



Università "Primo Levi"



27 Aprile 2018

I pianeti extrasolari

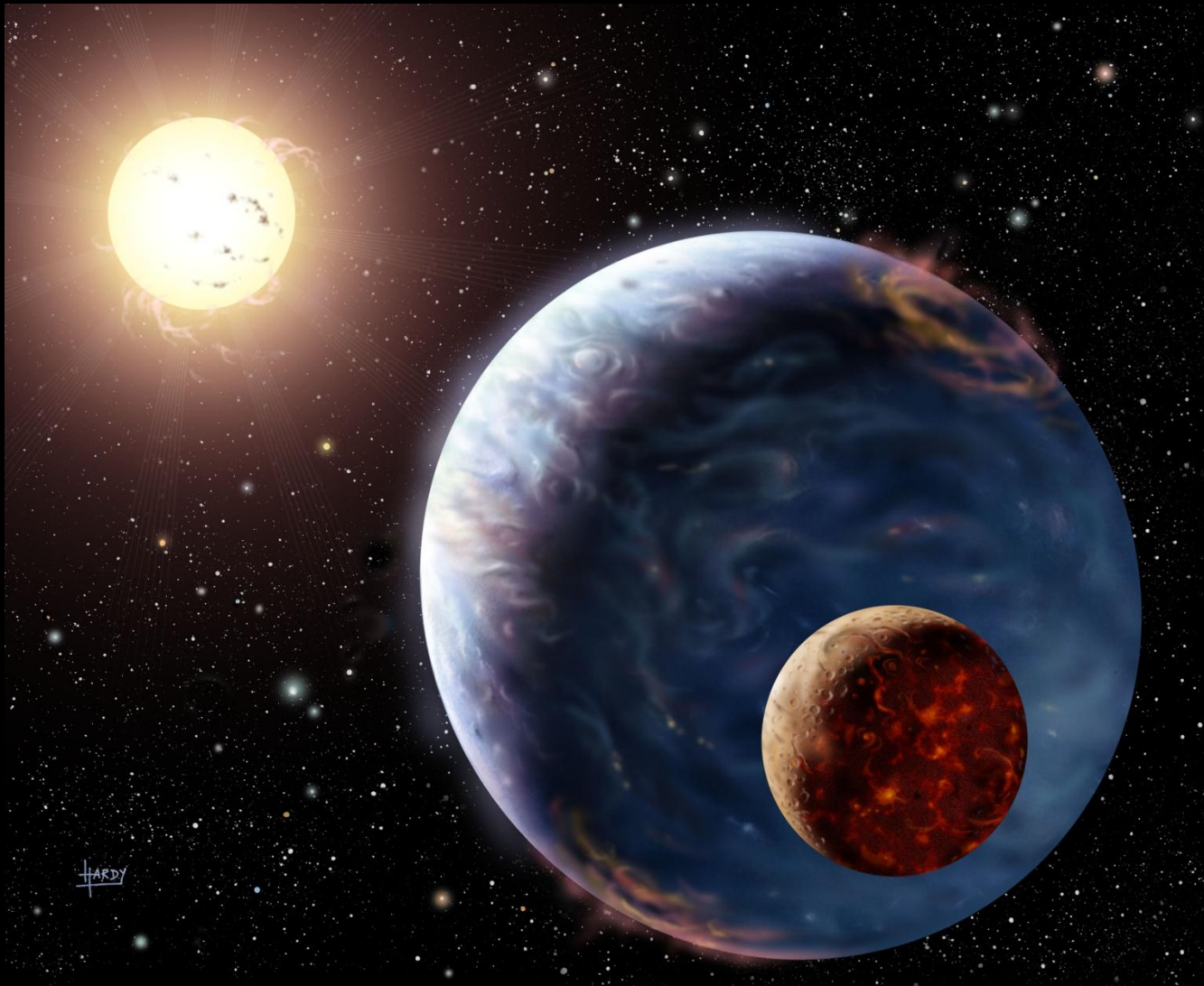
Bedogni Roberto INAF Osservatorio Astronomico di Bologna

<http://davide2.bo.astro.it/~bedogni/primolevi/>

email: roberto.bedogni@oabo.inaf.it oppure

robob5206@gmail.com

I pianeti extrasolari

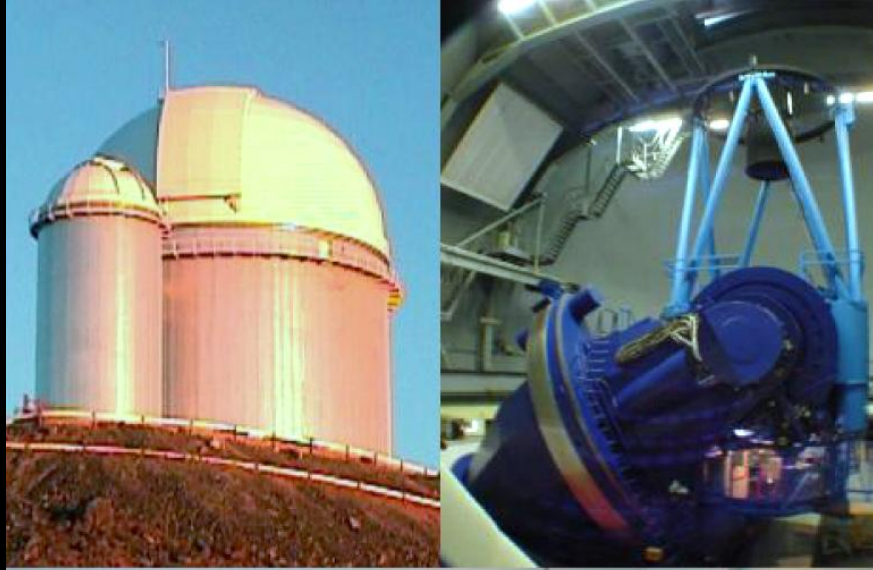


NB: le immagini riportate dei pianeti extrasolari NON sono, salvo esplicita indicazione, immagini «reali» ma «artwork» cioè rappresentazioni artistiche di fantasia

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

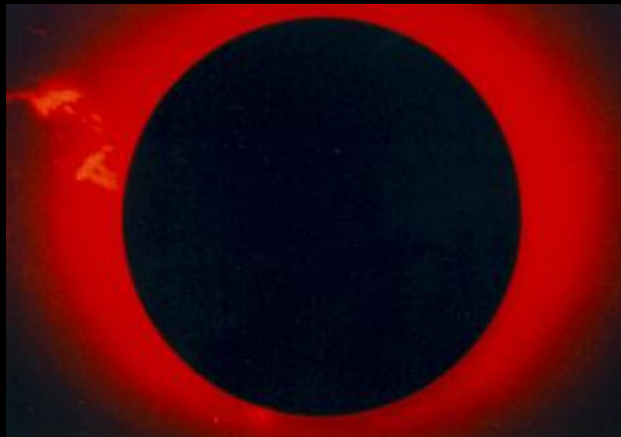
HARPS può raggiungere una precisione di 0,97 m/s (3,5 km/h) nella misura della velocità radiale



Stelle e pianeti

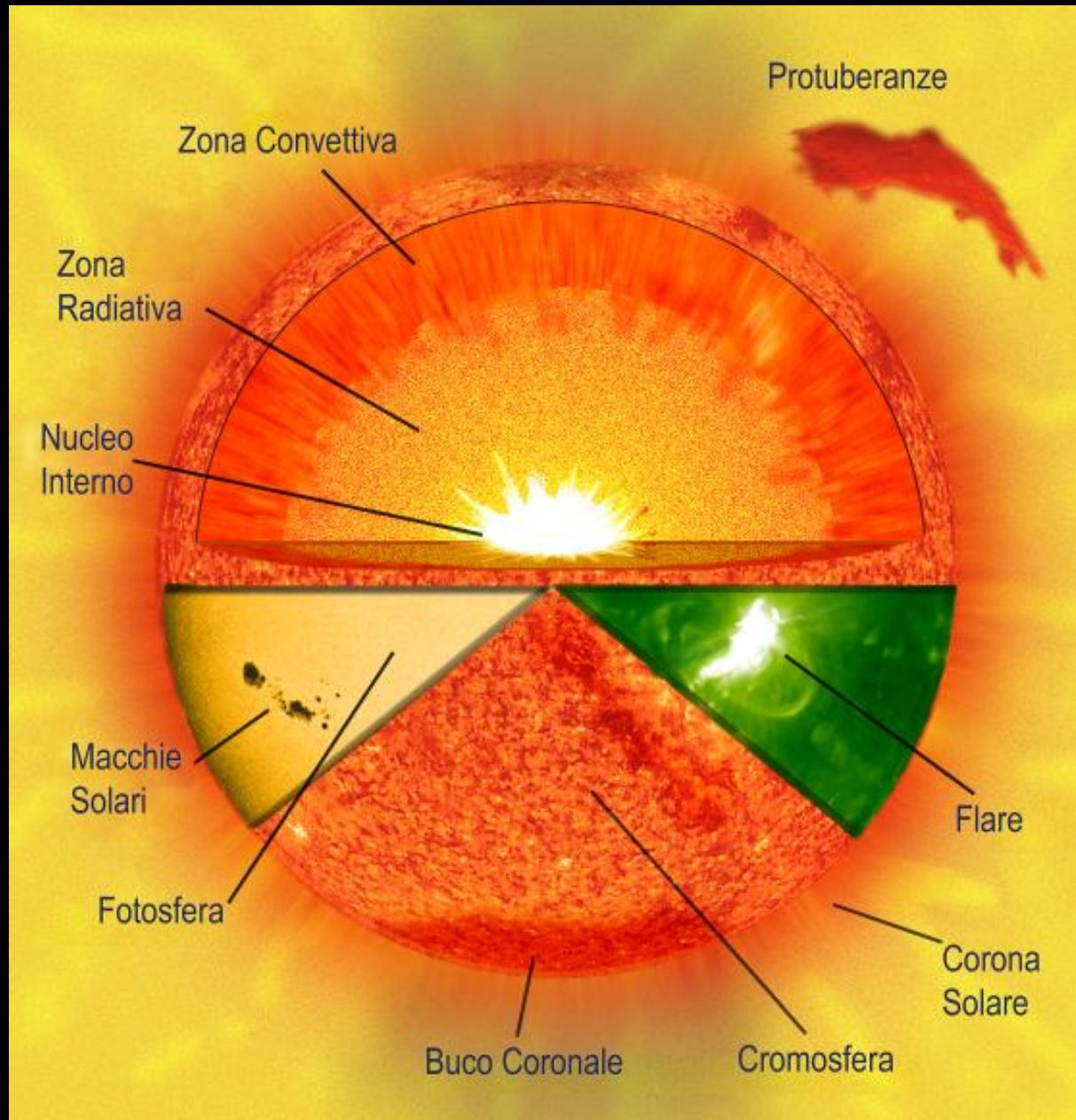
I parametri fisici della stella "Sole"

Il Sole nella
riga H α

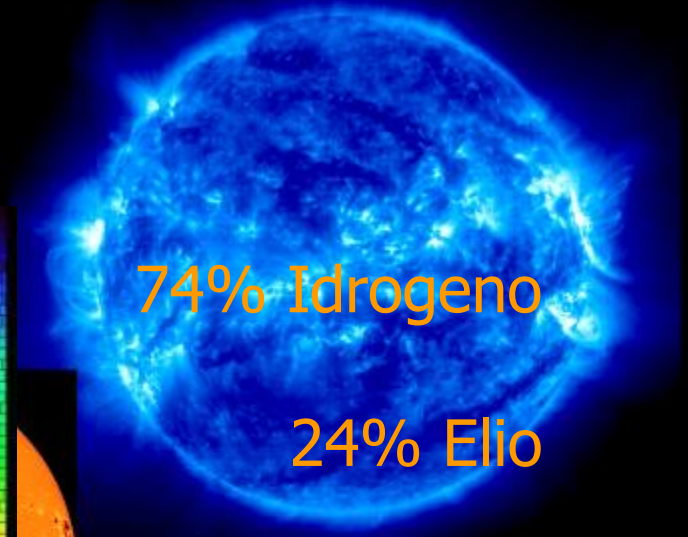
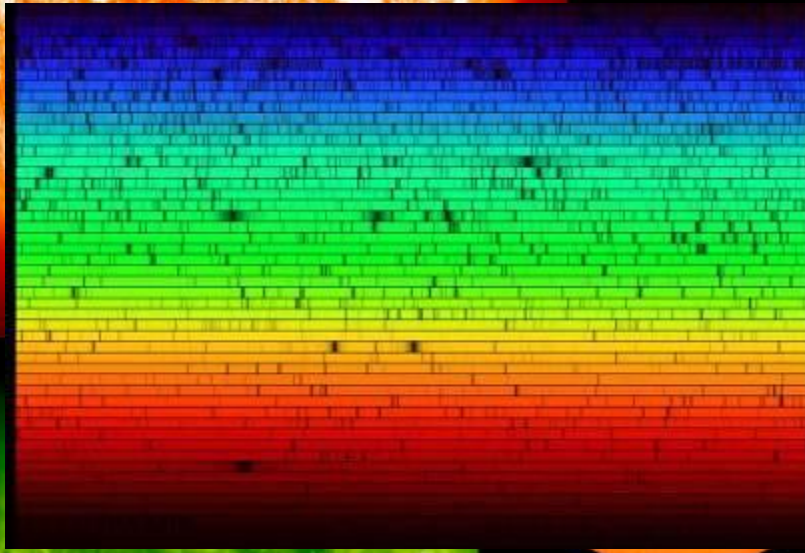
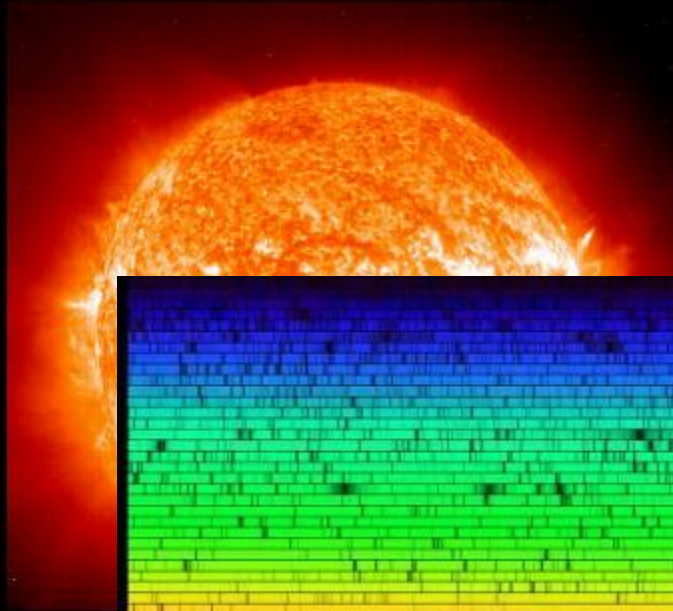


Distanza (km)	149 597 970 km ± 2
Massa (kg)	$1,989 \times 10^{30}$
Massa	332 830 $M_{\odot}$
Raggio equatoriale (km)	695 000
Raggio equatoriale	109 $R_{\odot}$
Periodo di rotazione (giorni)	25-36
Densità media (kg/m ³)	1410
Densità media (gr/cm ³)	1,410
Velocità di fuga (km/sec)	618
Accelerazione di gravità (m/sec ²)	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	G2V

Come è fatto il Sole



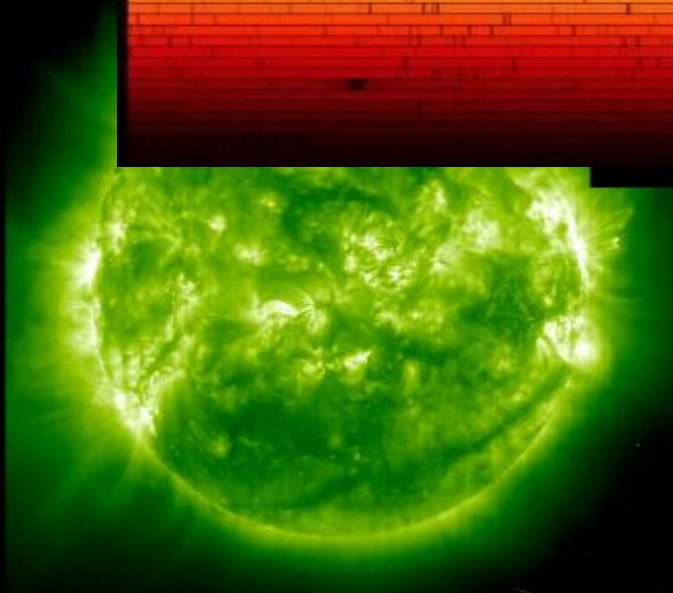
Composizione chimica del Sole



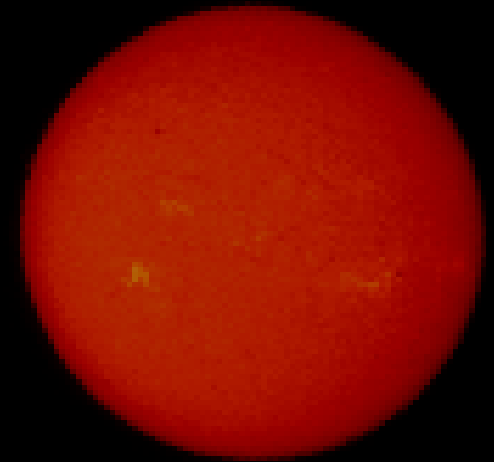
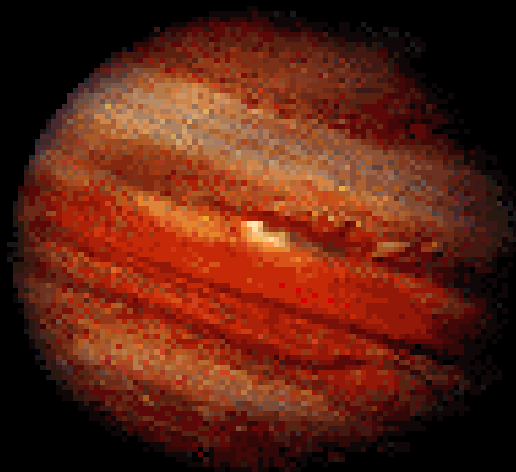
74% Idrogeno

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 (solido o gassoso) 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_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 di Deuterio, può innescare il bruciamento. La massa minima in questo caso si riduce a:

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

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

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

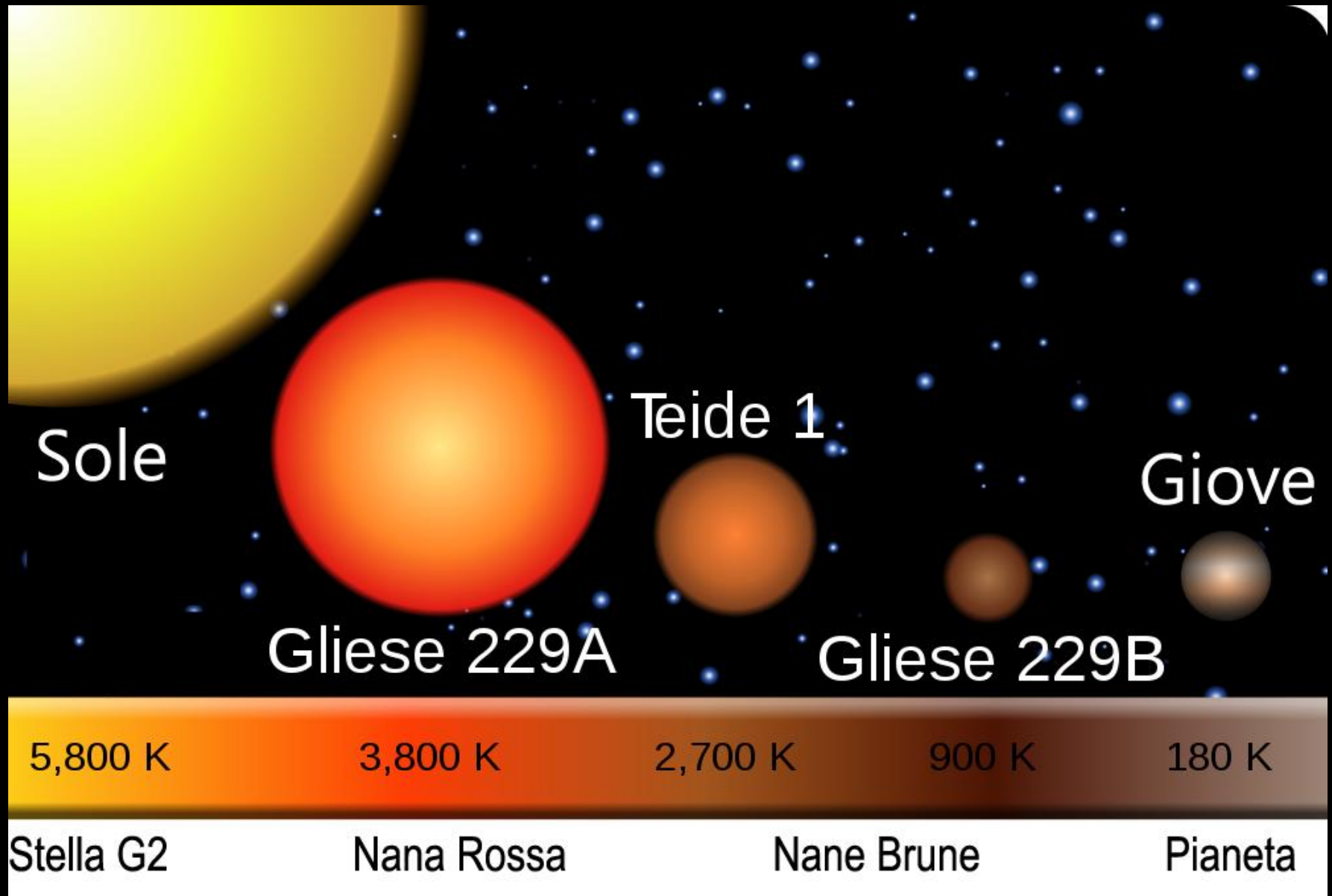
$$P_c \sim 10^5 \text{ Mbar}$$

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 $0,08 M_\odot$ ma nel loro nucleo è permesso il bruciamento del Deuterio.

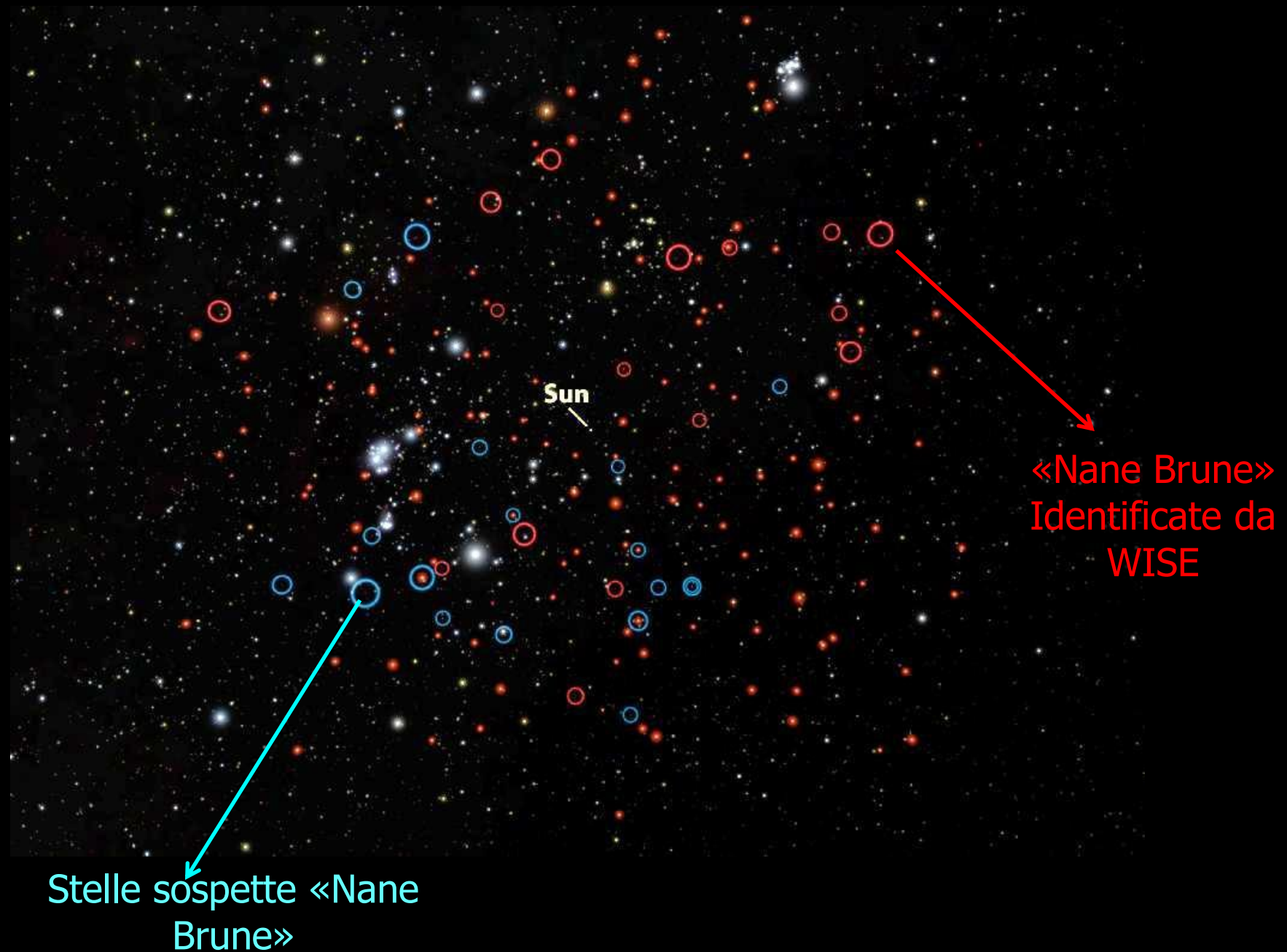
Il meccanismo di rilascio dell'energia per masse $< 0,012 M_\odot$ è dovuto a lenta contrazione termica

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

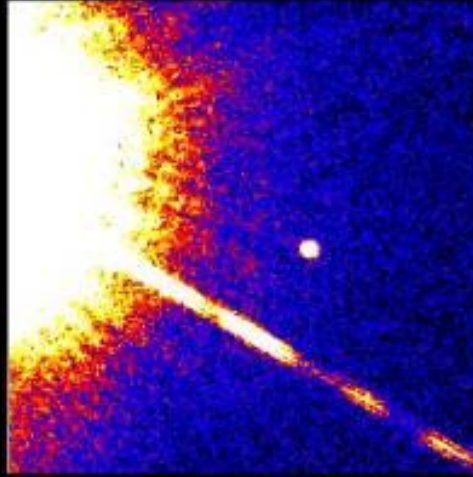
Alcune delle "Nane Brune" osservate



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



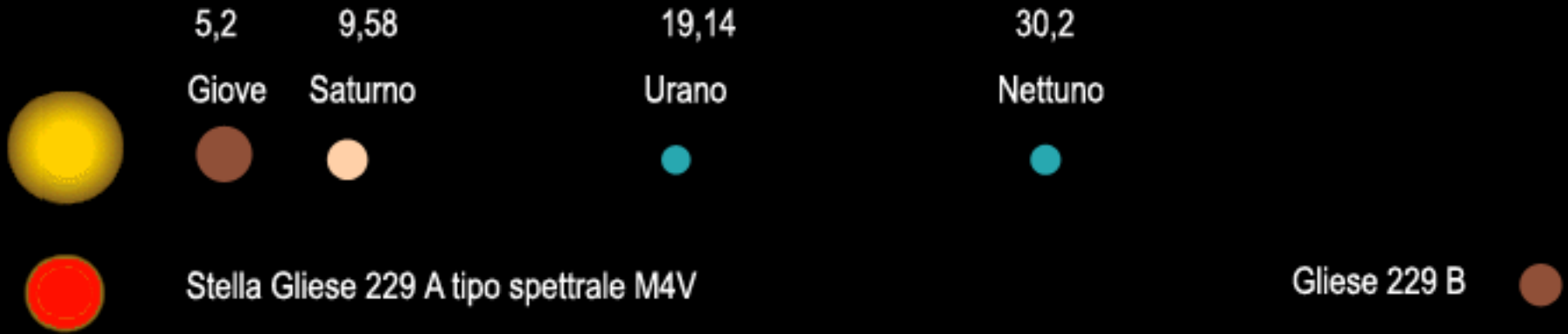
Il sistema binario Gliese 229 A e B



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

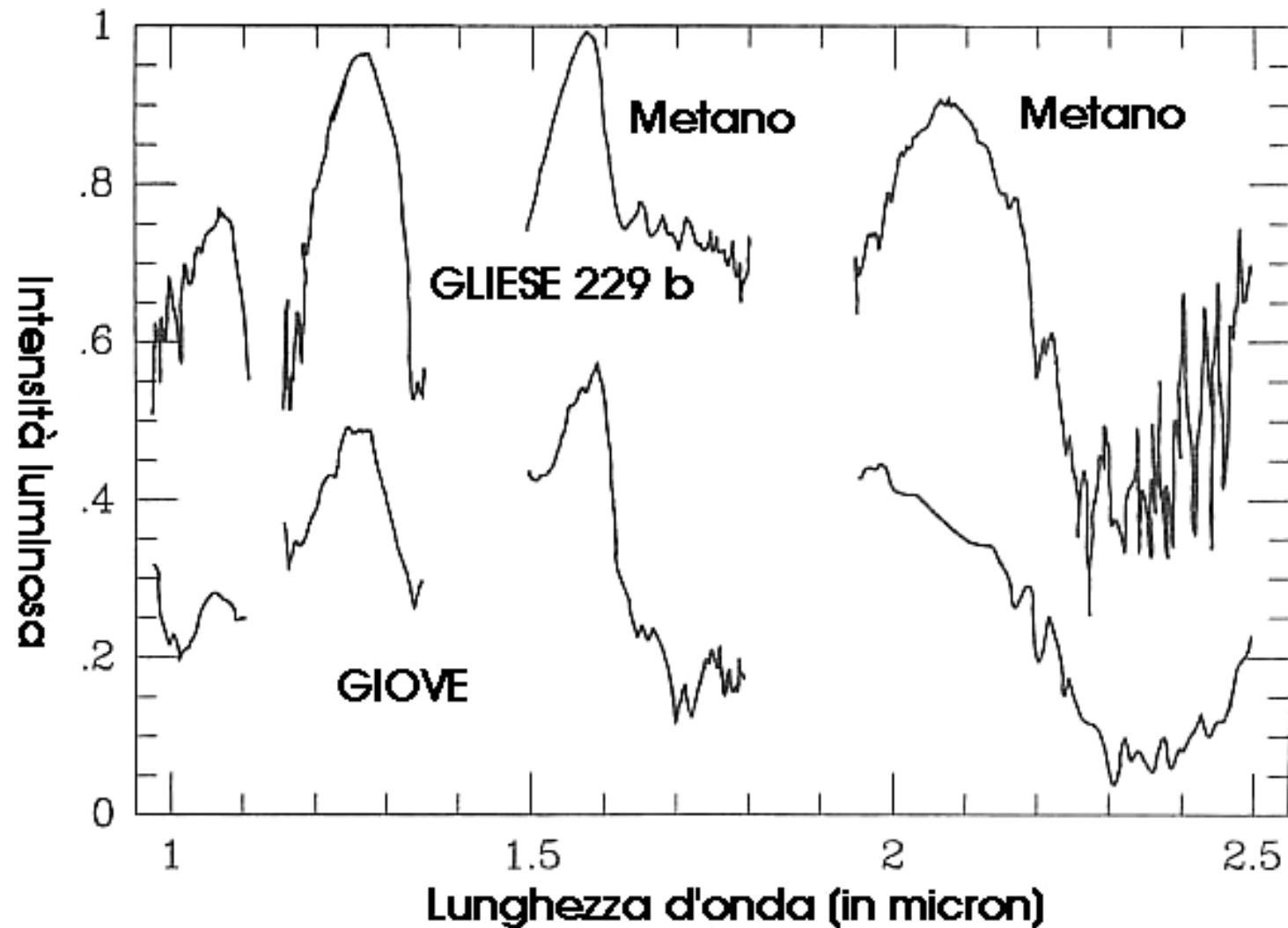
Stella	Gliese 229 A
Distanza	19 a.l.
Tipo spettrale	M1V Nana Rossa
Massa	0,31 $M_{\odot}$
Età	--- Gyr
Raggio	0,6 $R_{\odot}$
Temperatura	3720 °K
Luminosità	$L=0,0161 L_{\odot}$
Magnitudine Visuale	8,14
Metallicità [Fe/H]	0,2

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	$L=5,8 \cdot 10^{-6} L_\odot$
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 confrontato con quello di Giove



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 ^h 10 ^m 34.62 ^s - 21°51'52.1"	1994
Prima verifica	Teide 1	M8	3 ^h 47 ^m 18.0 ^s +24°22'31"	1995
Prima con un pianeta	2MASSW J1207334-393254	M8	12 ^h 07 ^m 33.47 ^s - 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 ^h 05 ^m 29.40 ^s - 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 ^h 39 ^m 35.22 ^s - 35°25'44.1"	1999

Pianeti extrasolari

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	Periodo
----	Dist (U.A.)	R/R_T	R/R_G	M/M_G	$g \text{ (m/s}^2\text{)}$	$\rho \text{ (gr/cm}^3\text{)}$	anni
Terra	1	1	0,091	0,0031	1	5,52	1
Giove	5,2	11	1	1	2,36	1,33	11,8
Saturno	9,5	9	0,818	0,298	0,915	0,69	29,4
Urano	19,2	4	0,363	0,047	0,88	1,29	84,1
Nettuno	30,1	4	0,363	0,053	1,12	1,64	164,8

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



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-2018

I candidati pianeti extrasolari rivelati al 25-01-2018 sono 3728 Sistemi planetari; 2974 pianeti (622 sistemi multipli)

Metodi indiretti

Con il metodo delle velocità radiali: 743 Sistemi planetari; 553 pianeti (133 sistemi multipli)

Con il metodo delle occultazioni (transiti): 2780 Sistemi planetari; 2083 pianeti transitano davanti alla stella (459 sistemi multipli)

Con il metodo delle microlenti gravitazionali 65 Sistemi planetari; 63 pianeti (3 sistemi multipli)

Metodi diretti

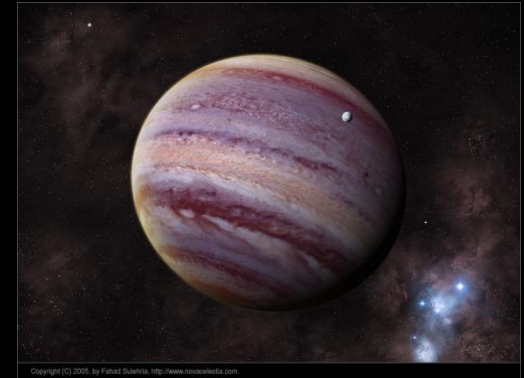
Con immagini 92 Sistemi planetari; 82 pianeti (5 sistemi multipli)

Metodi radioastronomici (pulsar)

Con timing 28 Sistemi planetari; 22 pianeti (5 sistemi multipli)



NASA/ESA/BACON/STScI



Copyright (C) 2005, by Farhad Sulem, http://www.moonandstar.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** producendo una amplificazione della luminosità osservata.

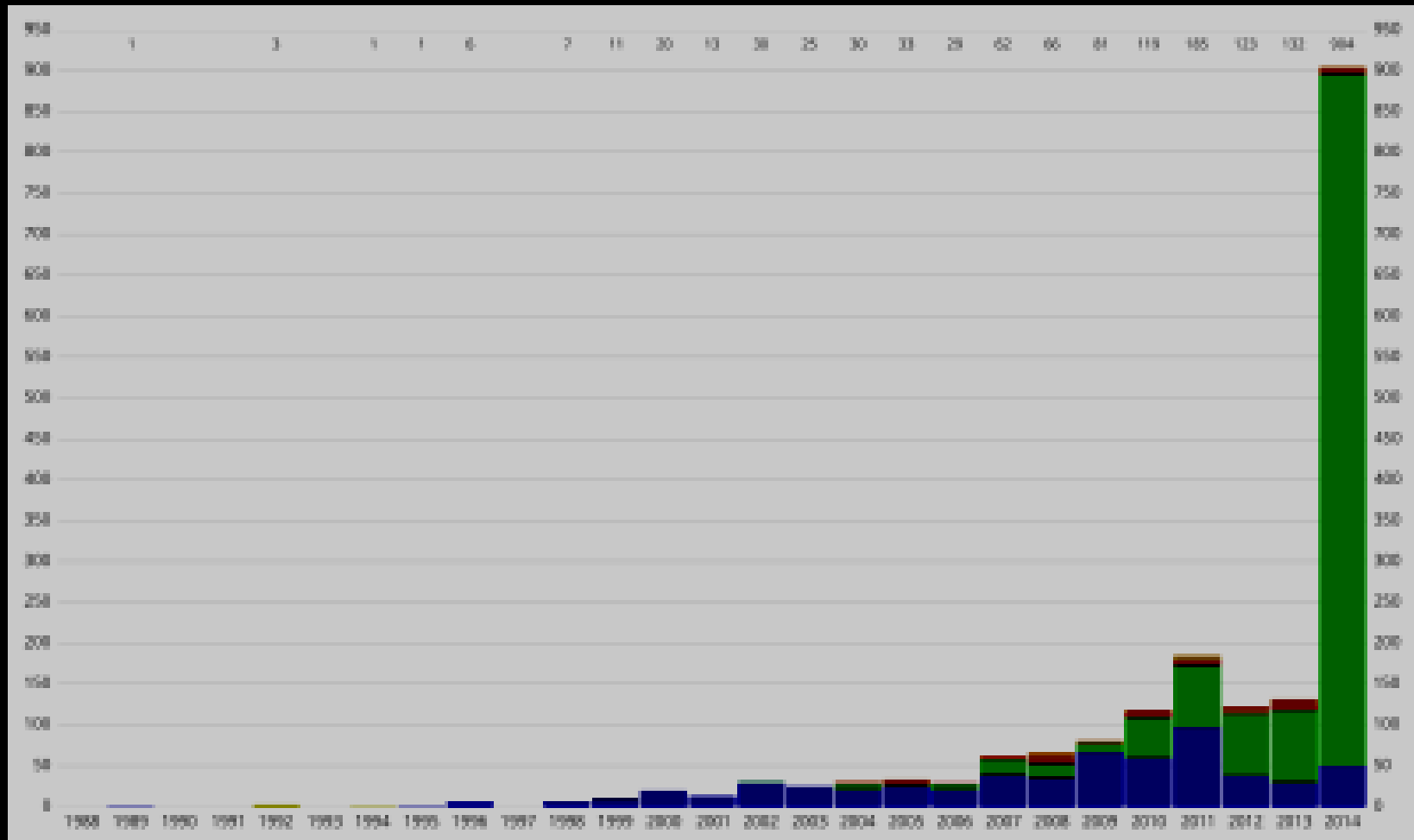
Metodi diretti (Imaging)

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)**

I metodi di osservazione dei pianeti extrasolari statistica al 2014



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

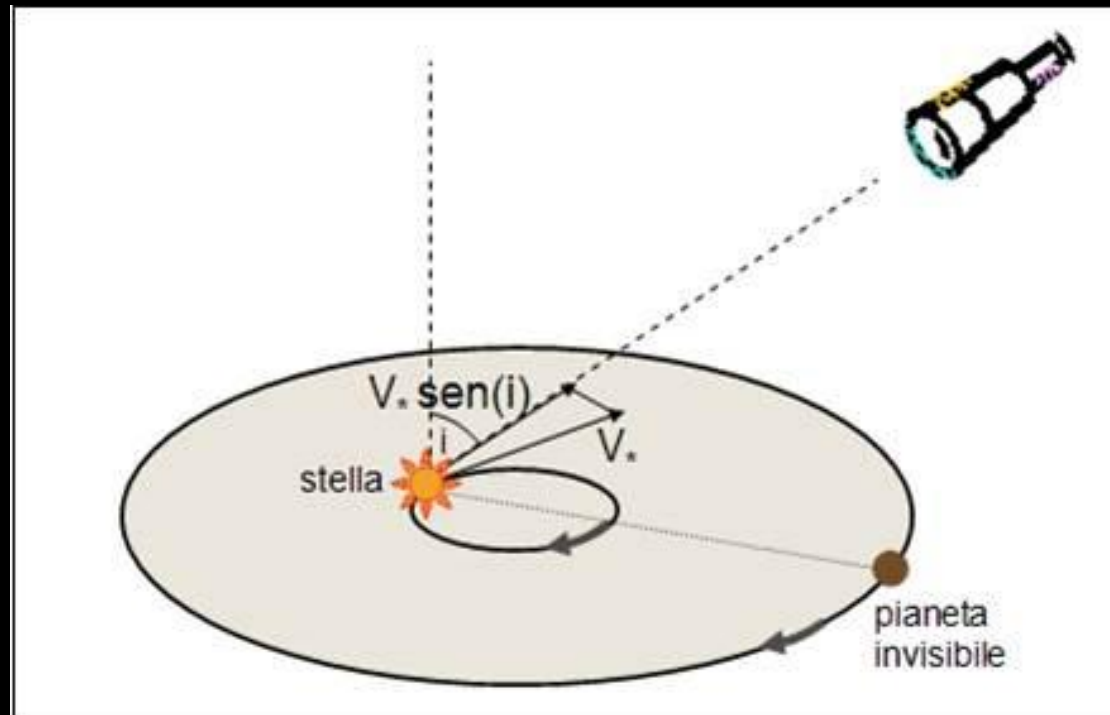
Le immagini dei pianeti, escluse le mappe stellari, sono disegni elaborati sulla base delle caratteristiche, in parte supposte in parte ricavate dalle osservazioni

Metodo spettroscopico

Velocità radiali

I metodi indiretti-perturbazioni gravitazionali

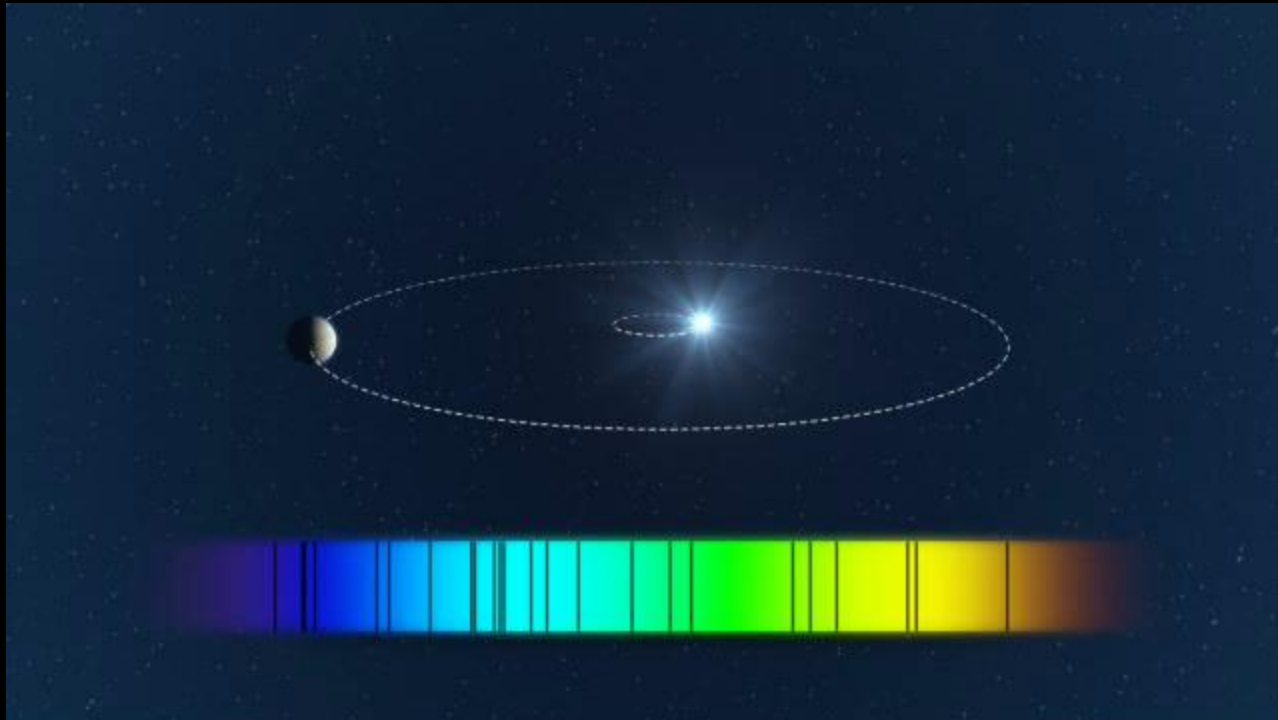
La spettroscopia



➤ 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

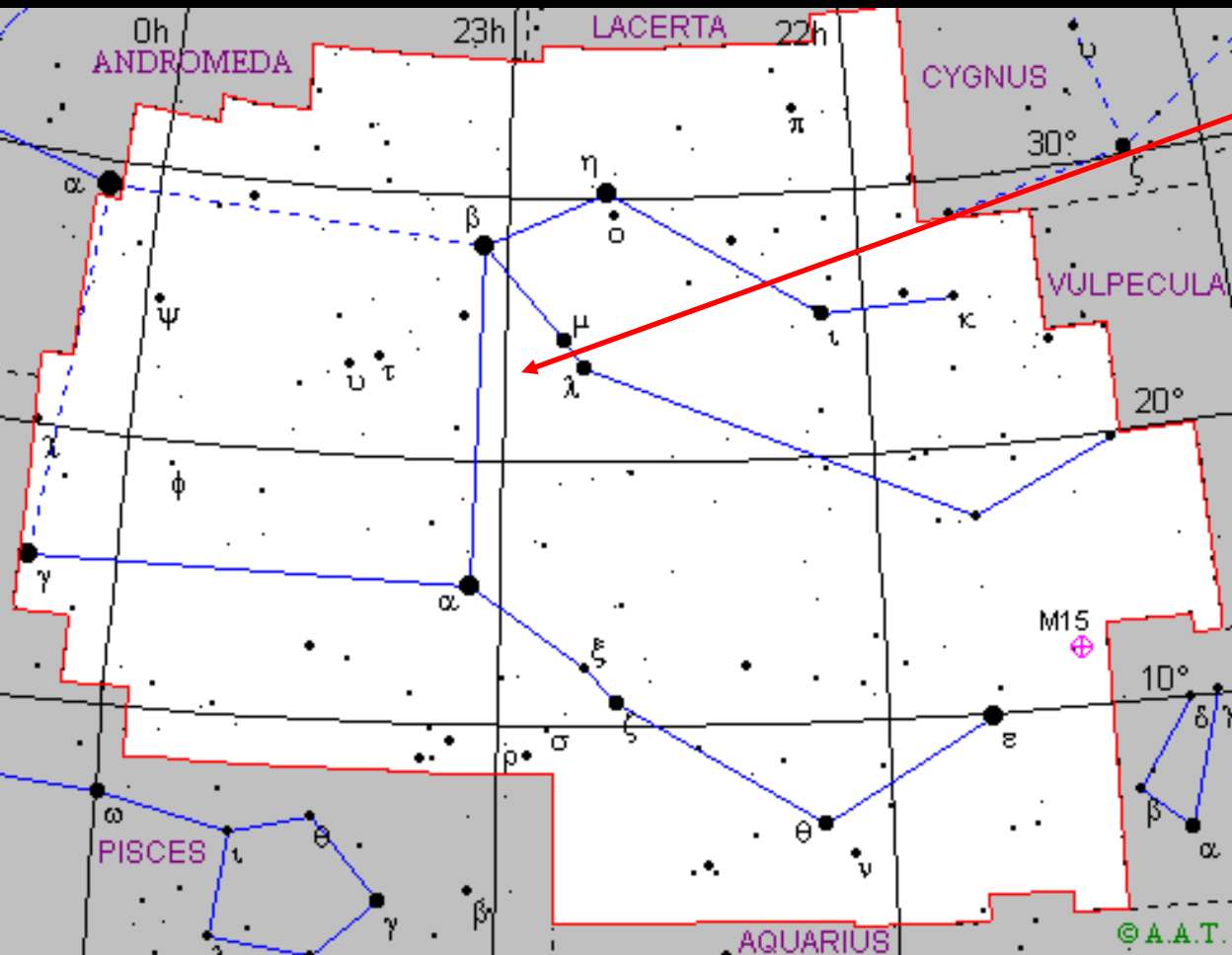


«Visibilità» dei pianeti extrasolari

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	Spettrografi seconda generazione
<u>Saturno</u>	<u>Gigante gassoso</u>	9,58	29,46 anni	2,75	Spettrografi seconda generazione
<u>Alpha Centauri Bb</u>	<u>Pianeta terrestre</u>	0,04	3,23 giorni	0,510	Spettrografi seconda generazione
<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

Il sistema stellare 51 Pegasi



Costellazione di Pegaso

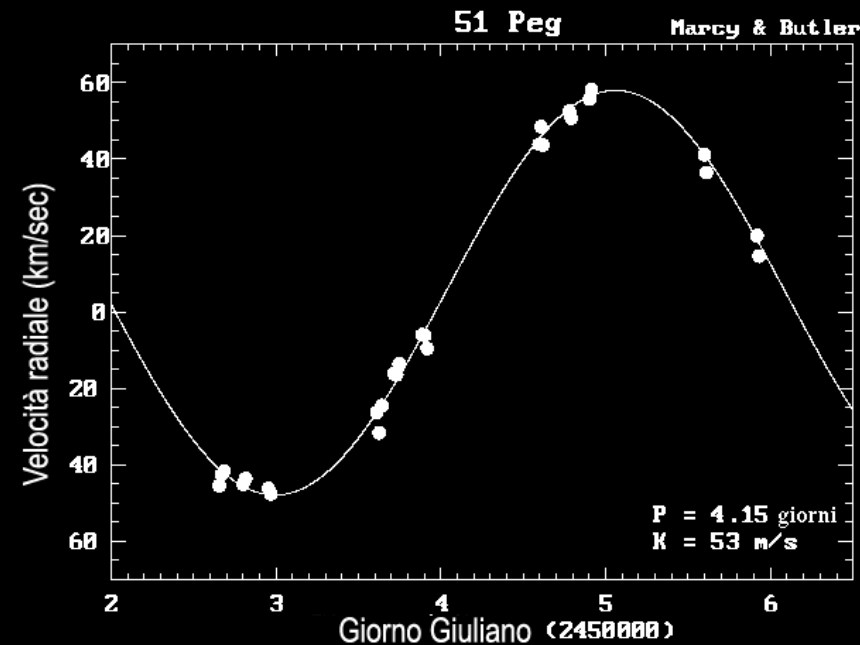
Stella	51 Pegasi
Distanza	48 a.l.
Tipo spettrale	G2IV Sequenza Principale
Massa	1,11 $M_{\odot}$
Età	4 Gyr
Raggio	1,266 $R_{\odot}$
Temperatura	5793 °K
Luminosità	$L=1,32 L_{\odot}$
Magnitudine Visuale	5,49
Metallicità [Fe/H]	0,2

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 M_J semiasse=0,052 U.A. periodo=4,23 giorni



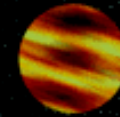
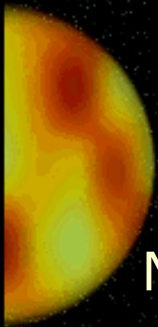
Pianeta	51 Pegasi b
Scoperto nel	1995
Semiasse maggiore orbita	0,052 U.A.
Massa	0,468 M _J masse di Giove
Massa	149 M _T masse terrestri
Inclinazione	80,9°
Periodo orbitale	4,23 giorni
Eccentricità	0
Molecole	CO, H ₂ O

Il sistema planetario 51 Pegasi b - Hot Jupiters

Metodo spettroscopico delle velocità radiali

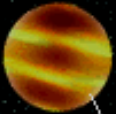
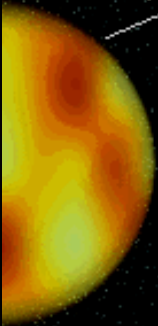
Sole

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)

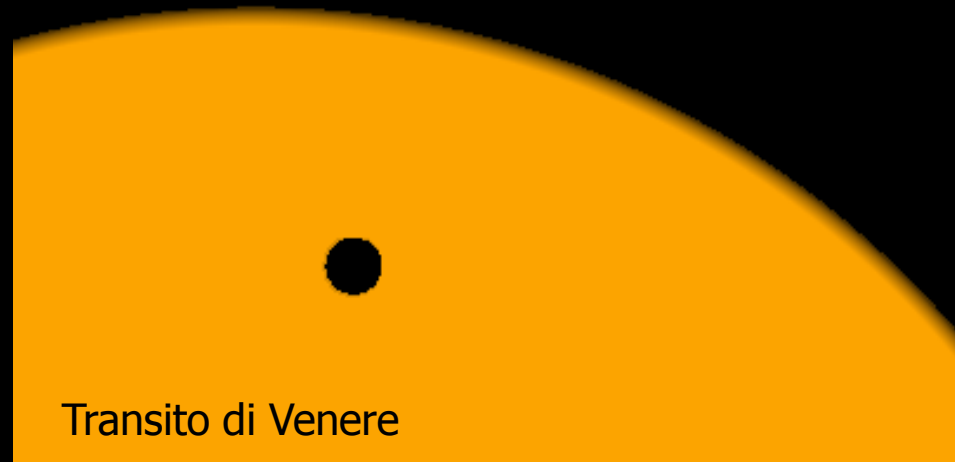
Metodo fotometrico Transiti

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.

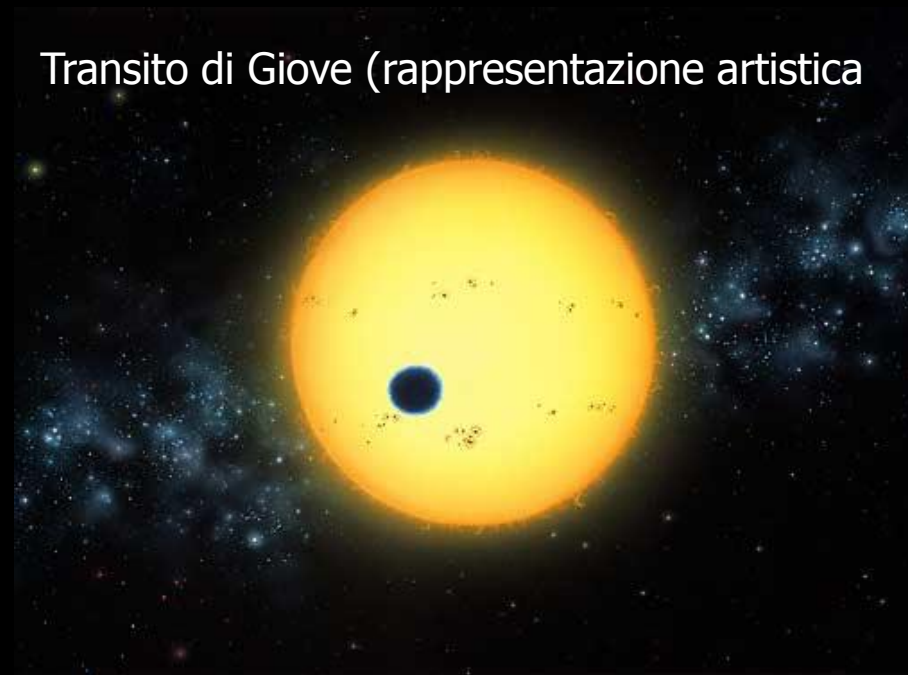
Perché si verifichi il "transito" il piano dell'orbita del pianeta deve essere lungo la linea di vista.



Transito di Venere

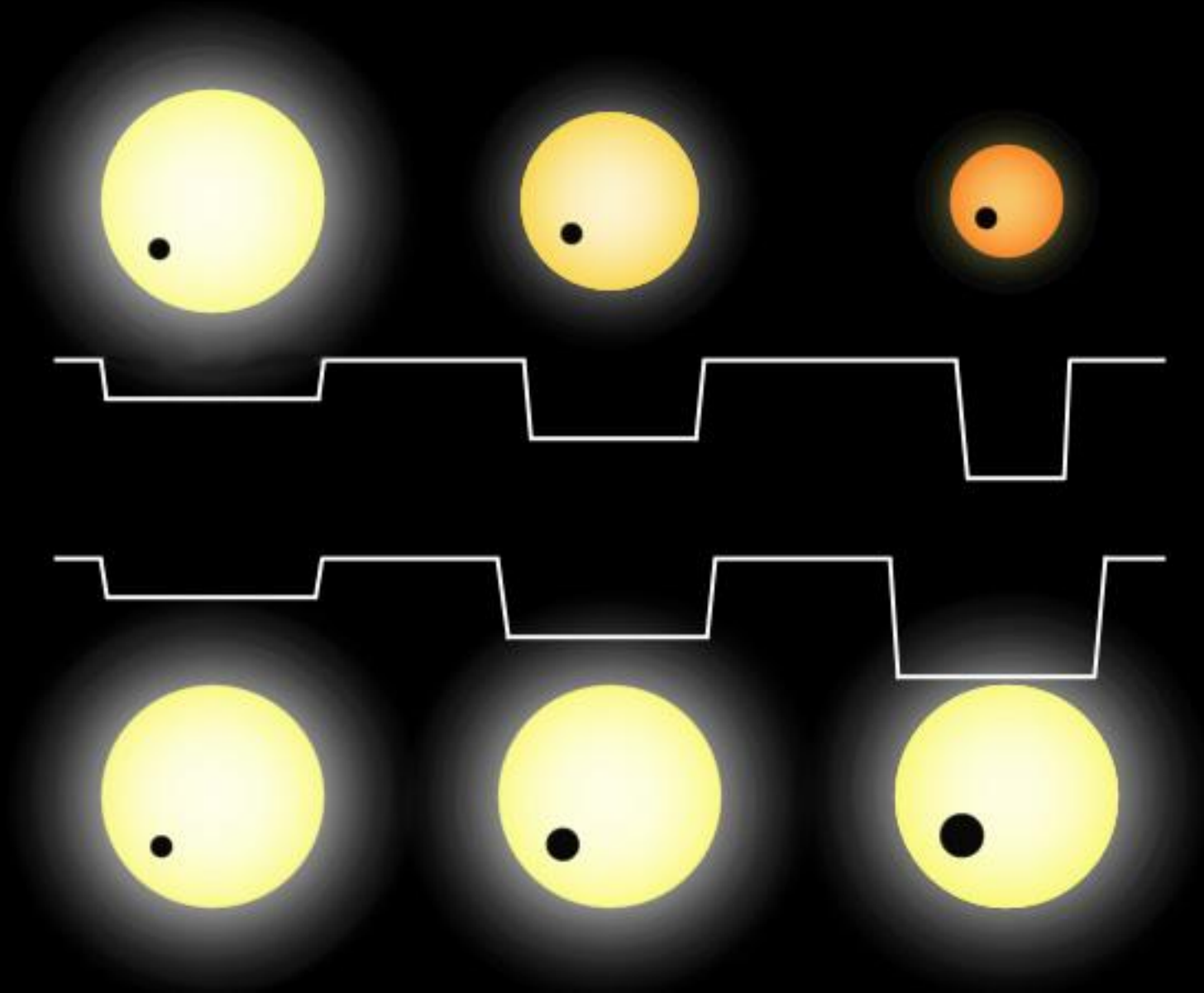


Transito di Mercurio



Transito di Giove (rappresentazione artistica)

Metodo dei transiti e curva di luce fotometrica

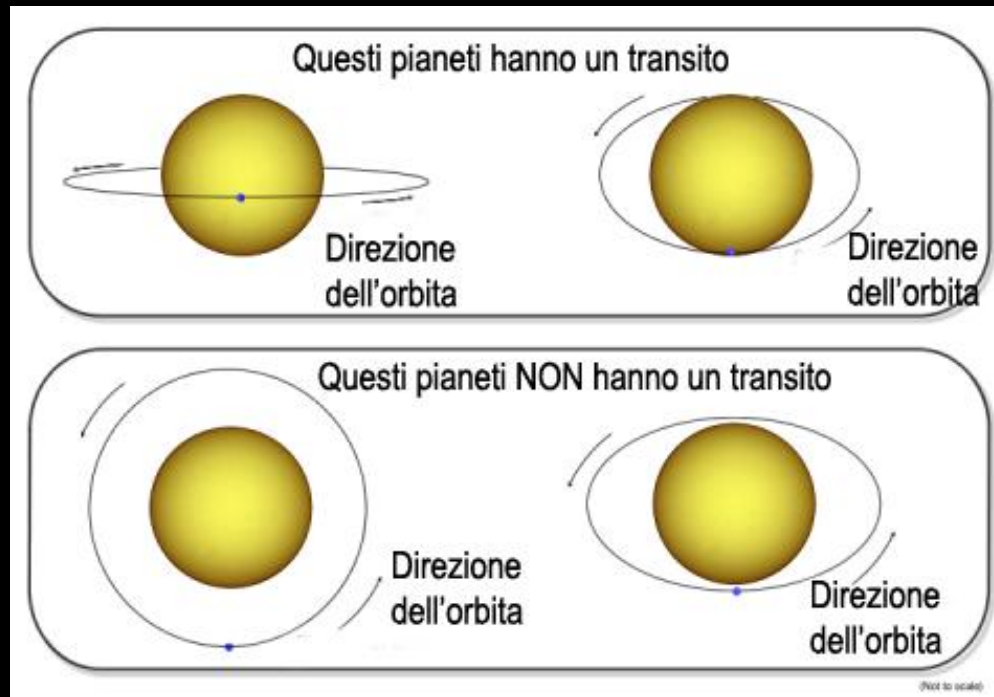


Transito (animazione)



www.eso.org

Metodo dei Transiti-geometrie ed allineamenti orbitali



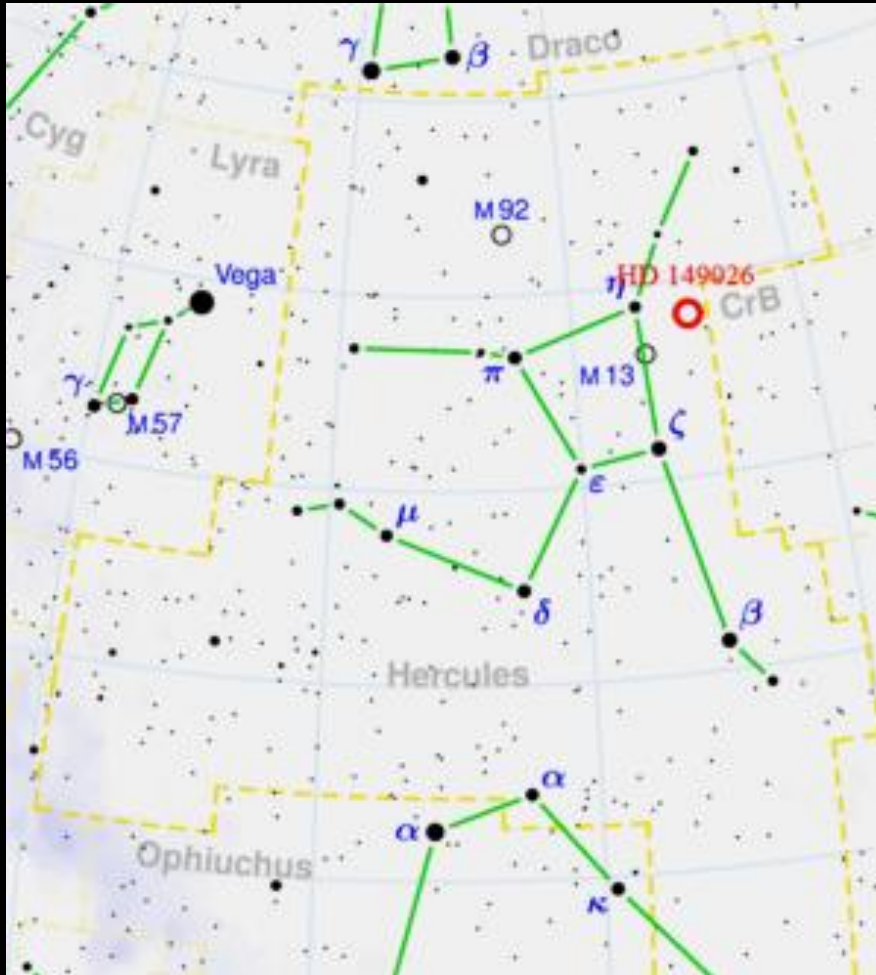
A favore:

- 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 extrasolari
- L'osservazione fotometrica è lenta perché va ripetuta su molte orbite planetarie

La stella HD 149026

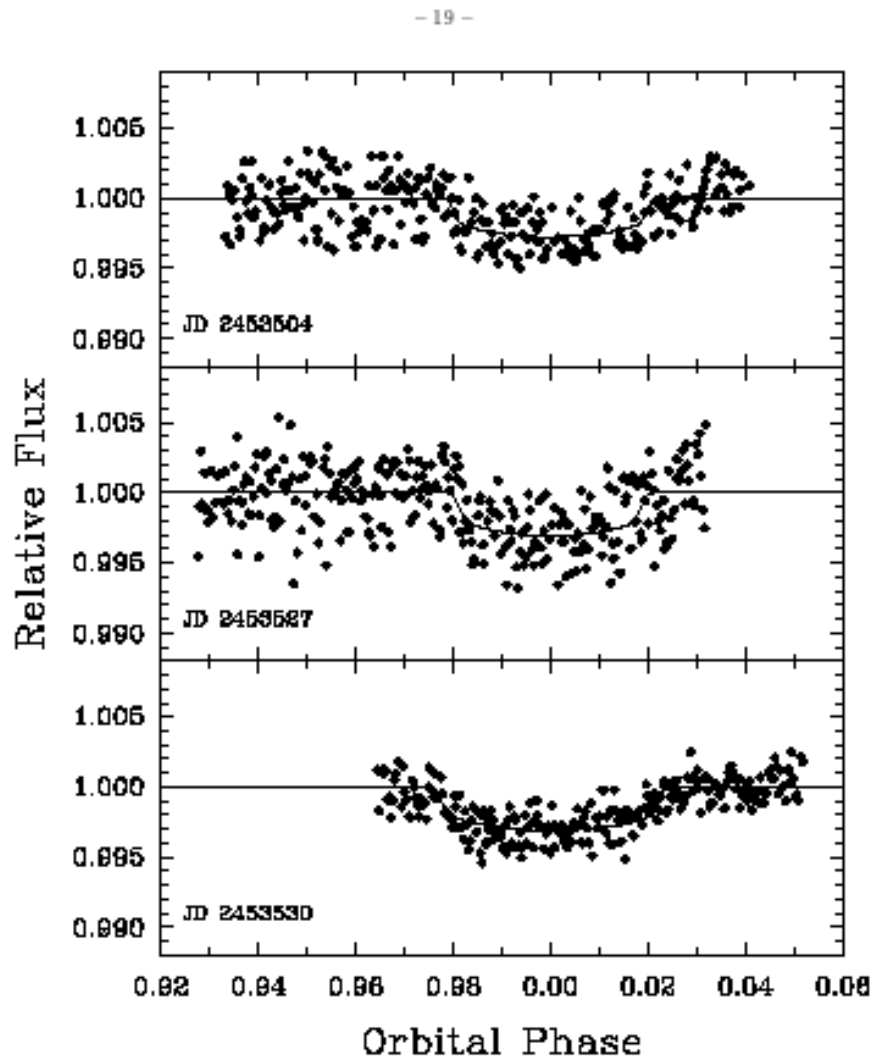


Costellazione di Ercole

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

Il pianeta extrasolare HD 149026 b

Metodo fotometrico dei transiti

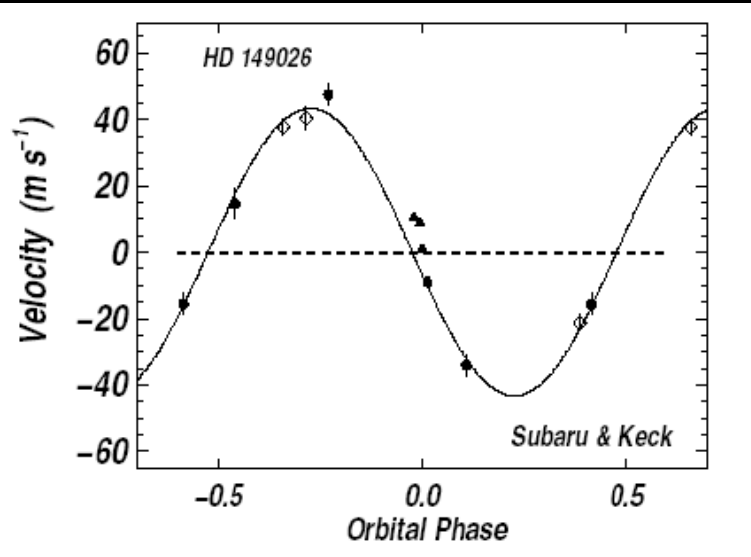


Il sistema extrasolare in HD 149206 oltre che osservabile con il metodo spettroscopico lo è anche con il metodo fotometrico:

1. Ha un pianeta con una massa pari a $0,356 M_G$ 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

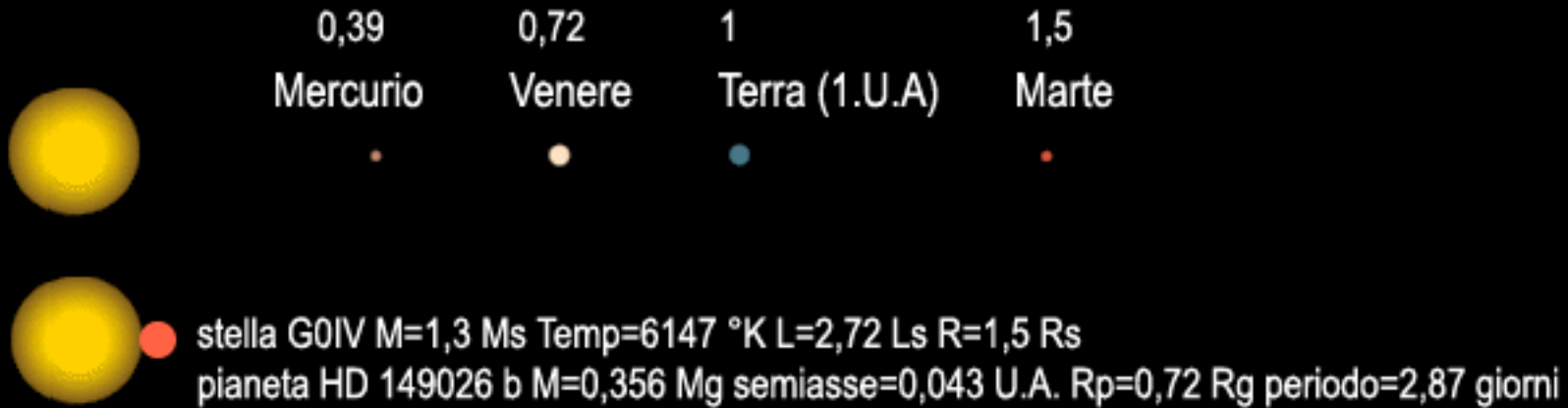


Pianeta	HD 149026 b
Scoperto nel	2005
Massa	0,356 M _G masse di Giove
Massa	113,2 M _T masse terrestri
Semiasse maggiore orbita	0,043 U.A. (Unità Astronomiche)
Periodo orbitale	2,876 giorni
Raggio	0,718 R _G
Raggio	7,9 R _T
Densità	~1,26 gr/cm ³
Inclinazione	85,3°
Eccentricità	0

Aggiornato 2014.12.20

Il pianeta extrasolare HD 149026 b

Metodo spettroscopico delle velocità radiali e metodo fotometrico dei transiti

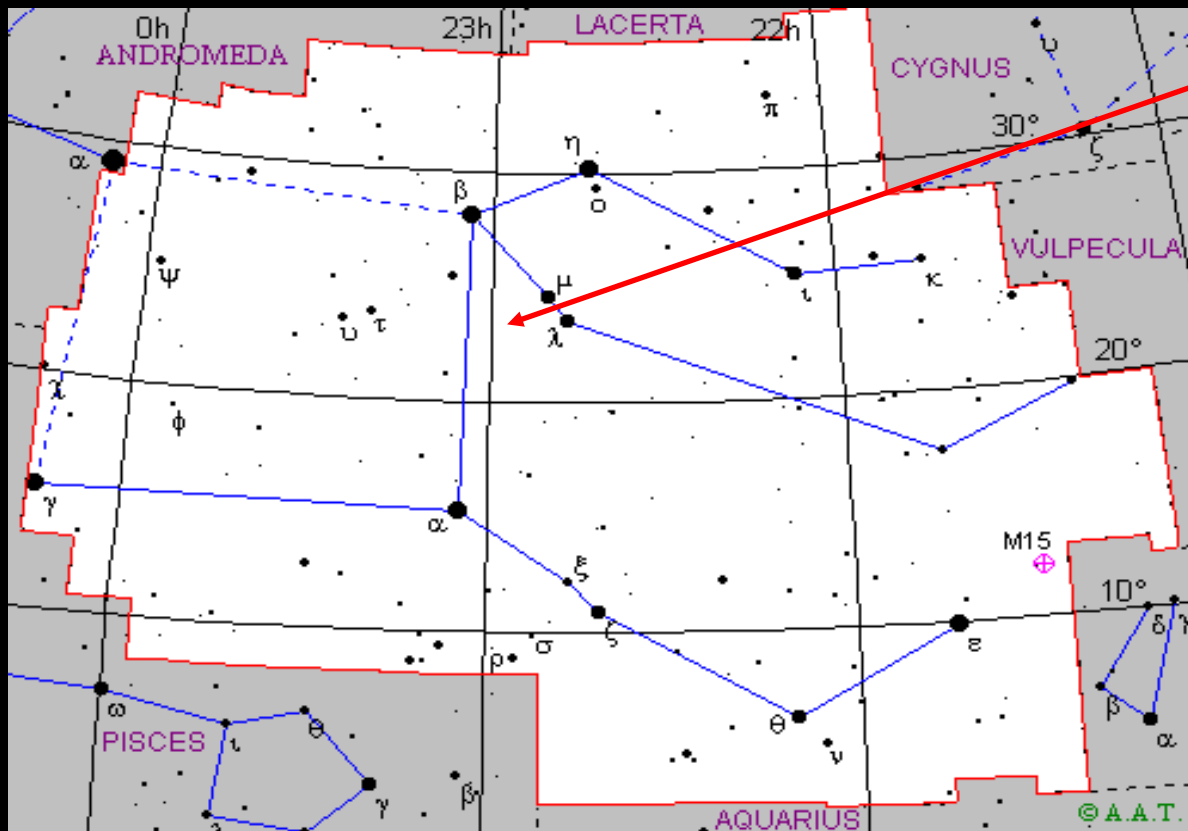


La stella HD149206 è più grande e luminosa del Sole.

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



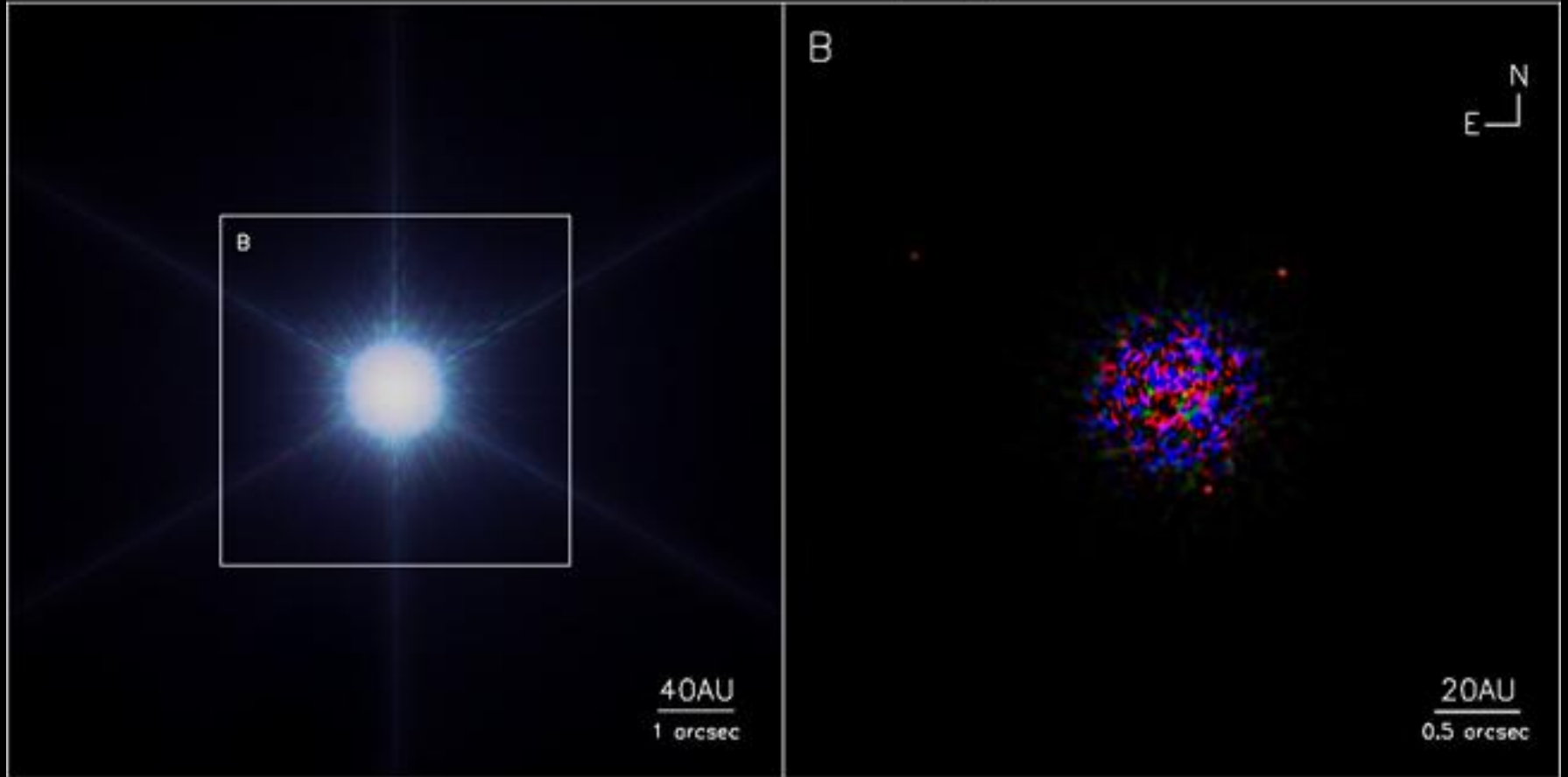
Costellazione di Pegaso

Stella	HR8799
Distanza	129 a.l.
Tipo spettrale	A5 V Sequenza principale
Massa	1,56 M _☉
Età	0,06 Gyr
Raggio	1,5 R _☉
Temperatura	7430 °K
Luminosità	L=4,92 L _☉
Magnitudine Visuale	5,96
Metallicità [Fe/H]	-0.47

I pianeti HR8799 b,c,d

Metodo dell'imaging

HR 8799 Planetary System

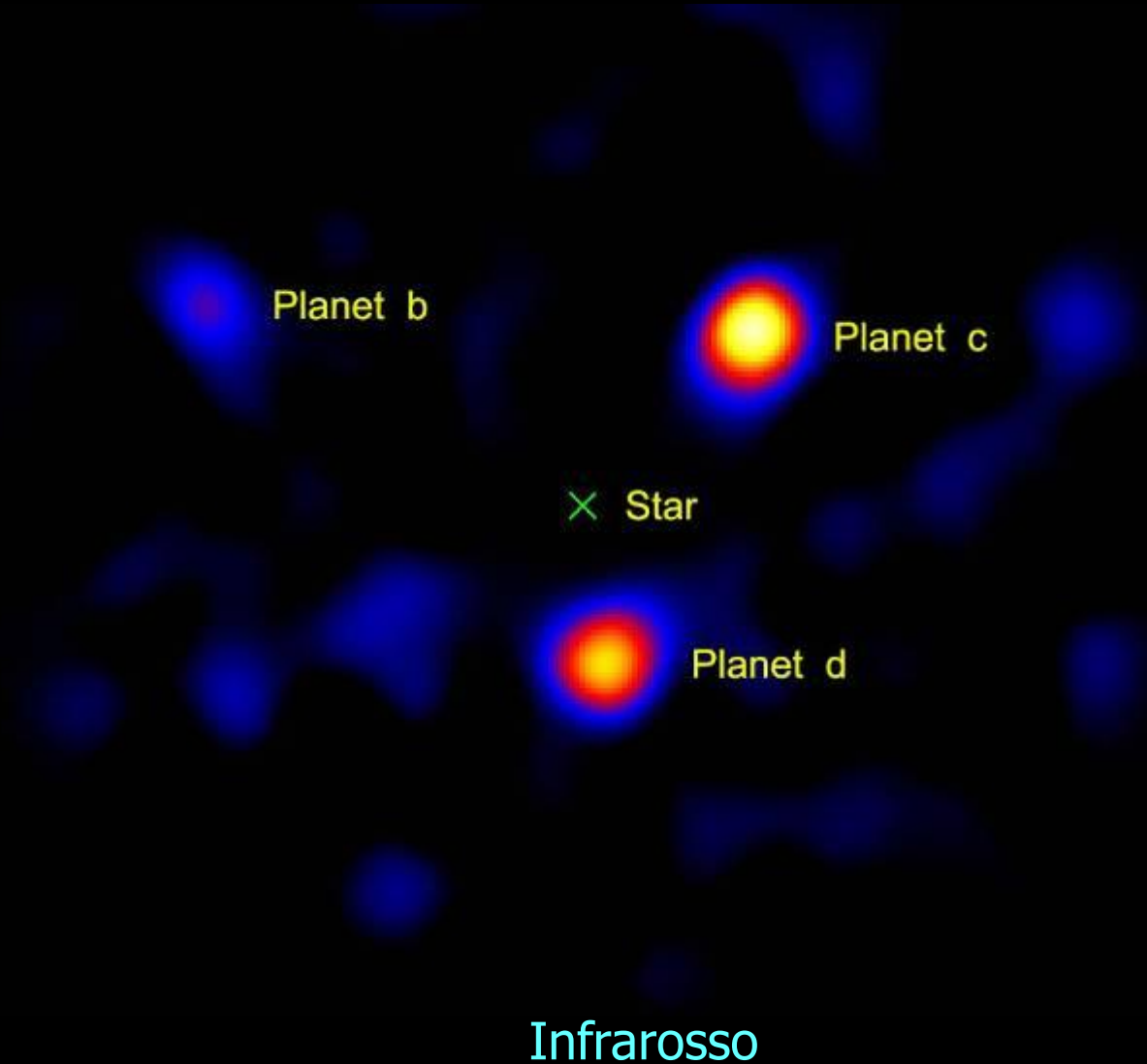


Visibile

Infrarosso

I pianeti HR8799 b,c,d

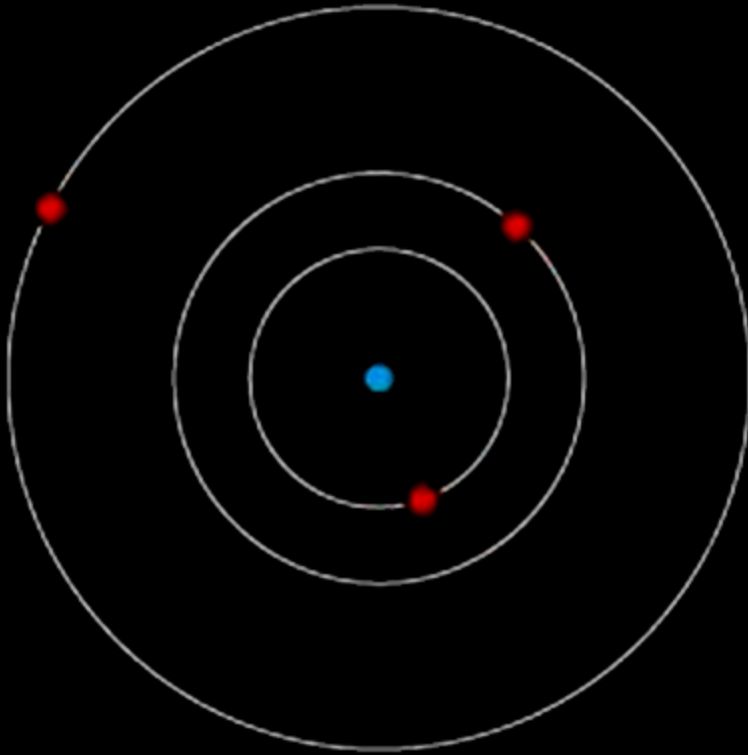
Metodo dell'imaging (Vortex Coronagraph)



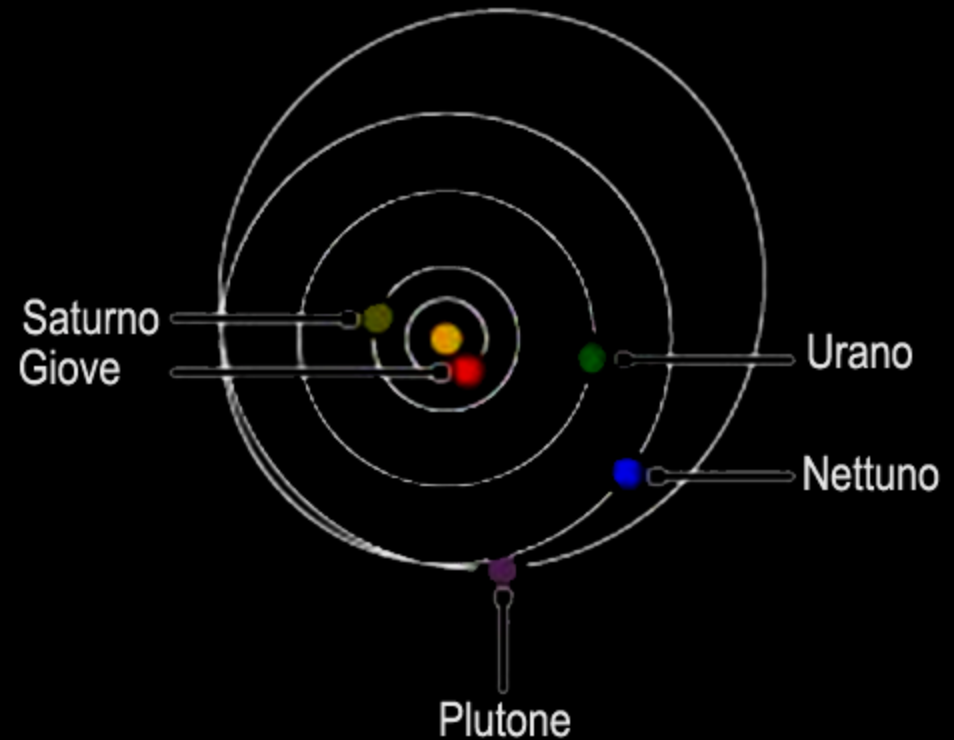
I pianeti HR8799 b,c,d

Metodo dell'imaging

Il sistema planetario HR 799



Il nostro Sistema solare



I pianeti HR8799 b,c,d,e

Metodo dell'imaging



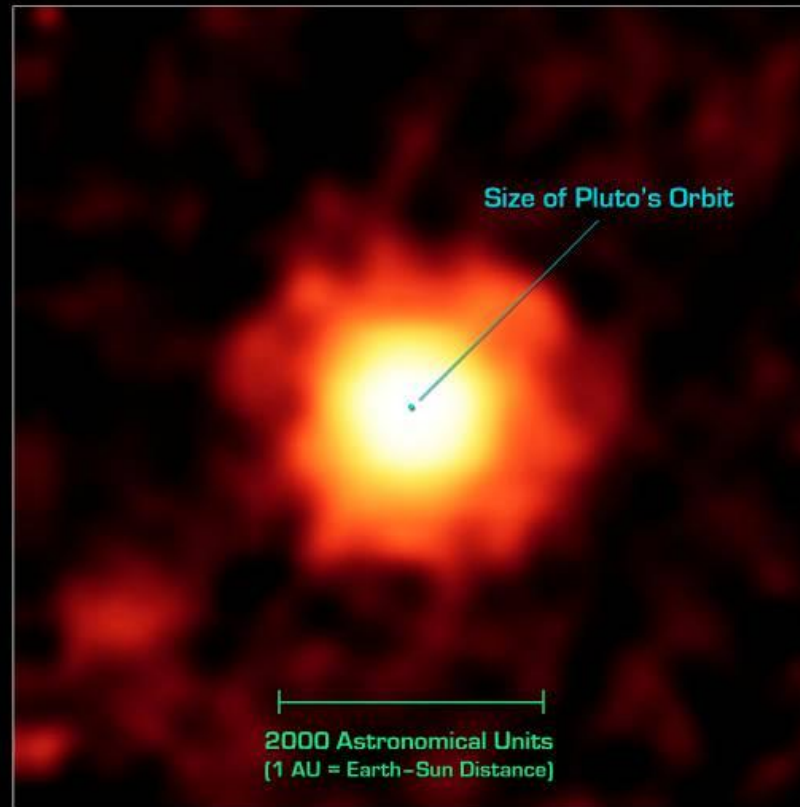
Aggiornato 2014.12.20
NB i valori planetari sono
molto incerti

Stella HR 8799 A5V M=1,56 Ms Temp=7430°K L=4,92 Ls R=1,5 Rs
pianeta HR 8799 b M=7 Mg semiasse=68 U.A. HR 8799 c M=10 Mg semiasse=43 U.A.
pianeta HR 8799 d M=10 Mg semiasse=27 U.A. HR 8799 e M=9 Mg semiasse=14,5 U.A.

Pianeta	HR8799 e	HR8799 d	HR7999 c	HR7999 b
Scoperto nel	2008	2008	2008	2008
Massa	9 M _G masse di Giove	10 M _G masse di Giove	10 M _G masse di Giove	7 M _G masse di Giove
Massa	2860 M _T masse terrestri	3178 M _T masse terrestri	3178 M _T masse terrestri	2224 M _T 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 _G	1,3 R _G	1,2 R _G
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

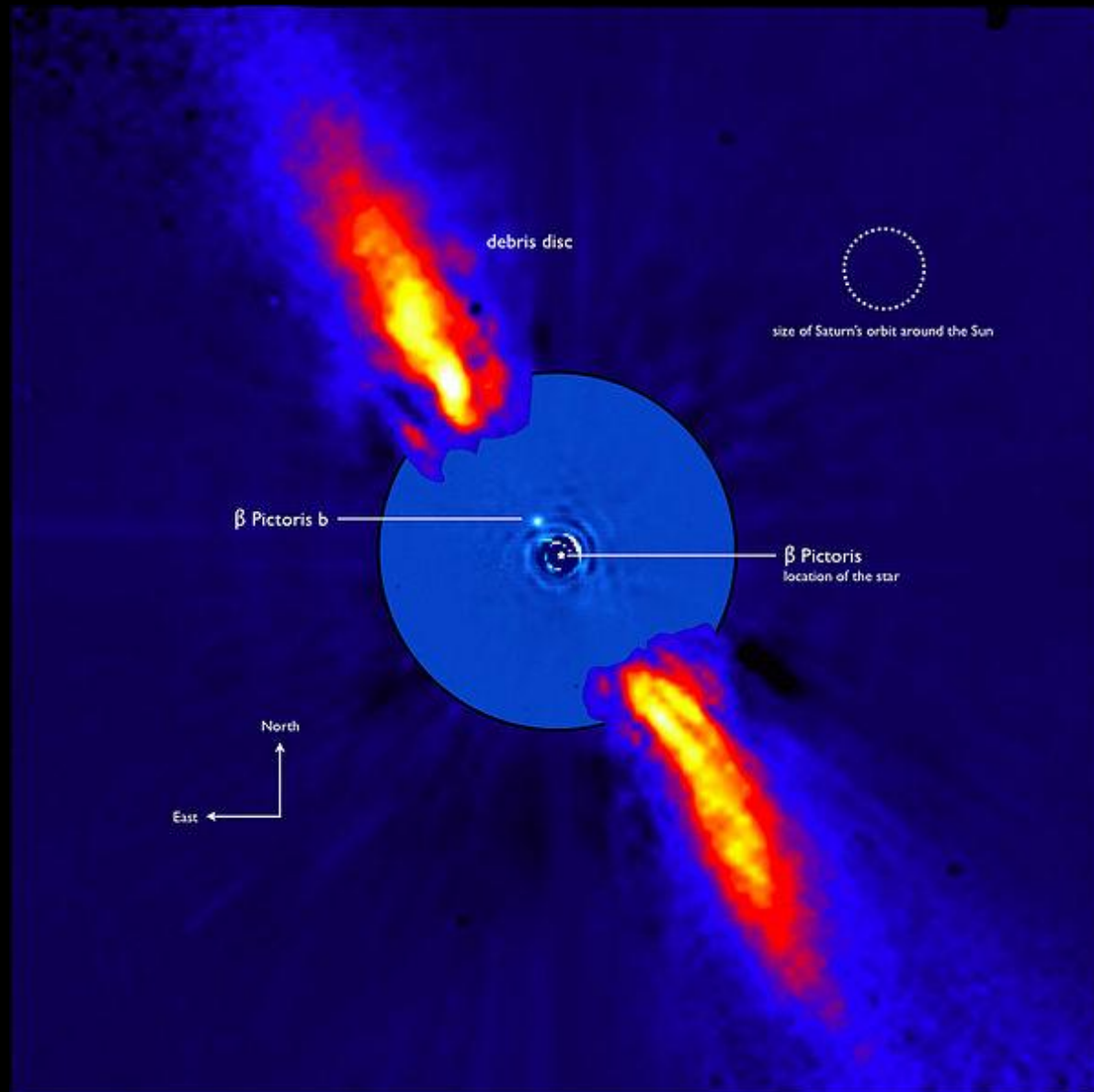
NASA / JPL-Caltech / K. Su (Univ. of Arizona)

sig09-008

Cintura asteroidale a circa 75 U.A.

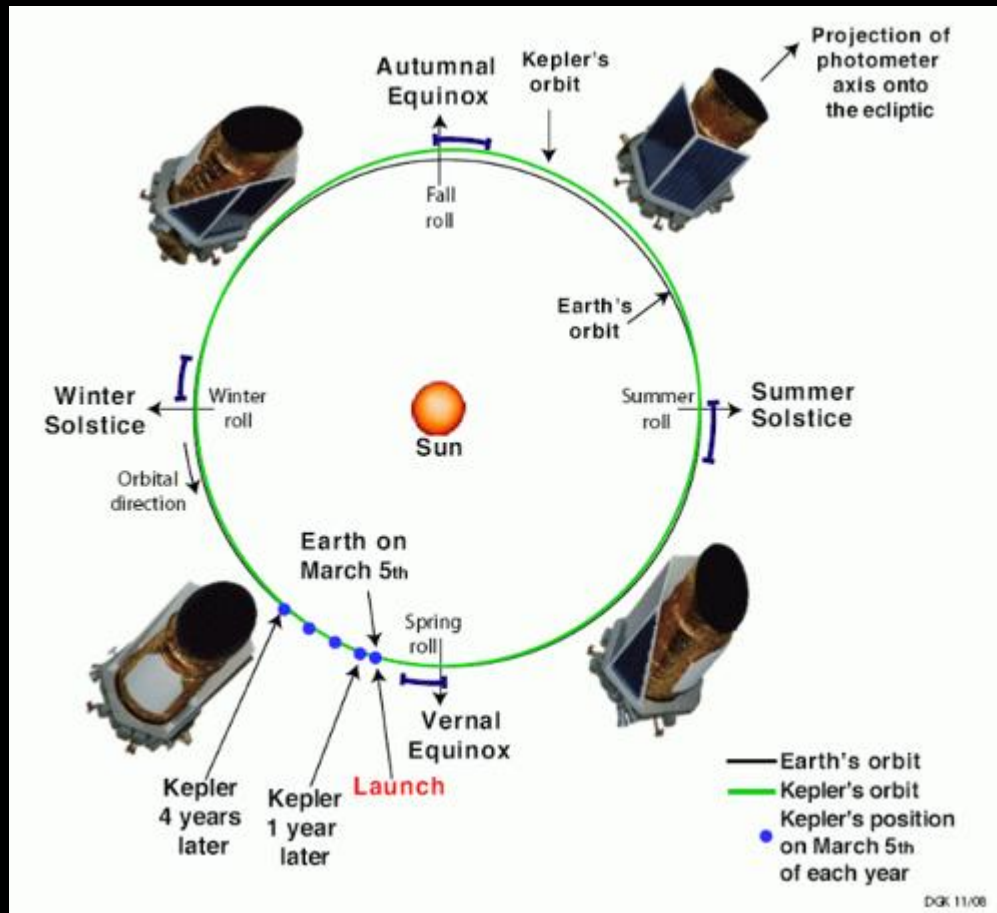
Beta Pictoris

Metodo dell'imaging (Coronagrafo)

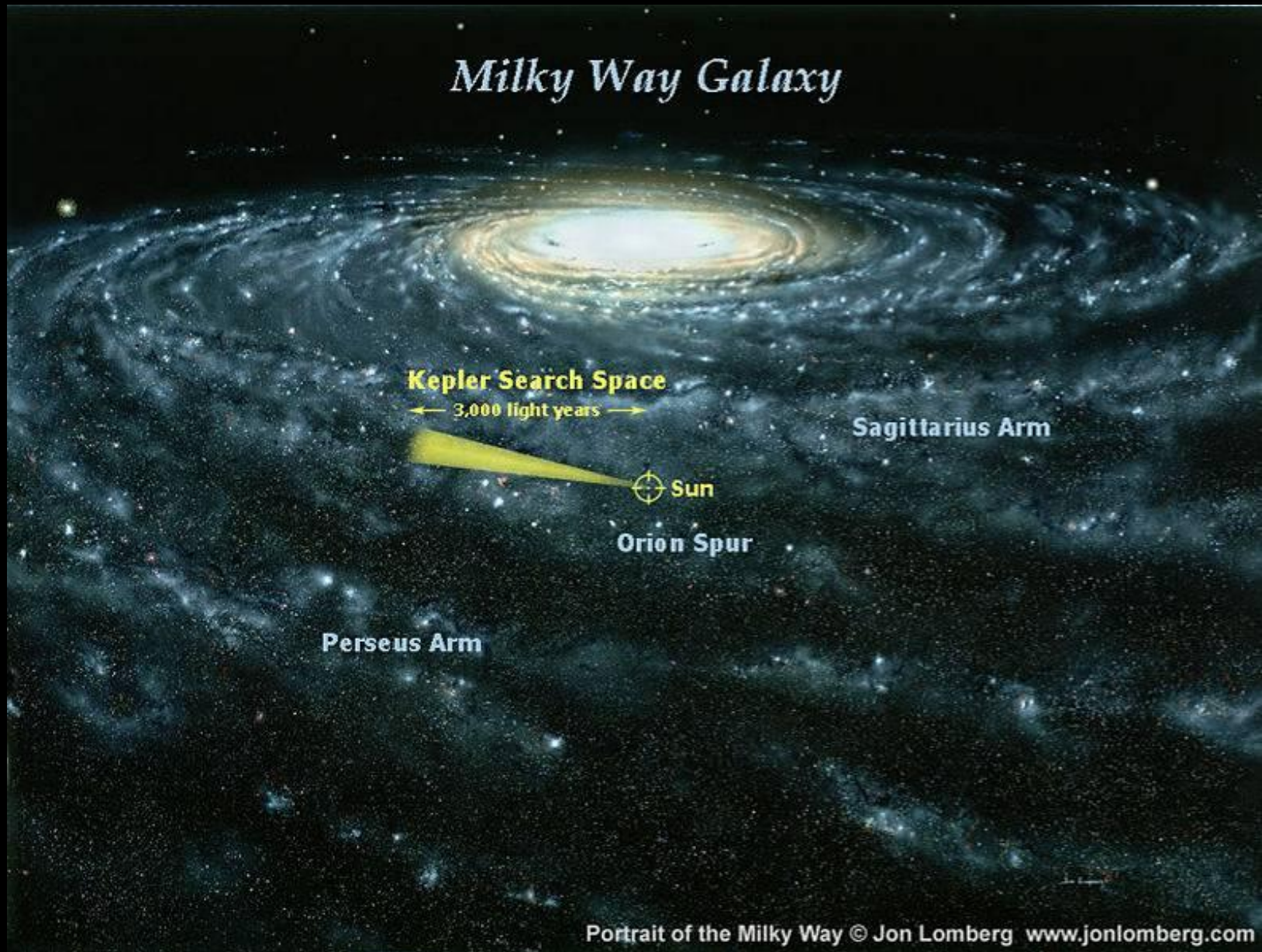


Il telescopio Kepler e le «super-terre»

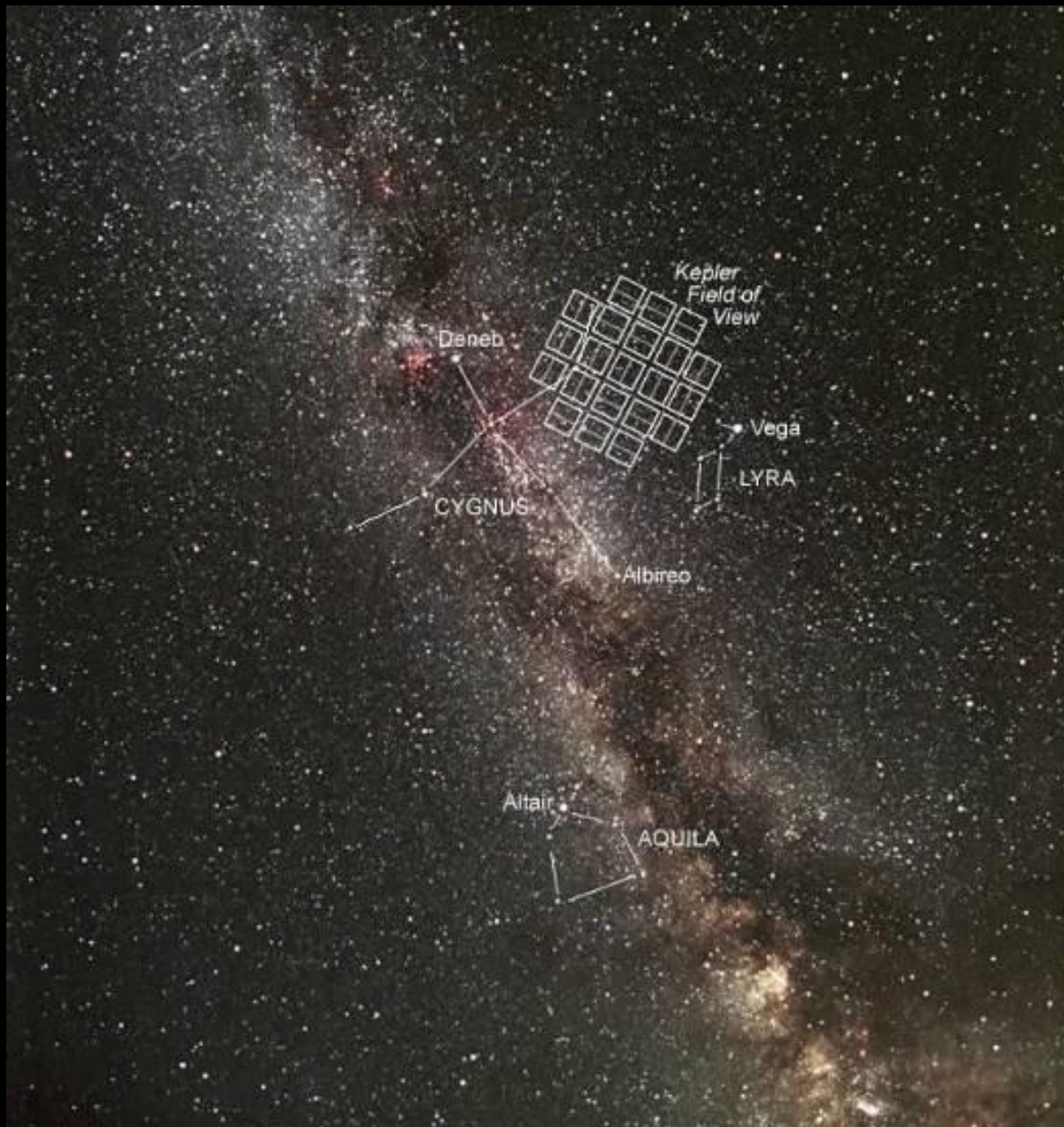
Il telescopio Kepler



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 _o
Età	6 Gyr
Raggio	1,1 R _o
Temperatura	5757 °K
Luminosità	L=1,2 L _o
Magnitudine Visuale	13,426
Metallicità [Fe/H]	0,21

Costellazione del Cigno

Il pianeta extrasolare Kepler 452 b

Metodo fotometrico dei transiti

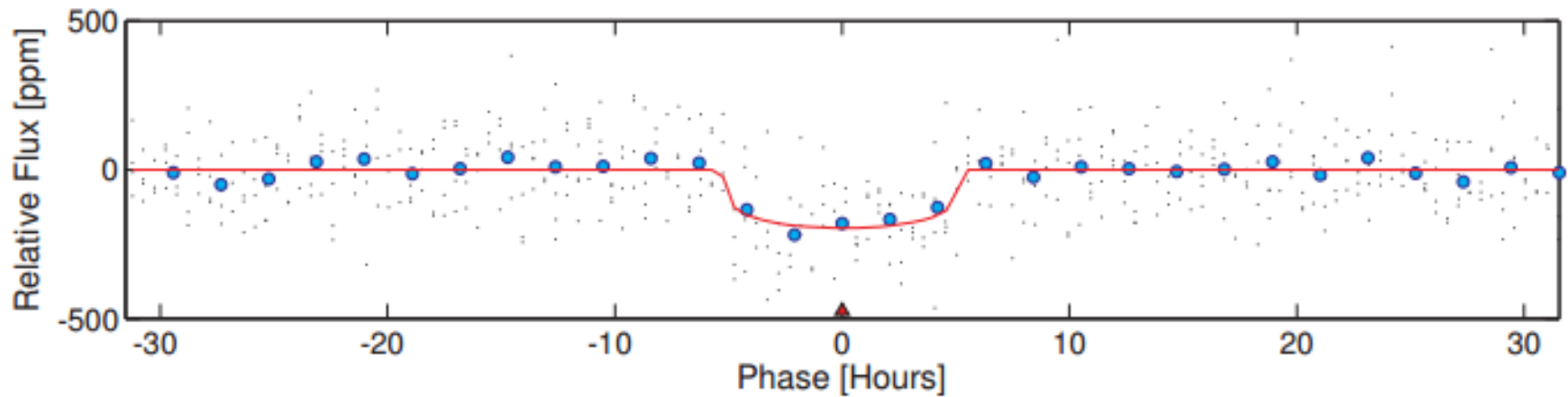
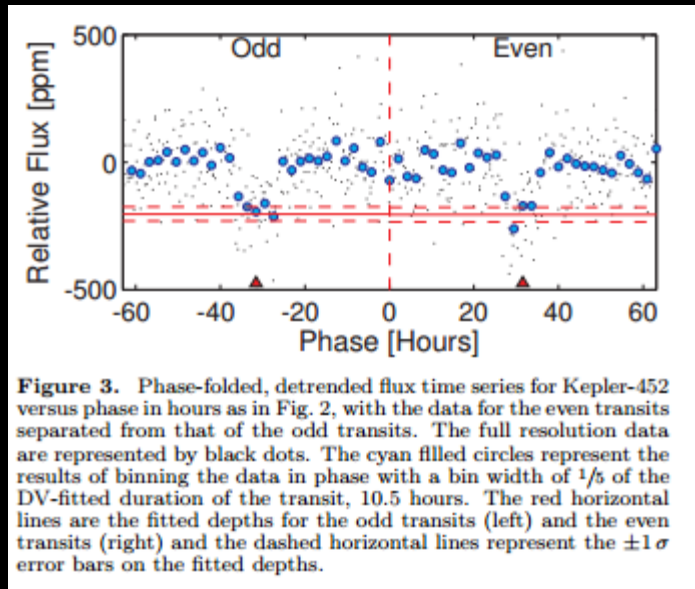


Figure 2. Phase-folded, detrended flux time series for Kepler-452 versus phase in hours. The flux time series plotted here is the same as that of Figure 1, except that it has been phase folded at the period of the planet, 384.84 days. The triangle symbol indicates the location of the four transits at 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

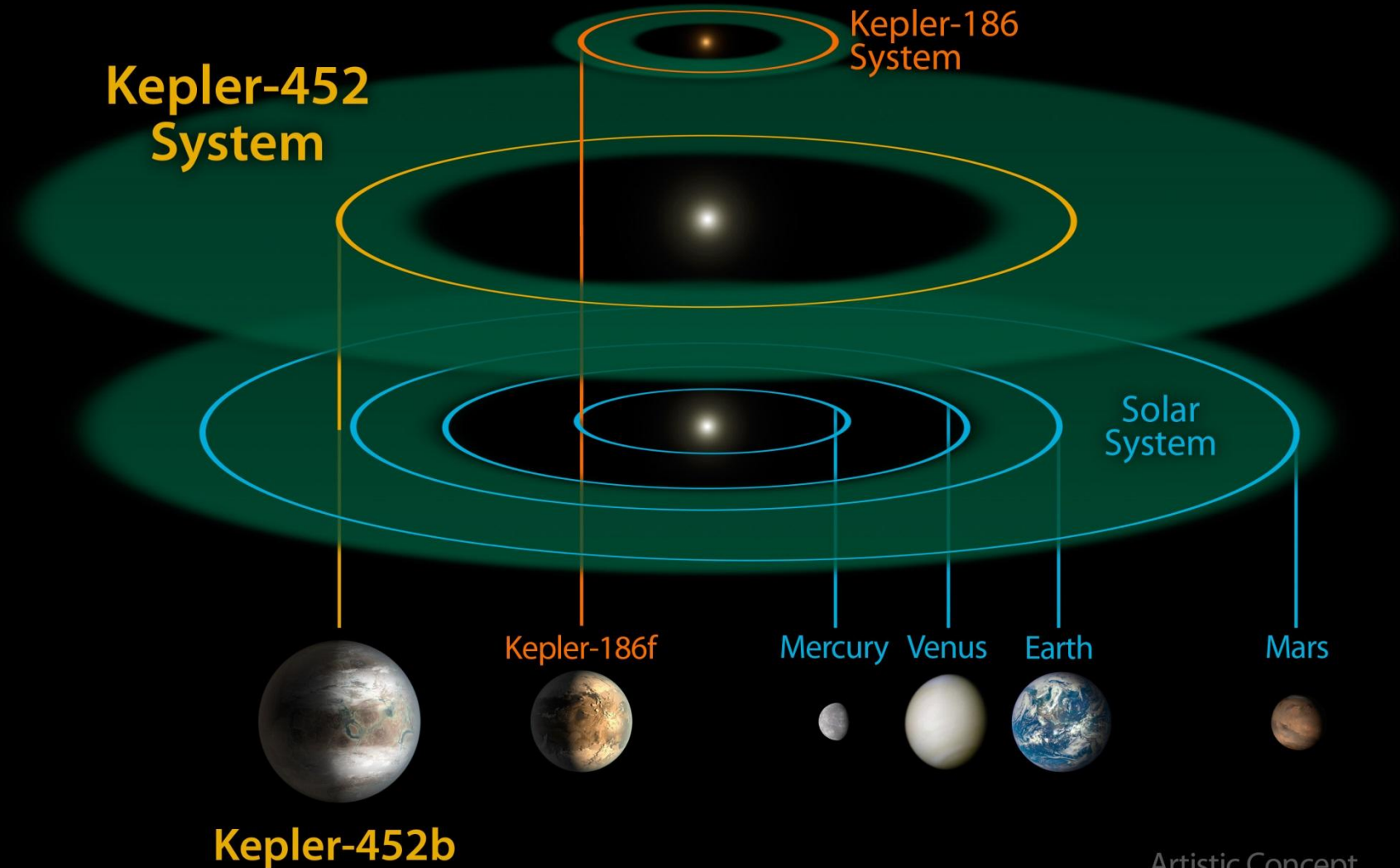
Metodo spettroscopico delle velocità radiali



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

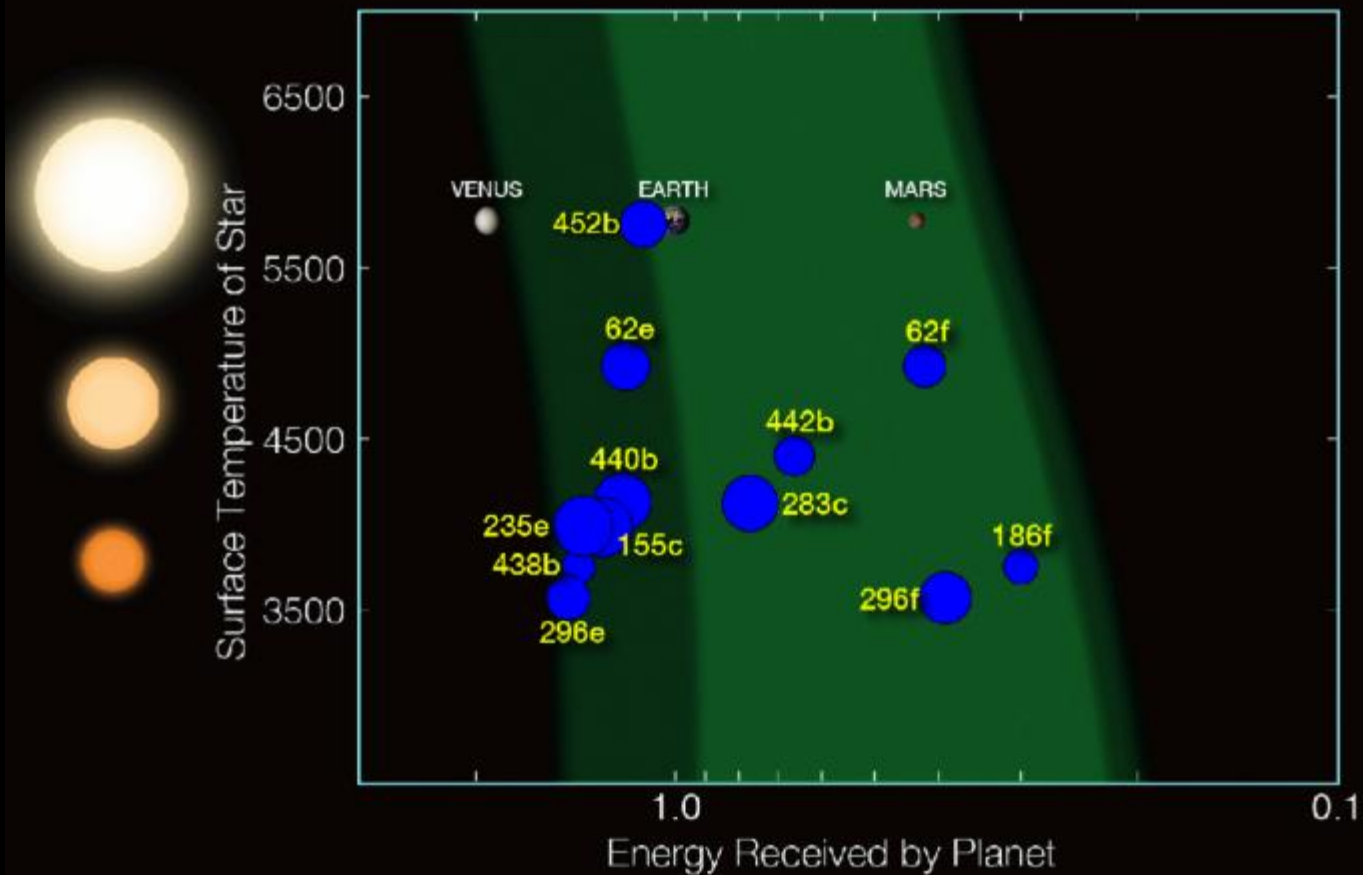
Metodo spettroscopico delle velocità radiali e metodo fotometrico dei transiti



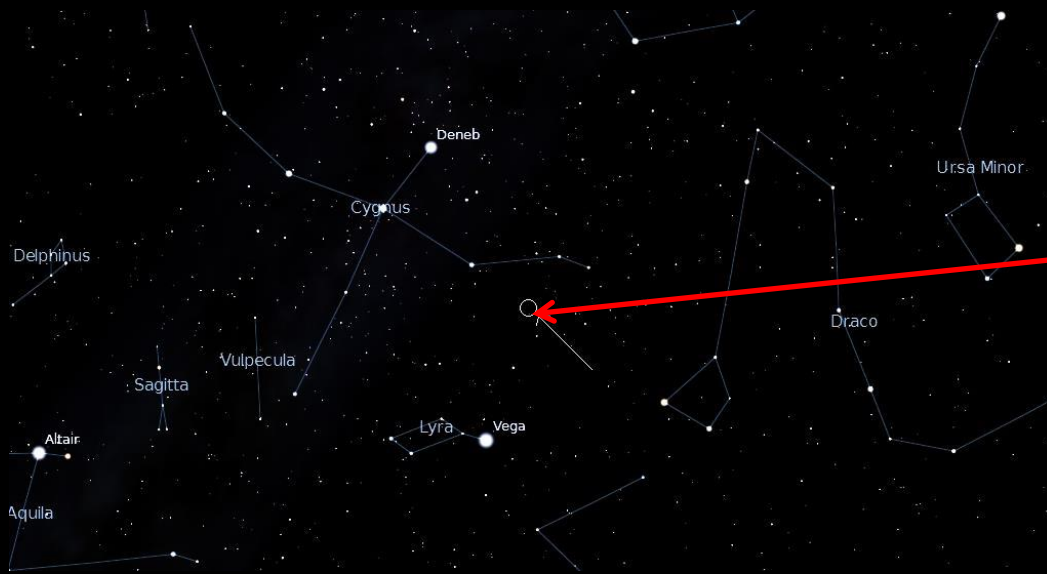
Il pianeta extrasolare Kepler 452 b

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 Nana Gialla Sequenza 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 _G masse di Giove
Massa	35 M _T masse terrestri
Raggio	0,21 R _G
Inclinazione	89,7 °
Semiasse maggiore orbita	0,849 U.A. (Unità Astronomiche)
Periodo orbitale	290 giorni
Eccentricità	-

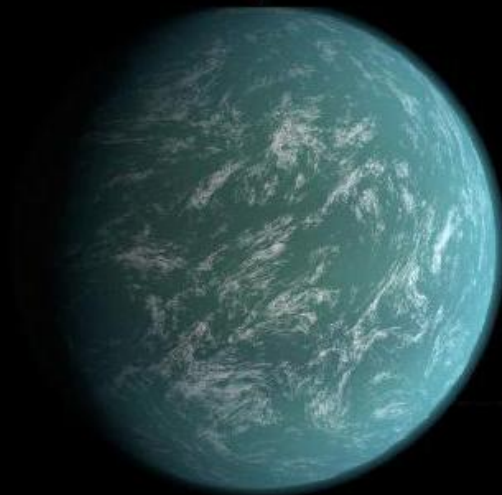
Il sistema di Kepler 22 b

metodo fotometrico dei transiti

Il Sistema planetario Kepler-22

Zona Abitabile

Sistema solare



Kepler-22b



Mercurio



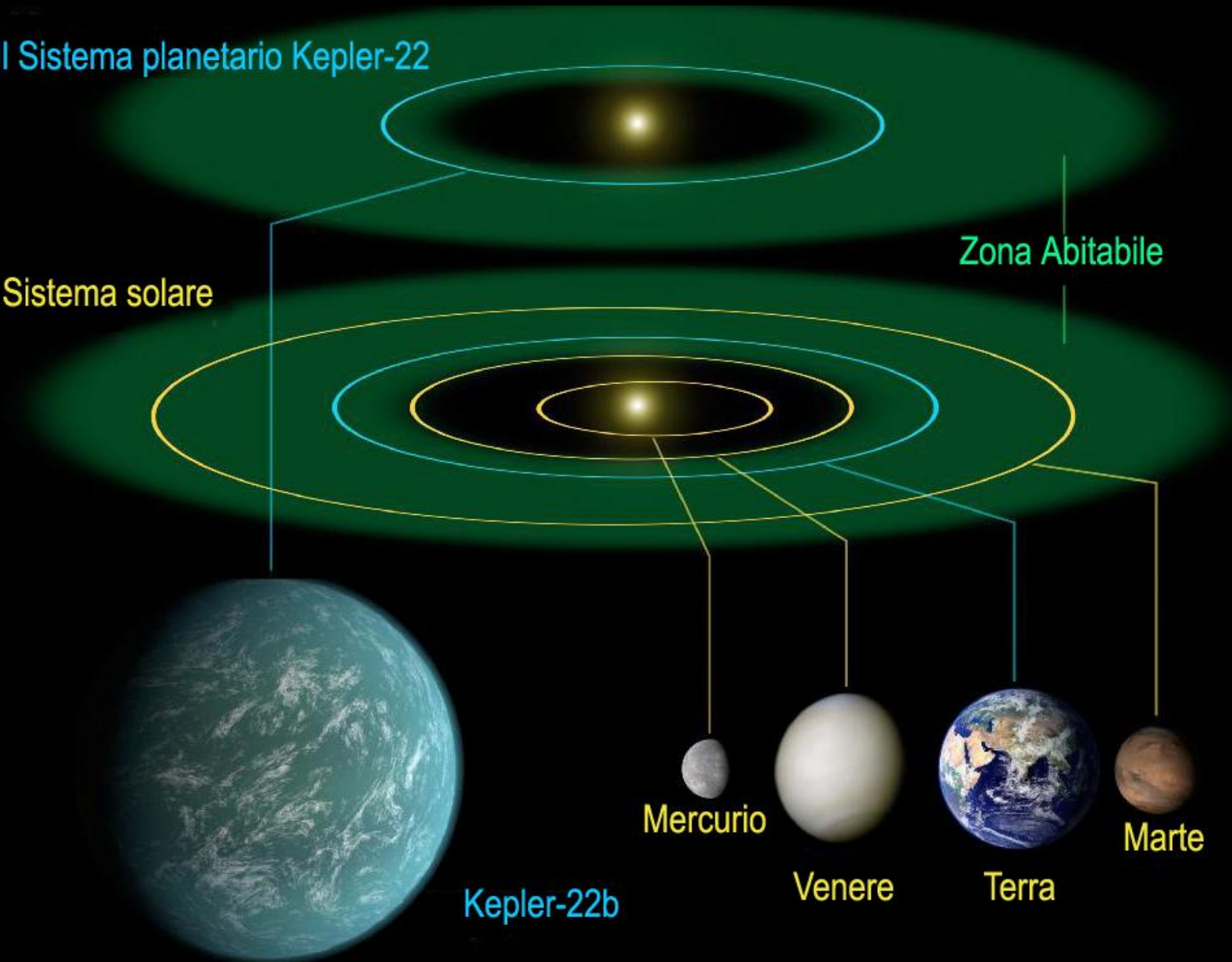
Venere



Terra

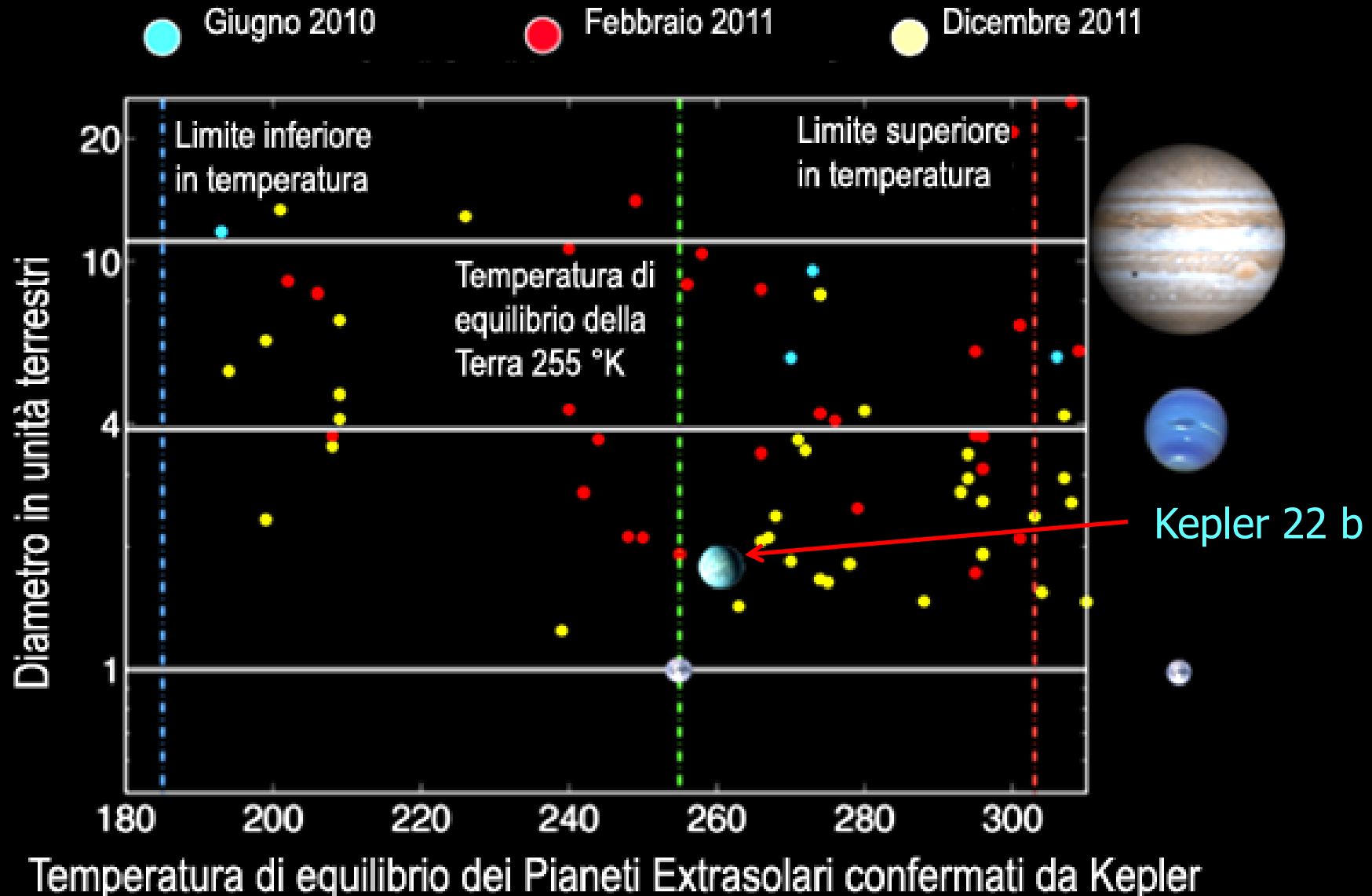


Marte



Il sistema di Kepler 22 b

metodo fotometrico dei transiti



Super-Terre

Super-Terre ed «Abitabilità»

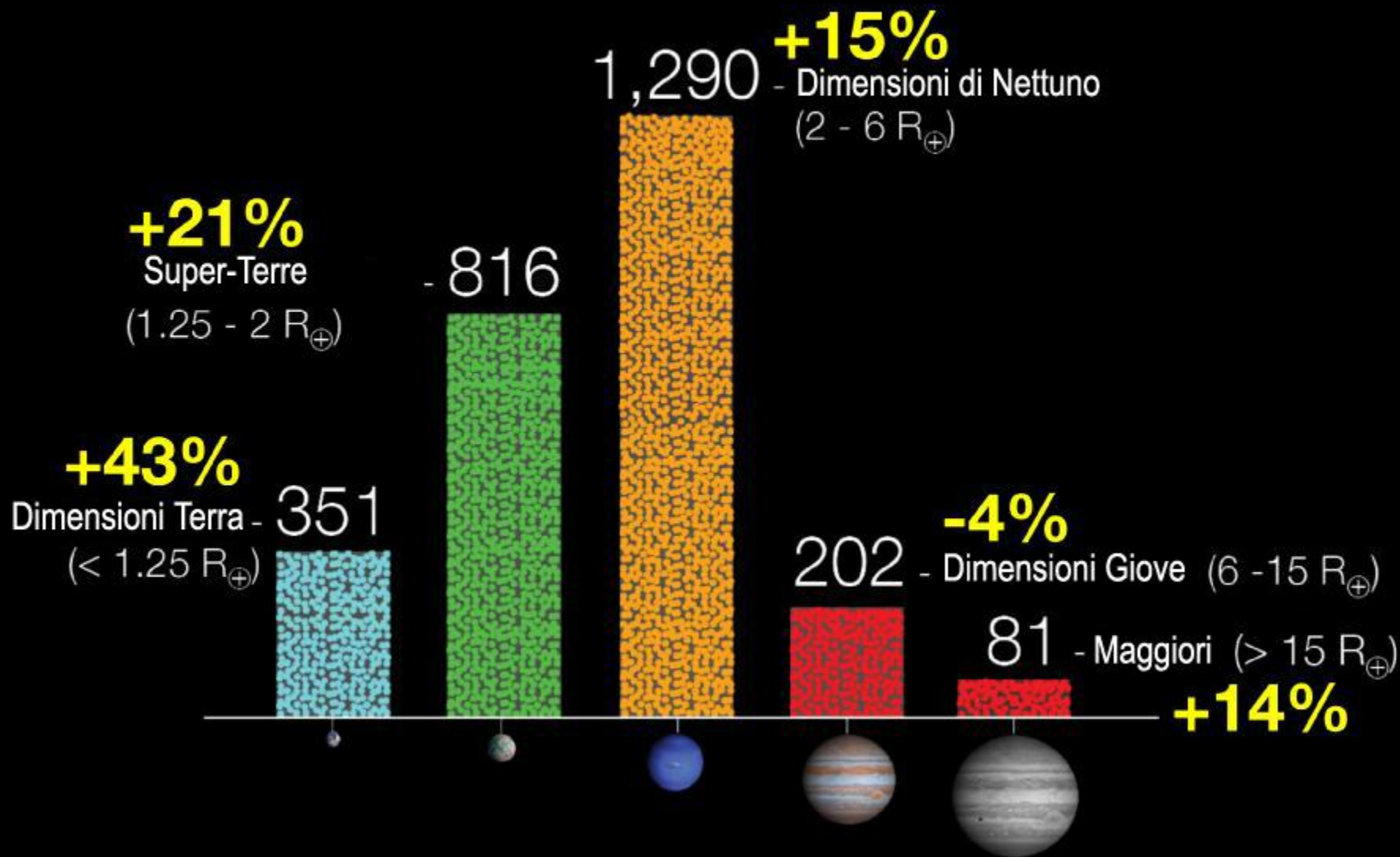
nome	Massa (M _T)	raggio (R _T)	Acc gravità (g)	Temp sup	Semiassie (U.A.)	Eccentricità	Indice di somiglianza alla Terra	Abitabilità	Distanza (al)
Alpha Centauri Bb	≥1,1			1200 K	0,04			Troppo vicino alla stella	4,23
Gliese 581 e	≥1,7				0,029	0		Temperature troppo alta difficile avere atmosfera	20
82 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 !!

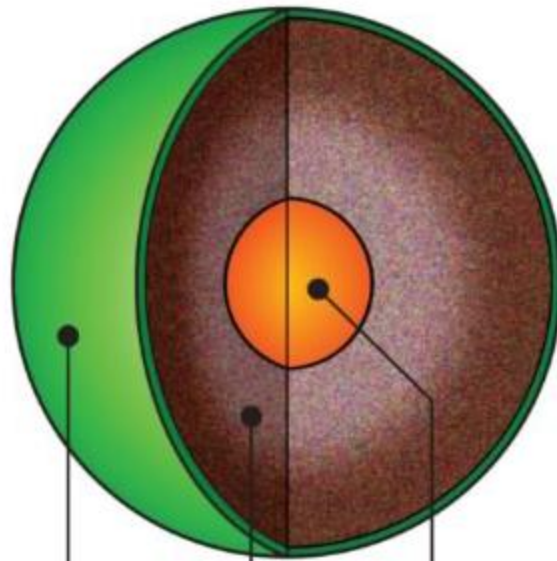
Dimensioni delle Super-Terre



Kepler 5-12-2011



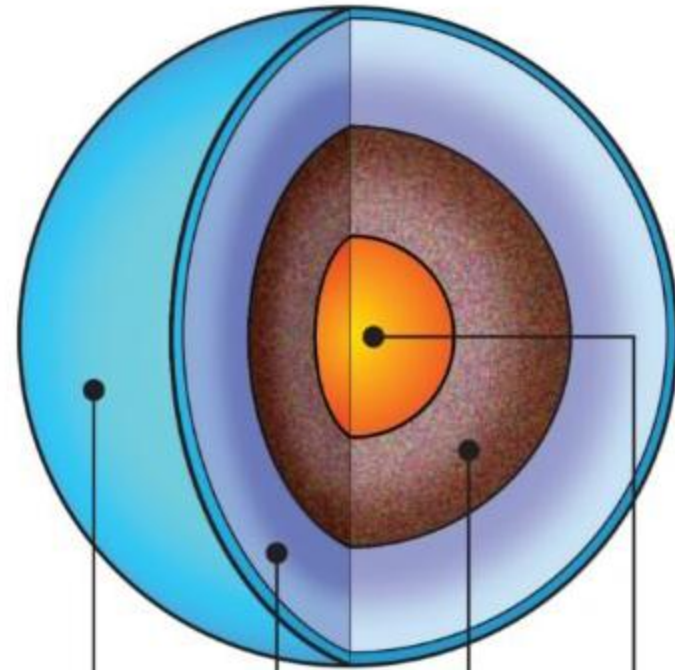
Struttura interna di «Super-Terre»



Crosta

Mantello
Silicati

Nucleo
Ferro



Oceano
liquido

Ghiaccio

Mantello
Silicati

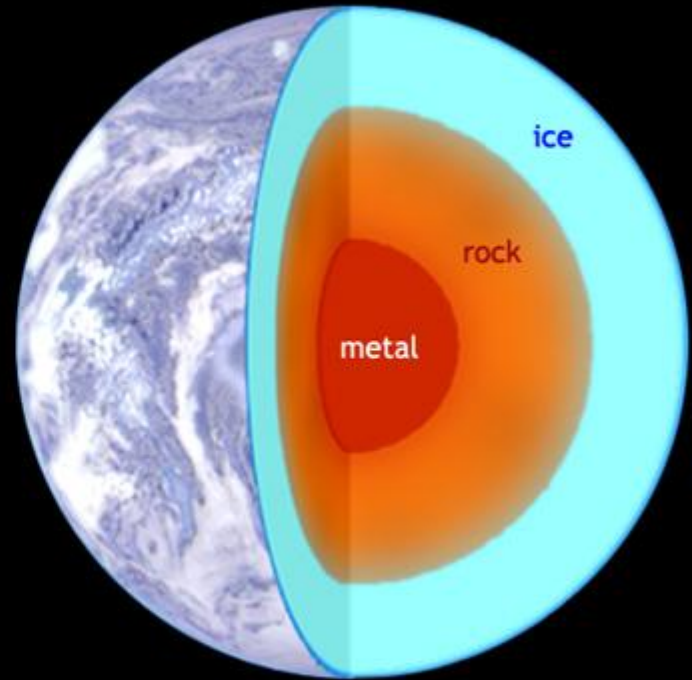
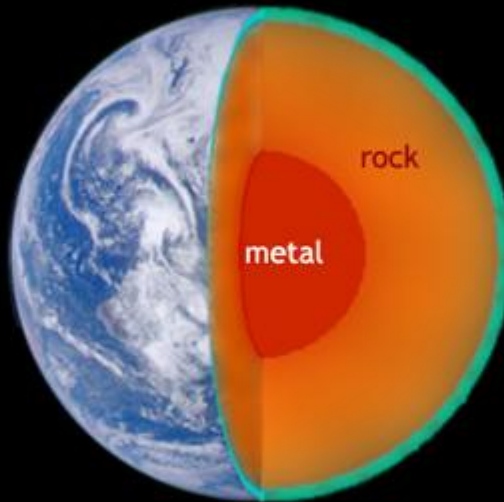
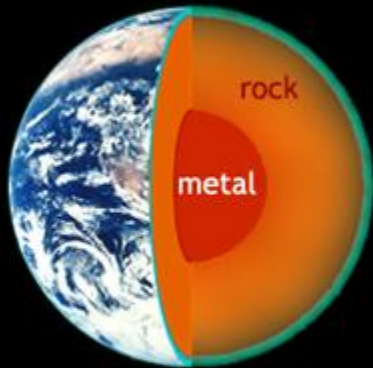
Nucleo
Ferro

Struttura interna di «Super-Terre»

$1 M_{\oplus}$

$3 M_{\oplus}$

$6 M_{\oplus}$



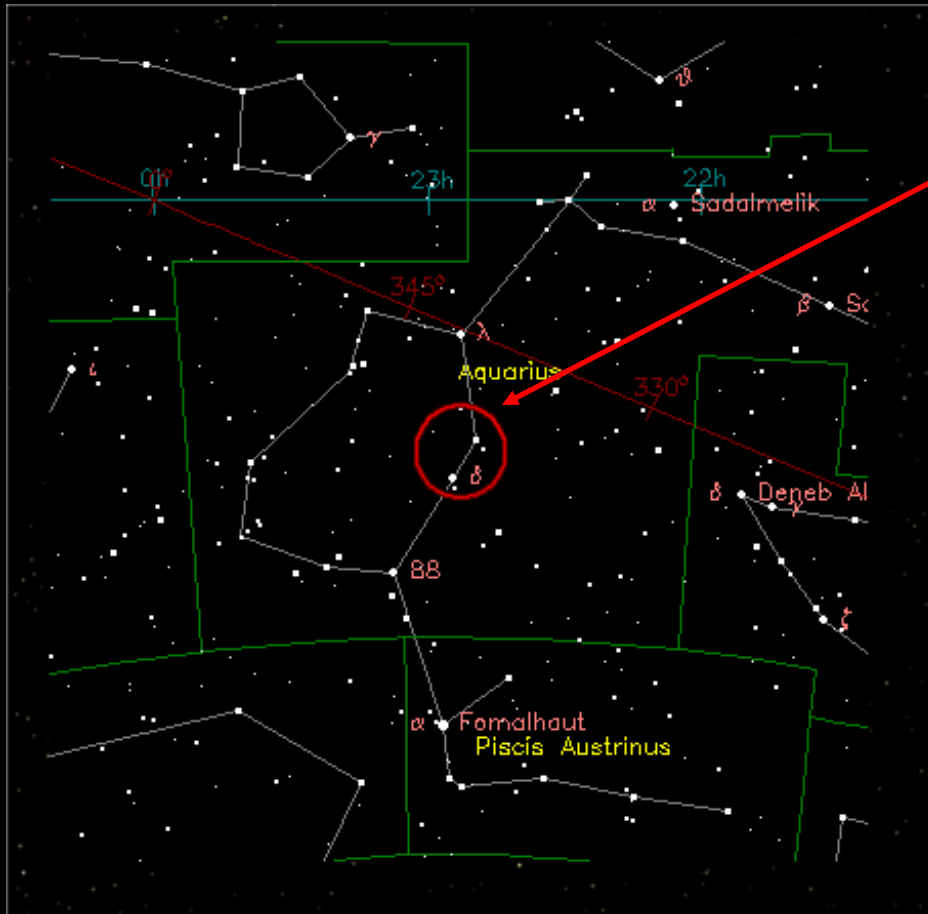
$1 R_{\oplus}$

$1.4 R_{\oplus}$

$1.8 R_{\oplus}$

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

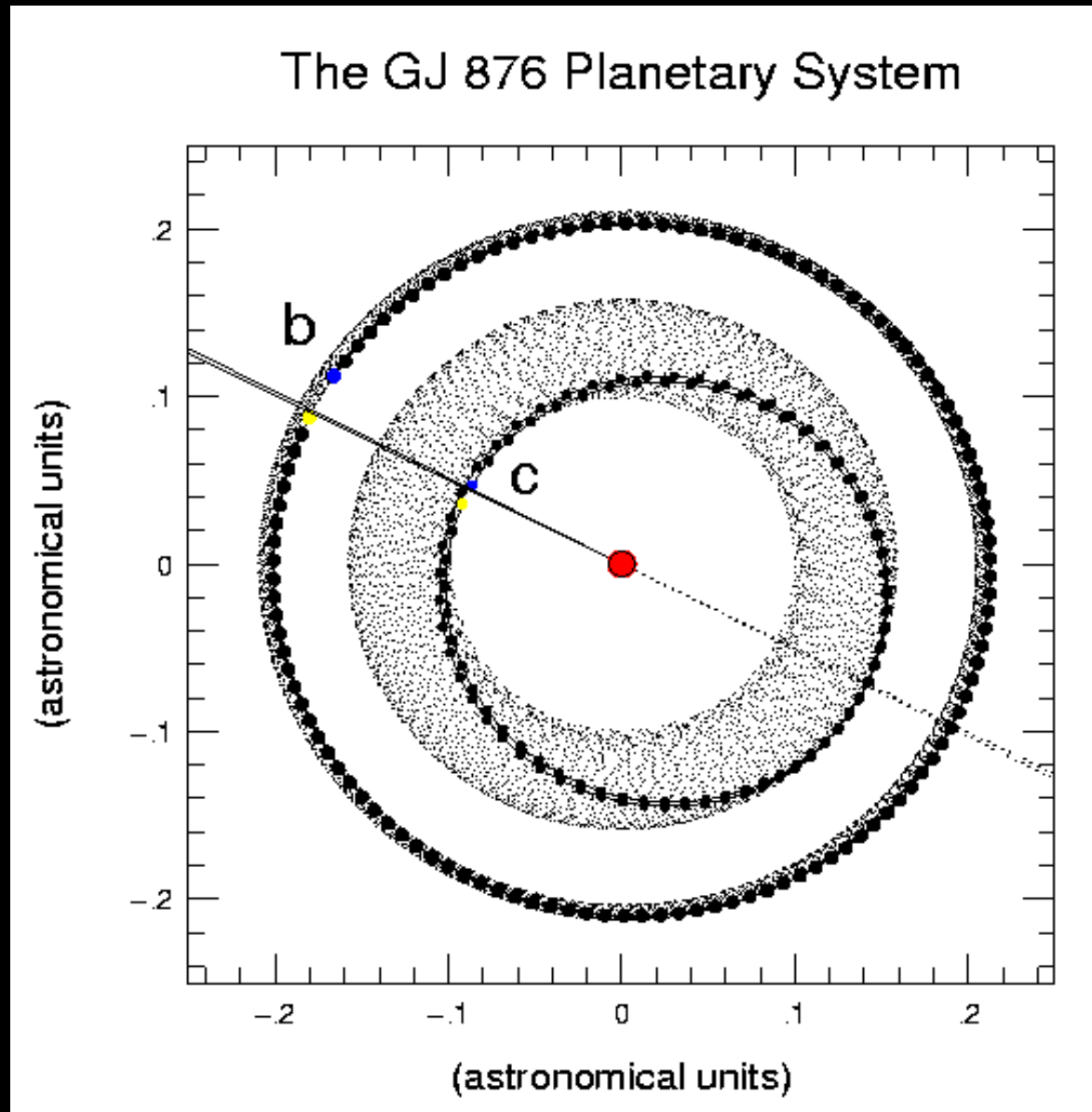
Metodo spettroscopico delle velocità radiali



Aggiornato 2014.12.20

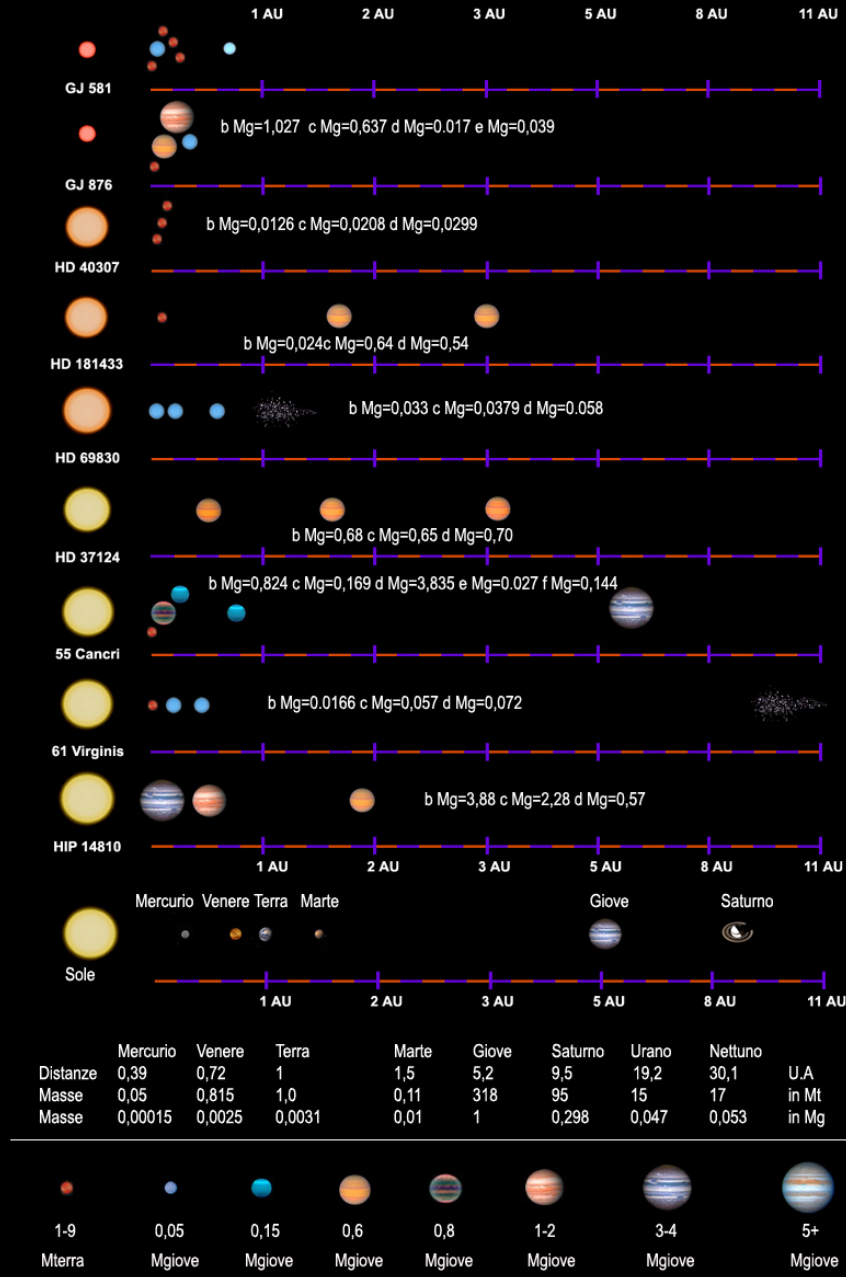
Pianeta	Gliese 876 c	Gliese 876 d	Gliese 876 b	Gliese 876 e
Scoperto nel	2000	2005	2000	2010
Massa	0,637 M _G masse di Giove	0,017 M _G masse di Giove	1,927 M _G masse di Giove	0,039 M _G masse di Giove
Massa	202 M _T masse terrestri	5,4 M _T masse terrestri	613 M _T masse terrestri	12,4 M _T masse terrestri
Semiasse maggiore orbita	0,13 U.A. (Unità Astronomiche)	0,021 U.A. (Unità Astronomiche)	0,208 U.A. (Unità Astronomiche)	0,334 U.A. (Unità 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

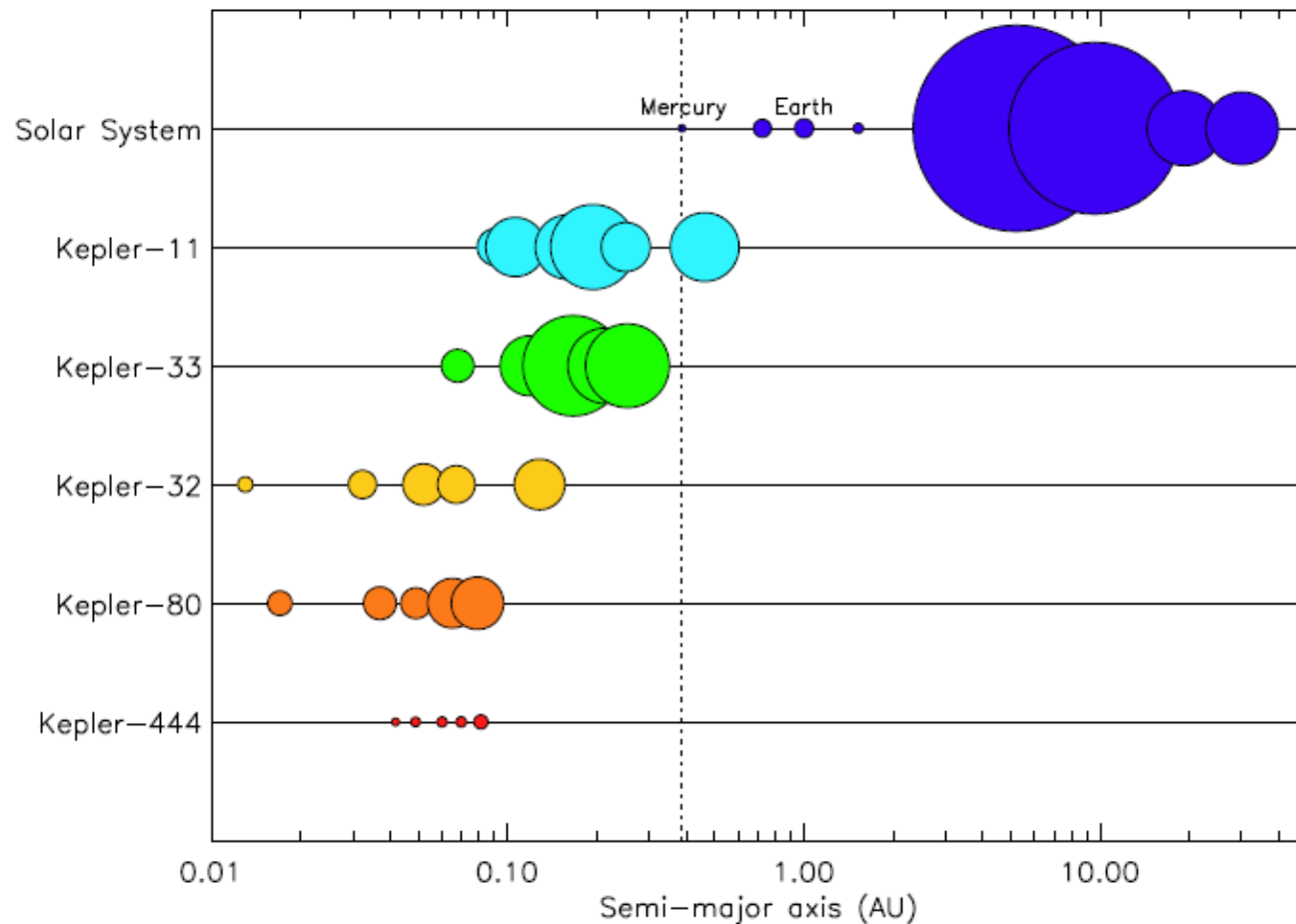
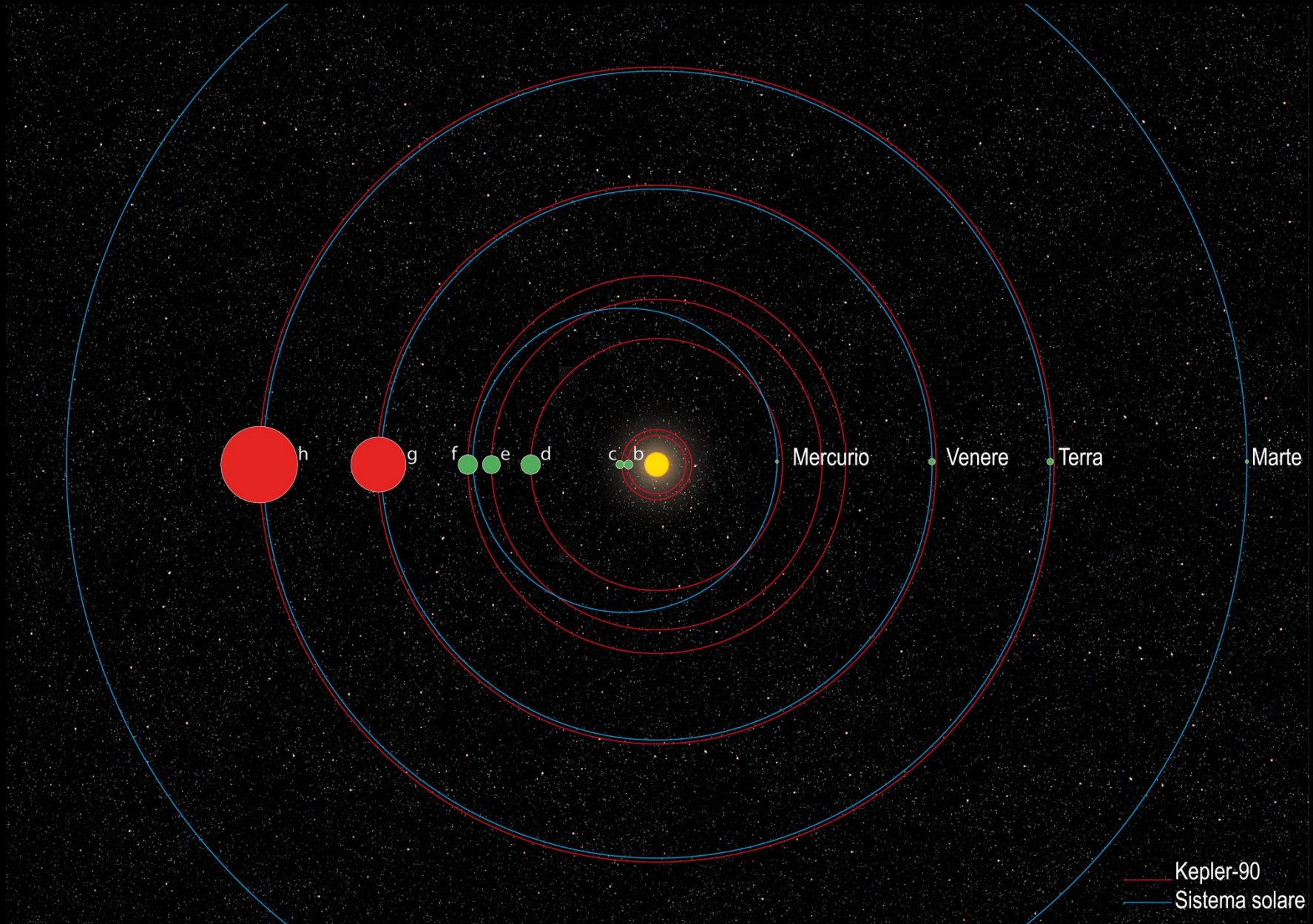
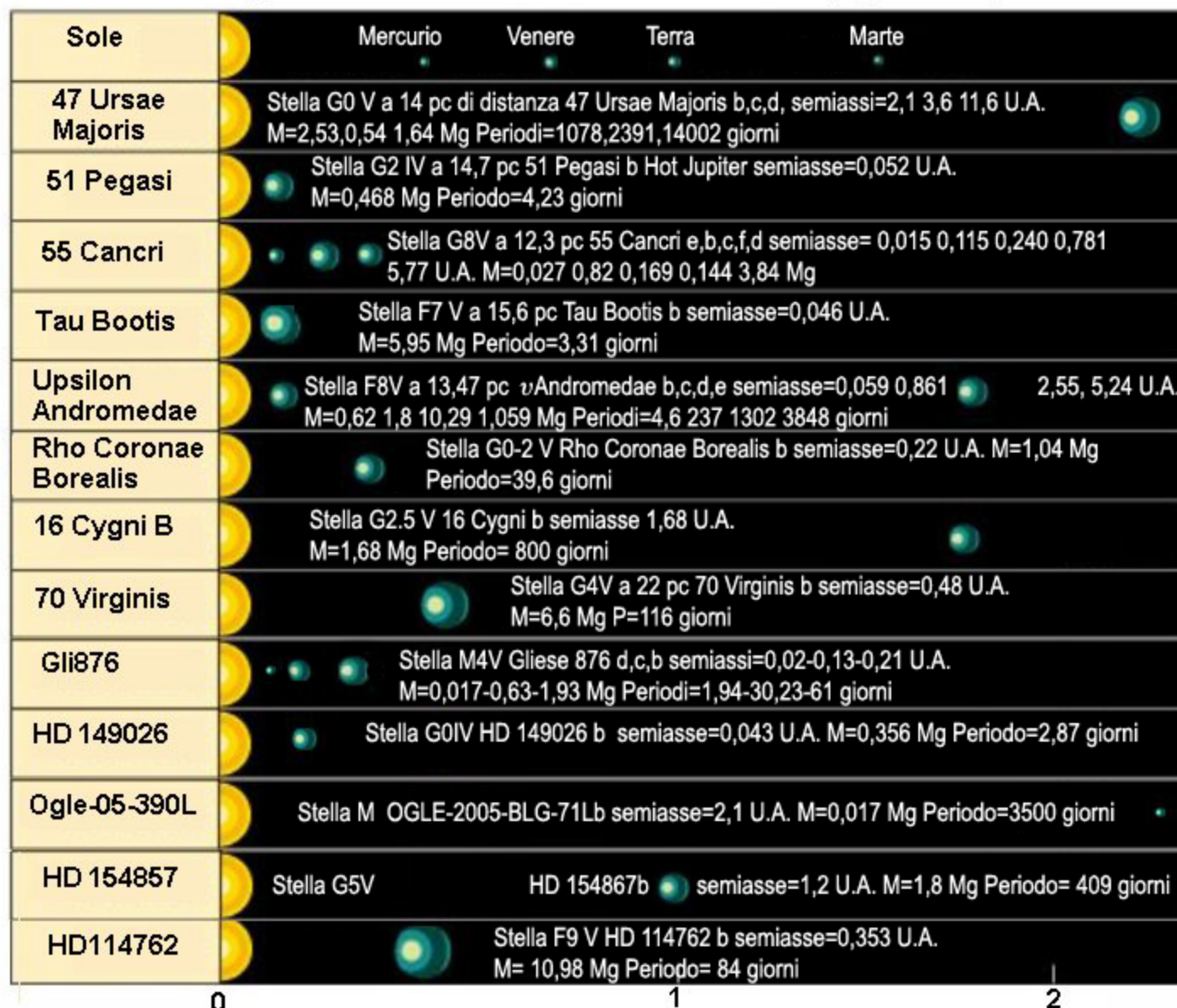


Fig. 10.— Semi-major axes of planets belonging to the highly-compact multiple-planet systems Kepler-444, Kepler-11, Kepler-32, Kepler-33, and Kepler-80. Semi-major axes of planets in the Solar System are shown for comparison. The vertical dotted line marks the semi-major axis of Mercury. Symbol size 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.

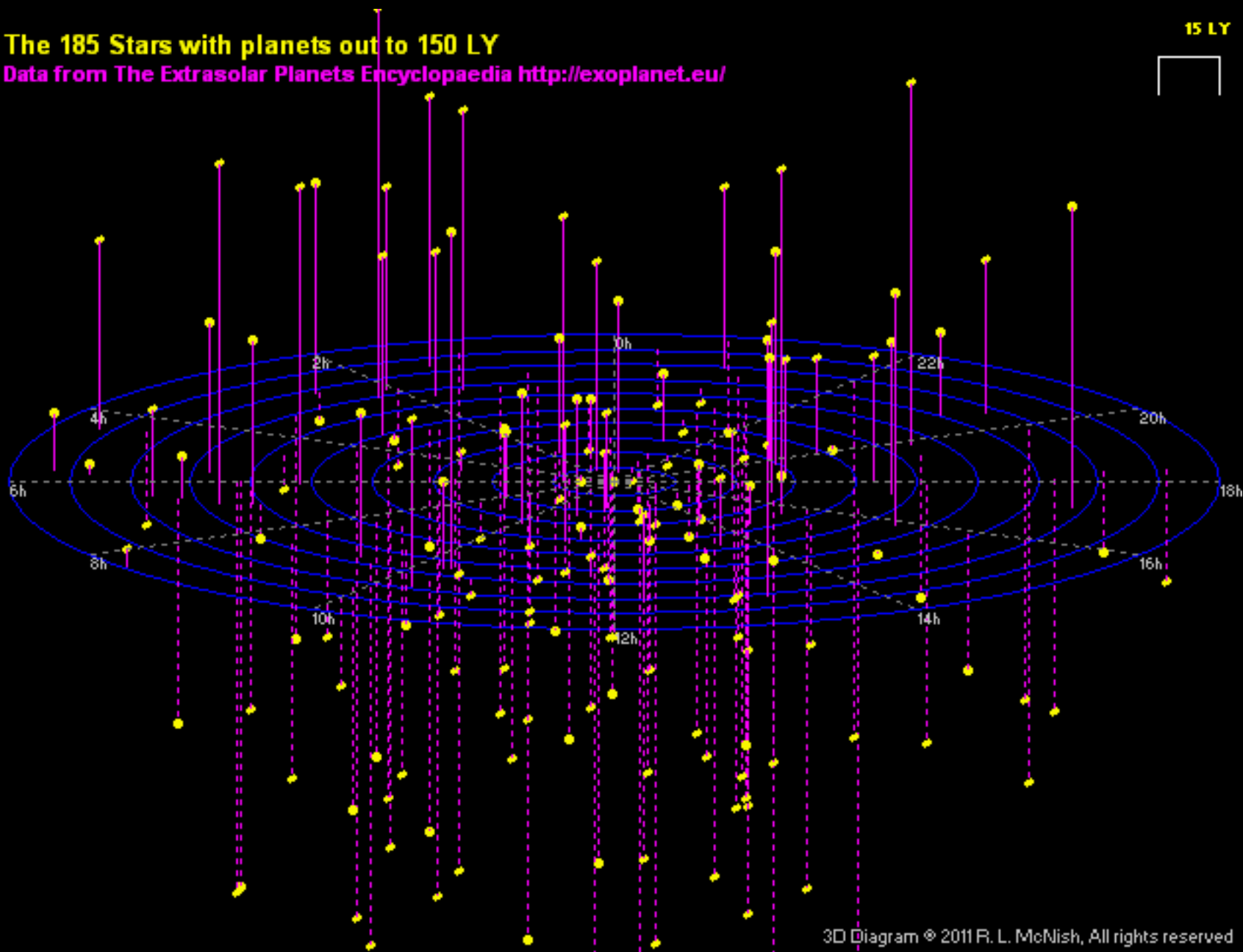
NB il confronto è fatto con le orbite dei pianeti interni (terrestri) del Sistema solare

Pianeti extrasolari entro 150 a.l.

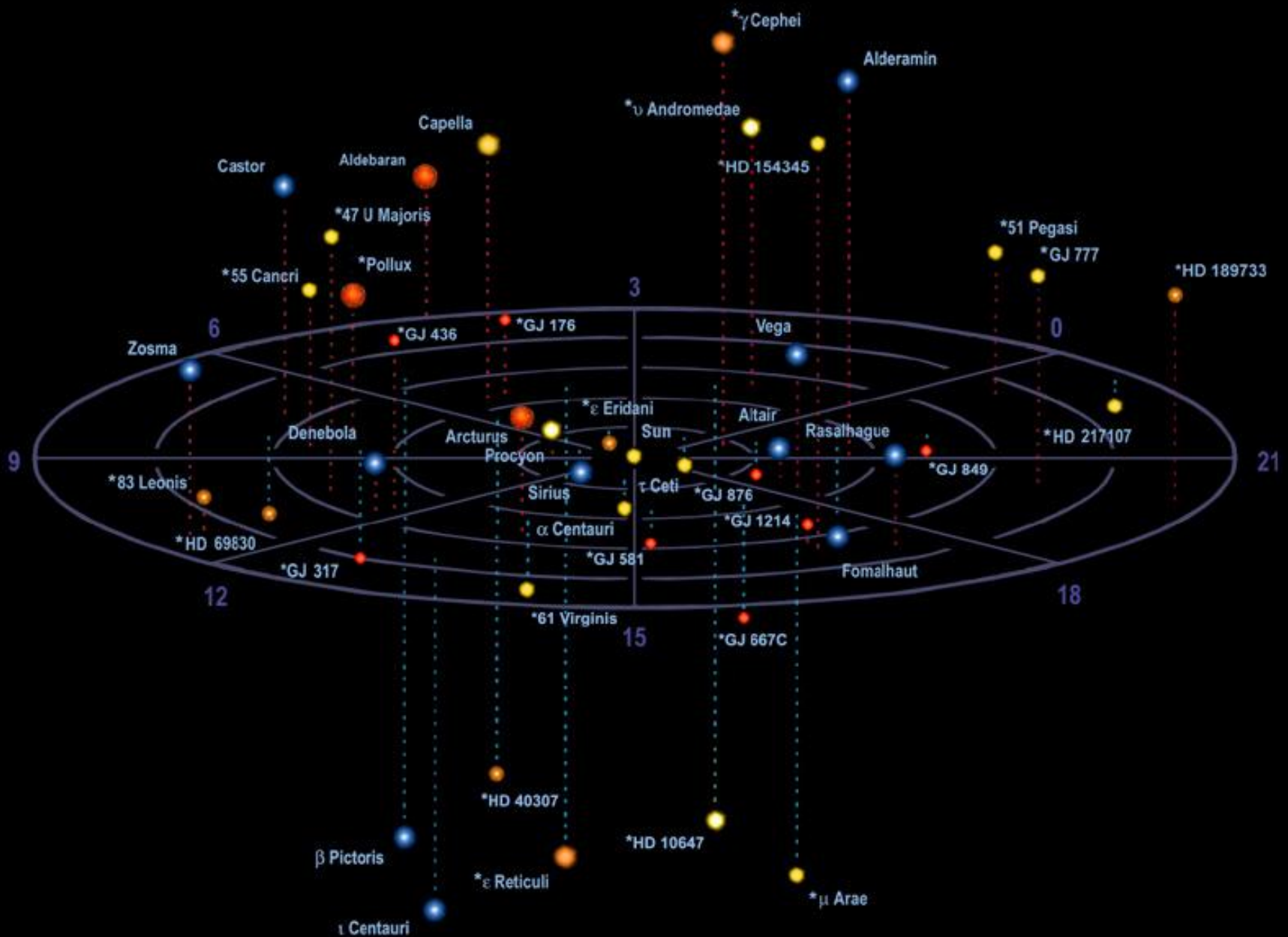
The 185 Stars with planets out to 150 LY

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

15 LY



Pianeti extrasolari entro 65,2 a.l.

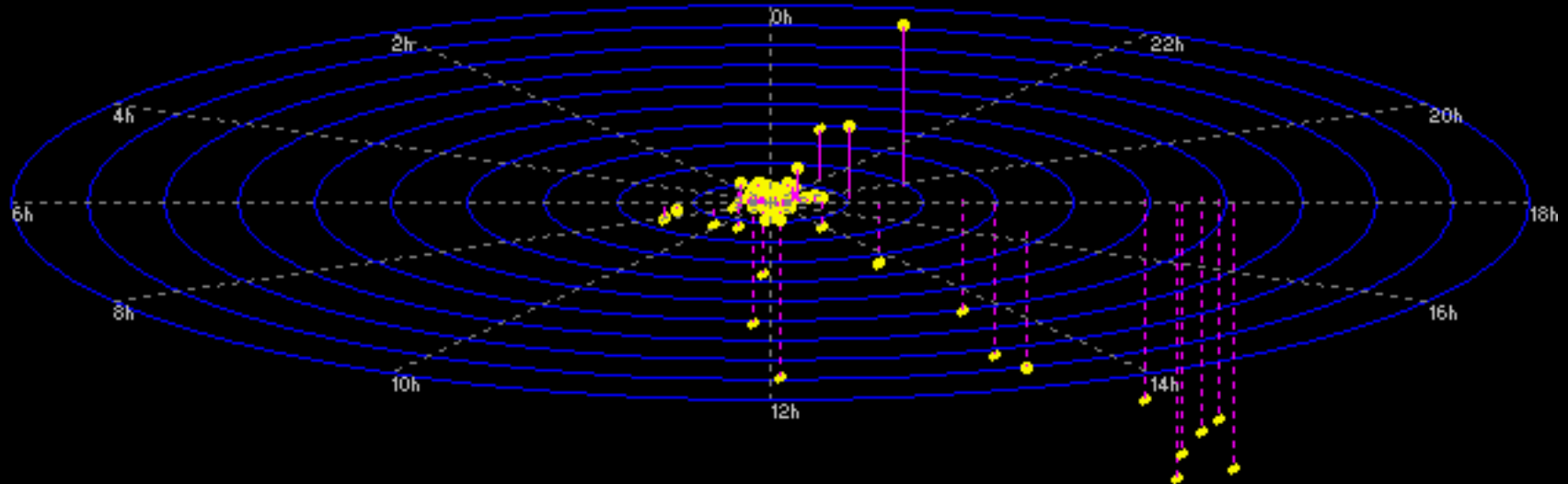


Pianeti extrasolari entro 30000 a.l.

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 

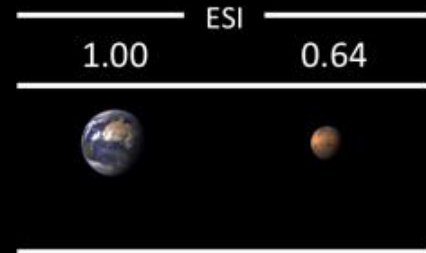
#1	#2	#3	#4	#5	#6
Earth Similarity Index					
0.92	0.85	0.81	0.77	0.73	0.72
					
Gliese 581 g	Gliese 667C c	Kepler-22 b	HD 85512 b	Gliese 163 c	Gliese 581 d
Discovery Date					
Sep 2010	Nov 2011	Dec 2011	Sep 2011	Sep 2012	Apr 2007

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



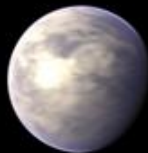
Gliese 581 g*

Sep 2010



Gliese 667C c

Nov 2011



Kepler-22 b

Dec 2011



Tau Ceti e*

Dec 2012



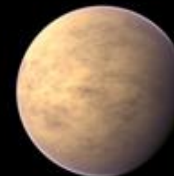
Kepler-62 f

Apr 2013



Gliese 163 c

Sep 2012



HD 40307 g*

Nov 2012



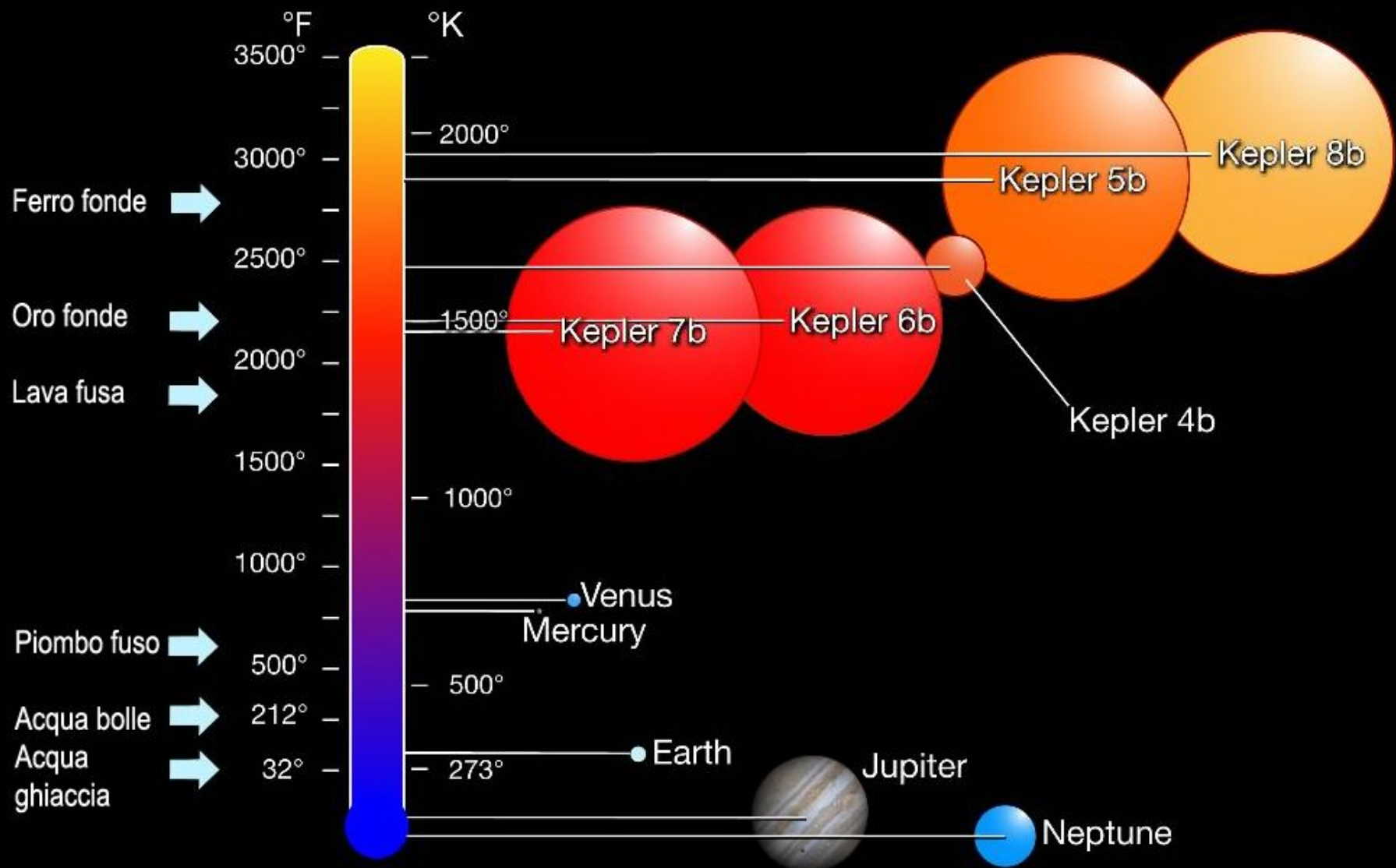
Gliese 581 d

Apr 2007

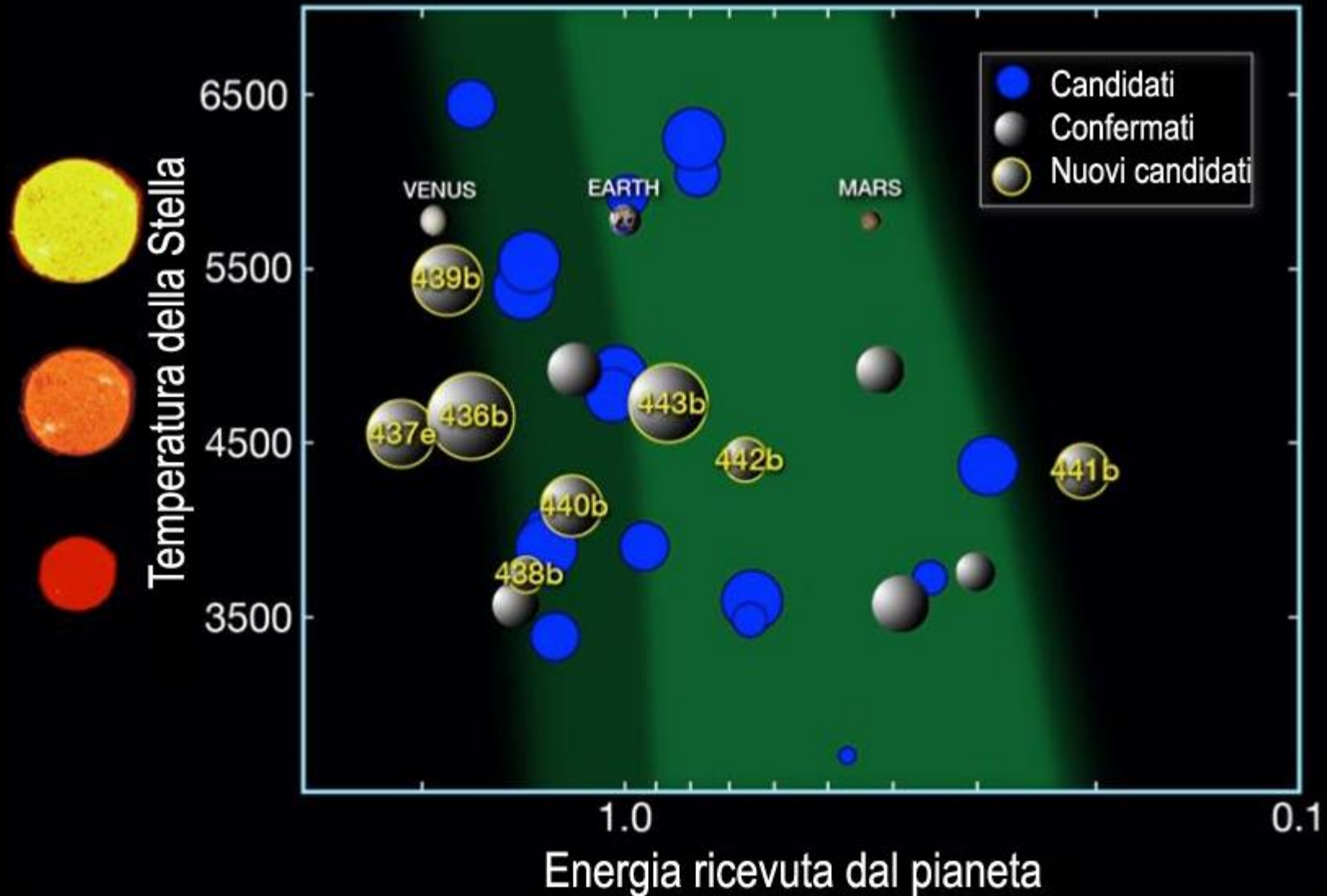
*planet candidates

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

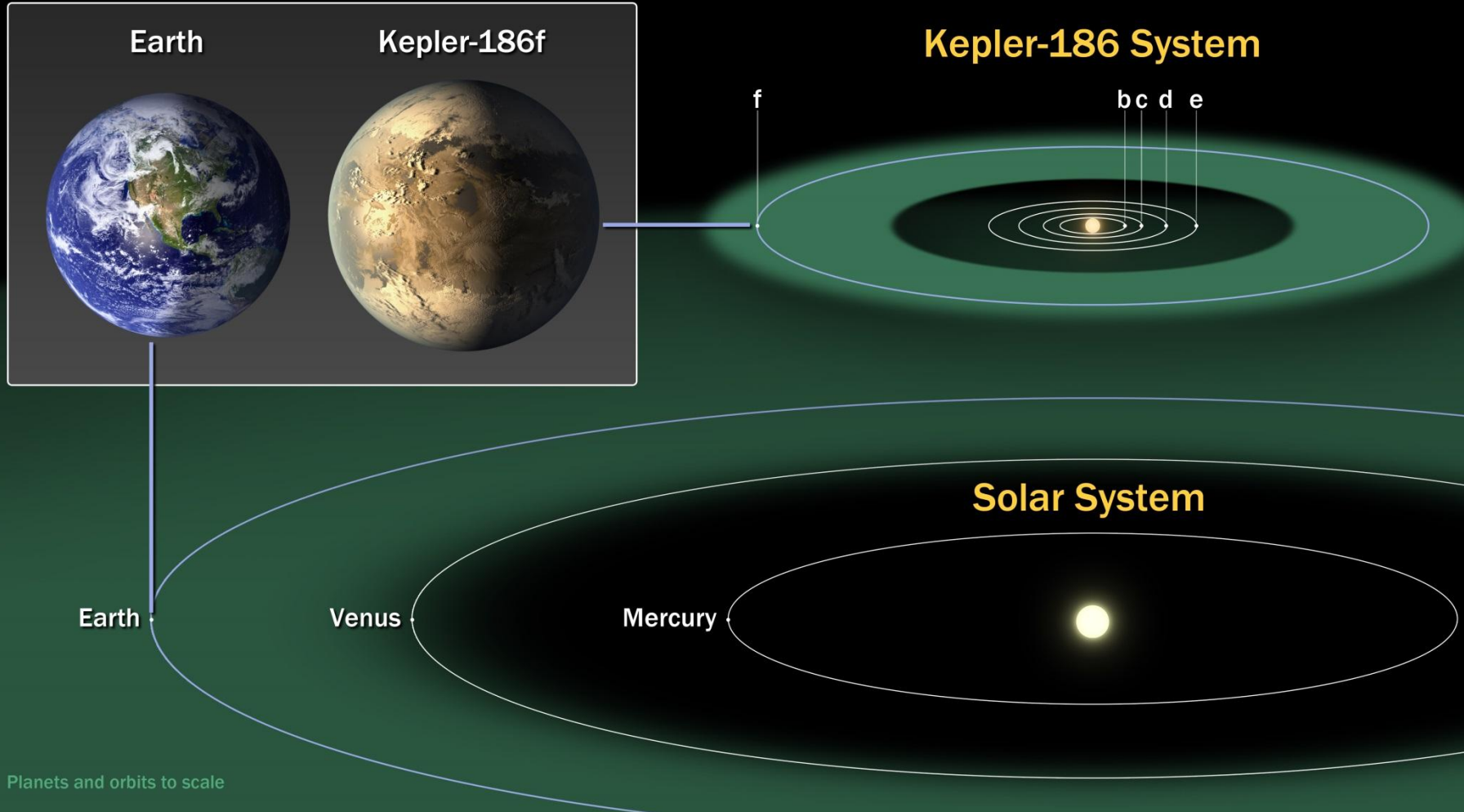
Pianeti extrasolari temperature e dimensioni



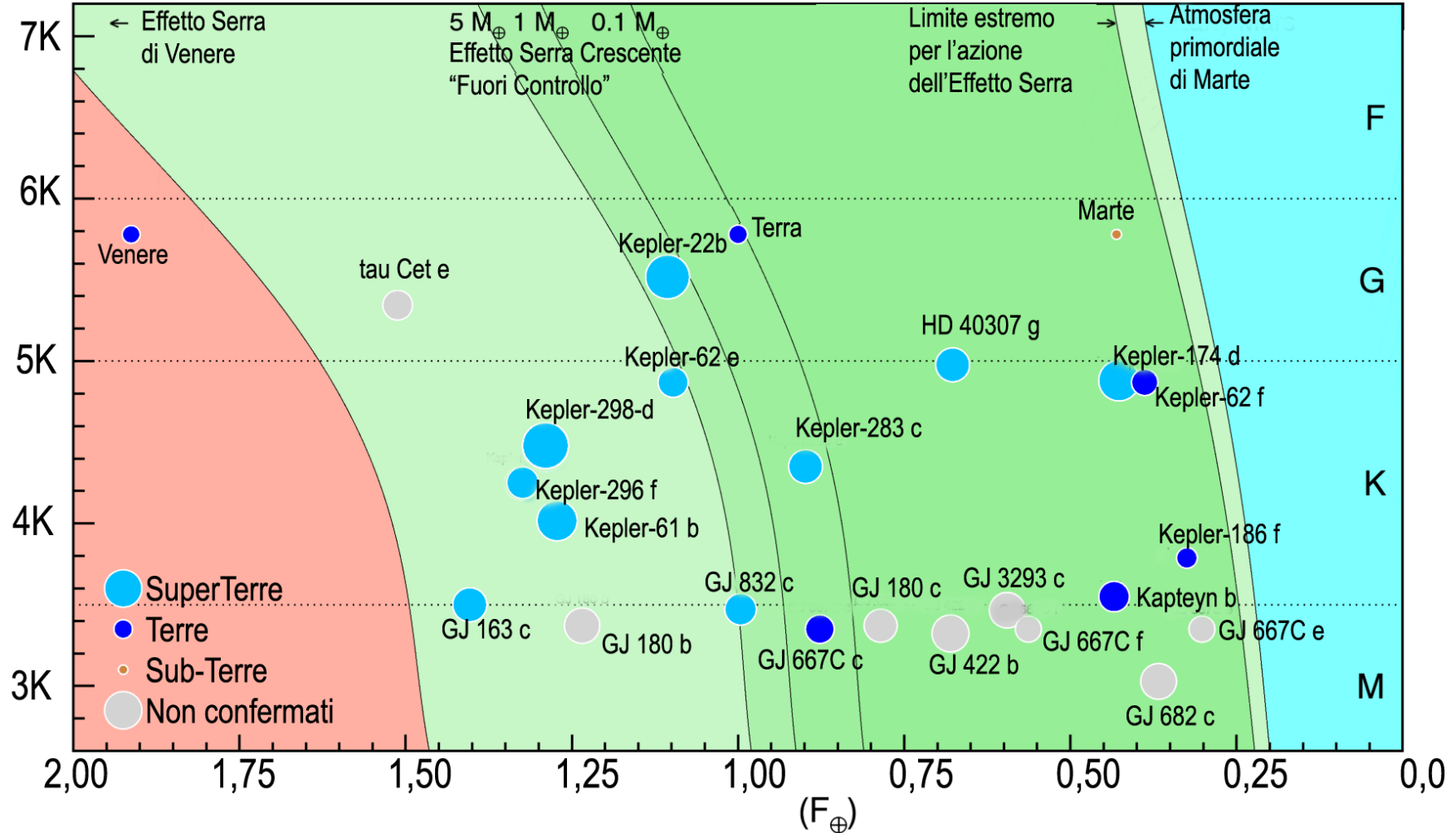
Pianeti extrasolari Kepler al 15 gennaio 2015



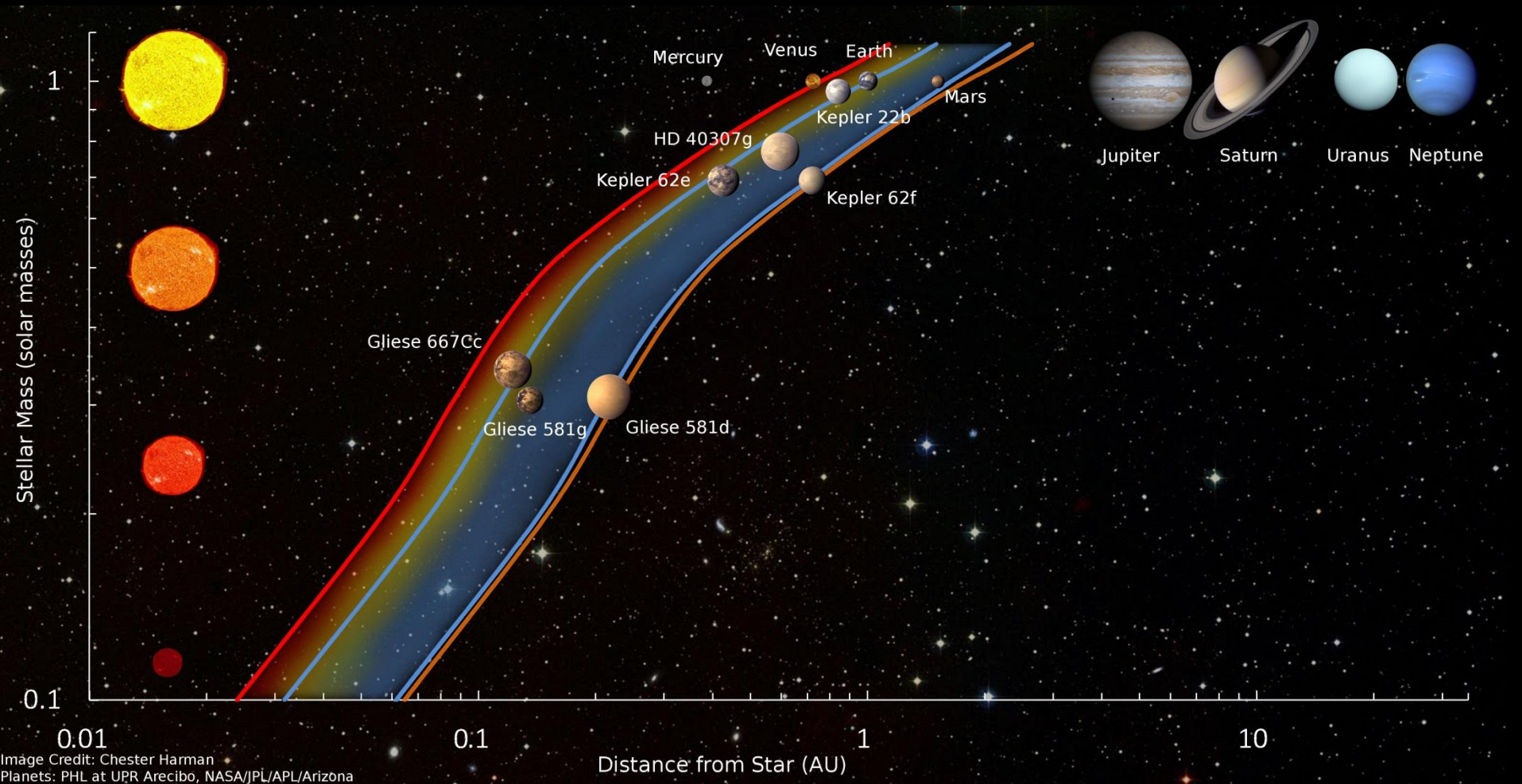
Il sistema planetario Kepler-186 «Abitabilità»



Candidati pianeti «Abitabili»



Candidati pianeti «Abitabili»



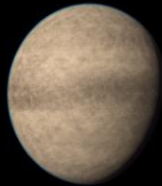
Candidati pianeti «Abitabili»

Potentially Habitable Exoplanets

Ranked by Distance from Earth (light years)



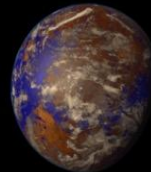
[4 ly]
Proxima b



[13 ly]
Kapteyn b*



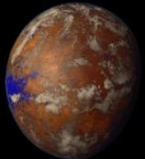
[14 ly]
Wolf 1061 c



[22 ly]
GJ 667 C c



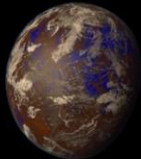
[22 ly]
GJ 667 C e*



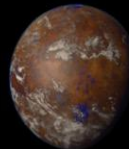
[22 ly]
GJ 667 C f*



[561 ly]
Kepler-186 f



[770 ly]
Kepler-1229 b



[1115 ly]
Kepler-442 b



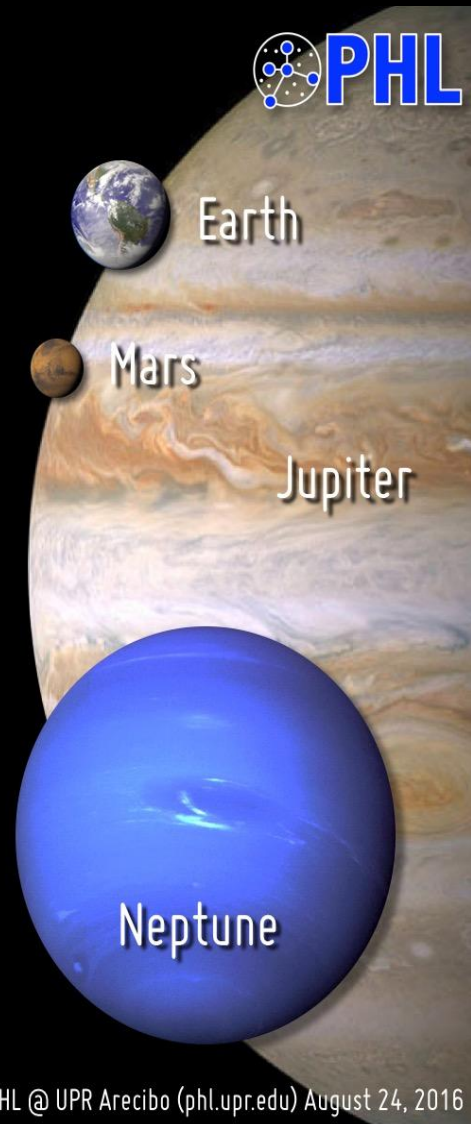
[1200 ly]
Kepler-62 f



Earth



Mars



Jupiter

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»

Subterre = 0.1 - 0.5 MT o 0.4 -0.8 RT Terre= 0.5 -5 MT o 0.8 - 1.5 RT, Superterre= 5 -10 MT o 1.5 -2.5 RT

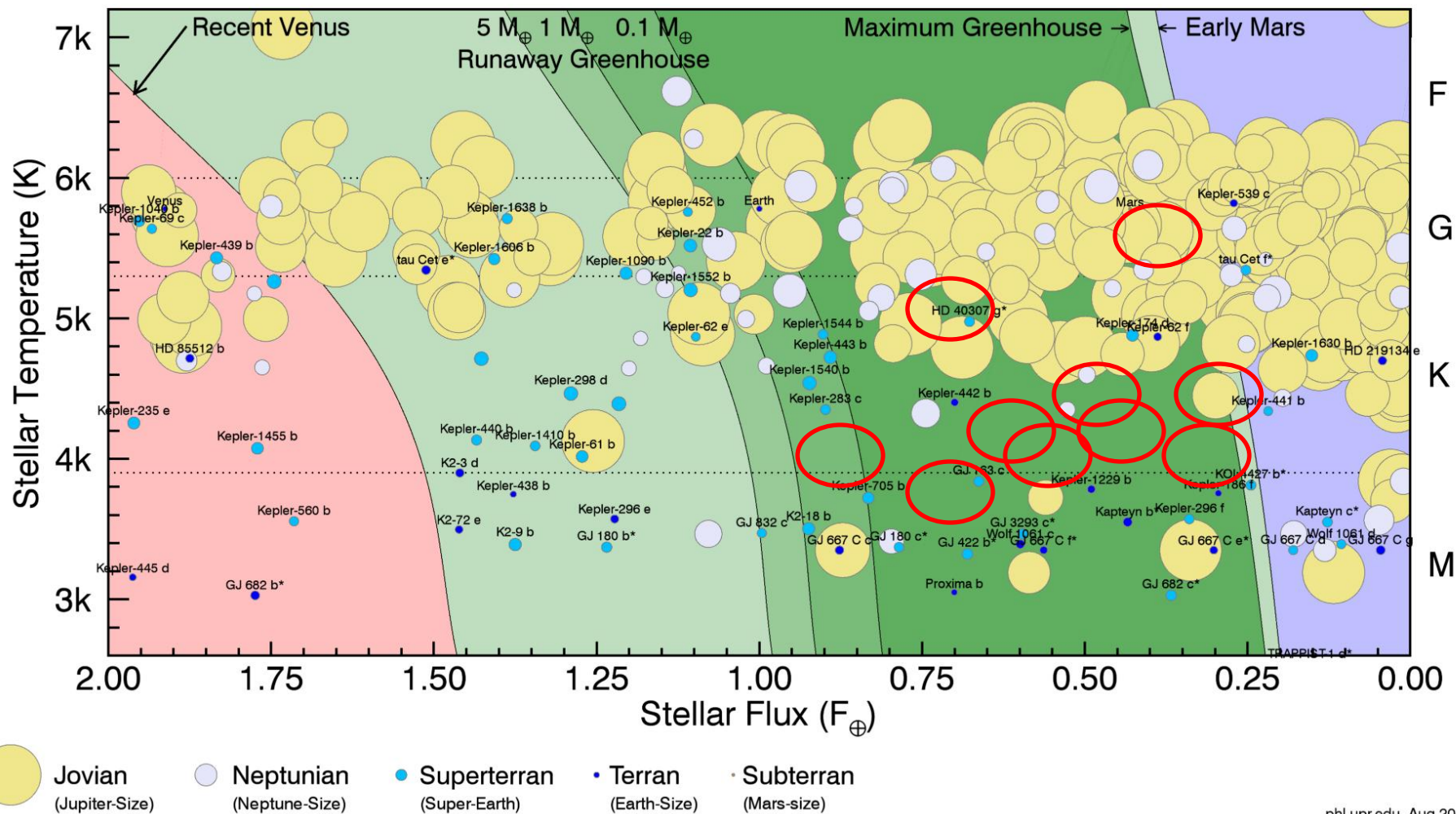
Nome	Tipo	Massa MT	Raggio RT	Flusso FT	T _{eq} (K)	Periodo (giorni)	Distanza (a.l.)	ESI
001. Proxima b(N)	M-Warm Terran	≥ 1.3	0.8 - 1.1 - 1.4	0.70	227	11.2	4	0.87
002. GJ 667 C c	M-Warm Terran	≥ 3.8	1.1 - 1.5 - 2.0	0.88	247	28.1	22	0.84
003. Kepler-442 b	K-Warm Terran	8.2 - 2.3 - 1.0	1.3	0.70	233	112.3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

Candidati pianeti «Abitabili» 2017

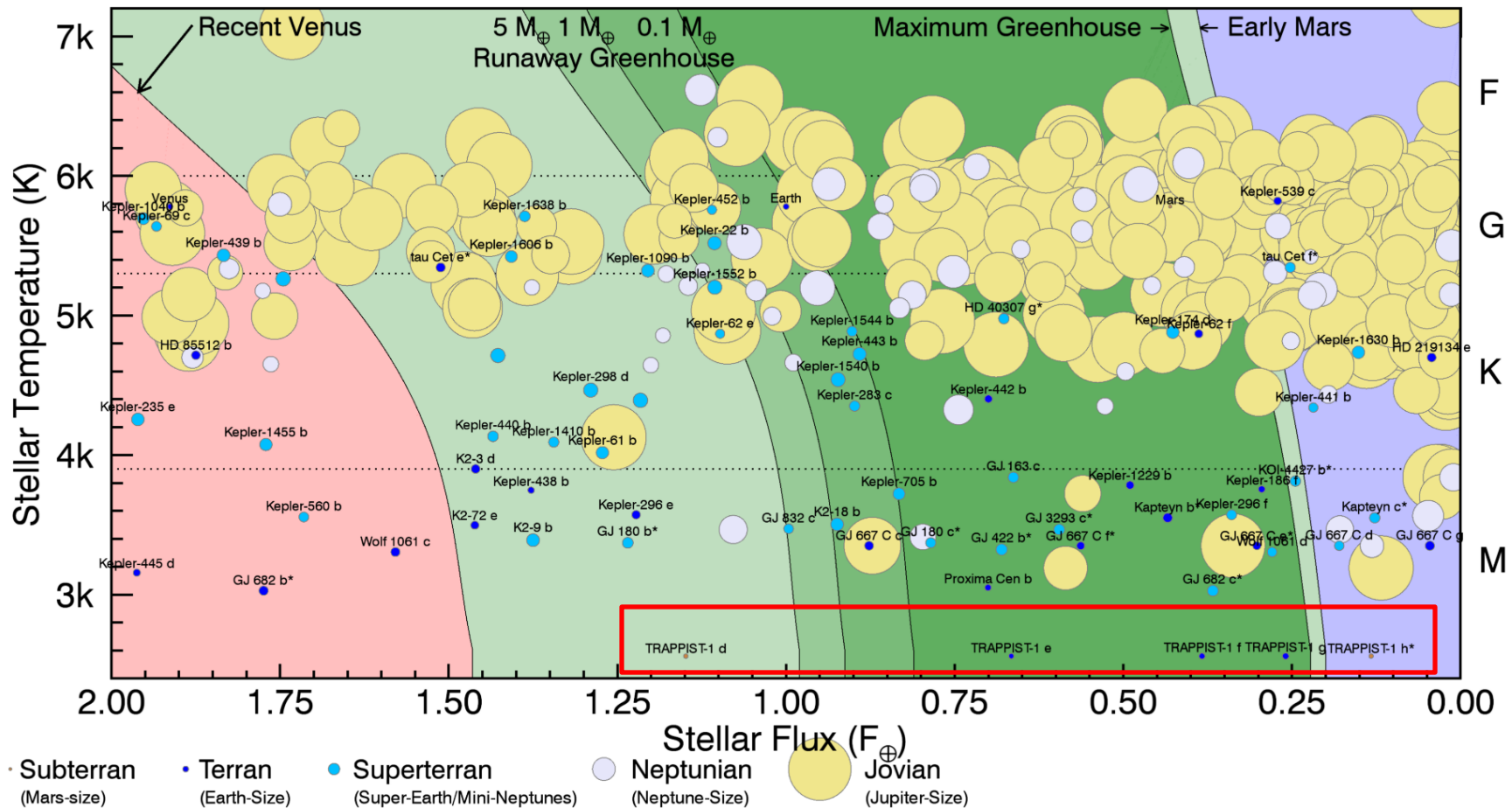
Subterre = 0.1 - 0.5 MT o 0.4 -0.8 RT Terre= 0.5 -5 MT o 0.8 - 1.5 RT, Superterre= 5 -10 MT o 1.5 -2.5 RT

Nome	Tipo	Massa MT	Raggio RT	Flusso FT	T _{eq} (K)	Periodo (giorni)	Distanza (a.l.)	ESI
001. Proxima Cen b	M-Warm Terran	≥ 1.3	0.8 - 1.1 - 1.4	0.70	227	11.2	4.2	0.87
002. TRAPPIST-1 e(N)	M-Warm Terran	0.6	0.9	0.67	230	6.1	39	0.86
003. GJ 667 C c	M-Warm Terran	≥ 3.8	1.1 - 1.5 - 2.0	0.88	247	28.1	22	0.84
004. Kepler-442 b	K-Warm Terran	8.2 - 2.3 - 1.0	1.3	0.70	233	112.3	1115	0.84
005. GJ 667 C f*	M-Warm Terran	≥ 2.7	1.0 - 1.4 - 1.8	0.56	221	39.0	22	0.77
006. Kepler-1229 b	M-Warm Terran	9.8 - 2.7 - 1.2	1.4	0.49	213	86.8	769	0.73
007. TRAPPIST-1 f (N)	M-Warm Terran	0.7	1.0	0.38	200	9.2	39	0.68
008. Kapteyn b*	M-Warm Terran	≥ 4.8	1.2 - 1.6 - 2.1	0.43	205	48.6	13	0.67
009. Kepler-62 f	K-Warm Terran	10.2 - 2.8 - 1.2	1.4	0.39	201	267.3	1200	0.67
010. Kepler-186 f	M-Warm Terran	4.7 - 1.5 - 0.6	1.2	0.29	188	129.9	561	0.61
011.GJ 667C e*	M-Warm Terran	≥2.7	1.0-1.4.1.8	0.30	189	62.2	22	0.60
012.TRAPPIST-1 g (N)	M-Warm Terran	1.3	1.1	0.26	182	12.4	39	0.58

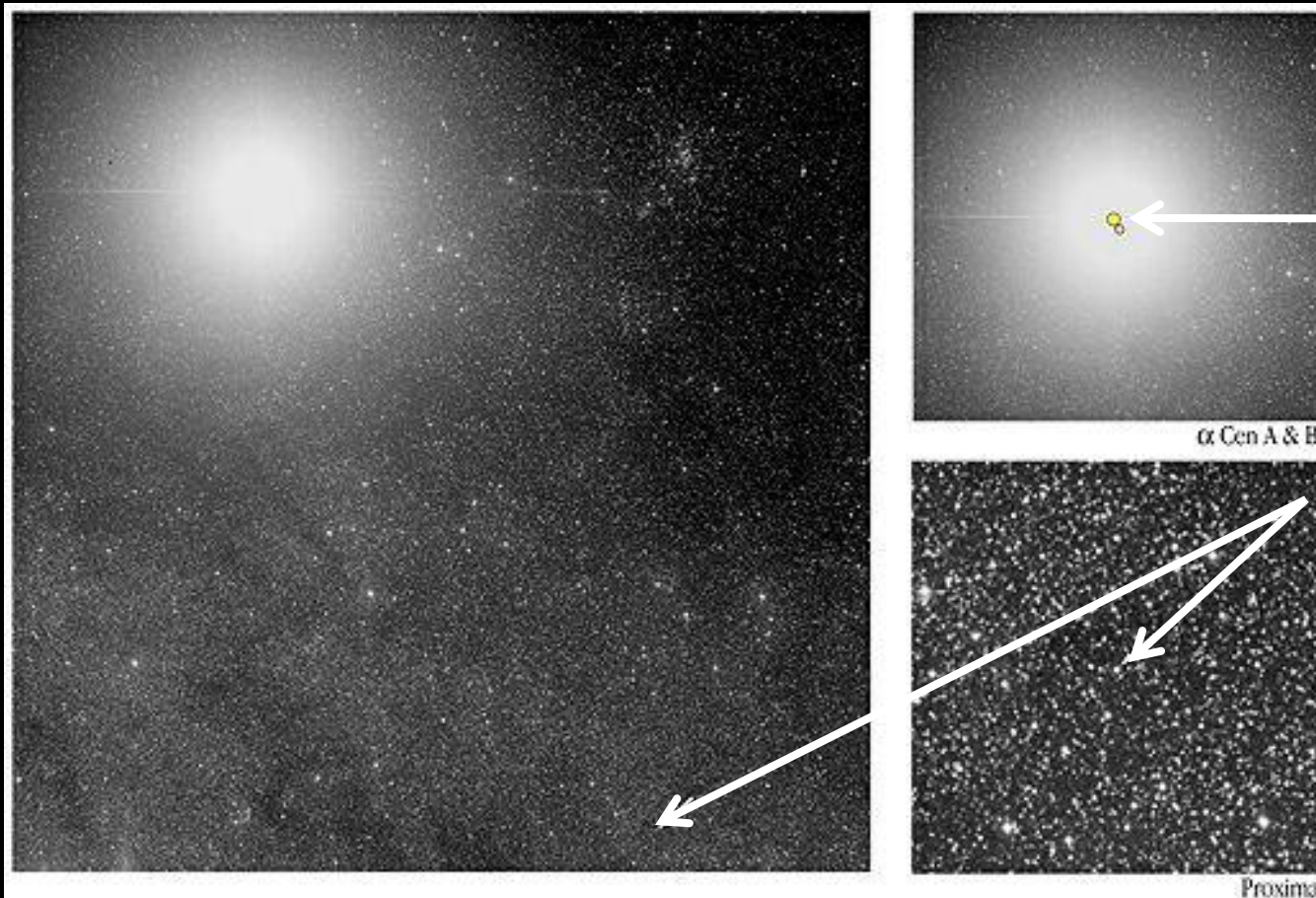
Candidati pianeti «Abitabili»



Candidati pianeti «Abitabili» 2017



Il sistema di α Centauri



α 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





Le dimensioni rispetto al Sole

Proxima

Proxima

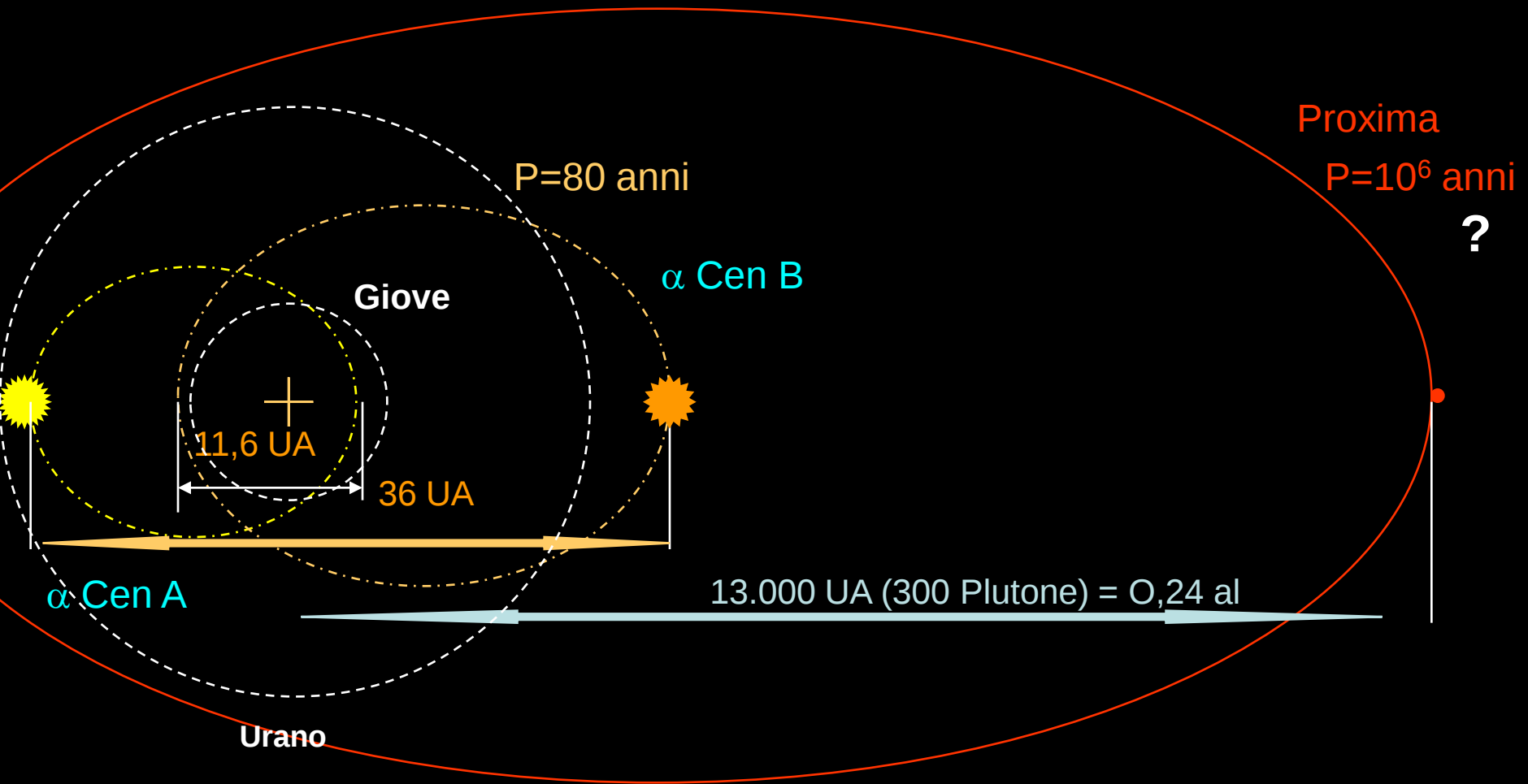
Sole

α Centauri A

α Centauri B

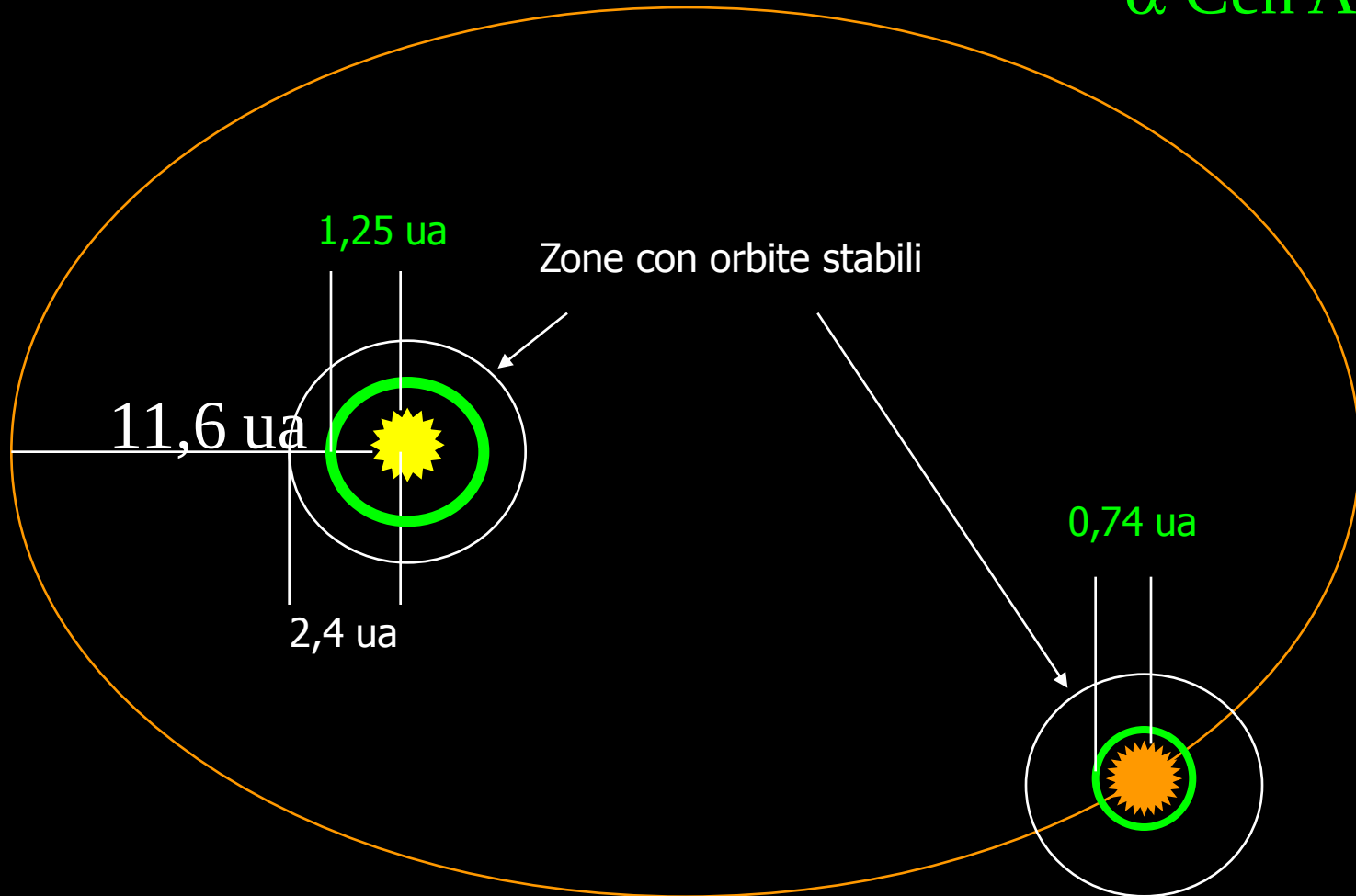
- α CenA
 - Tipo spettrale = G2
 - Massa = $1,09 M_{\odot}$
 - Raggio = $1,23 R_{\odot}$
 - Luminosità = $1,54 L_{\odot}$
 - Età = 4,85 – 6,8 miliardi di anni
 - Temperatura = 5770°K
- α CenB
 - Tipo spettrale = K1
 - Massa = $0,91 M_{\odot}$
 - Raggio = $0,86 R_{\odot}$
 - Luminosità = $0,50 L_{\odot}$
 - Temperatura = 5300°K
 - Anno di scoperta: 1752

Il sistema di α Cen



Pianeti nella fascia di abitabilità?

α Cen A-B



Candidati pianeti «Abitabili»

Proxima Centauri b

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

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

Proxima Centauri

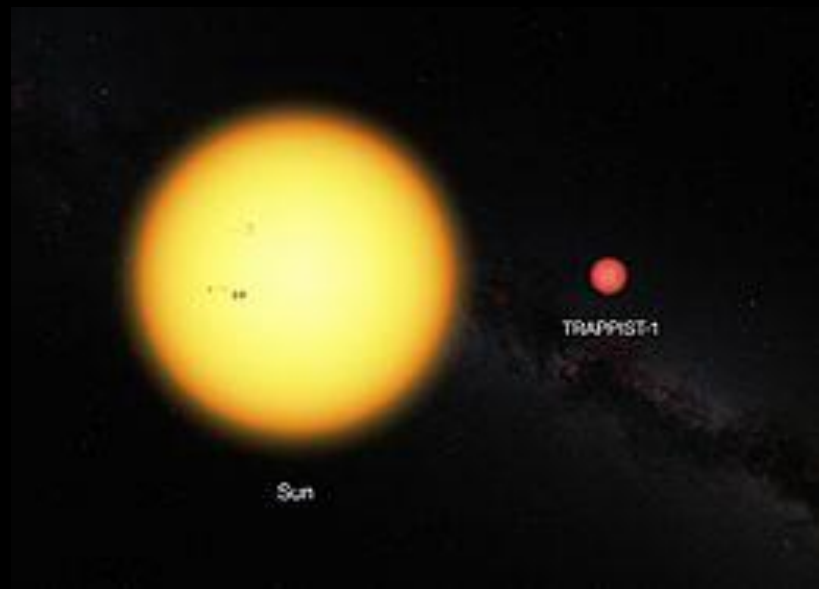


- E' una flare-star, cioè una stella con un'intensa attività superficiale
- Nell'arco di pochi minuti può aumentare la sua luminosità di molte volte
- Durante le esplosioni emette la stessa quantità di raggi X che emette il Sole, il che rende del tutto improbabile la presenza di vita su eventuali pianeti

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°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 ^h 06 ^m 29,283 ^s
Declinazione	−05° 02′ 28,59″
Dati fisici	
Raggio medio	0,114±0.006 Rsole
Massa	0,08±0.009 Msole (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 Dec: −471,9 mas/anno
Velocità radiale	−56,3 km/s
Nomenclature alternative	
2MASS J23062928-0502285, 2MASSI J2306292-050227, 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 (M_{Earth})	Radius (R_{Earth})	Period (day)	a (AU)	e	i (deg)	Ang. dist. (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 - 2017

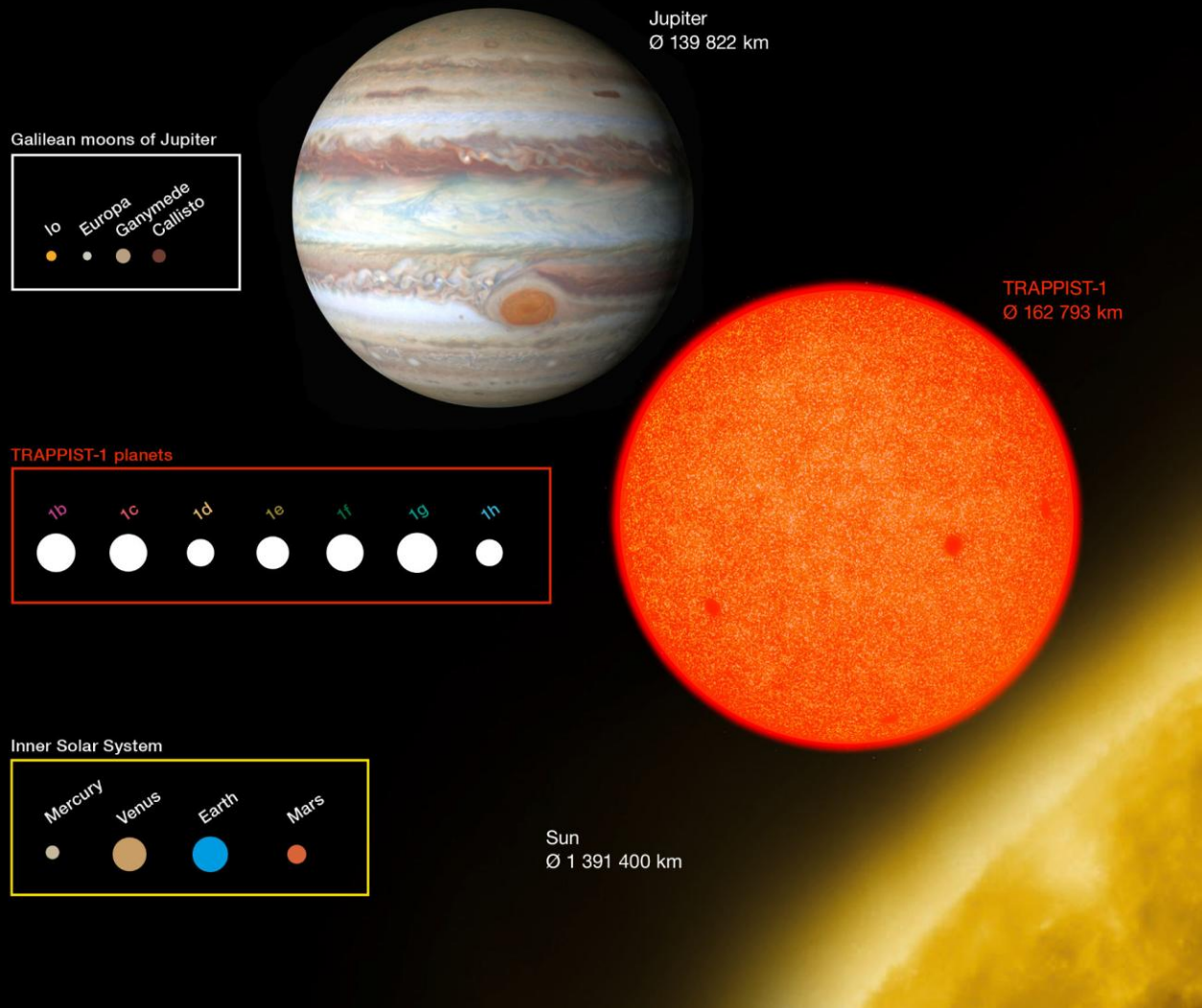
Il sistema planetario Trappist 1

Metodo fotometrico dei transiti

Pianeta	Massa	Raggio	Periodo orb.	Sem. maggiore	Incl. orbita
b	0,85 M _⊕	1,09 R _⊕	1,51 giorni	0,011 UA	89,41 ± 0,41°
c	1,38 M _⊕	1,06 R _⊕	2,42 giorni	0,015 UA	89,5 ± 0,31°
d	0,41 M _⊕	0,77 R _⊕	4,05 giorni	0,021 UA	89,87 ± 0,1°
e	0,62 M _⊕	0,92 R _⊕	6,10 giorni	0,028 UA	89,86 ± 0,11°
f	0,68 M _⊕	1,04 R _⊕	9,21 giorni	0,037 UA	89,680 ± 0,034°
g	1,34 M _⊕	1,13 R _⊕	12,35 giorni	0,045 UA	89,710 ± 0,025°
h	—	0,76 R _⊕	20 +15–6 giorni	~0,06 UA	89,80 ± 0,07°

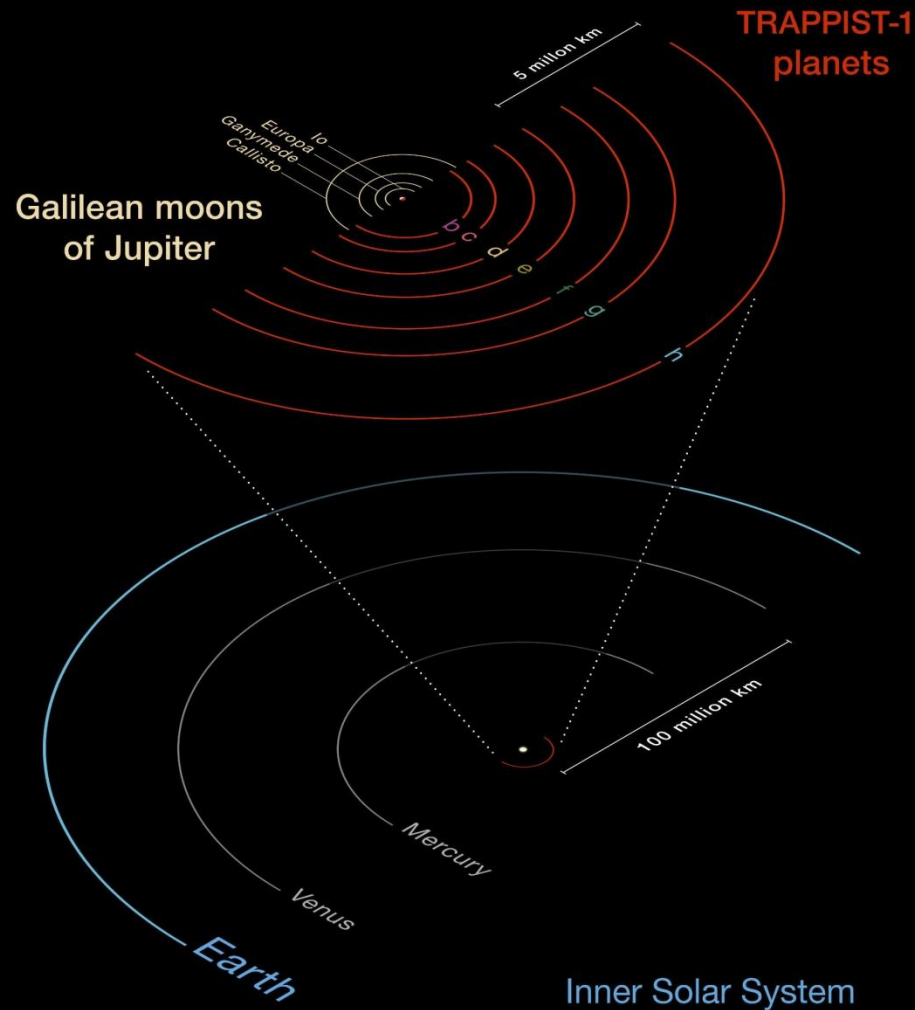
Il sistema planetario Trappist 1

Metodo fotometrico dei transiti



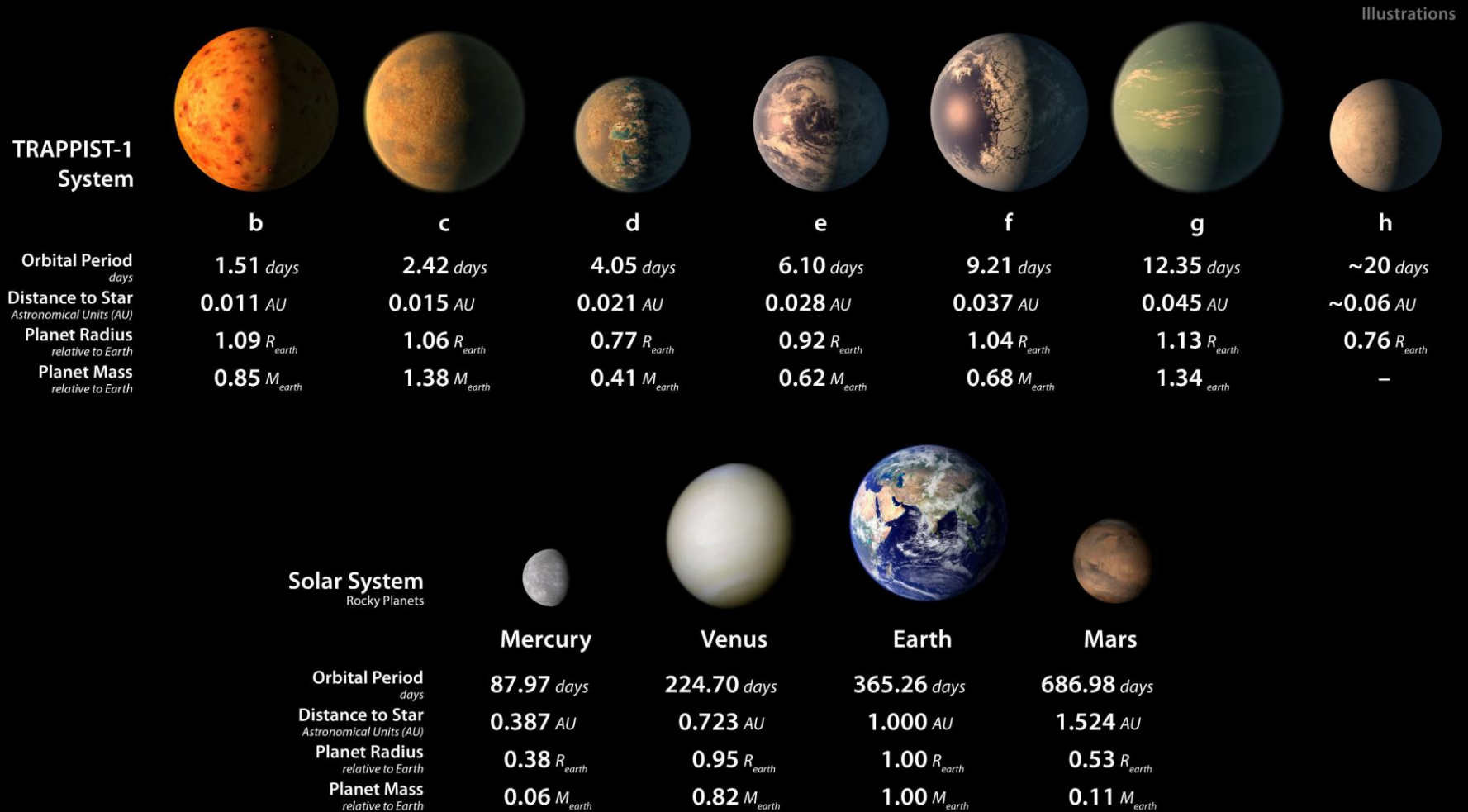
Il sistema planetario Trappist 1

Metodo fotometrico dei transiti



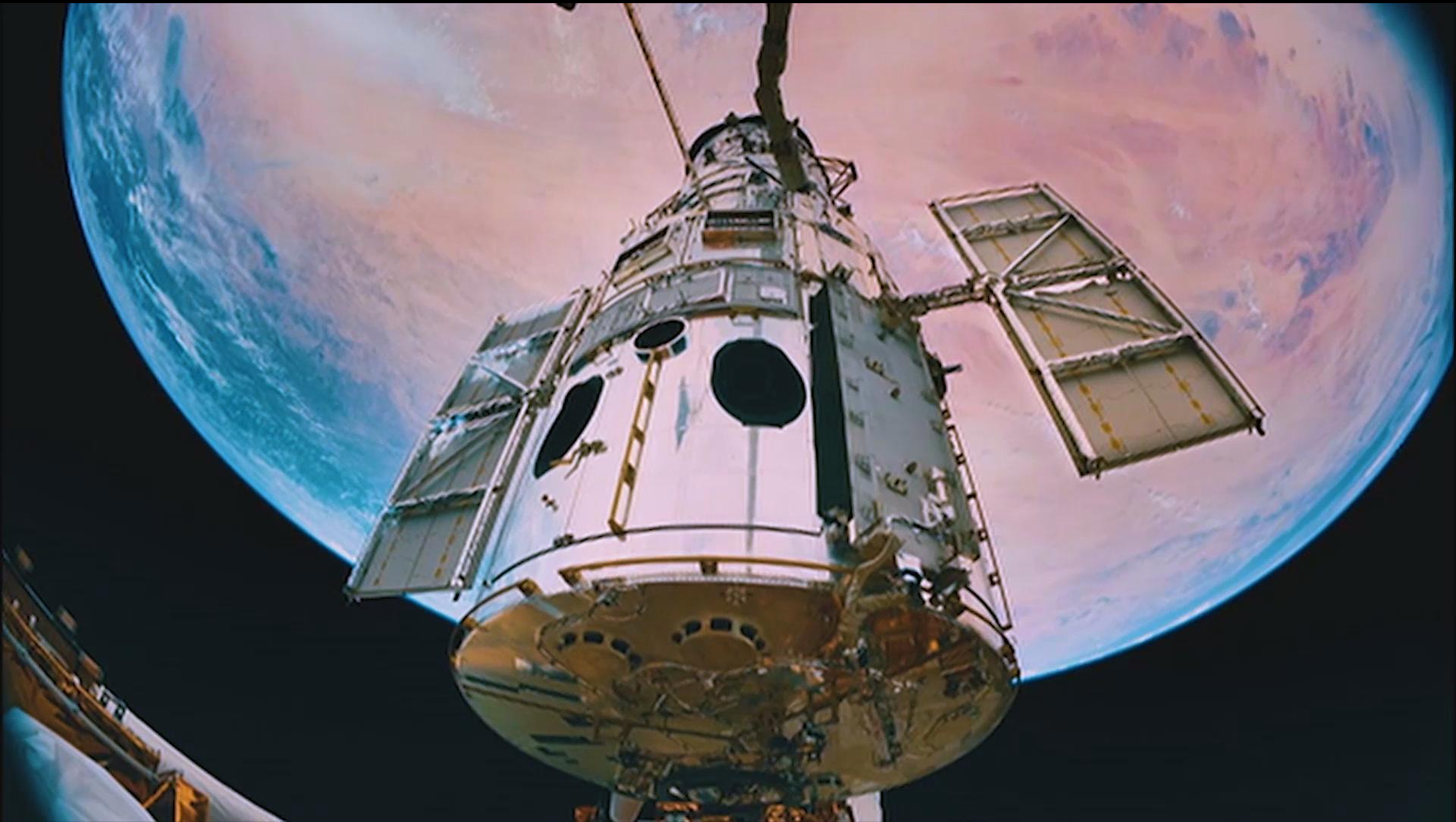
Il sistema planetario Trappist 1

Metodo fotometrico dei transiti



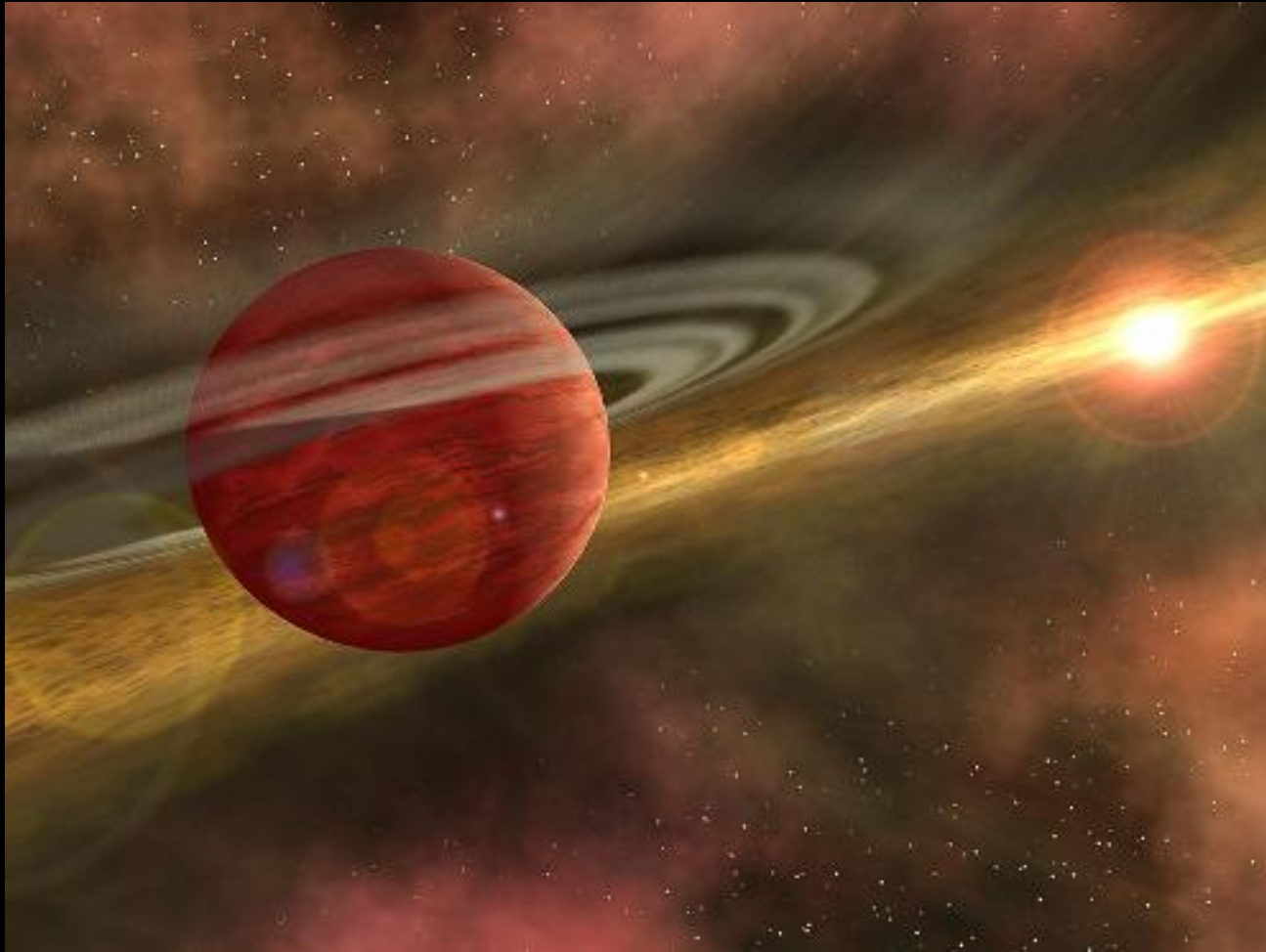
Il sistema planetario Trappist 1

Animazione



Gillon, M., Triaud A., Demory, B.-O. & 27 additional authors Nature, 542, 456 -2017

La presentazione è terminata



Grazie

Coronografo e "Vortex" Coronografo



L'imaging con l'uso dei Coronografi

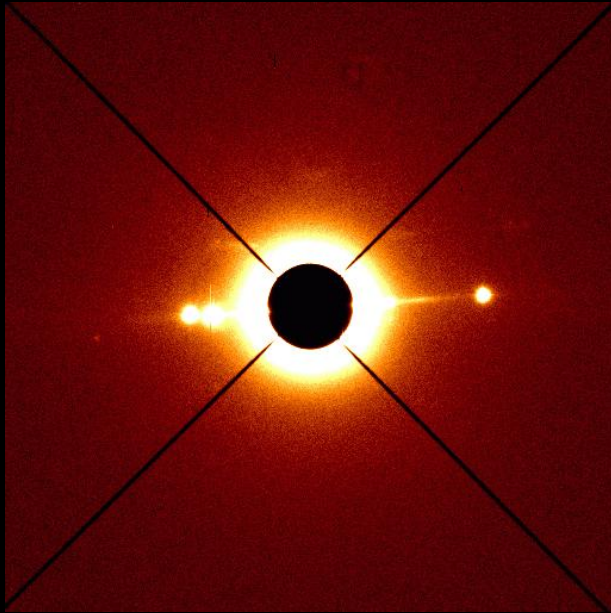


Immagine al Telescopio di Saturno, gli anelli ed alcuni satelliti presa con un Coronografo

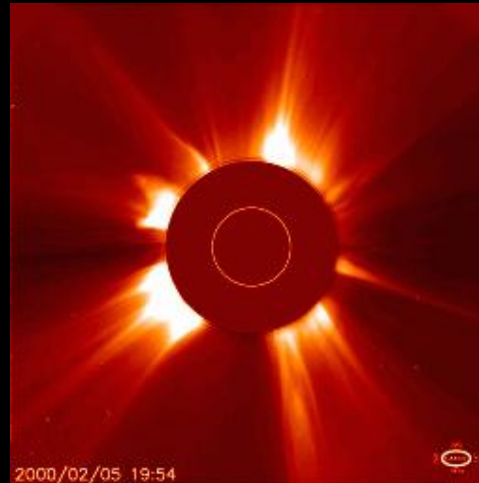


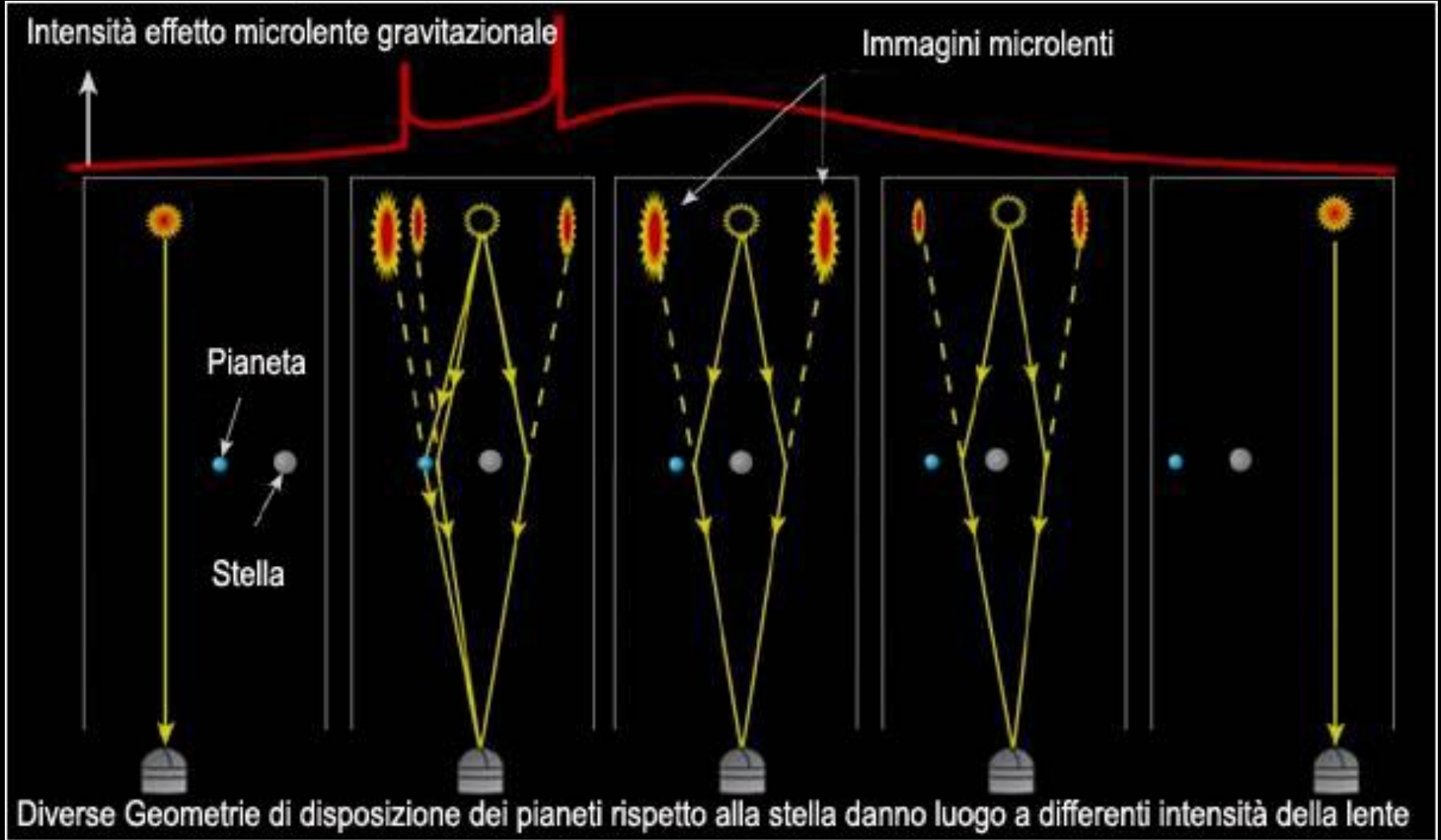
Immagine del Sole presa dalla sonda SOHO utilizzando un Coronografo



Eclisse totale di Sole

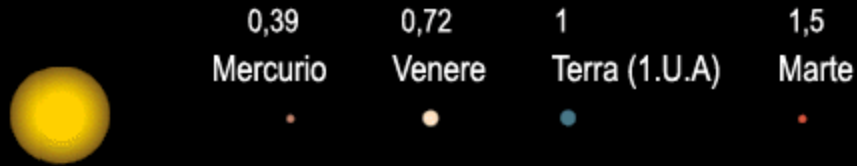
Micro lenti gravitazionali

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

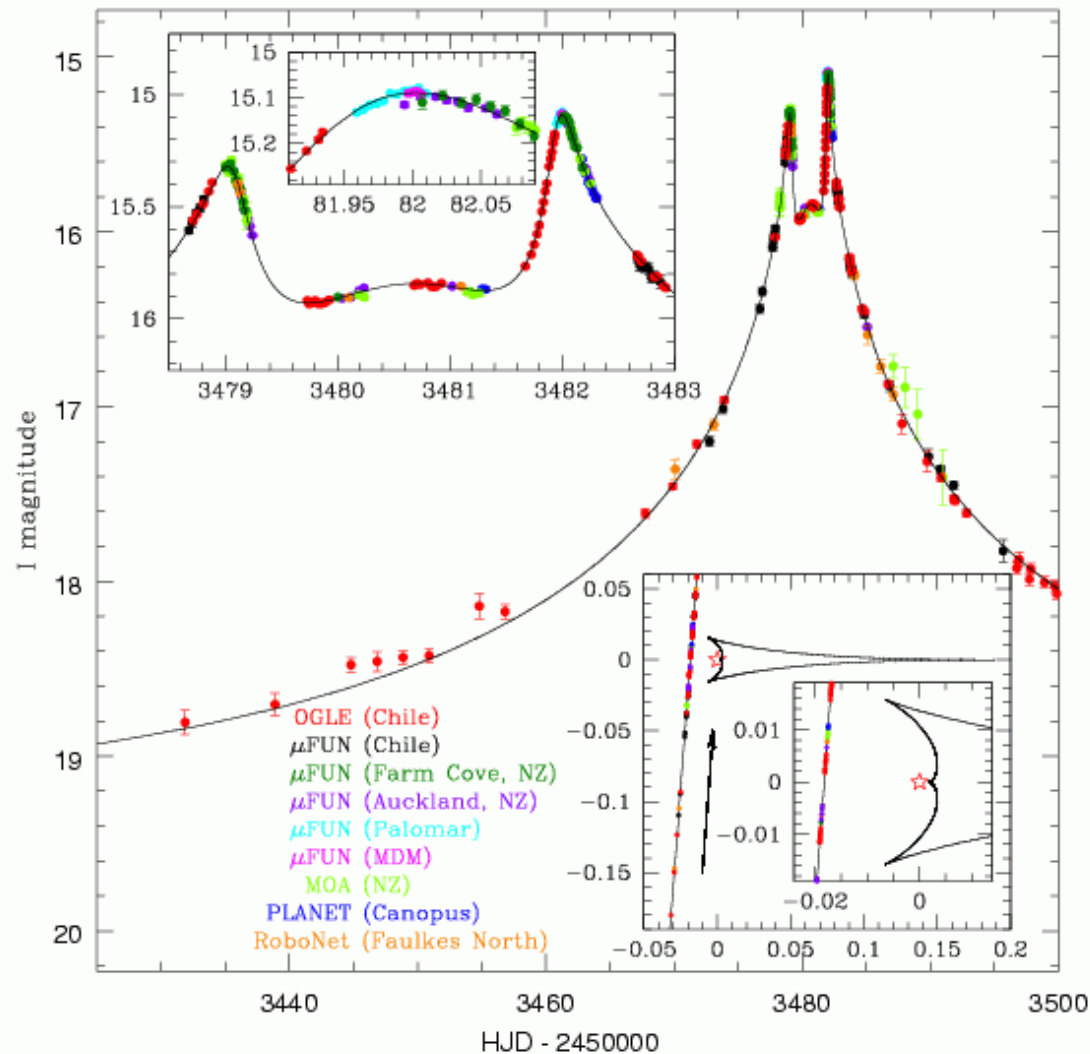


Pianeta	OGLE-2005-BLG-71L b
Scoperto nel	2005
Massa= $m \cdot \sin i$	3,5 M_{J} masse di Giove
Massa= $m \cdot \sin i$	1151 M_{T} masse terrestri
Semiasse maggiore orbita	3,6 U.A. (Unità Astronomiche)
Periodo orbitale	3600 giorni
Eccentricità	---

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



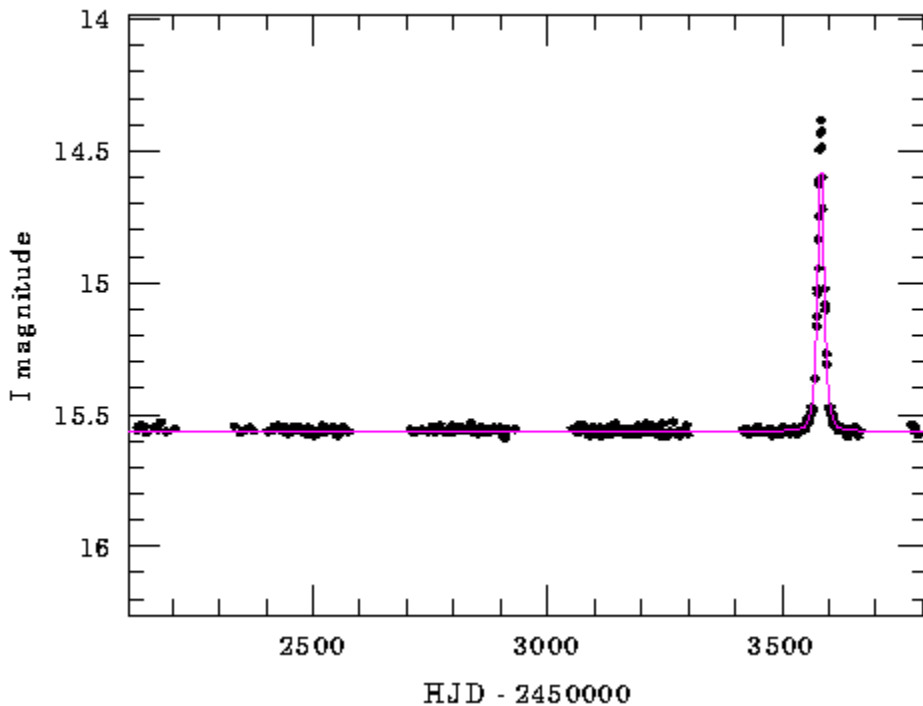
Udalski et al., OGLE+MOA teams, June 2005

Il sistema planetario OGLE-2005-BLG-390L

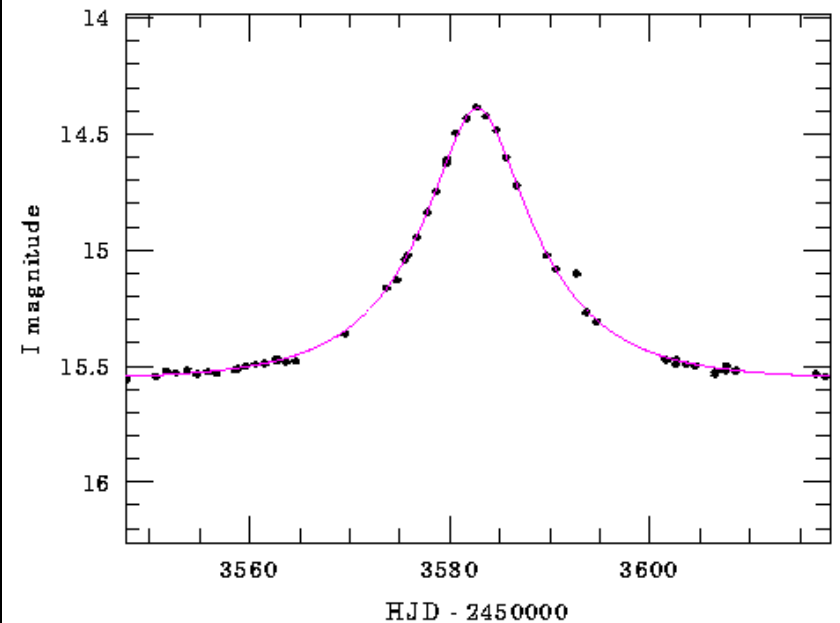
Metodo delle microlenti gravitazionali



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 _{eq} (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 !!

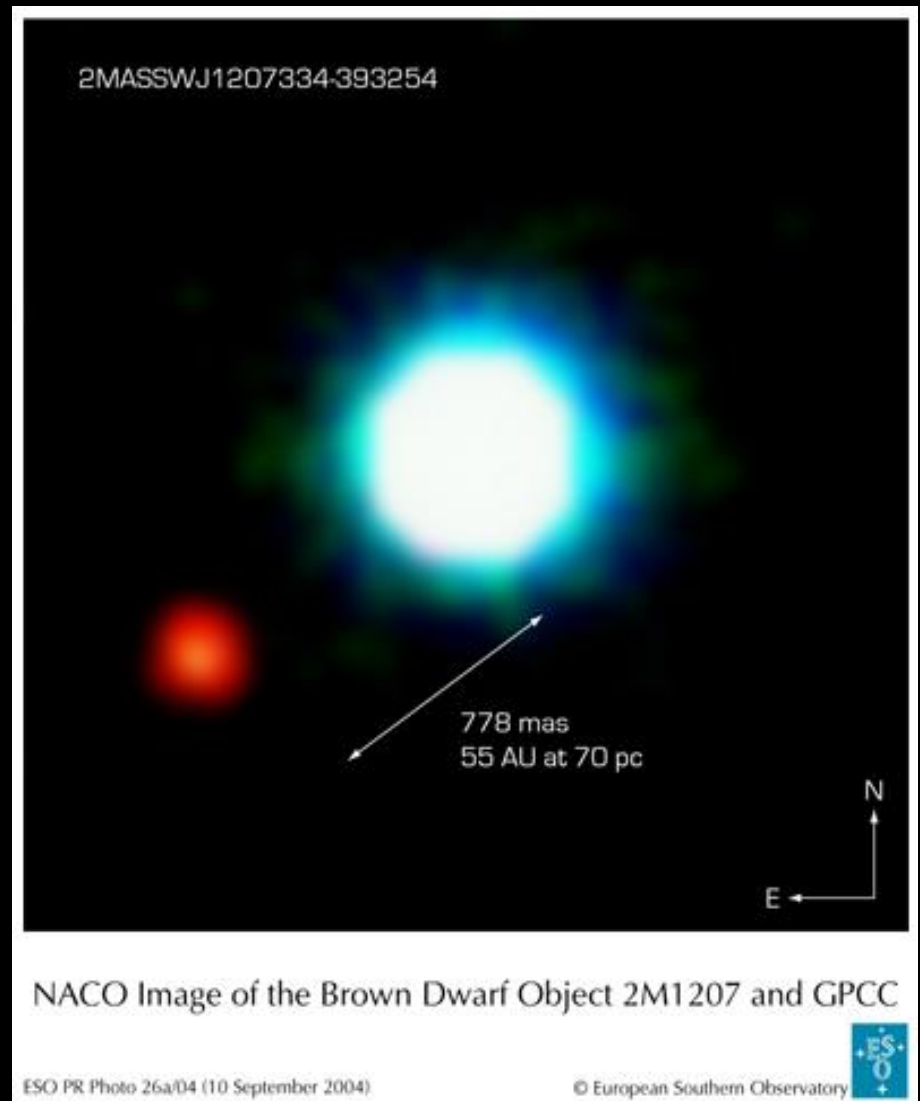
Animazioni



www.eso.org

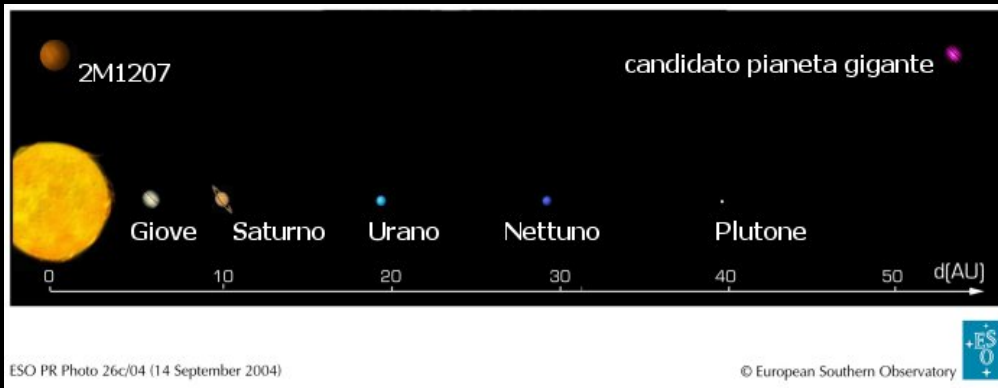
Il sistema stellare 2M1207

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

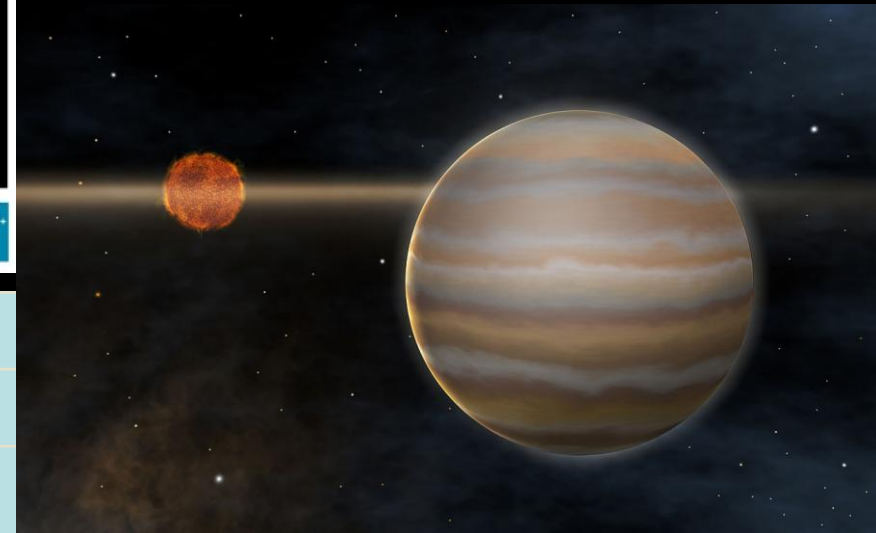


Il sistema stellare 2M1207 b

Metodo dell'imaging



Pianeta	2M1207 b
Scoperto nel	2005
Massa= $m \cdot \sin i$	$\geq 4 M_G$ masse di Giove
Massa= $m \cdot \sin i$	$\geq 1272 M_T$ 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

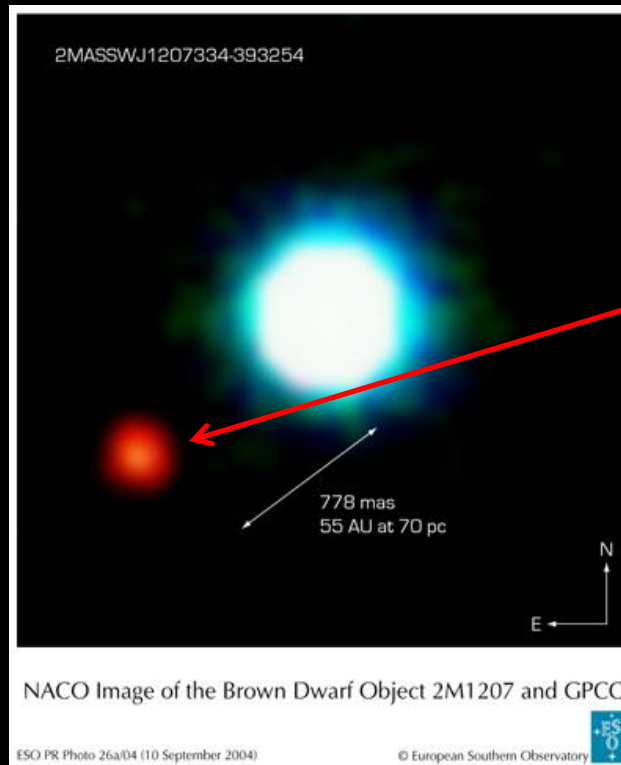
Urano

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 ?