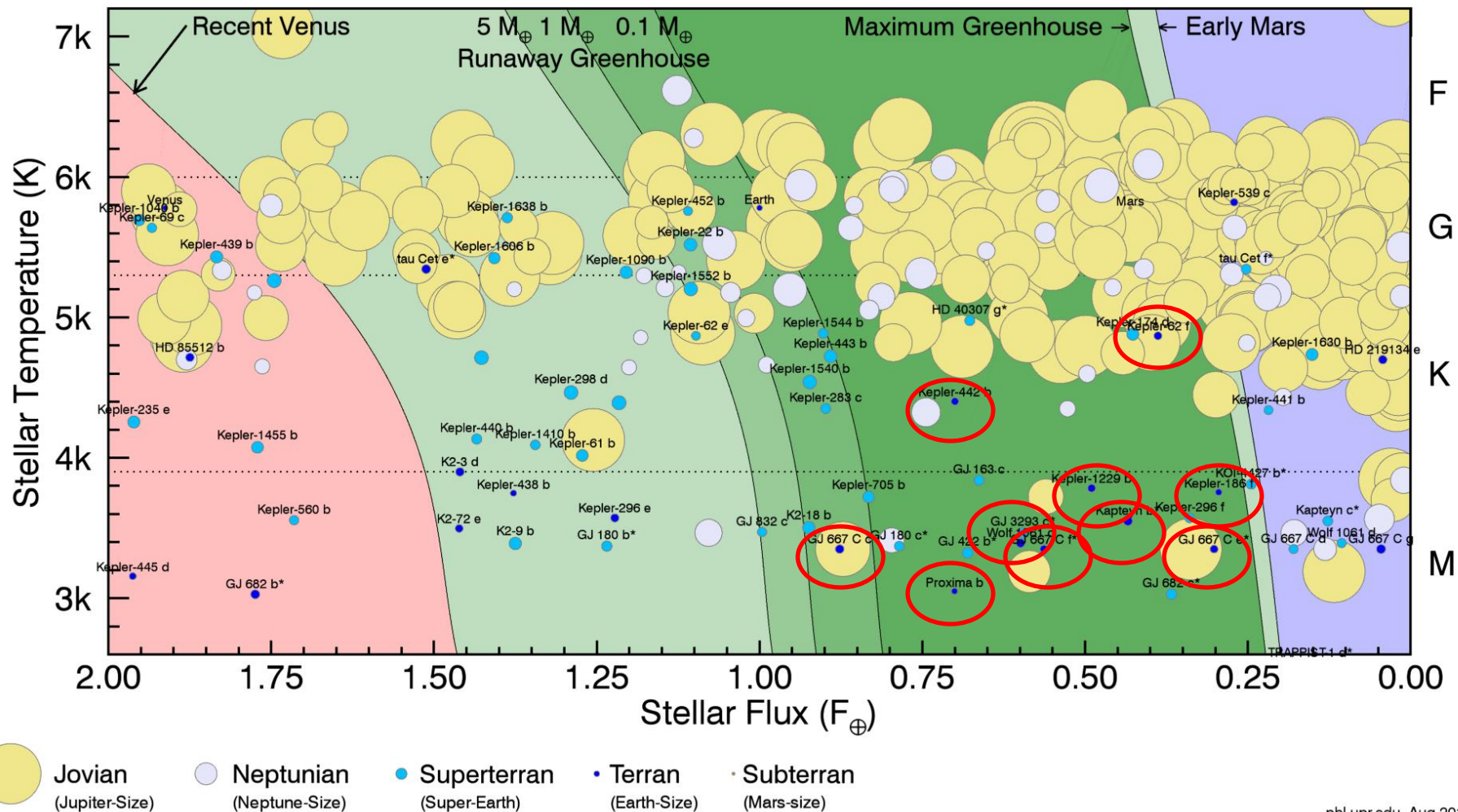
CREDIT: PHL @ UPR Arecibo (phl.upr.edu) August 24, 2016

# Candidati pianeti «Abitabili»

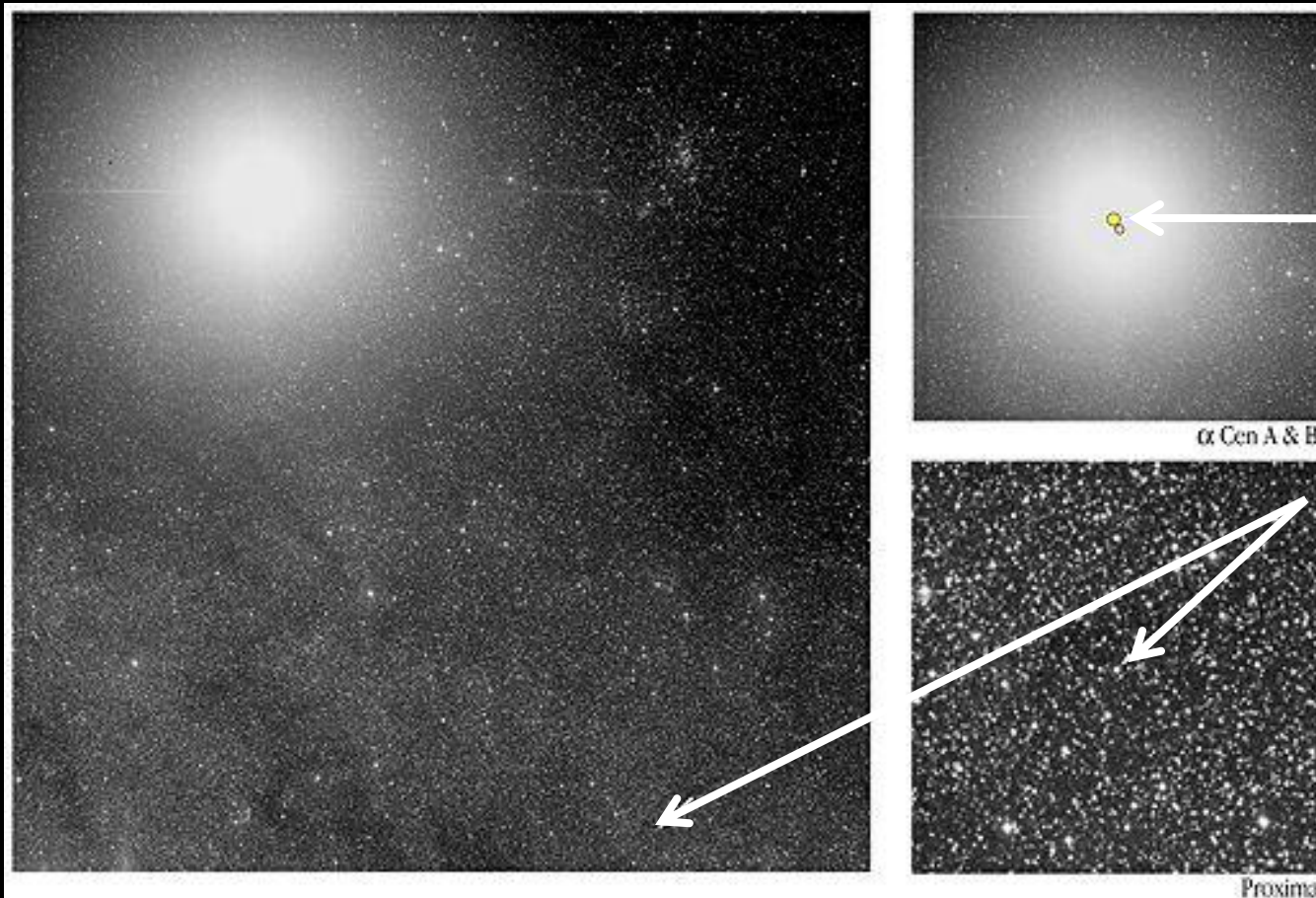
Subterra = 0.1 - 0.5 MT o 0.4 -0.8 RT    Terran= 0.5 -5 MT   o 0.8 - 1.5 RT, Superterra= 5 -10 MT o 1.5 -2.5 RT

| Nome                      | Tipo          | Massa MT         | Raggio RT       | Flusso FT | T <sub>eq</sub> (K) | Periodo (giorni) | Distanza (a.l.) | ESI  |
|---------------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------|---------------------|------------------|-----------------|------|
| <b>001. Proxima b(N)</b>  | M-Warm Terran | ≥ 1.3            | 0.8 - 1.1 - 1.4 | 0.70      | 227                 | 11.2             | 4               | 0.87 |
| <b>002. GJ 667 C c</b>    | M-Warm Terran | ≥ 3.8            | 1.1 - 1.5 - 2.0 | 0.88      | 247                 | 28.1             | 22              | 0.84 |
| <b>003. Kepler-442 b</b>  | K-Warm Terran | 8.2 - 2.3 - 1.0  | 1.3             | 0.70      | 233                 | 112.3            | 1115            | 0.84 |
| <b>004. GJ 667 C f*</b>   | M-Warm Terran | ≥ 2.7            | 1.0 - 1.4 - 1.8 | 0.56      | 221                 | 39.0             | 22              | 0.77 |
| <b>005. Wolf 1061 c</b>   | M-Warm Terran | ≥ 4.3            | 1.1 - 1.6 - 2.0 | 0.60      | 223                 | 17.9             | 14              | 0.76 |
| <b>006. Kepler-1229 b</b> | M-Warm Terran | 9.8 - 2.7 - 1.2  | 1.4             | 0.49      | 213                 | 86.8             | 769             | 0.73 |
| <b>007. Kapteyn b*</b>    | M-Warm Terran | ≥ 4.8            | 1.2 - 1.6 - 2.1 | 0.43      | 205                 | 48.6             | 13              | 0.67 |
| <b>008. Kepler-62 f</b>   | K-Warm Terran | 10.2 - 2.8 - 1.2 | 1.4             | 0.39      | 201                 | 267.3            | 1200            | 0.67 |
| <b>009. Kepler-186 f</b>  | M-Warm Terran | 4.7 - 1.5 - 0.6  | 1.2             | 0.29      | 188                 | 129.9            | 561             | 0.61 |
| <b>010. GJ 667 C e*</b>   | M-Warm Terran | ≥ 2.7            | 1.0 - 1.4 - 1.8 | 0.30      | 189                 | 62.2             | 22              | 0.60 |

# Candidati pianeti «Abitabili»



# Il sistema di $\alpha$ Centauri



$\alpha$  CenA-B

Proxima

The Triple Stellar System Alpha Centauri  
(ESO 1-m Schmidt Telescope)

ESO PR Photo 07a/03 (15 March 2003)

© European Southern Observatory





Sole

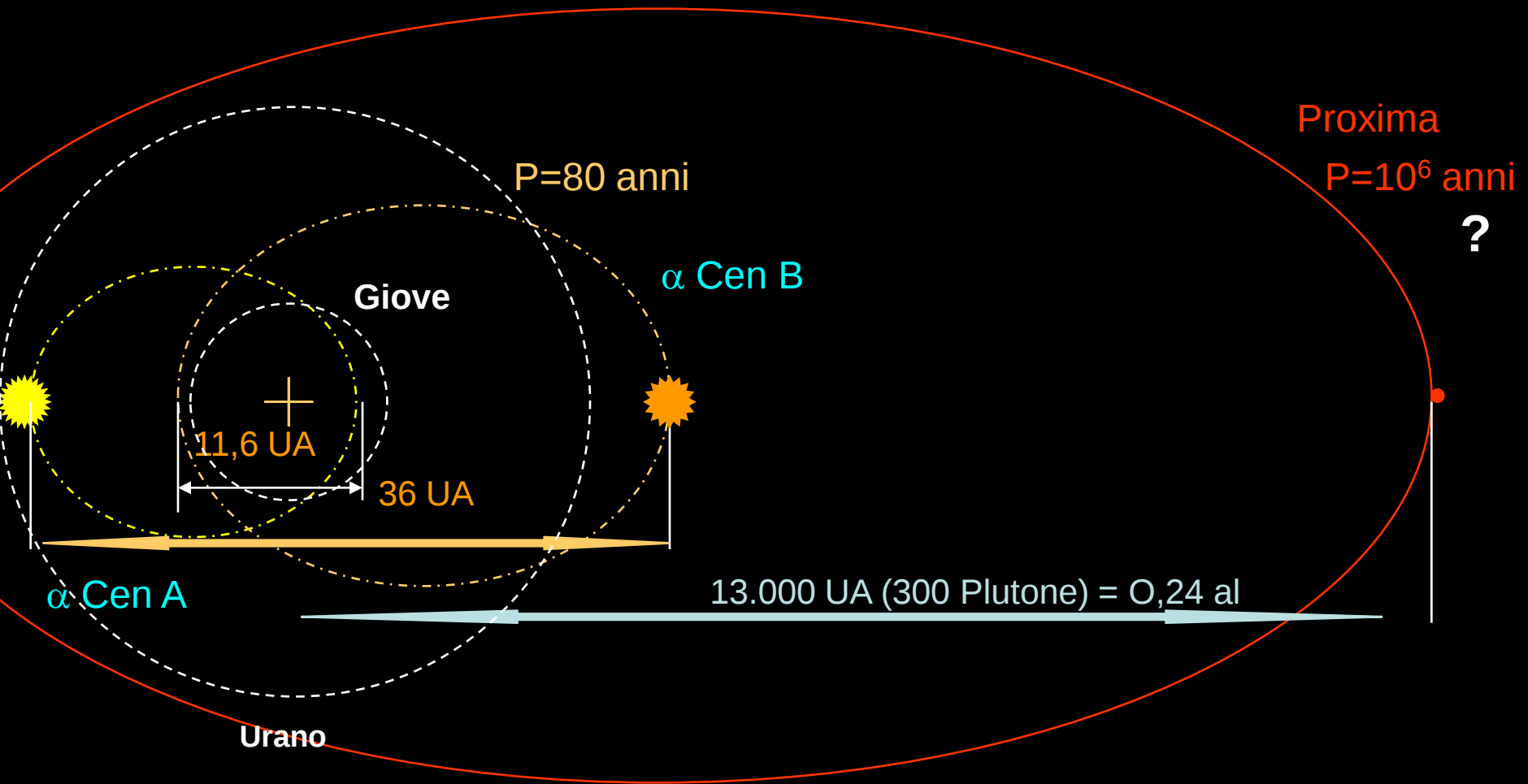
α Centauri A

α Centauri B

- **α CenA**
  - Tipo spettrale = G2
  - Massa =  $1,09 M_{\odot}$
  - Raggio =  $1,23 R_{\odot}$
  - Luminosità =  $1,54 L_{\odot}$
  - Età = 4,85 – 6,8 miliardi di anni
  - Temperatura =  $5770^{\circ}\text{K}$

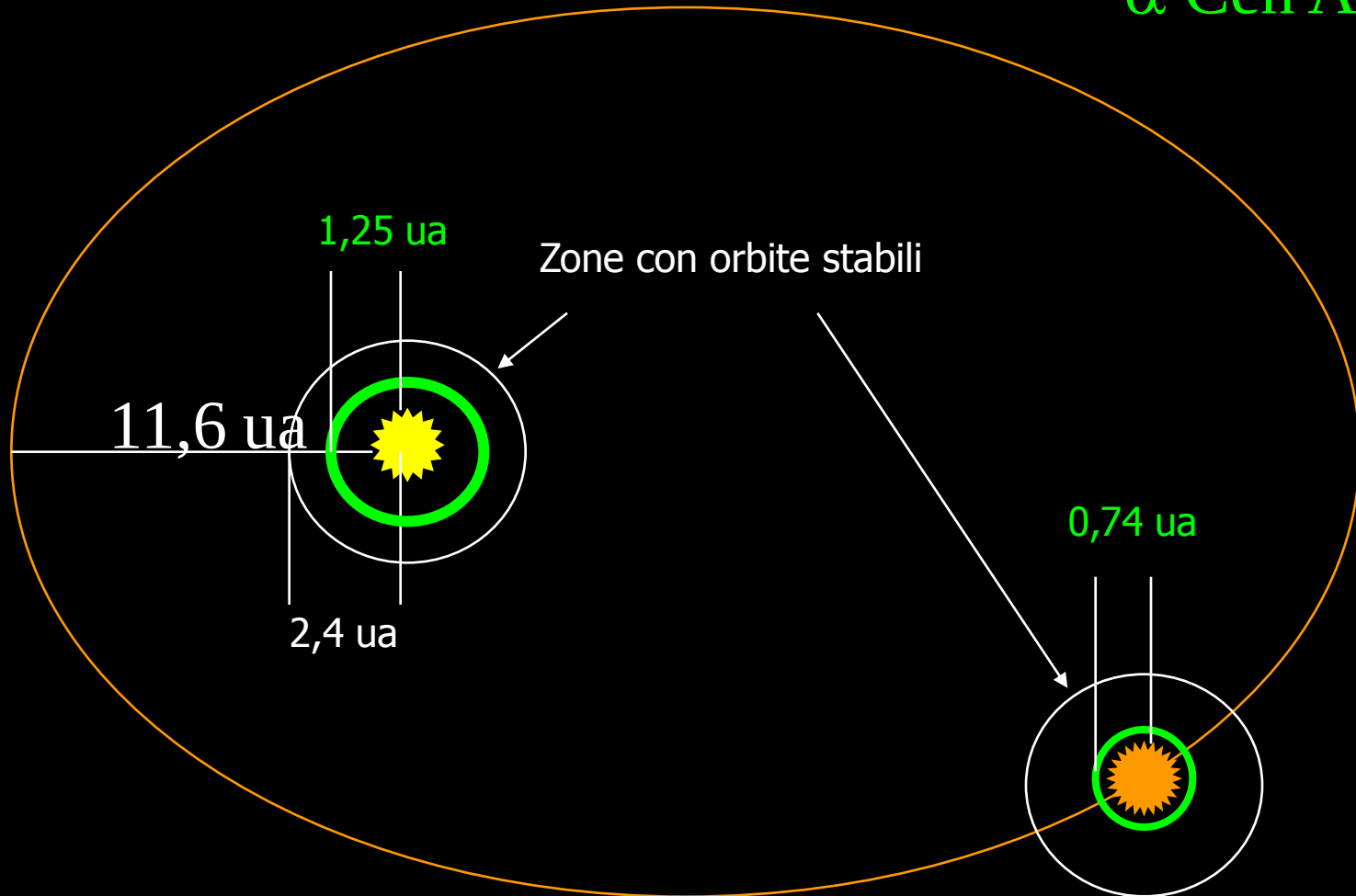
- **α CenB**
  - Tipo spettrale = K1
  - Massa =  $0,91 M_{\odot}$
  - Raggio =  $0,86 R_{\odot}$
  - Luminosità =  $0,50 L_{\odot}$
  - Temperatura =  $5300^{\circ}\text{K}$
  - Anno di scoperta: 1752

# Il sistema di $\alpha$ Cen



# Pianeti nella fascia di abitabilità?

$\alpha$  Cen A-B



# Candidati pianeti «Abitabili»

## Proxima Centauri b

|                      |                                                                      |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Nome                 | <b>Proxima Cen b</b>                                                 |
| Scoperto             | <b>2016</b>                                                          |
| Mass                 | <b>0,004 (<math>\pm</math> 0,0006) <math>M_{\text{giove}}</math></b> |
| Massa*sin(i)         | <b>0,004 (<math>\pm</math> 0,0006) <math>M_{\text{giove}}</math></b> |
| Semiasse maggiore    | <b>0,0485 (<math>\pm</math> 0,0041) UA</b>                           |
| Periodo orbitale     | <b>11,186 (<math>\pm</math> 0,001) JD</b>                            |
| Eccentricità         | <b>0,0 ( <math>_{-0.0}^{+0.35}</math> )</b>                          |
| Update               | <b>2016-08-24</b>                                                    |
| Metodo               | <b>Velocità radiali</b>                                              |
| Metodo per la massa  | <b>Velocità radiali</b>                                              |
| Metodo per il raggio | <b>—</b>                                                             |
| Altri nomi           | <b>alpha Cen C b, GL 551 C b, HIP 70890 b</b>                        |

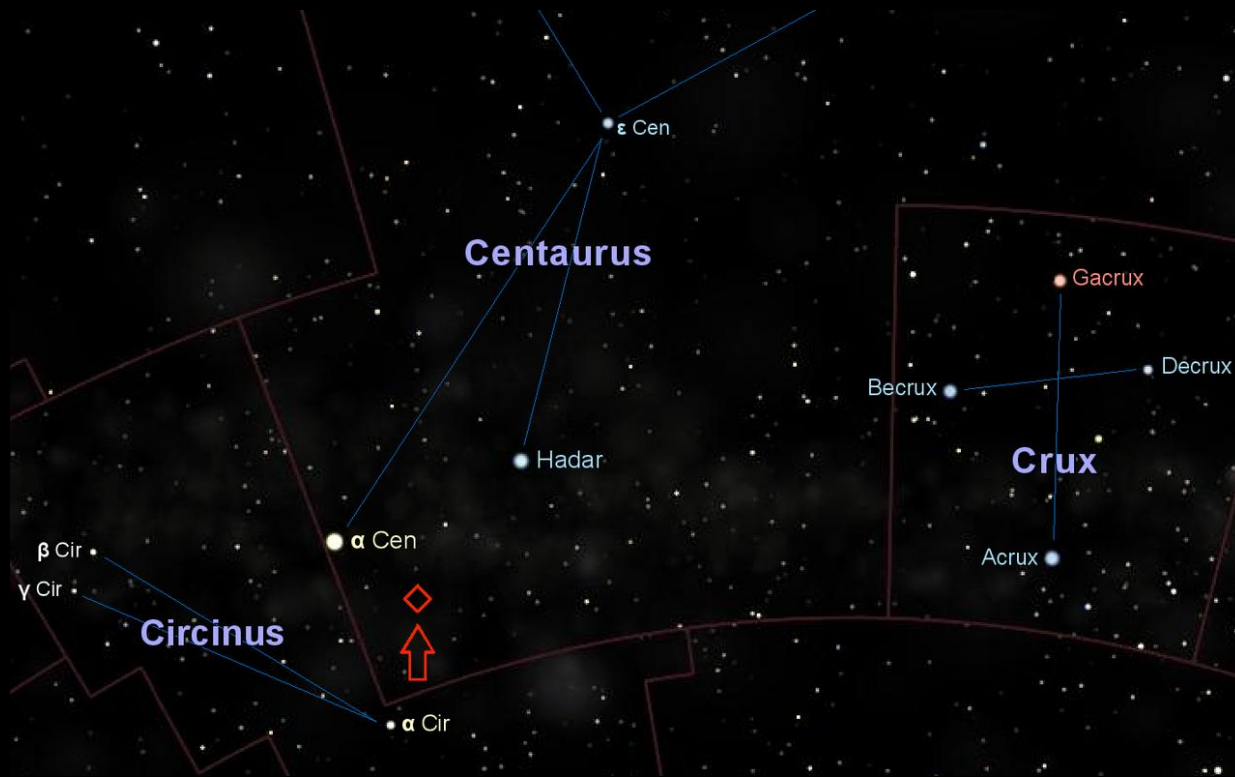
|                         |                                                                    |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Nome Stella             | <b>Proxima Centauri</b>                                            |
| Distanza                | <b>4,22 a.l. 1,295 pc</b>                                          |
| Tipo spettrale          | <b>M5,5V</b>                                                       |
| Magnitudine apparente V | <b>11,13</b>                                                       |
| Massa                   | <b>0,12 (<math>\pm</math> 0,015) <math>M_{\text{sole}}</math></b>  |
| Età                     | <b>5-6 miliardi di anni</b>                                        |
| Temperatura effettiva   | <b>3050,0 (<math>\pm</math> 100,0) °K</b>                          |
| Raggio                  | <b>0,141 (<math>\pm</math> 0,021) <math>R_{\text{sole}}</math></b> |
| Metallicità [Fe/H]      | <b>—</b>                                                           |
| Disco di polveri        | <b>—</b>                                                           |
| Campo magnetico         | <b>—</b>                                                           |
| RA <sub>2000</sub>      | <b>14:29:43.0</b>                                                  |
| Dec <sub>2000</sub>     | <b>-62:40:46</b>                                                   |
| Altri nomi              | <b>alpha Cen C, GL 551, HIP 70890</b>                              |
| Sistema planetario      | <b>1 pianeta</b>                                                   |

# Proxima Centauri



- E' una flare-star, cioè una stella con un'intensa attività superficiale
- Nell'arco di pochi minuti può aumentare la sua luminosità di molte volte

# Proxima Centauri b - Abitabilità



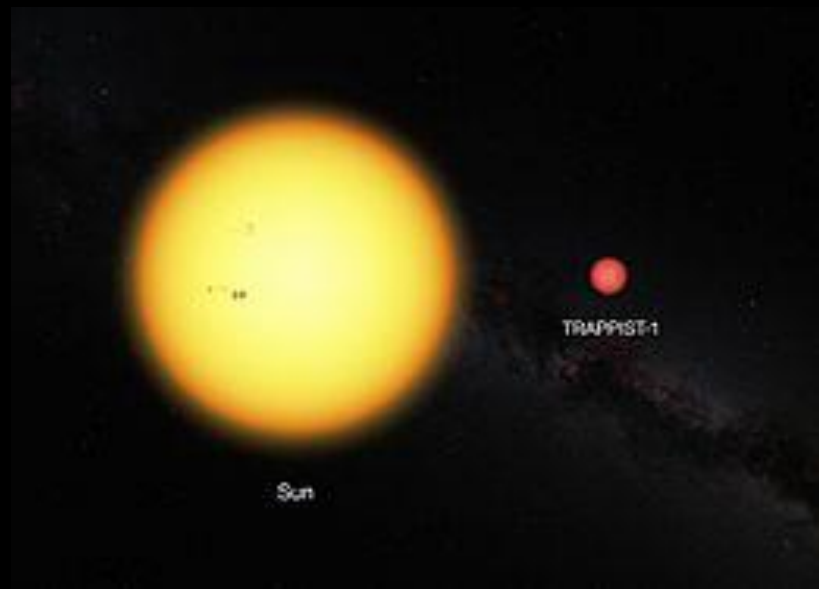
The Habitability of Proxima Centauri b I: Evolutionary Scenarios-Rory Barnes et al..  
(August 2016)

We analyze the evolution of the potentially habitable planet Proxima Centauri b to identify environmental factors that affect its long-term habitability. We consider physical processes acting on size scales ranging between the galactic scale, the scale of the stellar system, and the scale of the planet's core. **We find that there is a significant probability that Proxima Centauri has had encounters with its companion stars, Alpha Centauri A and B, that are close enough to destabilize Proxima Centauri's planetary system.**

# Proxima Centauri

- Distanza = 4,22 a.l.
- Tipo spettrale = M5
- Massa =  $0,12 M_{\odot}$
- Raggio =  $0,15 R_{\odot}$
- Luminosità =  $1/18.000 L_{\odot}$
- Età = 5 – 6 miliardi di anni
- Temperatura =  $3300^{\circ}\text{K}$
- Anno di scoperta: 1915
- E' una nana rossa, che è stata per lungo tempo la stella più debole conosciuta
- Vista dalle altre due stelle è una stellina appena visibile a occhio nudo,  $m_v = 4,8$
- Messa alla distanza del Sole, il disco della stella sarebbe appena visibile
- E' una flare-star, cioè una stella con un'intensa attività superficiale
- Nell'arco di pochi minuti può aumentare la sua luminosità di molte volte
- Durante le esplosioni emette la stessa quantità di raggi X che emette il Sole, il che rende del tutto improbabile la presenza di vita su eventuali pianeti

# La stella Trappist 1



| TRAPPIST-1                                                                              |                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Costellazione Acquario                                                                  |                                                     |
| Classe spettrale                                                                        | M8 D                                                |
| Distanza dal Sole                                                                       | 39.5±1.3 anni luce                                  |
| Coordinate                                                                              |                                                     |
| (all'epoca J2000)                                                                       |                                                     |
| Ascensione retta                                                                        | 23 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup> 29,283 <sup>s</sup> |
| Declinazione                                                                            | −05° 02′ 28,59″                                     |
| Dati fisici                                                                             |                                                     |
| Raggio medio                                                                            | 0,114±0.006 Rsole                                   |
| Massa                                                                                   | 0,08±0.009 Msole<br>(83.8048±9.428 Mgiove)          |
| Metallicità                                                                             | 0.04±0.08 [Fe/H]                                    |
| Età stimata                                                                             | > 1000,0 milioni di anni                            |
| Dati osservativi                                                                        |                                                     |
| Magnitudine app.                                                                        | 18,80                                               |
| Parallasse                                                                              | 82,58 mas                                           |
| Moto proprio                                                                            | AR: 922,1 mas/anno<br>Dec: −471,9 mas/anno          |
| Velocità radiale                                                                        | −56,3 km/s                                          |
| Nomenclature alternative                                                                |                                                     |
| 2MASS J23062928-0502285, 2MASSI J2306292-050227,<br>2MASSW J2306292-050227, 2MUCD 12171 |                                                     |

# Il sistema planetario Trappist 1

## Metodo fotometrico dei transiti

Exoplanet.eu

Inizio Tutti i cataloghi Diagrammi Bibliografia Ricerca Congressi Altri Siti VO

VO CONNECTION ? OFF ON

Catalog ? Download VOTable | CSV | DAT

Status Detection ? Filter

Showing 3583 planets / 2688 planetary systems / 603 multiple planet systems All fields

Show 100 entries Planet Search Show / hide columns

| Planet           | Mass<br>( $M_{\text{Earth}}$ ) | Radius<br>( $R_{\text{Earth}}$ ) | Period<br>(day) | $a$<br>(AU) | $e$    | $i$<br>(deg) | Ang. dist.<br>(arcsec) | Discovery | Update     |
|------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------|--------|--------------|------------------------|-----------|------------|
| TRAPPIST-1 h     | —                              | 0.755                            | 20              | 0.063       | —      | 89.8         | —                      | 2017      | 2017-02-22 |
| TRAPPIST-1 g     | 1.34                           | 1.127                            | 12.35294        | 0.0451      | 0      | 89.71        | —                      | 2017      | 2017-02-22 |
| TRAPPIST-1 f     | 0.67                           | 1.045                            | 9.20669         | 0.0371      | 0      | 89.68        | —                      | 2017      | 2017-02-22 |
| TRAPPIST-1 e     | 0.64                           | 0.918                            | 6.099615        | 0.02817     | 0      | 89.86        | —                      | 2017      | 2017-02-22 |
| TRAPPIST-1 d     | 0.41                           | 0.772                            | 4.04961         | 0.02144     | 0      | 89.75        | —                      | 2016      | 2017-02-22 |
| TRAPPIST-1 c     | 1.38                           | 1.056                            | 2.4218233       | 0.01521     | 0      | 89.67        | —                      | 2016      | 2017-02-22 |
| TRAPPIST-1 b     | 0.86                           | 1.086                            | 1.51087081      | 0.01111     | 0      | 89.65        | —                      | 2016      | 2017-02-22 |
| EPIC 216468514 b | 270                            | 16.1                             | 3.31392         | 0.048       | —      | 81.9         | —                      | 2016      | 2017-02-21 |
| 38 Vir b         | 1430                           | —                                | 825.9           | 1.82        | 0.03   | —            | —                      | 2016      | 2017-02-20 |
| Kepler-457 c     | —                              | 2.4                              | 75.2            | —           | —      | 89.701       | —                      | 2015      | 2017-02-20 |
| K2-35 b          | —                              | 1.08                             | 2.39991         | 0.0306      | —      | 86.1         | —                      | 2015      | 2017-02-20 |
| K2-35 c          | —                              | 1.69                             | 5.60906         | 0.0539      | —      | 87.85        | —                      | 2015      | 2017-02-17 |
| WASP-107 b       | 38                             | 11                               | 5.72149         | 0.055       | 0      | 89.7         | —                      | 2017      | 2017-02-17 |
| Lalande 21185 b  | 3.8                            | —                                | 9.8693          | —           | —      | —            | —                      | 2017      | 2017-02-14 |
| HAT-P-20 b       | 2303                           | 9.72                             | 2.875317        | 0.0361      | 0.015  | 81.9         | 0.000516               | 2010      | 2017-02-13 |
| Qatar-2 b        | 790.4                          | 12.82                            | 1.3371182       | 0.02149     | 0      | 88.3         | —                      | 2011      | 2017-02-13 |
| WASP-43 b        | 652.2                          | 11.61                            | 0.81347753      | 0.01526     | 0.0035 | 82.33        | —                      | 2011      | 2017-02-13 |
| HD169142 b       | 9530                           | —                                | —               | 22.7        | —      | —            | —                      | 2014      | 2017-02-10 |
| GJ 436 b         | 22                             | 4.3                              | 2.64394         | 0.02887     | 0.1912 | 85.8         | 0.00283                | 2004      | 2017-02-10 |

Gillon, M., Triaud A., Demory, B.-O. & 27 additional authors Nature, 542, 456

# Il sistema planetario Trappist 1

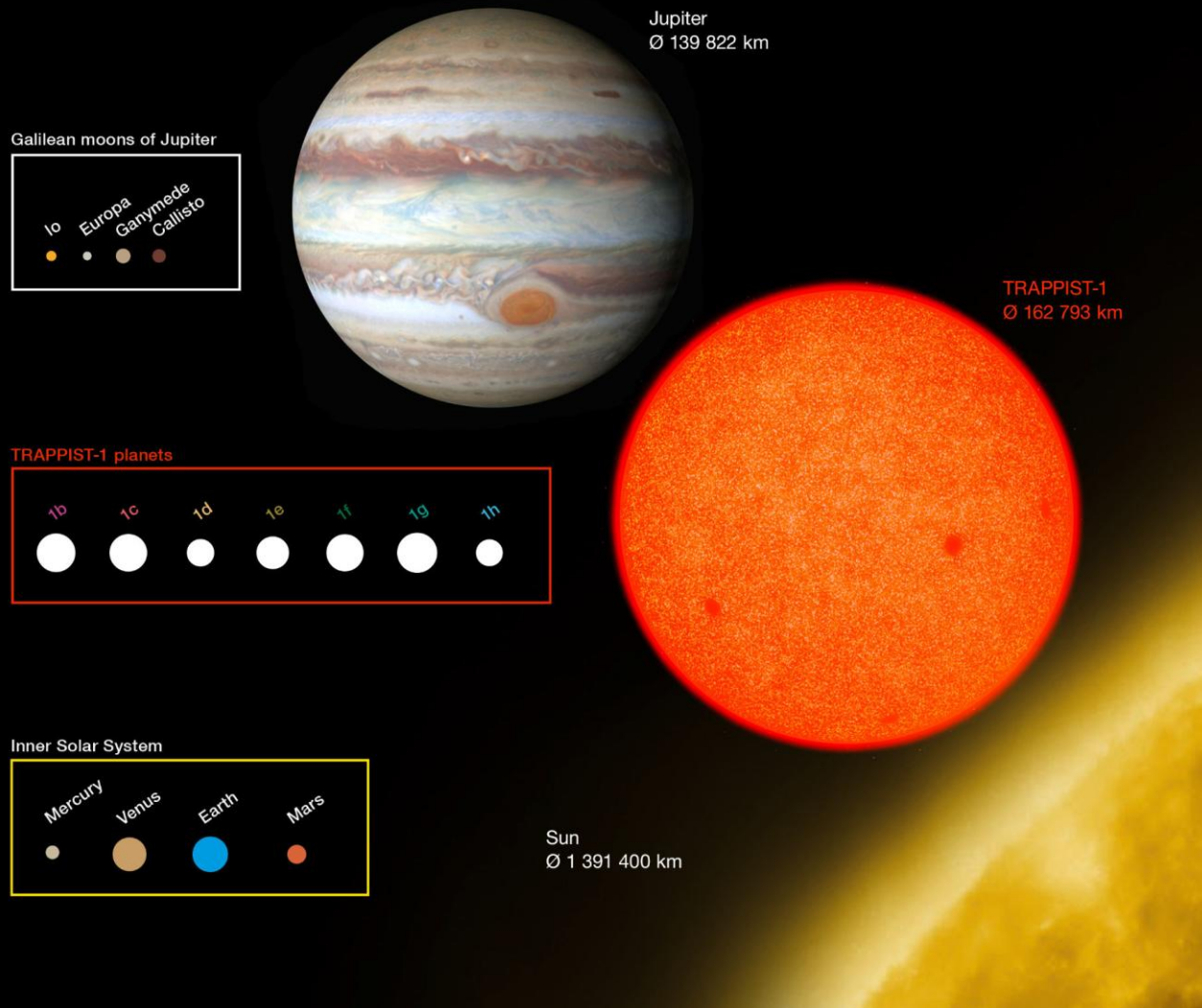
Metodo fotometrico dei transiti

| Pianeta  | Massa             | Raggio            | Periodo orb.    | Sem. maggiore | Incl. orbita        |
|----------|-------------------|-------------------|-----------------|---------------|---------------------|
| <b>b</b> | 0,85 $M_{\oplus}$ | 1,09 $R_{\oplus}$ | 1,51 giorni     | 0,011 UA      | 89,41 $\pm$ 0,41°   |
| <b>c</b> | 1,38 $M_{\oplus}$ | 1,06 $R_{\oplus}$ | 2,42 giorni     | 0,015 UA      | 89,5 $\pm$ 0,31°    |
| <b>d</b> | 0,41 $M_{\oplus}$ | 0,77 $R_{\oplus}$ | 4,05 giorni     | 0,021 UA      | 89,87 $\pm$ 0,1°    |
| <b>e</b> | 0,62 $M_{\oplus}$ | 0,92 $R_{\oplus}$ | 6,10 giorni     | 0,028 UA      | 89,86 $\pm$ 0,11°   |
| <b>f</b> | 0,68 $M_{\oplus}$ | 1,04 $R_{\oplus}$ | 9,21 giorni     | 0,037 UA      | 89,680 $\pm$ 0,034° |
| <b>g</b> | 1,34 $M_{\oplus}$ | 1,13 $R_{\oplus}$ | 12,35 giorni    | 0,045 UA      | 89,710 $\pm$ 0,025° |
| <b>h</b> | —                 | 0,76 $R_{\oplus}$ | 20 +15–6 giorni | ~0,06 UA      | 89,80 $\pm$ 0,07°   |

Gillon, M., Triaud A., Demory, B.-O. & 27 additional authors Nature, 542, 456

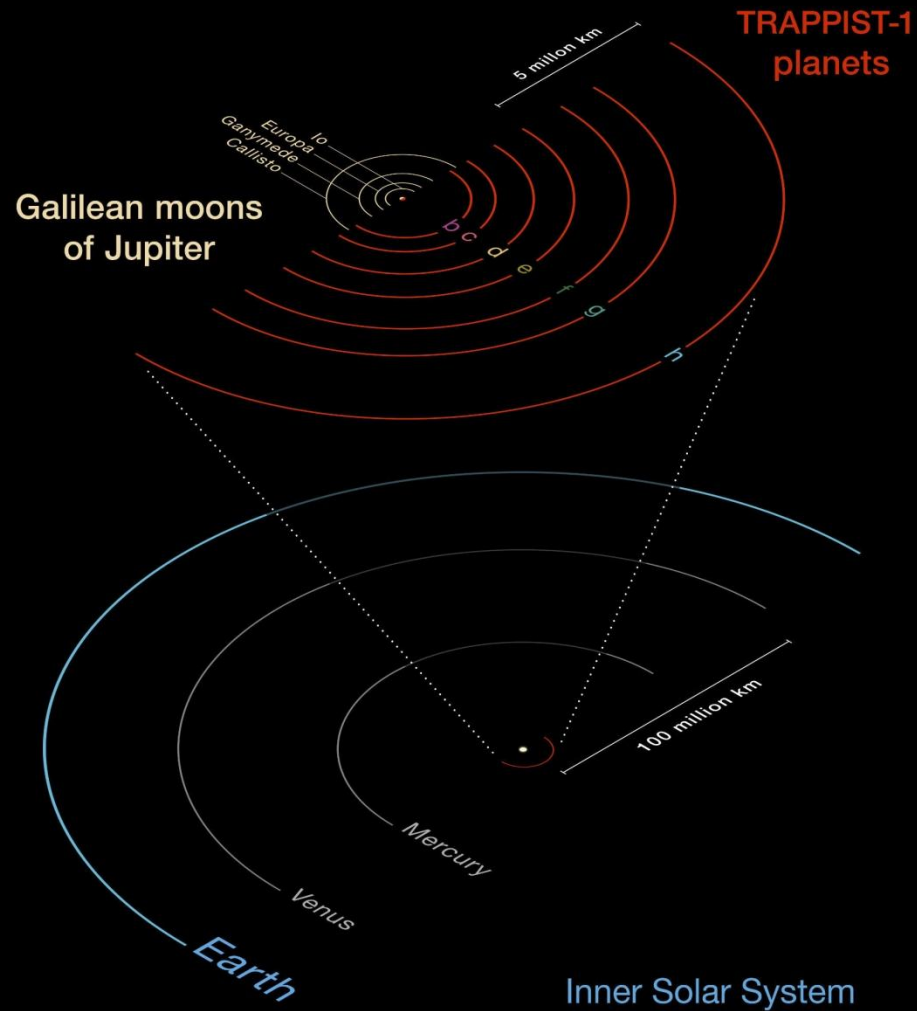
# Il sistema planetario Trappist 1

## Metodo fotometrico dei transiti



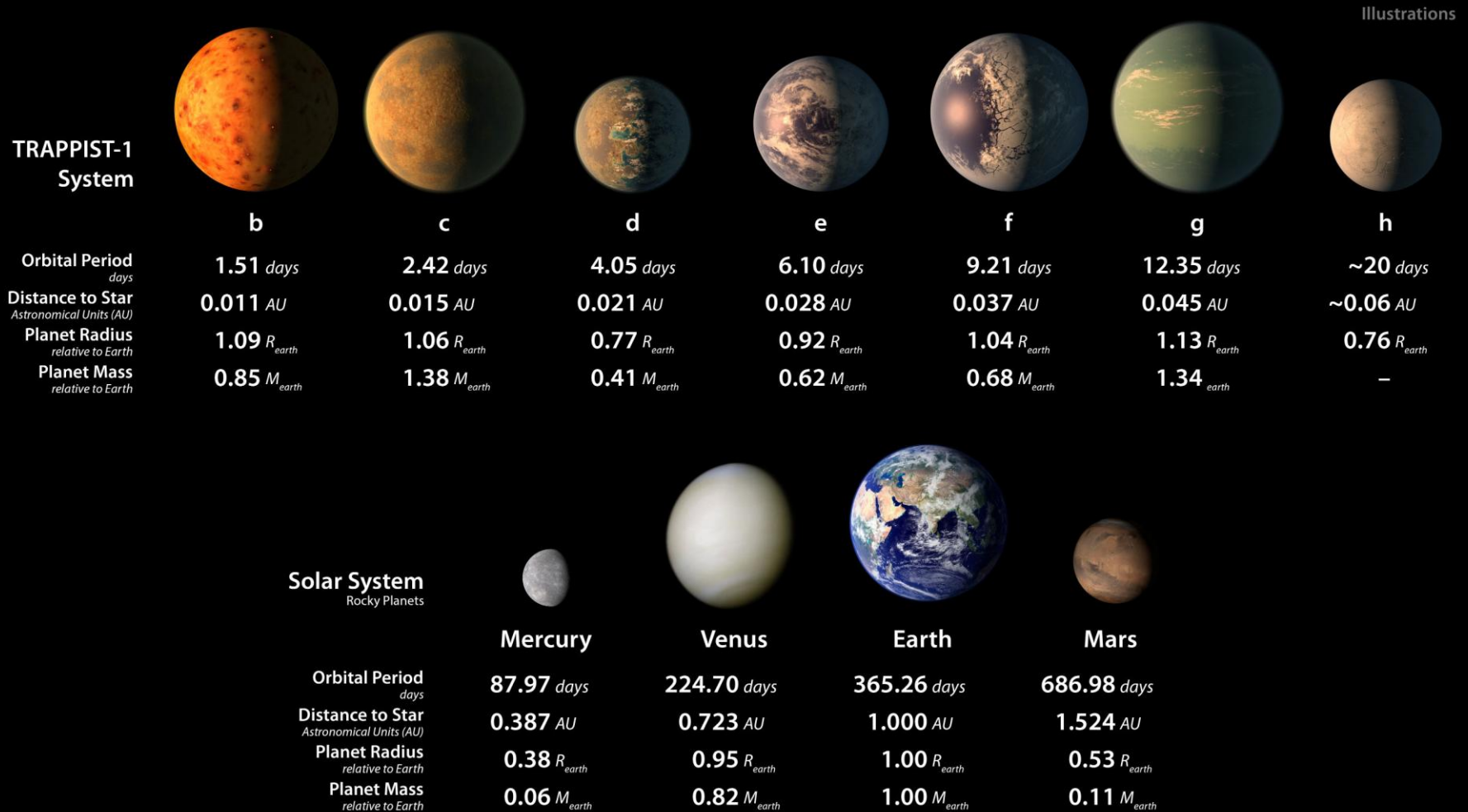
# Il sistema planetario Trappist 1

Metodo fotometrico dei transiti



# Il sistema planetario Trappist 1

## Metodo fotometrico dei transiti

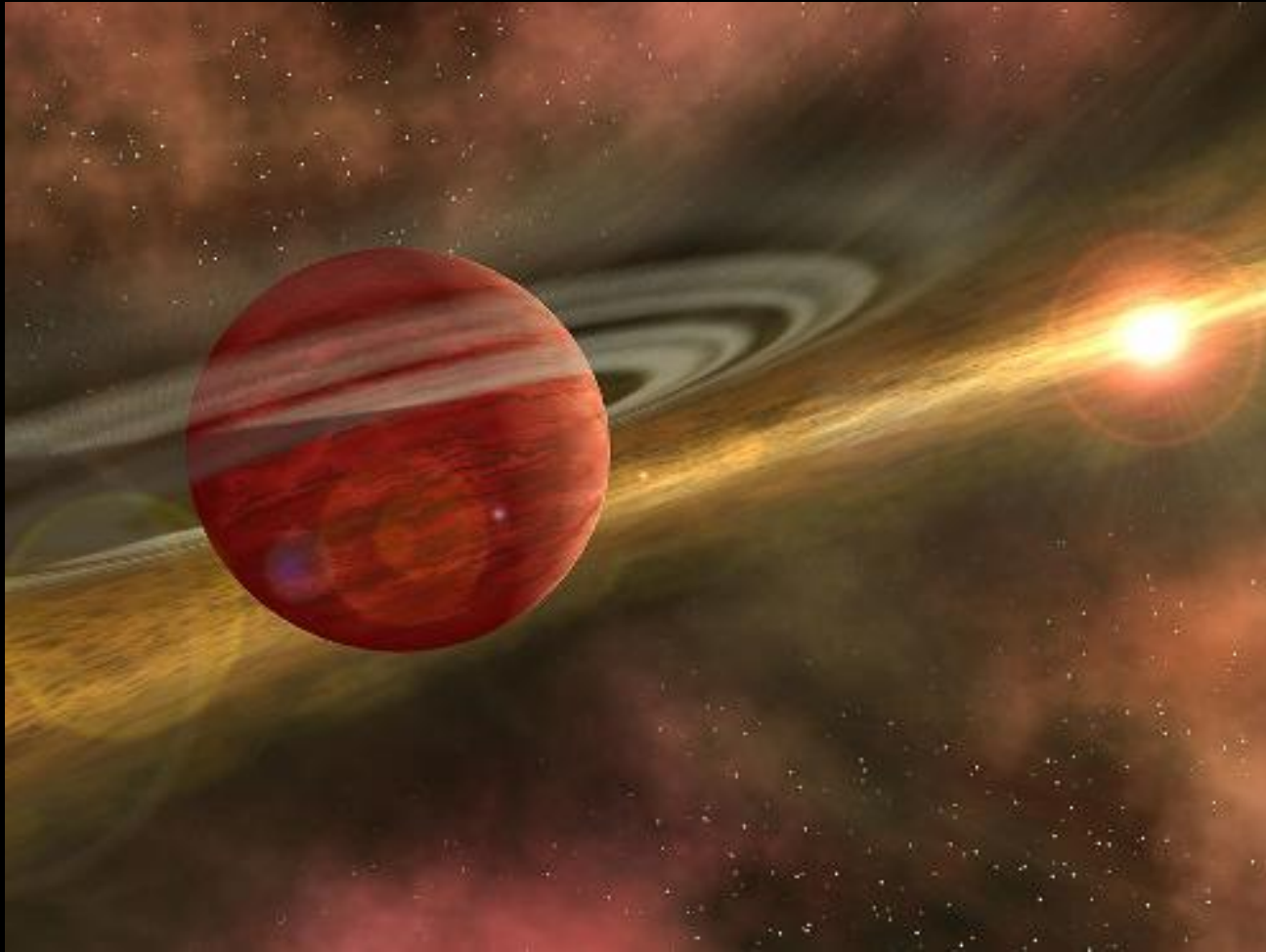


Gillon, M., Triaud A., Demory, B.-O. & 27 additional authors Nature, 542, 456

# Il sistema planetario Trappist 1

Metodo fotometrico dei transiti

La presentazione è terminata



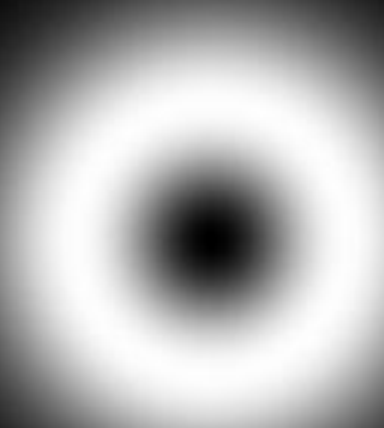
***Grazie***

# Le unità di misura dei pianeti extrasolari

Nel definire le caratteristiche dei Sistemi extrasolari questi si confrontano con pianeti del Sistema solare ed in particolare con quelle della Terra e di Giove

| Pianeta | Distanza    | Raggio  | Raggio  | Massa   | Accelerazione di gravità   | Densità                         |
|---------|-------------|---------|---------|---------|----------------------------|---------------------------------|
| ----    | Dist (U.A.) | $R/R_T$ | $R/R_G$ | $M/M_G$ | $g \text{ (m/s}^2\text{)}$ | $\rho \text{ (gr/cm}^3\text{)}$ |
| Terra   | 1           | 1       | 0,091   | 0,0031  | 1                          | 5,52                            |
| Giove   | 5,2         | 11      | 1       | 1       | 2,36                       | 1,33                            |
| Saturno | 9,5         | 9       | 0,818   | 0,298   | 0,915                      | 0,69                            |
| Urano   | 19,2        | 4       | 0,363   | 0,047   | 0,88                       | 1,29                            |
| Nettuno | 30,1        | 4       | 0,363   | 0,053   | 1,12                       | 1,64                            |

# Coronografo e "Vortex" Coronografo



# L'imaging con l'uso dei Coronografi

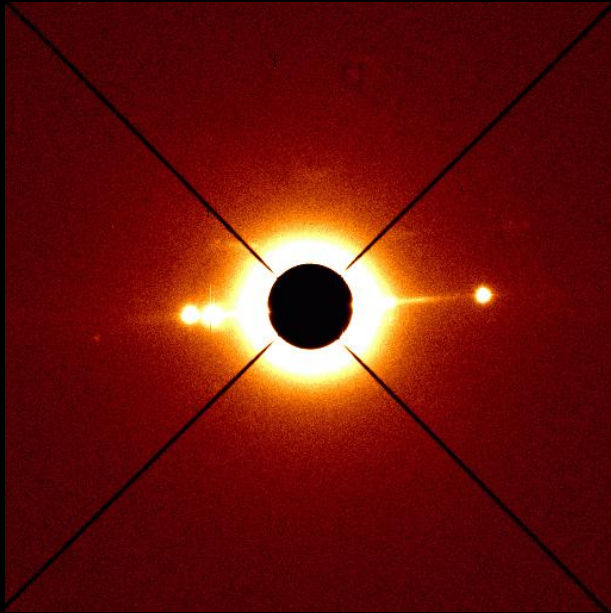


Immagine al Telescopio di Saturno, gli anelli ed alcuni satelliti presa con un Coronografo

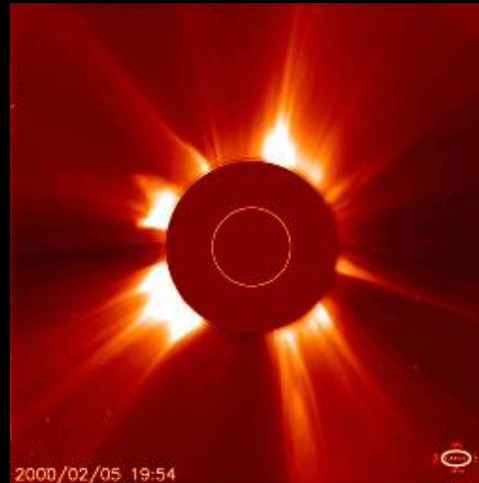


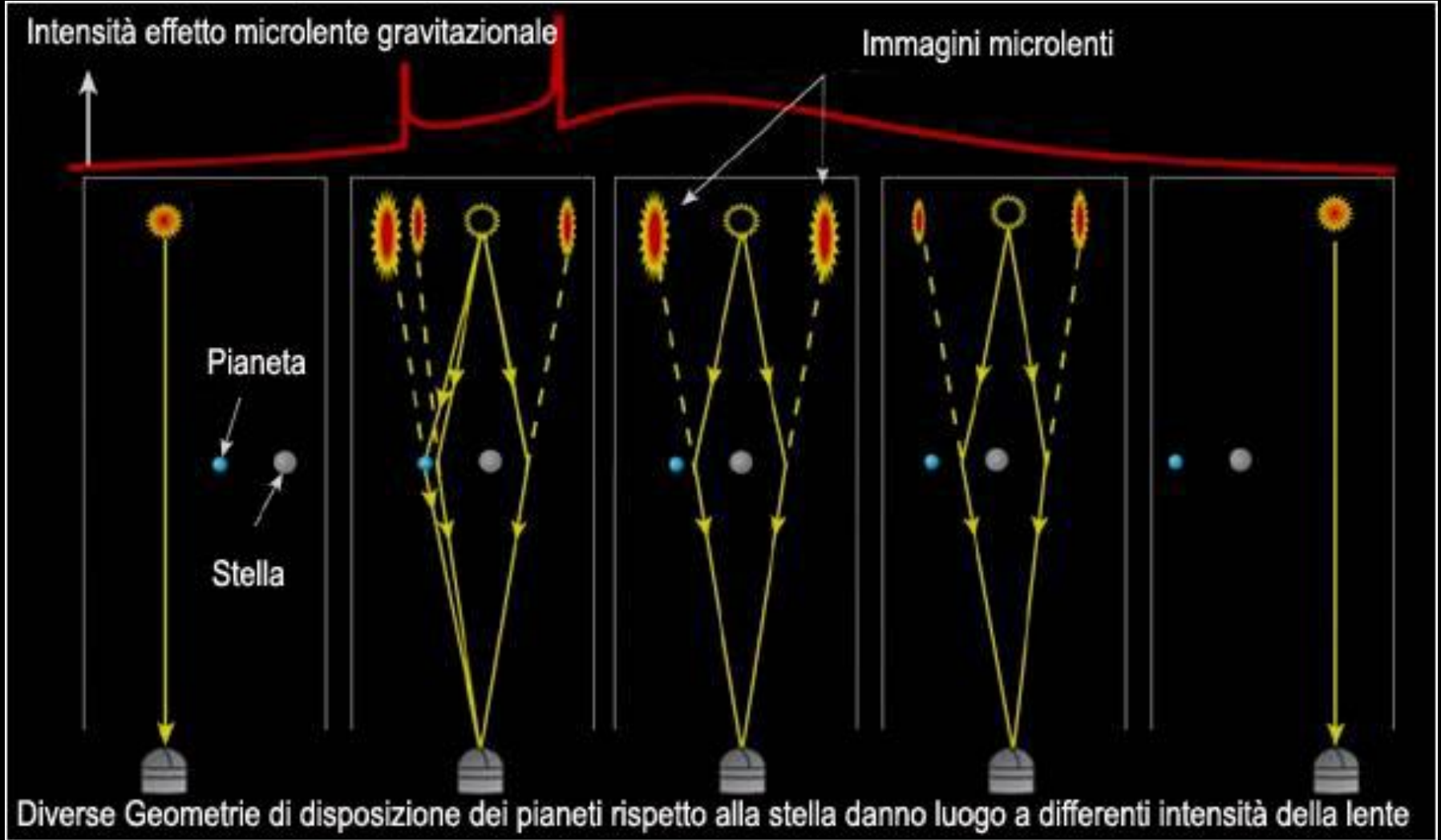
Immagine del Sole presa dalla sonda SOHO utilizzando un Coronografo



Eclisse totale di Sole

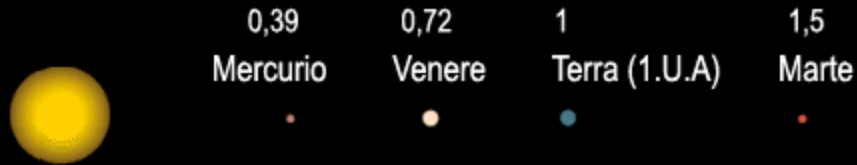
# Micro lenti gravitazionali

# Microenti gravitazionali



# Il sistema planetario OGLE-2005-BLG-71L

## Metodo delle microlenti gravitazionali



Aggiornato 2014.12.20

Stella M5  $M=0.46 M_{\odot}$

planeta OGLE-2005-BLG-71Lb  $M=3,5 M_{\text{J}}$  semiasse=3,6 U.A. periodo=3600 giorni

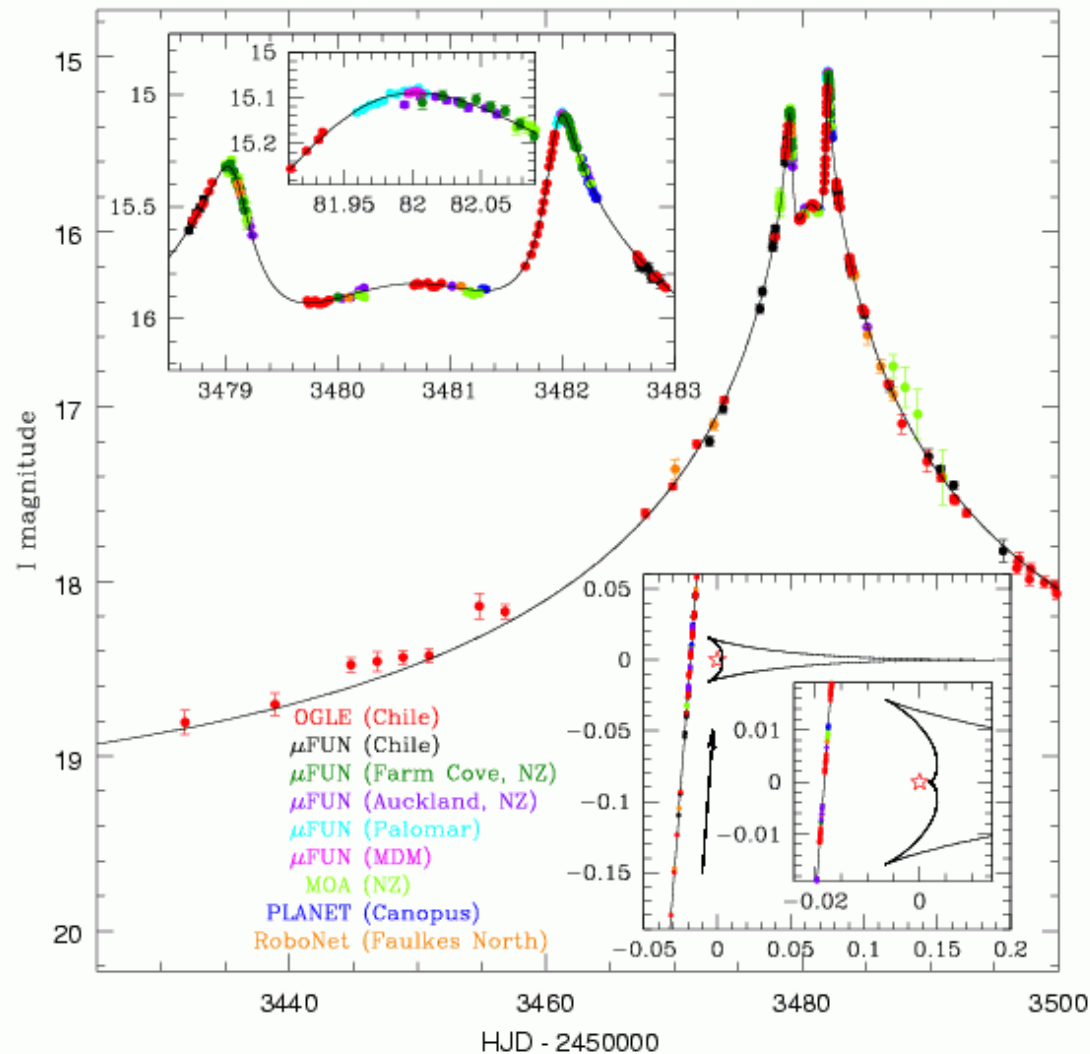


|                          |                                     |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Pianeta                  | OGLE-2005-BLG-71L b                 |
| Scoperto nel             | 2005                                |
| Massa= $m \cdot \sin i$  | 3,5 $M_{\text{J}}$ masse di Giove   |
| Massa= $m \cdot \sin i$  | 1151 $M_{\text{T}}$ masse terrestri |
| Semiasse maggiore orbita | 3,6 U.A. (Unità Astronomiche)       |
| Periodo orbitale         | 3600 giorni                         |
| Eccentricità             | ---                                 |

|                     |                           |
|---------------------|---------------------------|
| Stella              | OGLE-2005-BLG-71L         |
| Distanza            | 11000 a.l.                |
| Tipo spettrale      | ?? M5                     |
| Massa               | $0,46 \pm 0,04 M_{\odot}$ |
| Età                 | ---                       |
| Raggio              | ---                       |
| Temperatura         | --- °K                    |
| Luminosità          | --- $L_{\odot}$           |
| Magnitudine Visuale | 19,5                      |
| Metallicità [Fe/H]  | ---                       |

# Il sistema planetario OGLE-2005-BLG-71L

Metodo delle microlenti gravitazionali



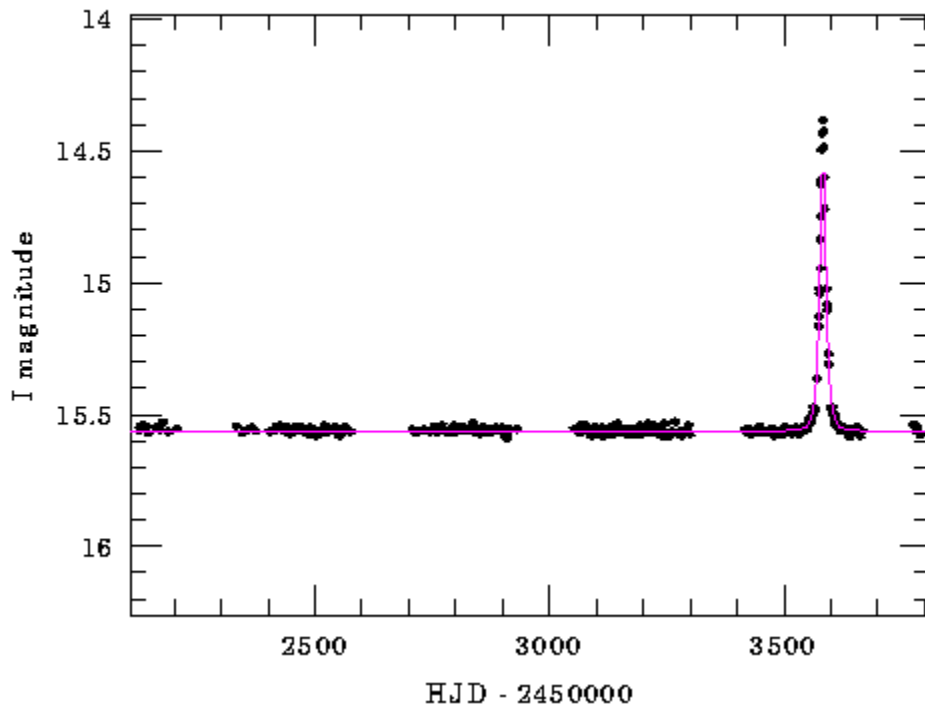
Udalski et al., OGLE+MOA teams, June 2005

# Il sistema planetario OGLE-2005-BLG-390L

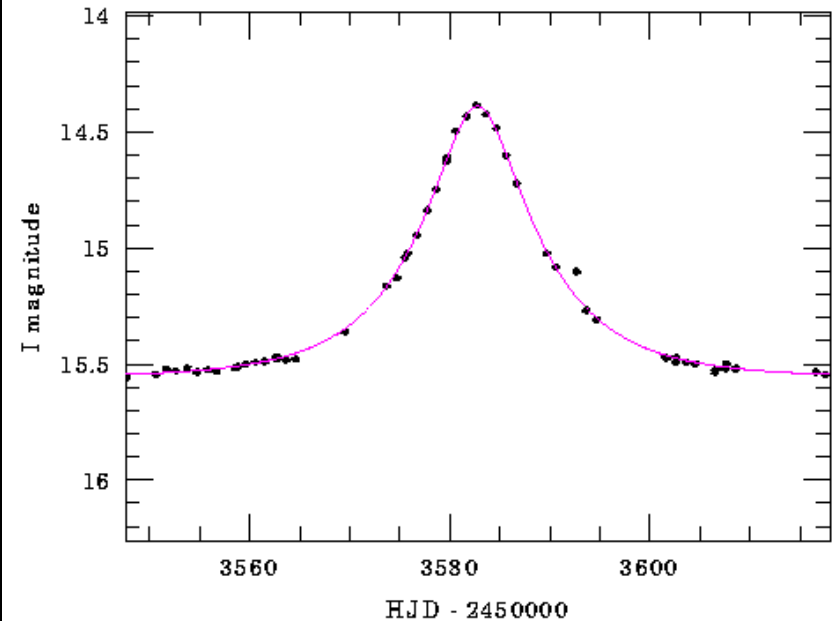
Metodo delle microlenti gravitazionali



OGLE-2005-BLG-390



OGLE-2005-BLG-390



# Candidati pianeti «Abitabili»

| Subterra = 0.1 - 0.5 MT o 0.4 -0.8 RT    Terran= 0.5 -5 MT   o 0.8 - 1.5 RT, Superterra= 5 -10 MT o 1.5 -2.5 RT |                    |                  |                 |           |                     |                  |                 |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------|-----------------|-----------|---------------------|------------------|-----------------|------|
| Nome                                                                                                            | Tipo               | Massa MT         | Raggio RT       | Flusso FT | T <sub>eq</sub> (K) | Periodo (giorni) | Distanza (a.l.) | ESI  |
| 001. GJ 667C c                                                                                                  | M-Calda Terra      | 3.8              | 1.1 - 1.5 - 2.0 | 0.88      | 247                 | 28.1             | 24              | 0.84 |
| 002. Kepler-62 e                                                                                                | K-Calda SuperTerra | 18.7 - 4.5 - 1.9 | 1.6             | 1.10      | 261                 | 122.4            | 1200            | 0.83 |
| 003. GJ 832 c                                                                                                   | M-Calda SuperTerra | 5.4              | 1.2 - 1.7 - 2.2 | 1.00      | 253                 | 35.7             | 16              | 0.81 |
| 004. Kepler-283 c                                                                                               | K-Calda SuperTerra | 35.3 - 7.0 - 2.8 | 1.8             | 0.90      | 248                 | 92.7             | 1741            | 0.79 |
| 005. tau Cet e*                                                                                                 | G-Calda Terra      | 4.3              | 1.1 - 1.6 - 2.0 | 1.51      | 282                 | 168.1            | 12              | 0.78 |
| 006. Kepler-296 f                                                                                               | K-Calda SuperTerra | 32.8 - 6.7 - 2.7 | 1.8             | 1.33      | 273                 | 63.3             | 1692            | 0.78 |
| 007. GJ 180 c*                                                                                                  | M-Calda SuperTerra | 6.4              | 1.3 - 1.8 - 2.3 | 0.79      | 239                 | 24.3             | 38              | 0.77 |
| 008. GJ 667C f*                                                                                                 | M-Calda Terra      | 2.7              | 1.0 - 1.4 - 1.8 | 0.56      | 221                 | 39.0             | 24              | 0.77 |
| 009. GJ 180 b*                                                                                                  | M-Calda SuperTerra | 8.3              | 1.3 - 1.9 - 2.4 | 1.23      | 268                 | 17.4             | 38              | 0.75 |
| 010. GJ 163 c                                                                                                   | M-Calda SuperTerra | 7.3              | 1.3 - 1.8 - 2.4 | 1.40      | 277                 | 25.6             | 49              | 0.75 |
| 011. HD 40307 g                                                                                                 | K-Calda SuperTerra | 7.1              | 1.3 - 1.8 - 2.3 | 0.68      | 227                 | 197.8            | 42              | 0.74 |
| 012. Kepler-61 b                                                                                                | K-Calda SuperTerra | N/A - 13.8 - 5.2 | 2.2             | 1.27      | 267                 | 59.9             | 1063            | 0.73 |
| 013. Kepler-22 b                                                                                                | G-Calda SuperTerra | N/A - 20.4 - 7.2 | 2.4             | 1.11      | 261                 | 289.9            | 619             | 0.71 |
| 014. GJ 422 b*                                                                                                  | M-Calda SuperTerra | 9.9              | 1.4 - 2.0 - 2.6 | 0.68      | 231                 | 26.2             | 41              | 0.71 |
| 015. GJ 3293 c*                                                                                                 | M-Calda SuperTerra | 8.6              | 1.4 - 1.9 - 2.5 | 0.60      | 223                 | 48.1             | 59              | 0.70 |
| 016. Kepler-298 d                                                                                               | K-Calda SuperTerra | N/A - 26.8 - 9.1 | 2.5             | 1.29      | 271                 | 77.5             | 1545            | 0.68 |
| 017. Kapteyn b                                                                                                  | M-Calda Terra      | 4.8              | 1.2 - 1.6 - 2.1 | 0.43      | 205                 | 48.6             | 13              | 0.67 |
| 018. Kepler-62 f                                                                                                | K-Calda Terra      | 10.2 - 2.8 - 1.2 | 1.4             | 0.39      | 201                 | 267.3            | 1200            | 0.67 |
| 019. Kepler-186 f                                                                                               | K-Calda Terra      | 3.9 - 1.2 - 0.5  | 1.1             | 0.32      | 192                 | 129.9            | 492             | 0.64 |
| 020. Kepler-174 d                                                                                               | K-Calda SuperTerra | N/A - 14.8 - 5.5 | 2.2             | 0.43      | 206                 | 247.4            | 1174            | 0.61 |
| 021. GJ 667C e*                                                                                                 | M-Calda Terra      | 2.7              | 1.0 - 1.4 - 1.8 | 0.30      | 189                 | 62.2             | 24              | 0.60 |

# Metodo dei transiti

## Pianeti extrasolari con transito con $M < 100 M_T$

| Nome       | Massa in $M_T$ | Raggio in $R_G$ | Raggio in $R_T$ | A (U.A.) | Densità $gr/cm^3$ | Incl. ° | stato | scoperto | agg      |
|------------|----------------|-----------------|-----------------|----------|-------------------|---------|-------|----------|----------|
| CoRoT-7 b  | 4,799233       | 0,15            | 1,68            | 0,0172   | 4,651             | 80,1    | R     | 2009     | 15/10/10 |
| GJ 1214 b  | 5,689157       | 0,2415          | 2,70            | 0,014    | 1,593             | 88,62   | R     | 2009     | 16/12/09 |
| HAT-P-26 b | 18,75197       | 0,565           | 6,33            | 0,0479   | 0,408             | 88,6    | S     | 2010     | 07/10/10 |
| GJ 436 b   | 23,424071      | 0,365           | 4,09            | 0,02887  | 1,887             | 85,8    | R     | 2004     | 11/10/10 |
| Kepler-4 b | 24,47291       | 0,357           | 4,00            | 0,0456   | 2,108             | 89,76   | R     | 2010     | 06/01/10 |
| Kepler-9 c | 54,34893       | 0,823           | 9,22            | 0,225    | 0,382             | 88,12   | R     | 2010     | 09/09/10 |
| HAT-P-11 b | 25,74423       | 0,452           | 5,07            | 0,053    | 1,089             | 88,5    | S     | 2009     | 09/05/09 |
| HAT-P-18 b | 62,61251       | 0,995           | 11,15           | 0,0559   | 0,249             | 88,8    | R     | 2010     | 29/07/10 |
| CoRoT-8 b  | 69,9226        | 0,57            | 6,39            | 0,063    | 1,479             | 88,4    | R     | 2010     | 14/06/10 |
| WASP-29 b  | 77,55052       | 0,792           | 8,88            | 0,0457   | 0,610             | 88,8    | S     | 2010     | 28/09/10 |
| Kepler-9 b | 80,09316       | 0,842           | 9,44            | 0,14     | 0,525             | 88,55   | R     | 2010     | 09/09/10 |
| HAT-P-19 b | 92,80636       | 1,132           | 12,69           | 0,0466   | 0,250             | 88,2    | R     | 2010     | 29/07/10 |
| WASP-21 b  | 95,349         | 1,07            | 11,20           | 0,052    | 0,374             | 88,75   | S     | 2010     | 15/04/10 |

I dati sono aggiornati al 2010 !!

# Animazioni

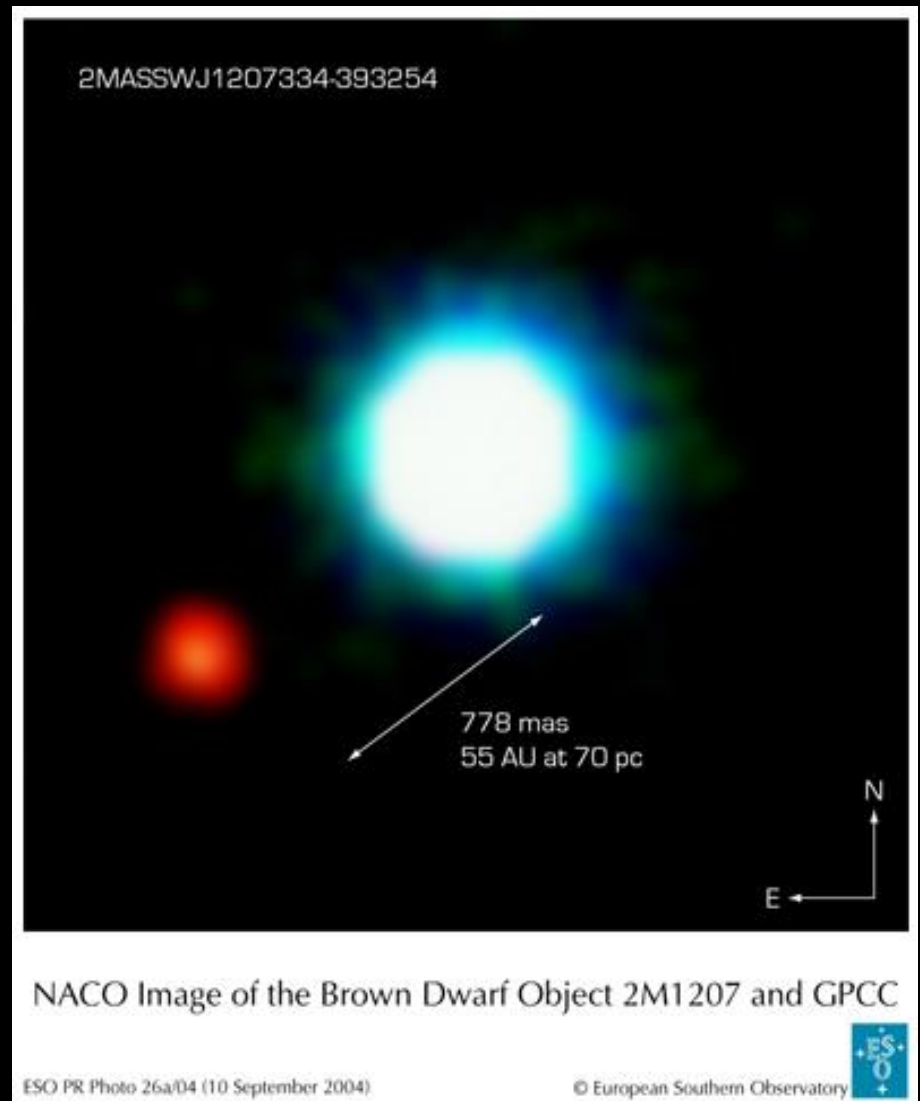


# Animazioni



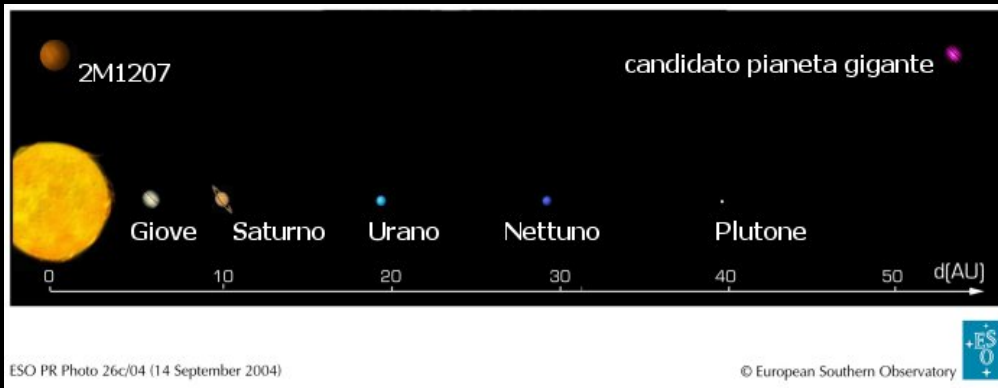
# Il sistema stellare 2M1207

|                     |                             |
|---------------------|-----------------------------|
| Stella              | 2M1207                      |
| Distanza            | 172 ( $\pm$ 3) a.l.         |
| Tipo spettrale      | Nana Bruna M8               |
| Massa               | 0,025 M $_{\odot}$          |
| Età                 | $5 \times 10^6 - 10^7$ anni |
| Raggio              | 0,025 R $_{\odot}$          |
| Temperatura         | 25550 ( $\pm$ 150 ) ° K     |
| Luminosità          | L= 0,002 L $_{\odot}$       |
| Magnitudine Visuale | 20,15                       |
| Metallicità [Fe/H]  | 0,03                        |

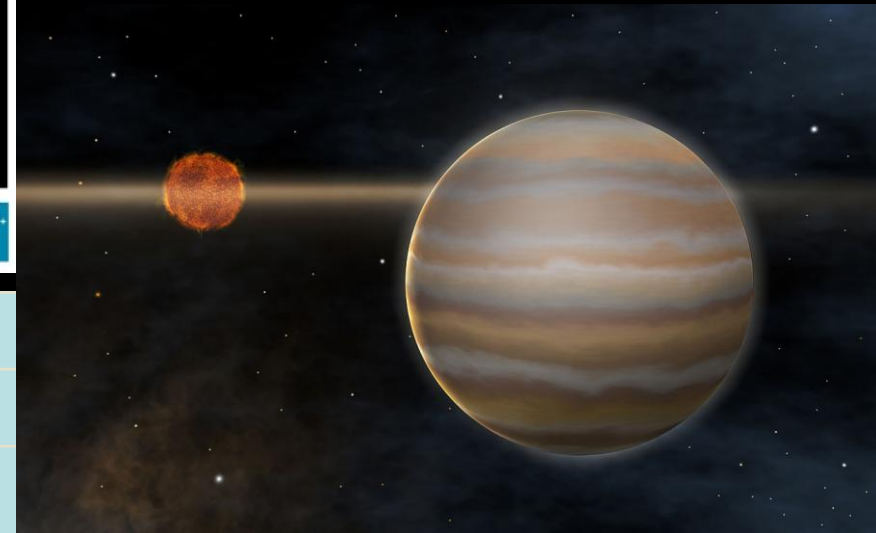


# Il sistema stellare 2M1207 b

## Metodo dell'imaging



|                          |                                          |
|--------------------------|------------------------------------------|
| Pianeta                  | 2M1207 b                                 |
| Scoperto nel             | 2005                                     |
| Massa= $m \cdot \sin i$  | $\geq 4 M_{\text{G}}$ masse di Giove     |
| Massa= $m \cdot \sin i$  | $\geq 1272 M_{\text{T}}$ masse terrestri |
| Semiasse maggiore orbita | 46 U.A. (Unità Astronomiche)             |
| Periodo Orbitale         | 1700 anni ?                              |
| Eccentricità             | ---                                      |



Rappresentazione artistica  
del sistema

Aggiornato 2014.12.20

# Il sistema stellare 2M1207

Metodo dell'imaging

5,2

9,58

19,14

30,2

Giove

Saturno

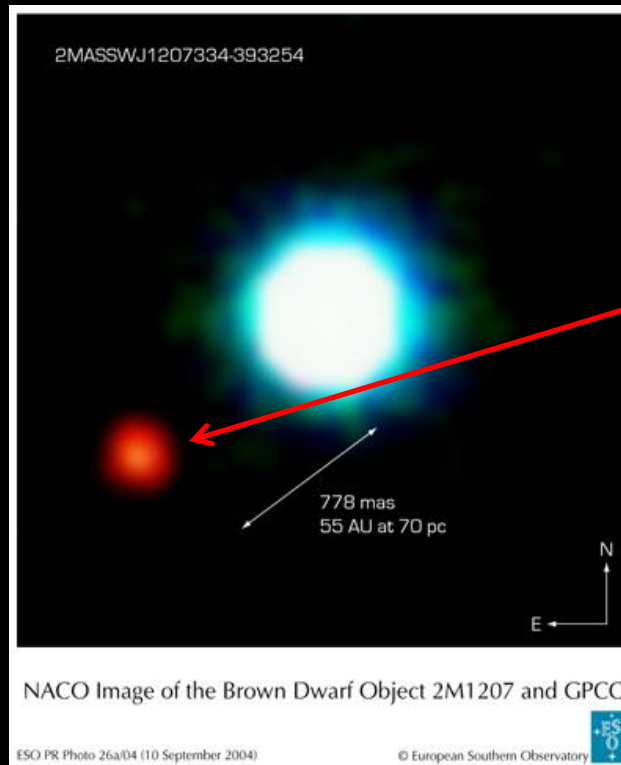
Urano

Nettuno

Aggiornato 2014.12.20



Stella "Nana Bruna" M8 M=0,025 Ms Temp=2550°K L=0,002 Ls R=0,25 Rs  
pianeta 2M1207 b M=4 Mg semiasse=46U.A.



Il primo sistema  
extrasolare  
osservato  
direttamente ...

Pianeta o Nana  
Bruna ?