

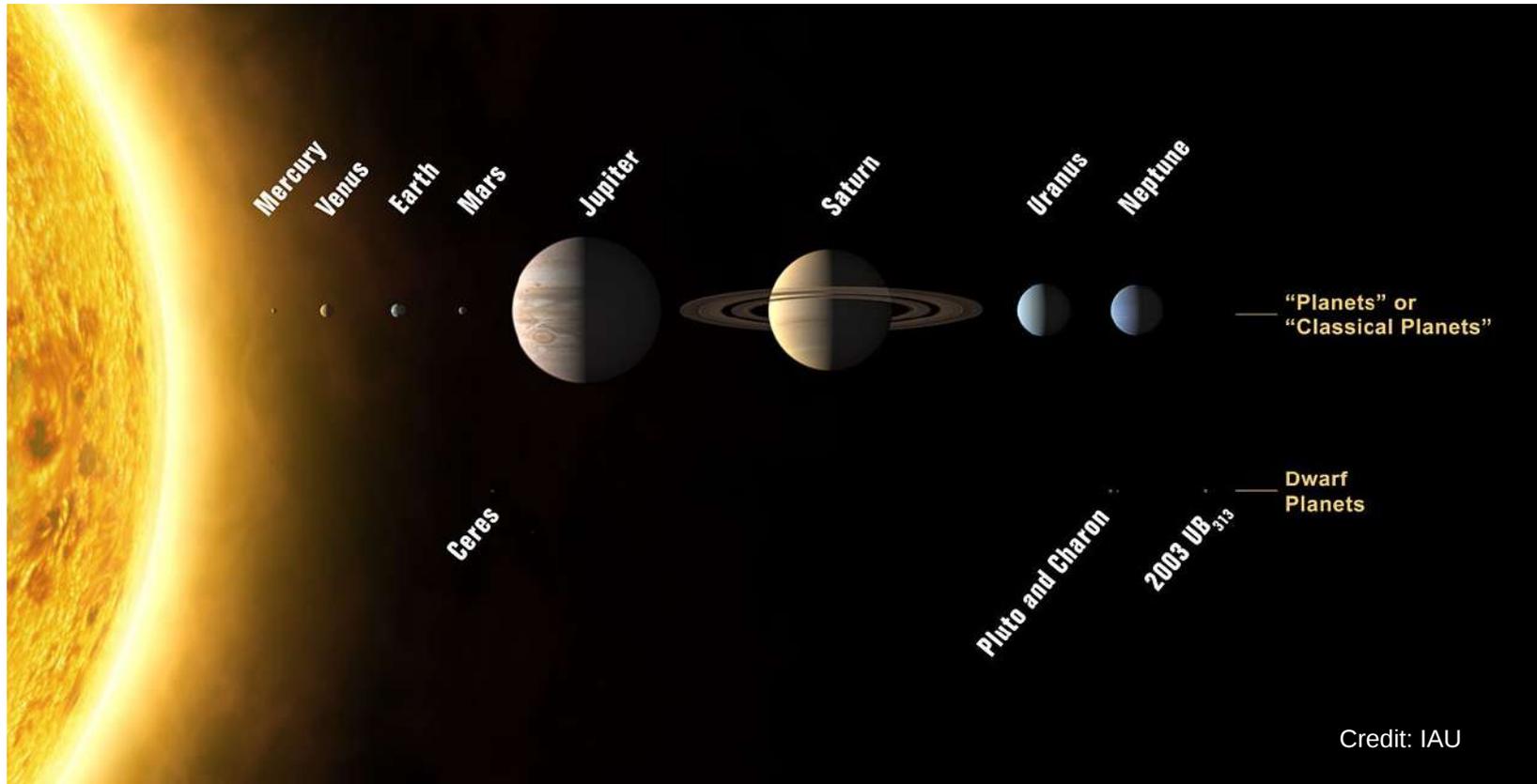
A composite image of space. On the left, a bright star with a lens flare. In the center, the Earth's blue and white horizon. On the right, the Moon. In the bottom right, a satellite with a gold thermal blanket and a large antenna.

Terra in vista!

Nuovi mondi all'orizzonte.

La fantastica rivoluzione dei pianeti extrasolari.

Il Sistema Solare



Pianeti



Nome		Atmosfera	Pressione	Raggio	Massa	Densità	Discovery
			[P _{Terra}]	[R _{Terra}]	[M _{Terra}]	g cm ⁻³	
Mercury	♃	O ₂ , Na, H ₂	–	0.38	0.06	5.4	
Venus	♀	CO ₂ , N ₂	92	0.95	0.82	5.2	
Earth	♁	N₂, O₂, Ar	1	1	1	5.5	
Mars	♂	CO ₂ , N ₂ , Ar	0.1	0.53	0.11	3.9	
Jupiter	♃	H ₂ , He	–	11.2	318	1.3	
Saturn	♄	H ₂ , He	–	9.5	95.2	0.7	
Uranus	♅	H ₂ , He, H ₄	–	4.0	14.5	1.3	1781
Neptune	♆	H ₂ , He, CH ₄	–	3.9	17.1	1.6	1846
Pluto	♇	N ₂ , CH ₄ , CO	10 ⁻⁵	0.19	0.003	2.1	1930
Titan		N ₂ , CH ₄ , H ₂	1.5	0.40	0.02	1.9	1655

Quanti pianeti esistono ?



"Quindi nessuna realtà fisica è infinita [...]. Da ciò deriva che non possono esistere altri mondi oltre il nostro"

- Aristotele -



"Nell'universo esistono un numero infinito di soli e pianeti come la Terra, che ruotano intorno alla loro stella proprio come i pianeti del nostro sistema solare. Vediamo soltanto i soli, poiché sono più luminosi e più grandi, e in pianeti rimangono a noi invisibili, perché più piccoli e meno luminosi. Questi infiniti mondi sono abitati come o più del nostro."

- Giordano Bruno -

L'immaginazione corre



Pianeta di
acqua
(Interstellar)



Pianeta di
lava



Pianeta di
ghiaccio



Pianeta di Luke
Skywalker
(Star Wars)

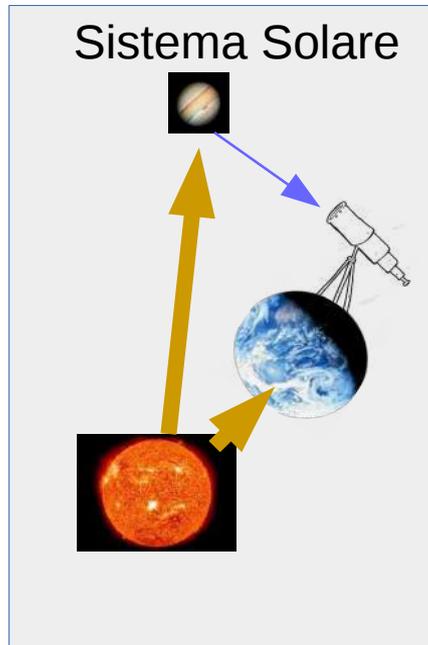


Il metodo scientifico

- Per fare chiarezza su questi concetti, e per traslarli dal piano della filosofia e del fiabesco a quello scientifico, applichiamo ...
- *il metodo scientifico consiste nel sottoporre le ipotesi scientifiche a procedure di controllo sperimentale, che servono a confermarle (nel qual caso le ipotesi si trasformano in leggi scientifiche) o a confutarle*
(enciclopedia Treccani)

Pianeta come Giove e sua stella

Bruno dice: “Vediamo soltanto i soli, poiché sono più luminosi e più grandi, e in pianeti rimangono a noi invisibili, perché più piccoli e meno luminosi”.

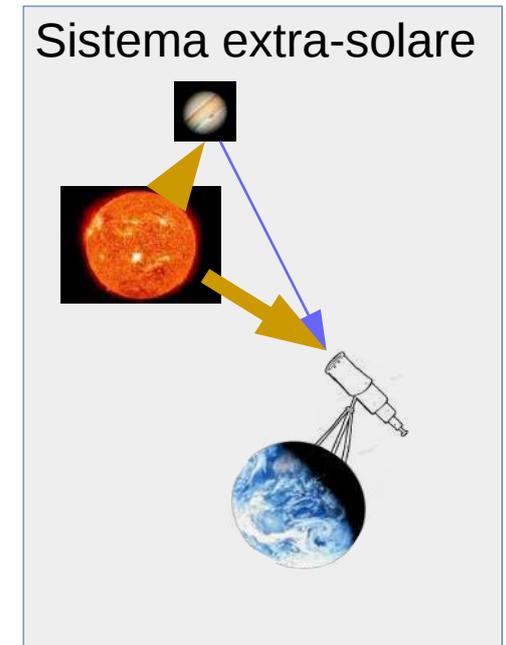


La luce della stella e' riflessa dalla superficie del pianeta.

La quantità di luce riflessa da Giove e' circa 100 milioni di volte minore della luce del Sole

Noi osserviamo Giove in cielo perché di notte non siamo abbagliati dalla luce Solare

Pero', se esistesse un pianeta simile a Giove che ruota intorno a una stella diversa dal Sole, allora sarebbe ben difficile osservare questo pianeta extrasolare, perché abbagliati dalla sua stella madre.

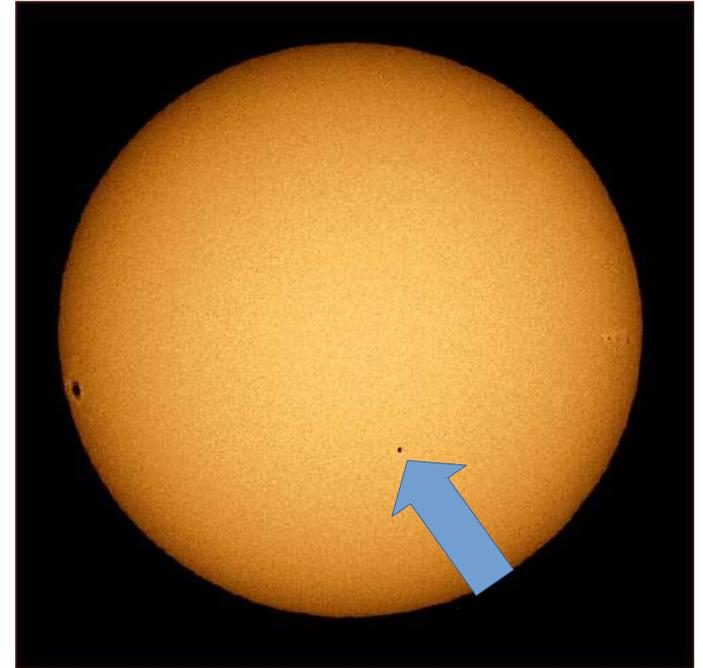


Che fare: metodi indiretti

- Quando, nel campo delle scienze fisiche, l'oggetto della misura non è direttamente osservabile, si ricorre a metodi indiretti:
- Si individuano cioè effetti dovuti alla presenza del pianeta su altre grandezze fisiche, queste si misurabili.
- Vediamo quali possano essere.

Annuncio

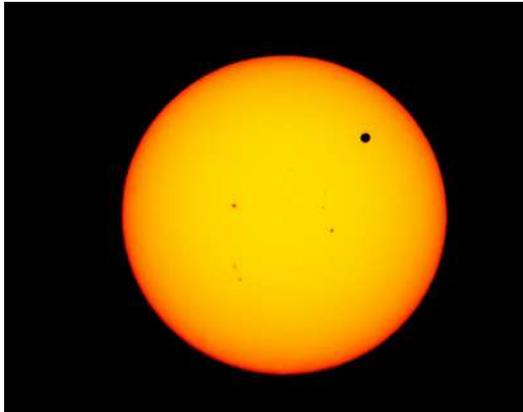
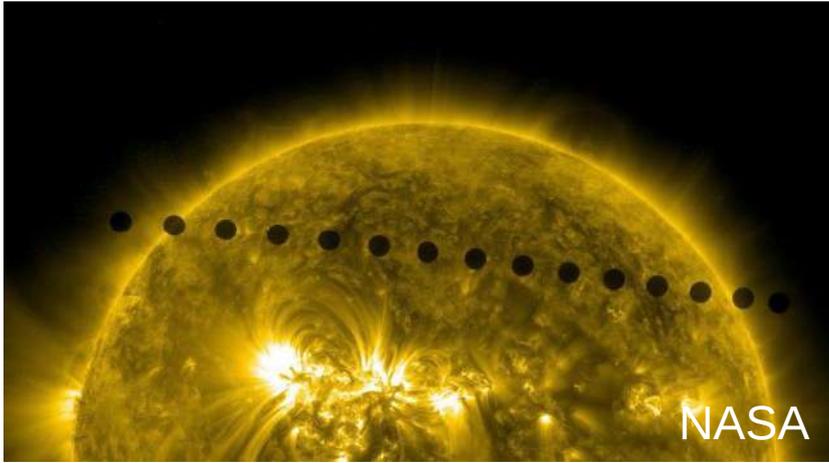
- Osserva il transito di Mercurio
 - Inizio 11 novembre 2019, 12:30 GMT
 - Fine 11 novembre 2019, 18:00 GMT
- Richiede
 - protezione per non danneggiare gli occhi
 - Piccolo telescopio astronomico con filtro solare
- Non osservare mai il sole senza adeguata protezione!
Rischio di danneggiare permanentemente la vista.



Transito di Mercurio, 8 novembre 2006

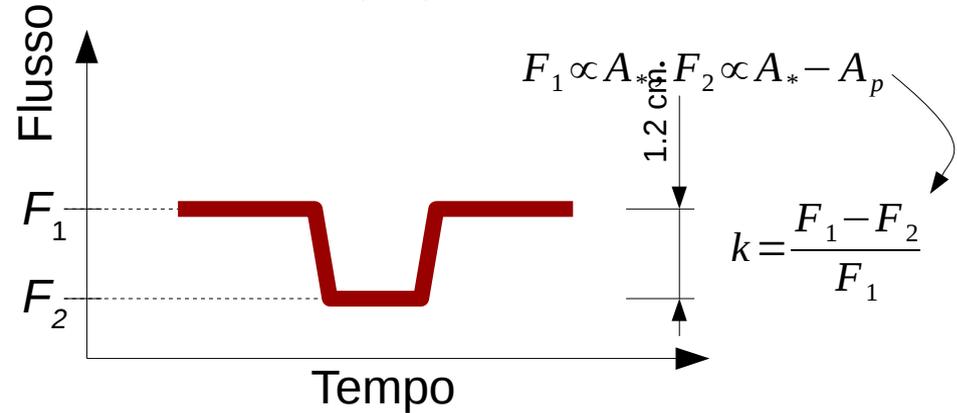
Metodo del transito

Transito di Venere (2012)

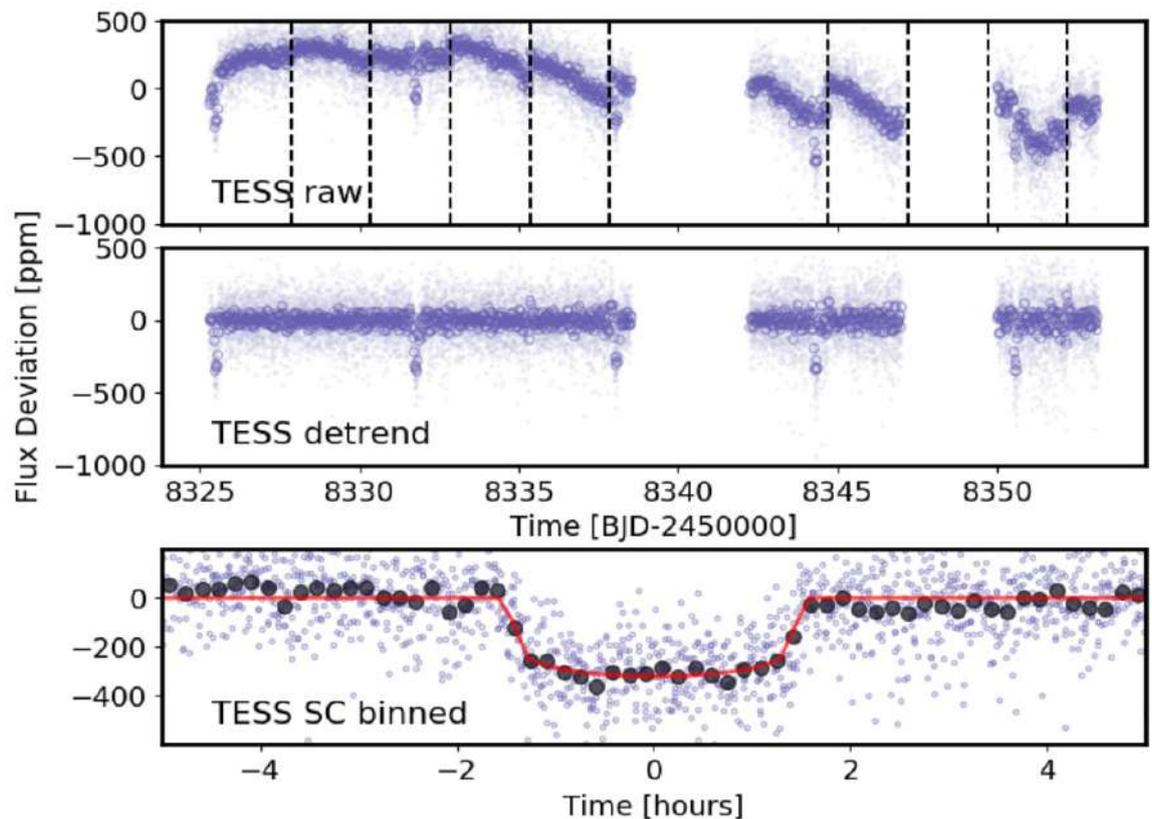


- Transito: un pianeta che passa fra noi e la sua stella madre
- Una parte della luce proveniente dalla stella e' bloccata dalla superficie del pianeta

$$k = \frac{A_P}{A_*} = \frac{\pi R_P^2}{\pi R_*^2} = \left(\frac{R_P}{R_*}\right)^2 = \begin{cases} 1\% & \text{Giove} \\ 0.008\% & \text{Terra} \end{cases}$$



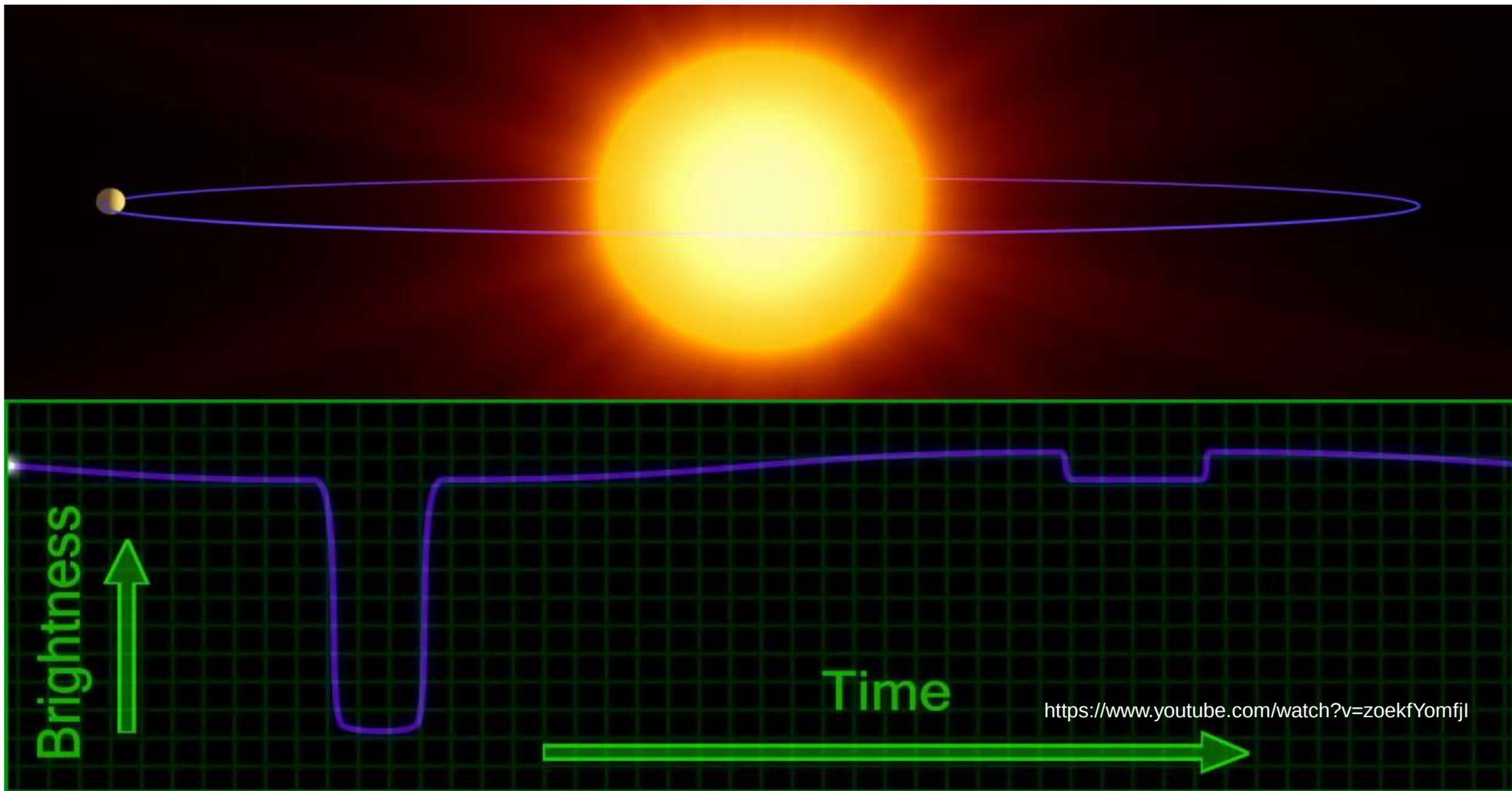
Esempio curva di luce



Misura grezza

Misura con sistematiche rimosse

Misura ripiegata con modello
matematico della curva di luce in
rosso



Metodo del transito: breve storia

Prima menzione del metodo: Lardner 1851

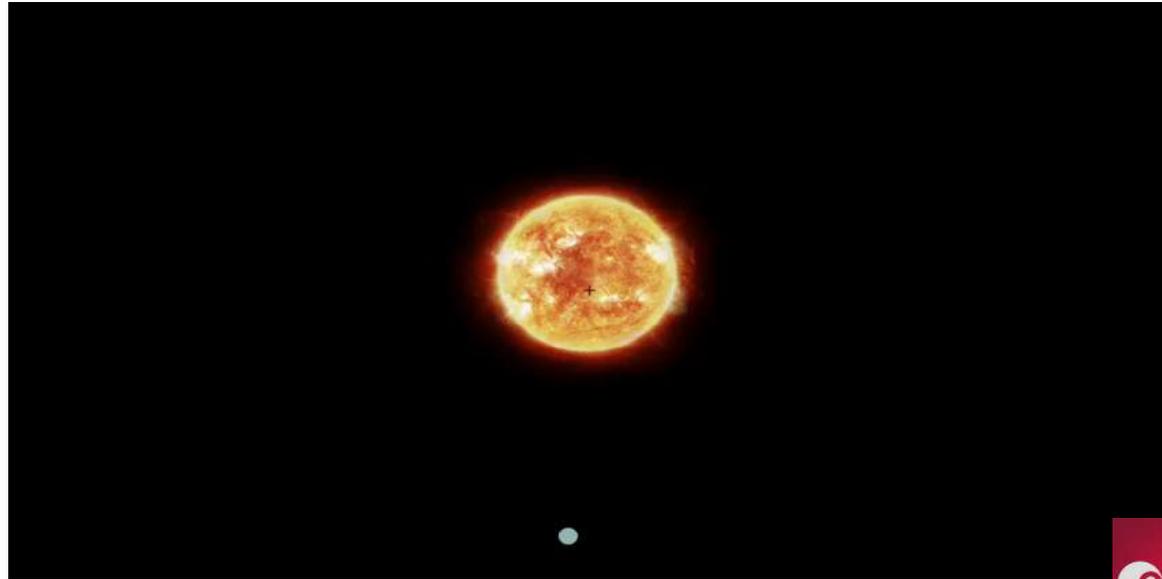
Belorizky ne 1938 fece notare che il transito di un esopianeta della dimensione di Giove potrebbe essere rilevato con strumentazione capace di raggiungere una precision fotometrica di circa 1%

Struve nel 1952 ha ipotizzato l'esistenza di pianeti con distanza dalla stella $D \sim 1 \text{ au} / 50$

La terza legge di Keplero detta che $P^2 \propto a^3$

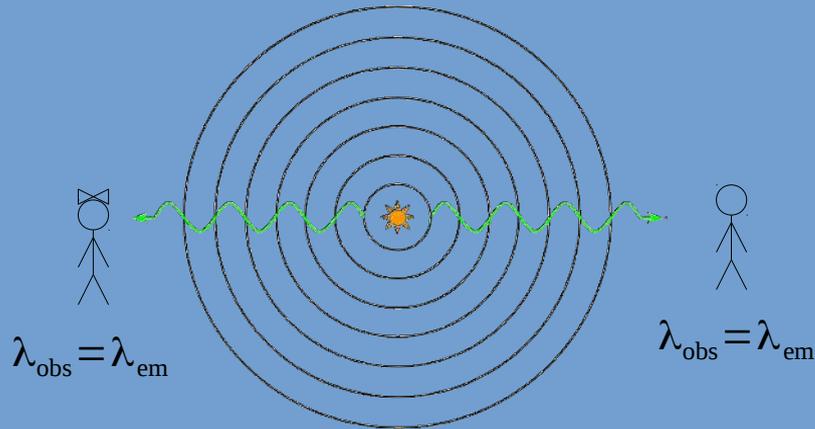
$$P_p^2 : a_p^3 = P_T^2 : a_T^3 \quad \rightarrow \quad \frac{P_p}{P_T} = \sqrt{\frac{a_p^3}{a_T^3}} \quad \rightarrow \quad P_p = P_T \sqrt{\frac{1 \text{ au} / 50}{1 \text{ au}}} \simeq \frac{1 \text{ yr}}{354} \sim 1 \text{ giorno}$$

Baricentro stella-pianeta

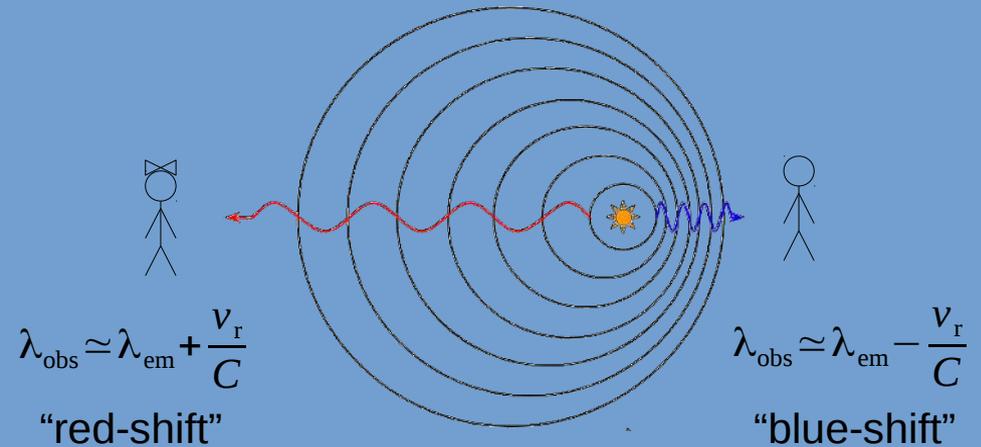


Effetto Doppler

Sorgente ferma relativamente agli osservatori



Sorgente con velocità v_r relativamente agli osservatori



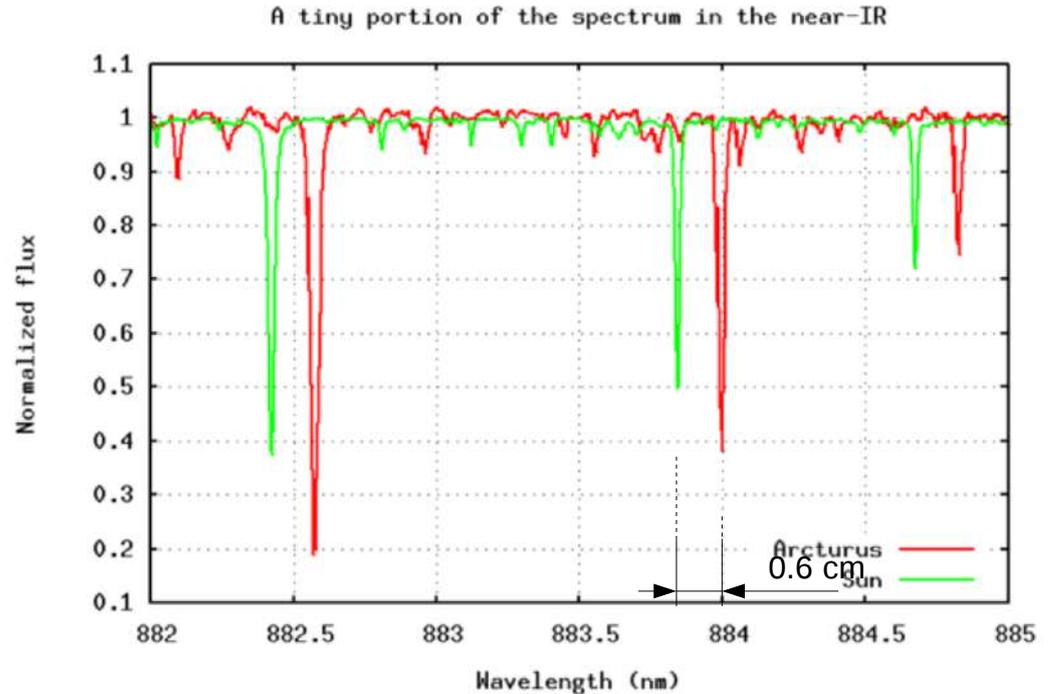
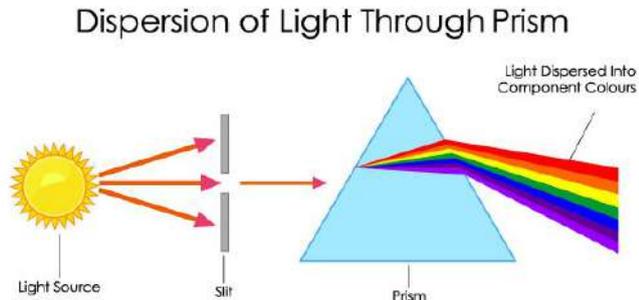
Effetti molto piccoli

- Giove: $v_r \sim 12.5 \text{ m/s}$
- Terra: $v_r \sim 9 \text{ cm/s}$

Effetti molto piccoli

- HD 189733 b: $v_r \sim 205 \text{ m/s}$
- 51 Pegasi b: $v_r \sim 50 \text{ m/s}$

Metodo della velocità radiale



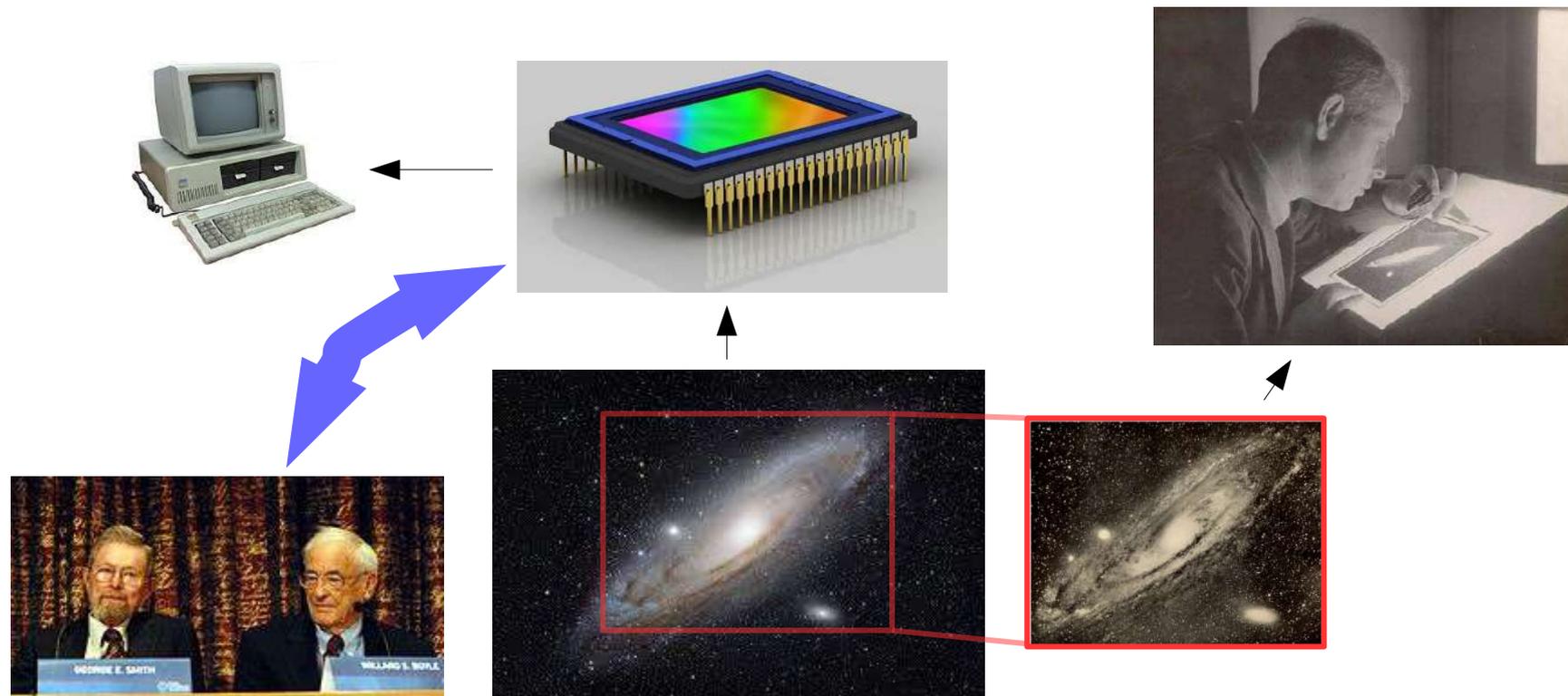
$$\Delta \lambda = 882.55 \text{ nm} - 882.40 \text{ nm} = 0.15 \text{ nm}$$

$$\Delta v_r = \frac{0.15 \text{ nm}}{882.40 \text{ nm}} \times c \approx 50 \text{ km/s}$$



www.eso.org

La rivoluzione delle CCD



Smith and Boyle, 2009 Nobel

CCD rimpiazzano lastre fotografiche



La Silla Observatory (Chile) – European Southern Observatory, ESO

The unseen companion of HD114762: a probable brown dwarf

David W. Latham*, Tsevi Mazeh†, Robert P. Stefanik*, Michel Mayor‡ & Gilbert Burki‡

* Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 60 Garden Street, Cambridge, Massachusetts 02138, USA

† School of Physics and Astronomy, Raymond and Beverly Sackler Faculty of Exact Science, Tel Aviv University, Tel Aviv 69978, Israel

‡ Observatoire de Genève, Chemin des Maillettes 51, Ch-1290 Sauverny, Switzerland

BROWN dwarfs are substellar objects with too little mass to ignite hydrogen in their cores. Despite considerable effort to detect brown dwarfs astrometrically¹⁻⁴, photometrically⁴⁻⁹, and spectroscopically¹⁰⁻¹², only a few good candidates have been discovered. Here we present spectroscopic evidence for a probable brown-dwarf companion to the solar-type star HD114762. This star undergoes periodic variations in radial velocity which we attribute to orbital motion resulting from the presence of an unseen companion. The rather short period of 84 days places the companion in an orbit similar to that of Mercury around the Sun, whereas the rather low velocity amplitude of about 0.6 km s^{-1} implies that the mass of the companion may be as low as 0.011 solar masses, or 11 Jupiter masses. This leads to the suggestion that the companion is probably a brown dwarf, and may even be a giant planet. However, because the inclination of the orbit to the line of sight is unknown, the mass of the companion may be considerably larger than this lower limit.

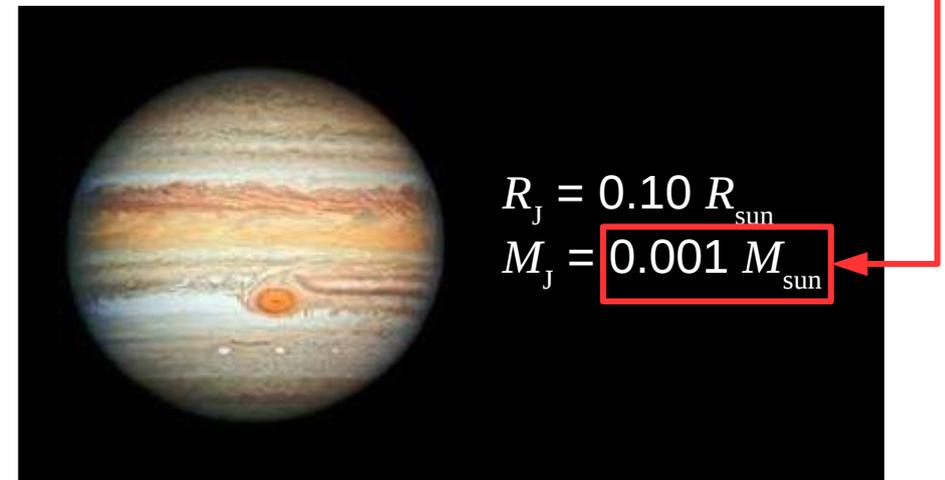
Latham, Nature (1989)

Nana bruna o pianeta?

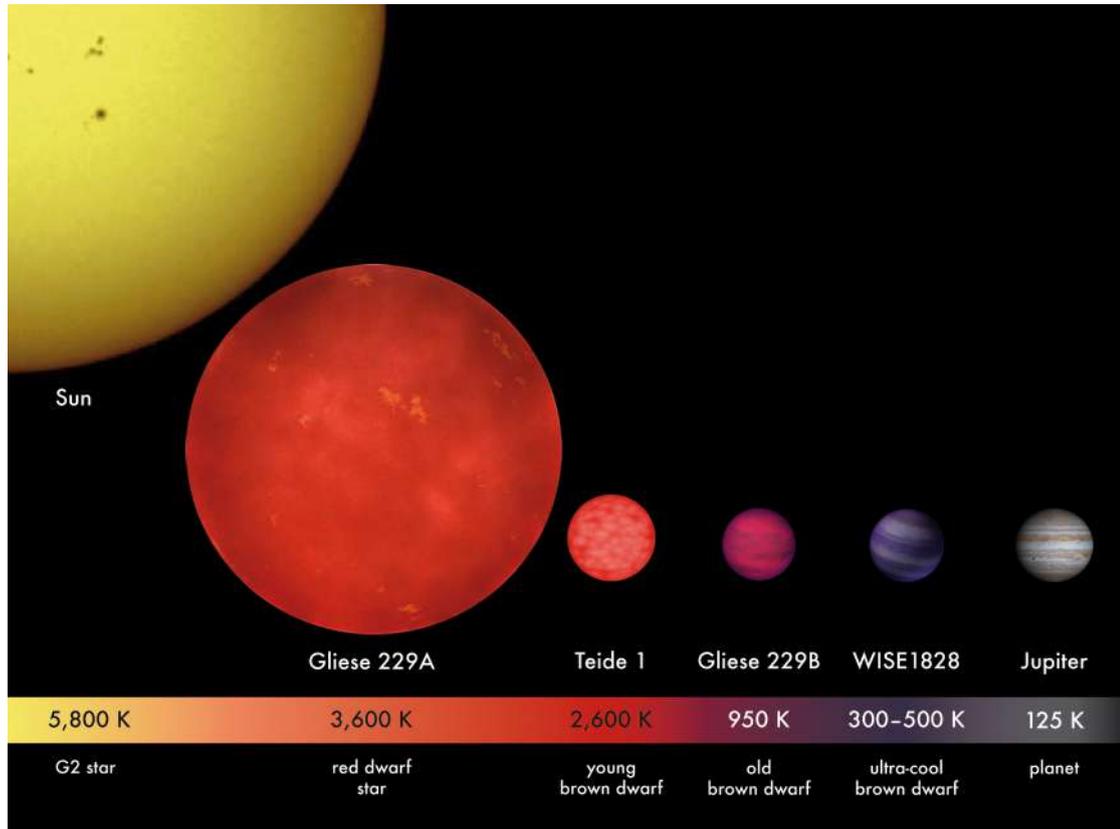


Stelle, nane brune, pianeti

Classe	Temperatura [K]	Colore [relativo a Vega]	Mass [massa solare]	Raggio [raggio solare]	Frazione
O	$\geq 30,000$	blue	≥ 16	≥ 6.6	$\sim 0.00003\%$
B	10,000–30,000	blue white	2.1–16	1.8–6.6	0.13%
A	7,500–10,000	white	1.4–2.1	1.4–1.8	0.6%
F	6,000–7,500	bianco-giallo	1.04–1.4	1.15–1.4	3%
G	5,200–6,000	giallo	0.8–1.04	0.96–1.15	7.6%
K	3,700–5,200	arancione	0.45–0.8	0.7–0.96	12.1%
M	2,400–3,700	rosso	0.08–0.45	≤ 0.7	76.45%



Primi anni '90: scoperta nane brune



Credit: MPIA/V. Joergens

Nana bruna

Oggetto astronomico intermedio fra pianeti e stelle

Masse non sufficienti a innescare la fusione di idrogeno

Masse sufficienti a innescare la fusione di deuterio

Il primo pianeta extrasolare!

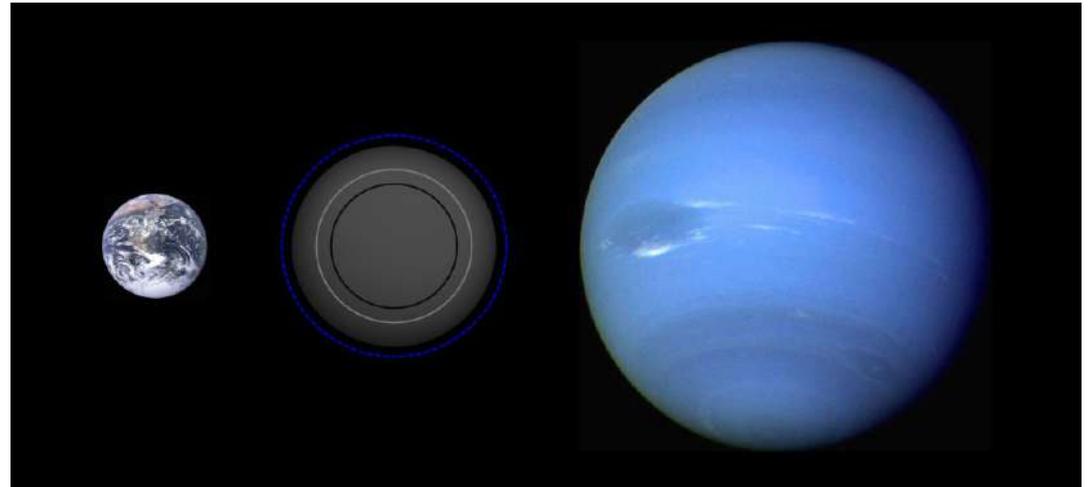
A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257+12

A. Wolszczan* & D. A. Frail†

* National Astronomy and Ionosphere Center, Arecibo Observatory, Arecibo, Puerto Rico 00613, USA

† National Radio Astronomy Observatory, Socorro, New Mexico 87801, USA

MILLISECOND radio pulsars, which are old ($\sim 10^9$ yr), rapidly rotating neutron stars believed to be spun up by accretion of matter from their stellar companions, are usually found in binary systems with other degenerate stars¹. Using the 305-m Arecibo radiotelescope to make precise timing measurements of pulses from the recently discovered 6.2-ms pulsar PSR1257+12 (ref. 2), we demonstrate that, rather than being associated with a stellar object, the pulsar is orbited by two or more planet-sized bodies. The planets detected so far have masses of at least $2.8 M_{\oplus}$ and $3.4 M_{\oplus}$, where M_{\oplus} is the mass of the Earth. Their respective distances from the pulsar are 0.47 AU and 0.36 AU, and they move in almost circular orbits with periods of 98.2 and 66.6 days. Observations indicate that at least one more planet may be present in this system. The detection of a planetary system around a nearby (~ 500 pc), old neutron star, together with the recent report on a planetary companion to the pulsar PSR1829-10 (ref. 3) raises the tantalizing possibility that a non-negligible fraction of neutron stars observable as radio pulsars may be orbited by planet-like bodies.



Credit: Aldaron

Il primo pianeta extrasolare ospite di una stella G (come il Sole)

ARTICLES

A Jupiter-mass companion to a solar-type star

Michel Mayor & Didier Queloz

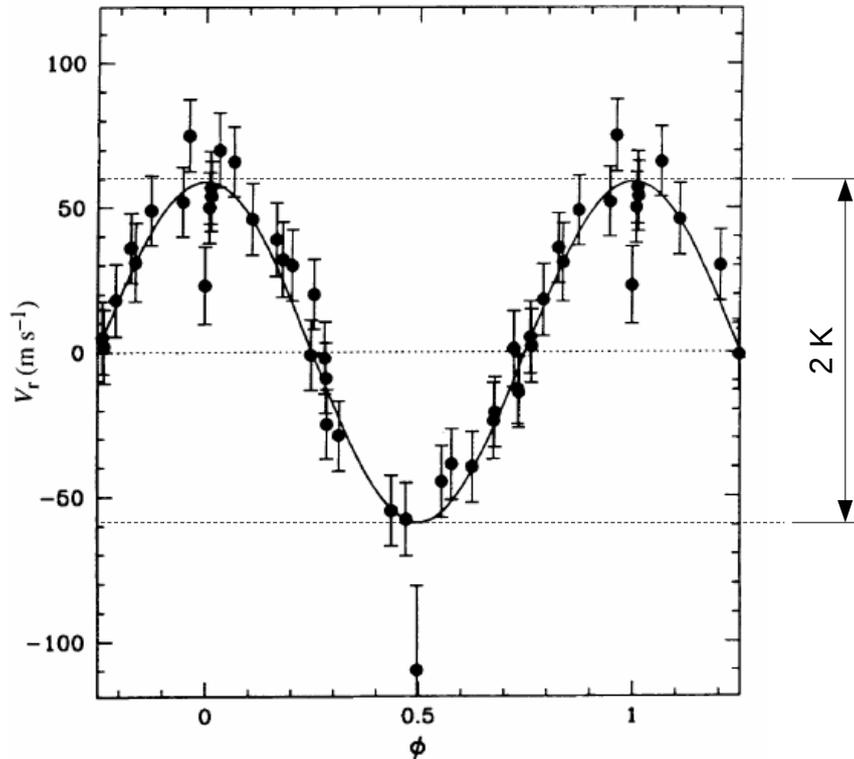
Geneva Observatory, 51 Chemin des Maillettes, CH-1290 Sauverny, Switzerland

The presence of a Jupiter-mass companion to the star 51 Pegasi is inferred from observations of periodic variations in the star's radial velocity. The companion lies only about eight million kilometres from the star, which would be well inside the orbit of Mercury in our Solar System. This object might be a gas-giant planet that has migrated to this location through orbital evolution, or from the radiative stripping of a brown dwarf.

Mayor & Queloz 1995

Da velocità radiale alla massa

Mayor & Queloz 1995



$$M_p v_p = M_* v_*$$

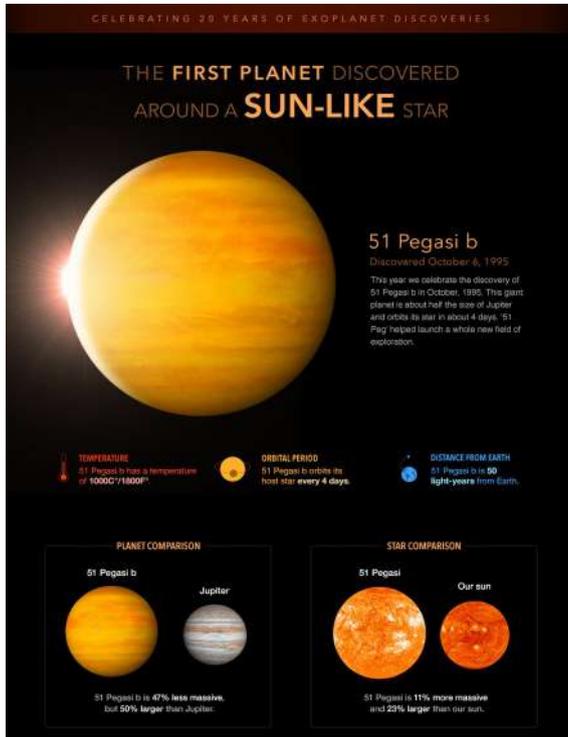
$$K = v_* \sin(i) \simeq \frac{M_p \sin(i)}{M_*} v_p$$

$$\begin{cases} a_p^3 = \frac{G M_*}{4 \pi^2} P^2 \\ v_p = \frac{2 \pi a_p}{P} \end{cases}$$

Due equazioni
in due incognite

$$M_p \sin(i) \simeq 0.46 M_J$$

51 Pegasi b : the 2019 Nobel



NOBELPRISET I FYSIK 2019
THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2019



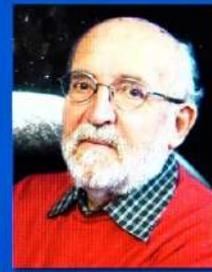
"för bidrag till vår förståelse av universums utveckling och jordens plats i universum"
"for contributions to our understanding of the evolution of the universe and Earth's place in the cosmos"



James Peebles

"för teoretiska upptäckter inom fysikalisk kosmologi"

"for theoretical discoveries in physical cosmology"



Michel Mayor

"för upptäckten av en exoplanet i bana kring en solliknande stjärna"

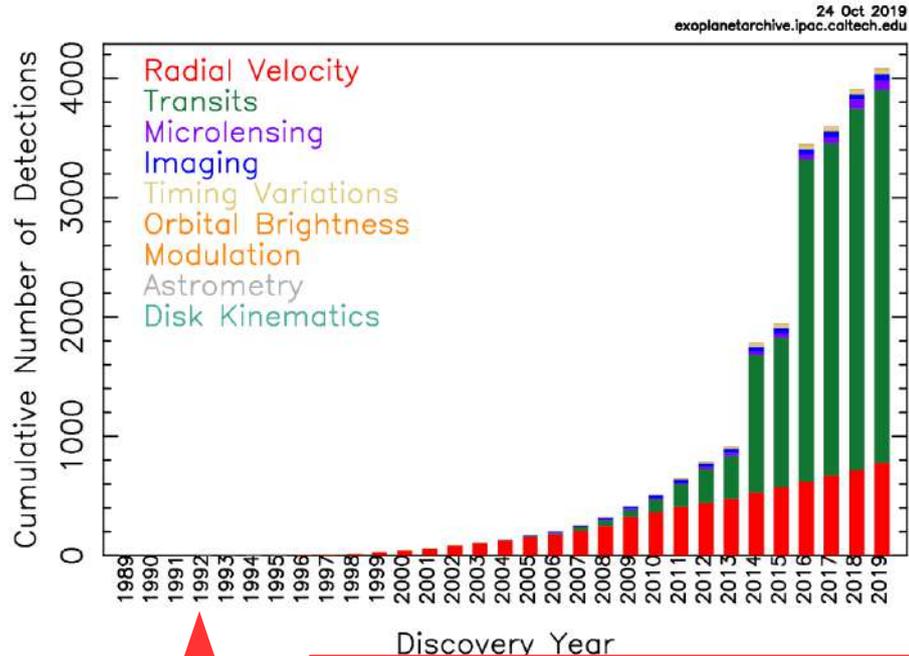
"for the discovery of an exoplanet orbiting a solar-type star"



Didier Queloz

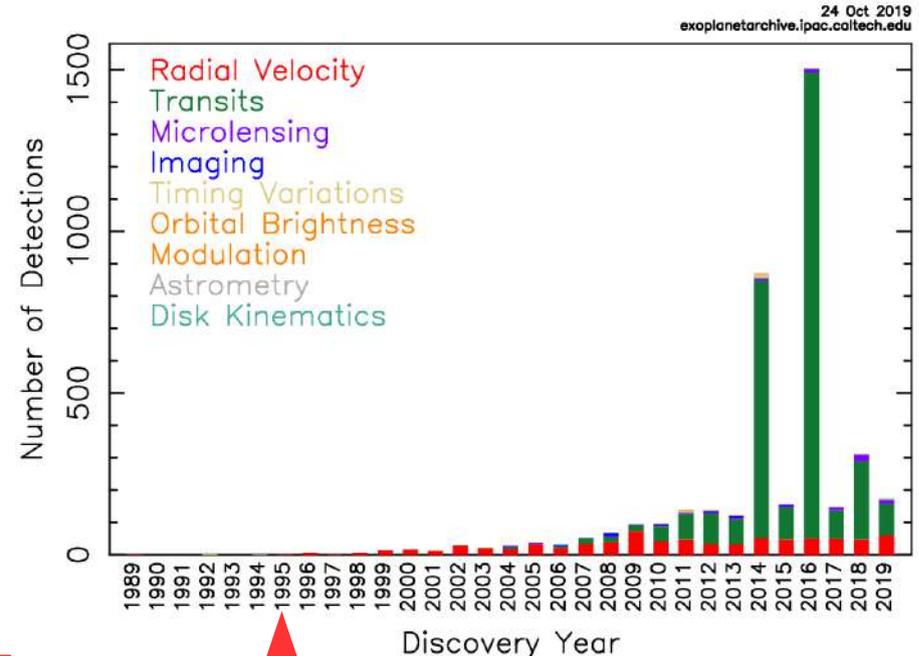
La rivoluzione dei pianeti extrasolari

Cumulative Detections Per Year



Primo pianeta scoperto intorno la pulsar
PSR B1257+12 (Wolszczan and Frail, 1992)

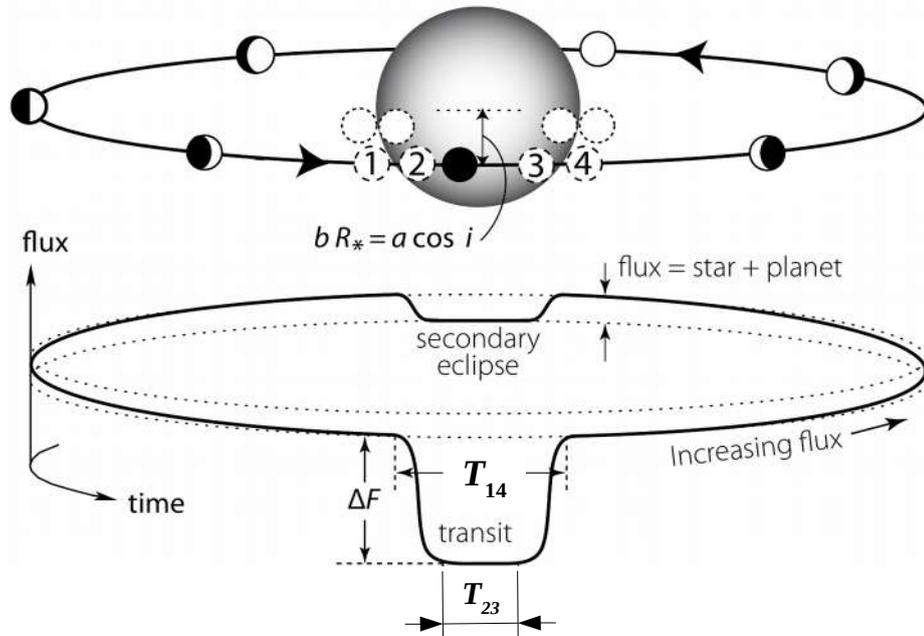
Detections Per Year



Primo pianeta scoperto intorno a
stella 51 Pegasi di tipo G
(Mayor & Queloz, 1995)

Metodi di detezione e osservabili

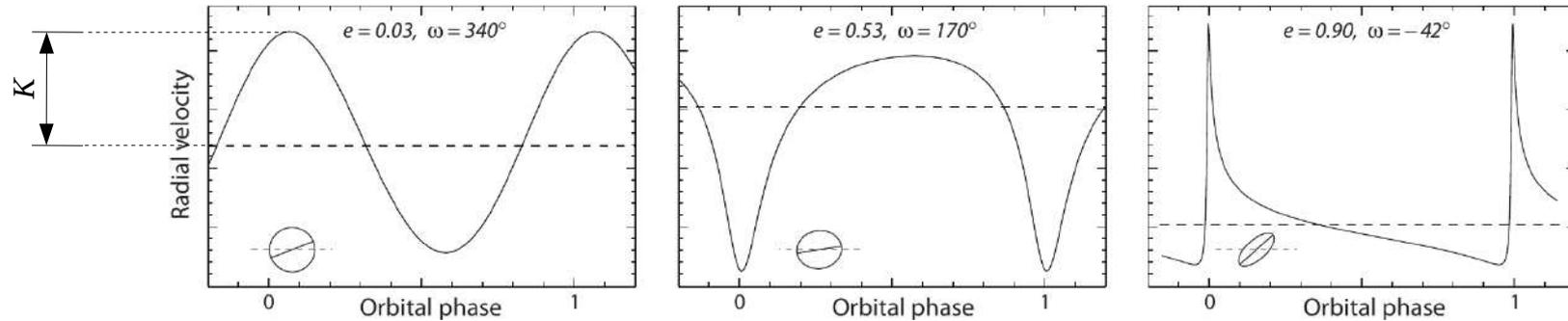
Transito: diametro del pianeta, inclinazione, semiasse maggiore



- Direttamente misurabili
 - Profondità di transito $\Delta F/F$
 - Tempo fra primo e quarto contatto: T_{14}
 - Tempo fra secondo e terzo contatto: T_{23}
- Da questi si ricavano
 - Raggio del pianeta
 - Inclinazione dell'orbita
 - Semiasse maggiore dell'ellisse
 - Altri parametri orbitali

Metodi di detezione e osservabili

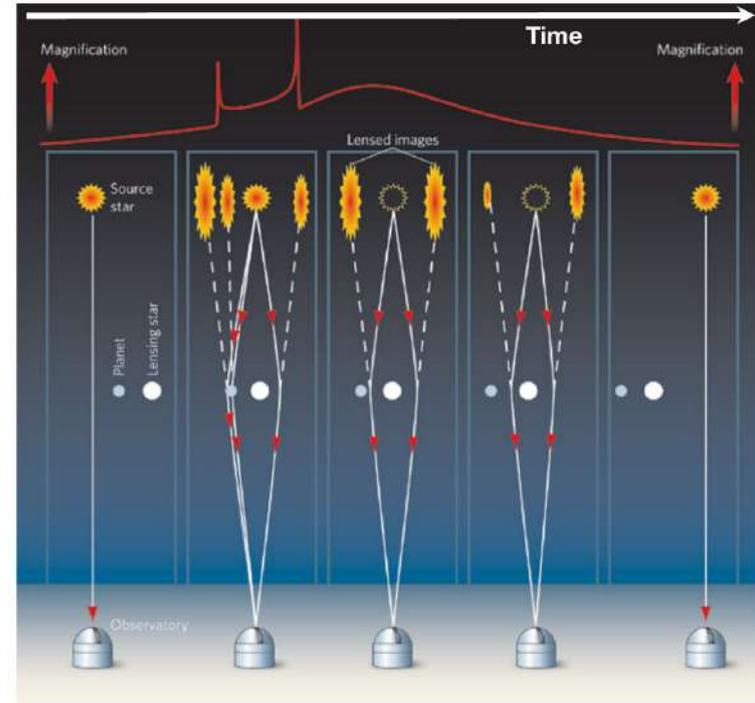
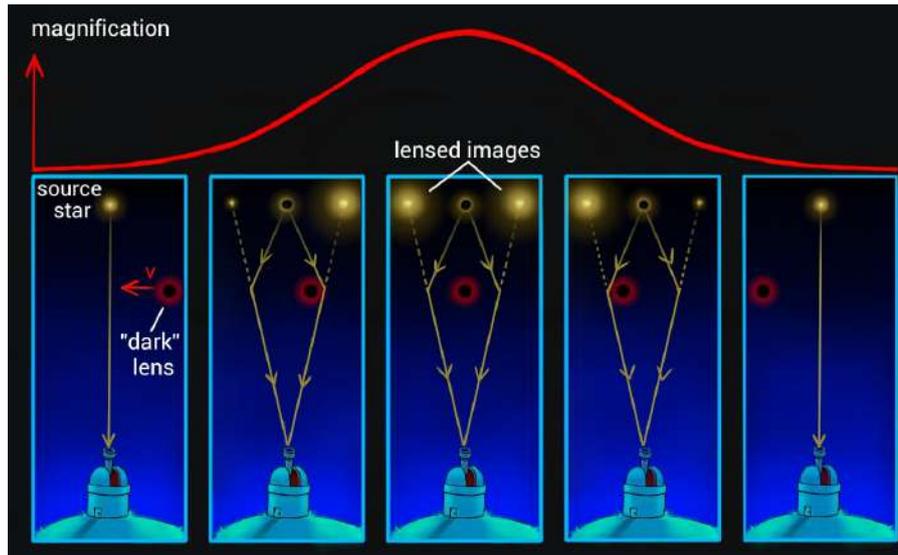
Velocità radiale: $M_p \sin(i)$ del pianeta, eccentricità, semiasse maggiore



$$K = \left(\frac{2\pi G}{P} \right)^{1/3} \frac{M_p \sin i}{(M_* + M_p)^{2/3}} \frac{1}{\sqrt{1 - e^2}}$$

Metodi di detezione e osservabili

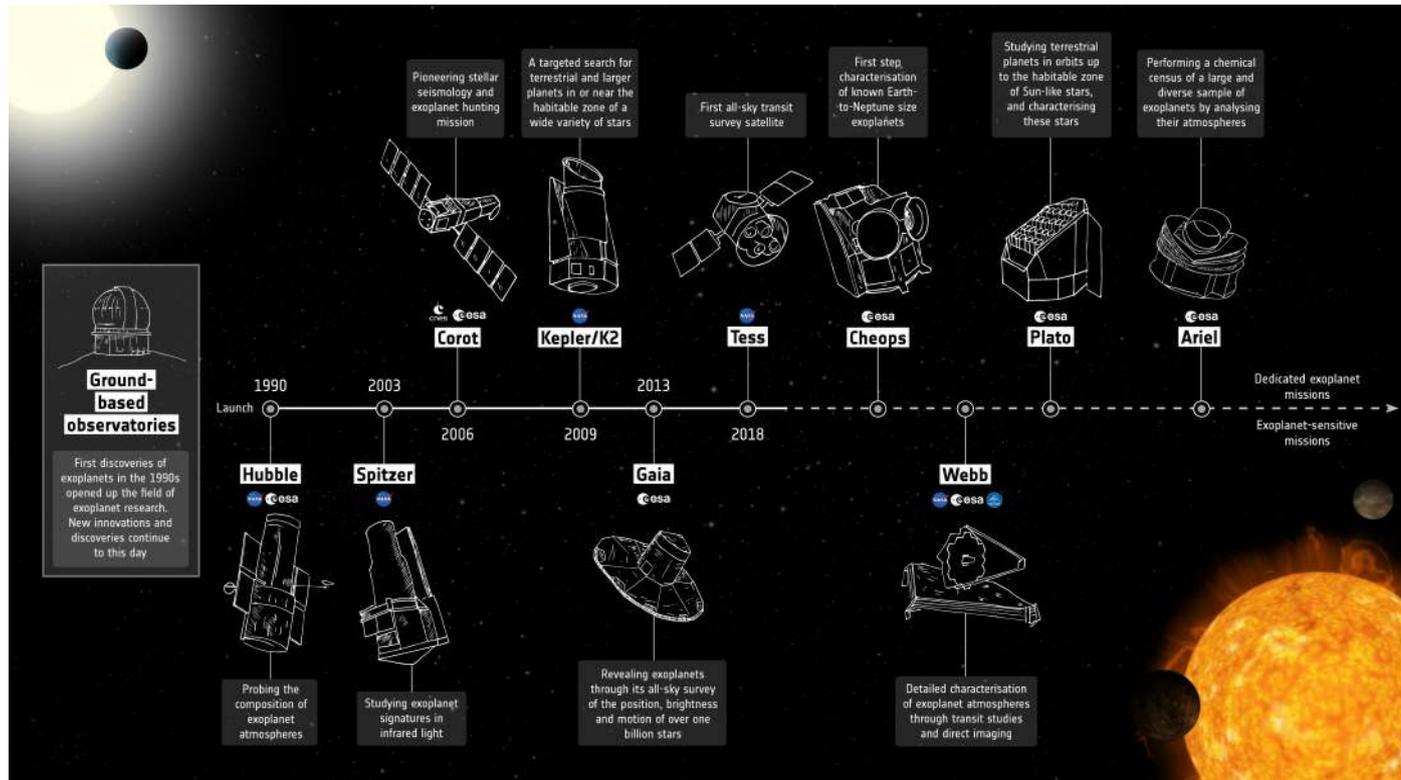
Microlenti gravitazionali: M_p



Altri metodi di detezione

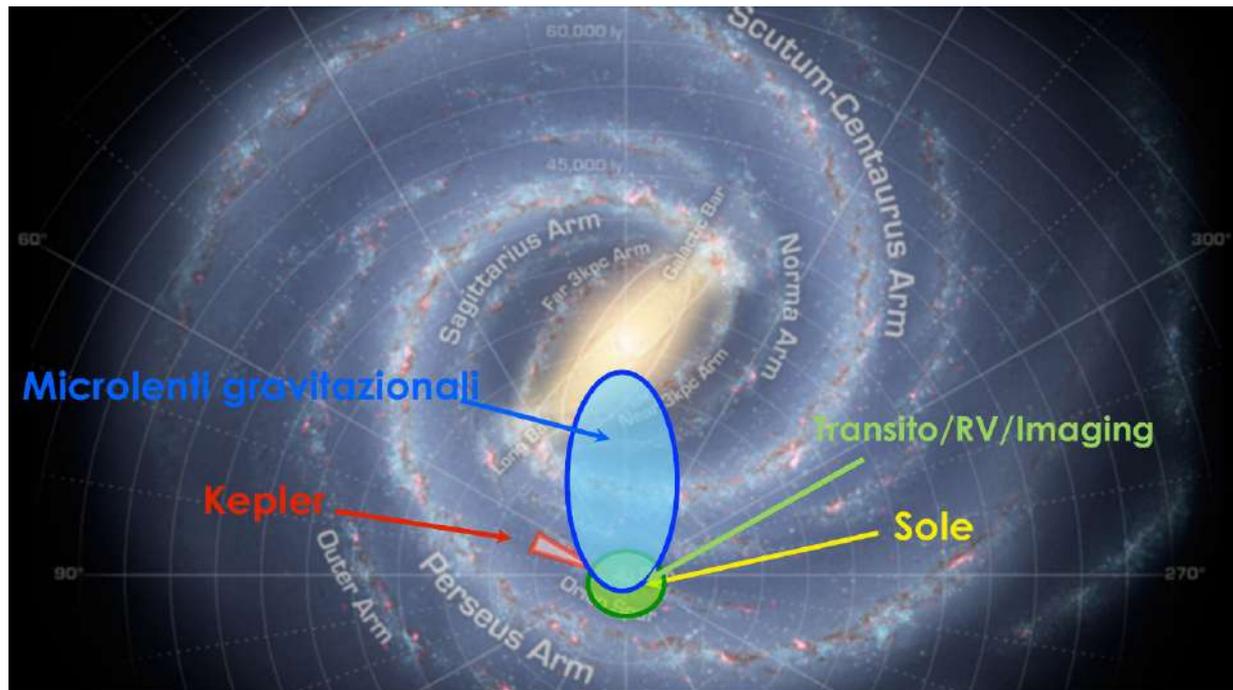
- Per completezza enunciamo tutti gli altri metodi:
 - Direct imaging
 - Timing variation
 - Transit time variations
 - Orbital brightness modulation
 - Astrometry

Detezione/caratterizzazione



4126 esopianeti, 3067 sistemi planetari, 671 sistemi multipli

Exoplanet.eu 2/11/2019



Ci sono 100 miliardi di stelle nella Via Lattea

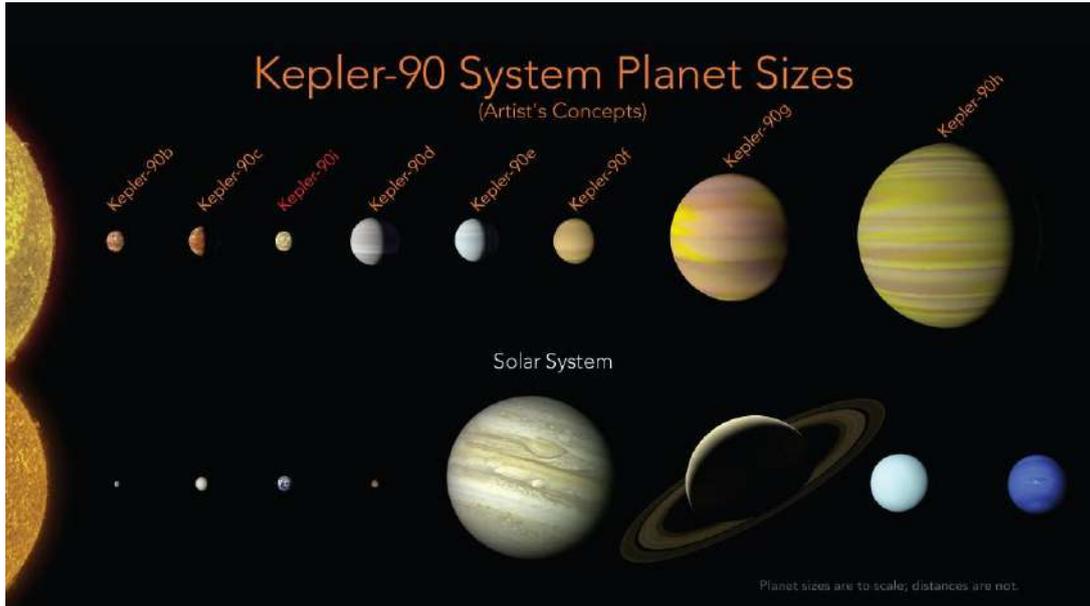
Abbiamo esplorato un volume molto piccolo della nostra galassia

Stimiamo che in media ogni stella abbia un pianeta
(Swift et al. ApJ 2013)

Il 70% di stelle sono di tipo M

Kepler – 90

Primo sistema planetario con 8 pianeti intorno a stella G0 V (300K piu' del Sole)



Companion (in order from star)	Mass	Semimajor axis (AU)	Orbital period (days)	Eccentricity	Inclination	Radius
b	—	0.074 ± 0.016	7.008151	—	89.4°	$1.31 R_\oplus$
c	—	0.089 ± 0.012	8.719375	—	89.68°	$1.18 R_\oplus$
i	—	0.107 ± 0.03	14.44912	—	89.2°	$1.32 R_\oplus$
d	—	0.32 ± 0.05	59.73667	—	89.71°	$2.88 R_\oplus$
e	—	0.42 ± 0.06	91.93913	—	89.79°	$2.67 R_\oplus$
f	—	0.48 ± 0.09	124.9144	0.01	89.77°	$2.89 R_\oplus$
g	$<0.8 M_J$	0.71 ± 0.08	210.60697	—	89.8°	$8.13 R_\oplus$
h	$<1.2 M_J$	1.01 ± 0.11	331.60059	—	89.6°	$11.32 R_\oplus$

Distanza: 2480 anni luce

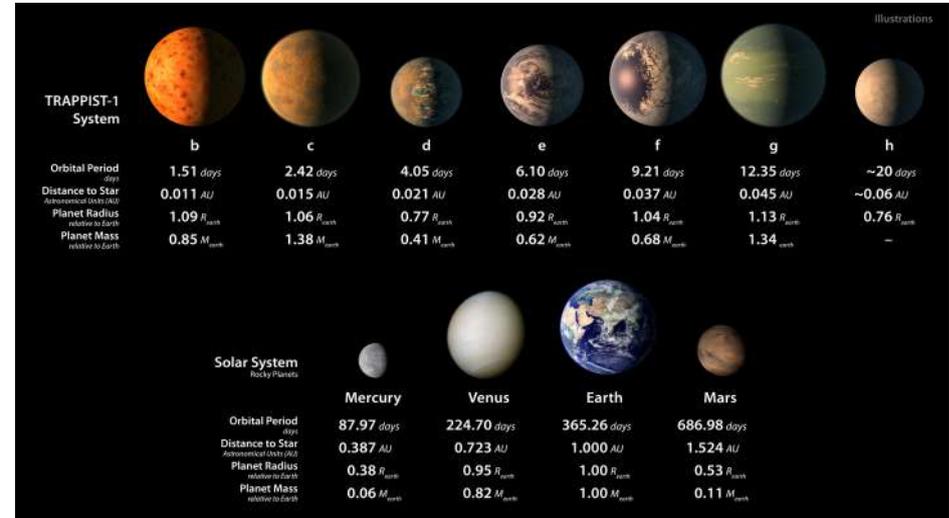
Cabrera, J., et al., ApJ 781, 18, 2014

Trappist – 1

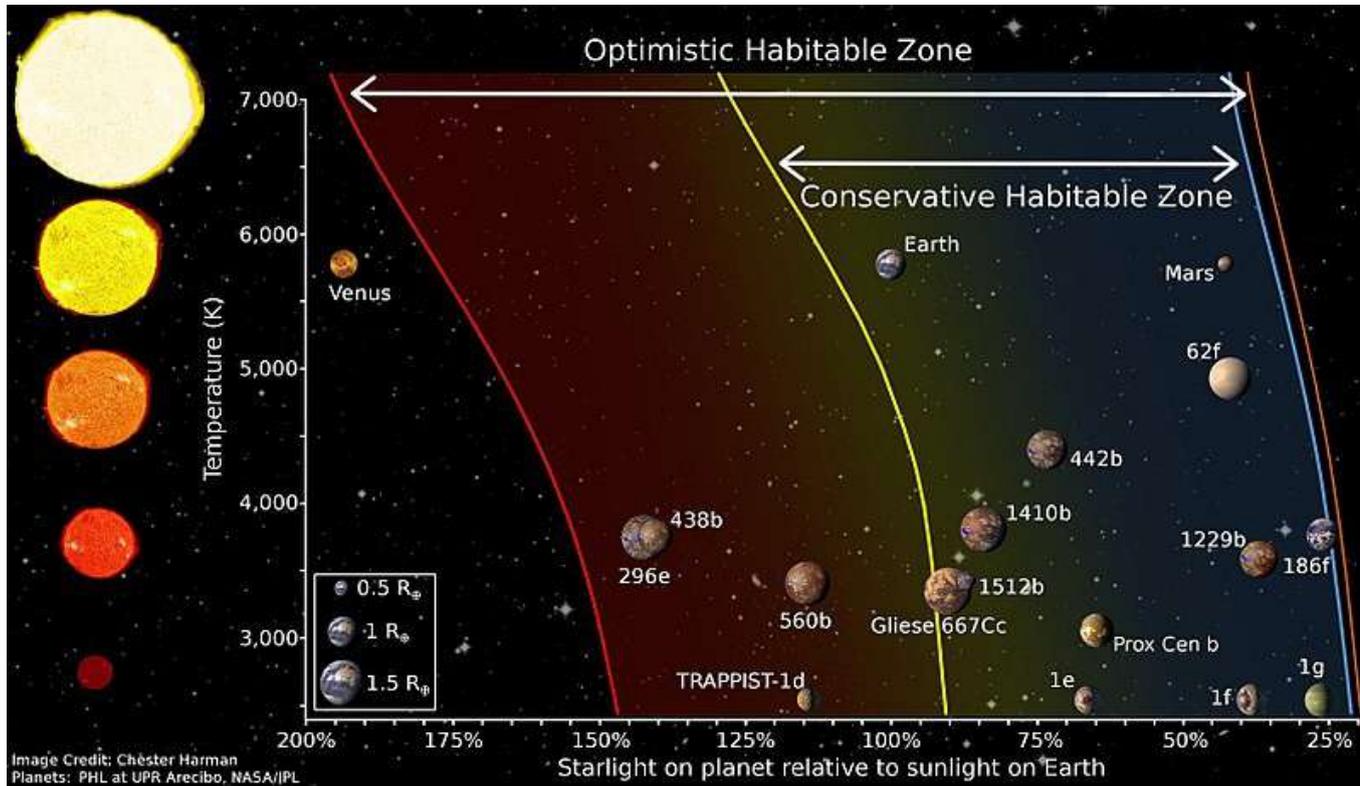
Primo sistema planetario con 7 pianeti intorno a una stella M8

Parameter	Value							
Star	TRAPPIST-1 = 2MASS J23062928-0502285							
Magnitudes ¹	V=18.8, R=16.6, I=14.0, J=11.4, K=10.3							
Distance [pc] ¹	12.1±0.4							
Mass M_* [M_\odot] ²	0.0802±0.0073							
Radius R_* [R_\odot] ²	0.117±0.0036 ← 12.1 x 3.26 ly							
Density ρ_* [ρ_\oplus]	50.7 ^{+1.2} _{-2.2} ρ_\oplus							
Luminosity L_* [L_\odot] ²	0.000524±0.000034							
Effective temperature T_{eff} [K] ²	2559±50							
Metallicity [Fe/H] ² [dex]	+0.04±0.08							
Planets	b	c	d	e	f	g	h	
Number of unique transits observed	37	29						
Period P [d]	1.51087081 ±0.60×10 ⁻⁵	2.4218233 ±0.17×10 ⁻³	4.049610 ±0.63×10 ⁻³	6.099615 ±0.11×10 ⁻⁴	9.206690 ±0.15×10 ⁻³	12.35294 ±0.12×10 ⁻³	20 ⁺¹⁵ ₋₆	
Mid-transit time $T_n - 2,450,000$ [BJD _{TDB}]	7322.51736 ±0.00010	7282.80728 ±0.00019	7670.14165 ±0.00035	7660.37859 ±0.00038	7671.39767 ±0.00023	7665.34937 ±0.00021	7662.55463 ±0.00056	
Transit depth $(R_p/R_*)^2$ [%]	0.7266 ±0.0088	0.687 ±0.010	0.367 ±0.017	0.519 ±0.026	0.673 ±0.023	0.782 ±0.027	0.352 ±0.0326	
Transit impact parameter $b [R_*]$	0.126 ^{+0.092} _{-0.078}	0.161 ^{+0.076} _{-0.054}	0.17±0.11	0.12 ^{+0.11} _{-0.09}	0.382 ±0.035	0.421 ±0.031	0.45 ^{+0.22} _{-0.29}	
Transit duration W [min]	36.40±0.17	42.37±0.22	49.13±0.65	57.21±0.71	62.60±0.60	68.40±0.66	76.7 ^{+2.7} _{-2.6}	
Inclination i [°]	89.65 ^{+0.22} _{-0.25}	89.67±0.17	89.75±0.16	89.86 ^{+0.10} _{-0.12}	89.680 ±0.034	89.710 ±0.025	89.80 ^{+0.10} _{-0.05}	
Eccentricity e (2- σ upper limit from TTVs)	<0.081	<0.083	<0.070	<0.085	<0.063	<0.061	-	
Semi-major axis a [10^3 au]	11.1±0.34	15.21±0.47	21.44 ^{+0.66} _{-0.63}	28.17 ^{+0.83} _{-0.87}	37.1±1.1	45.1±1.4	63 ⁺²⁷ ₋₁₃	
Scale parameter a/R_*	20.50 ^{+0.18} _{-0.21}	28.08 ^{+0.22} _{-0.22}	39.55 ^{+0.30} _{-0.39}	51.97 ^{+0.40} _{-0.72}	68.4 ^{+0.5} _{-1.0}	83.2 ^{+0.8} _{-1.2}	117 ⁺⁵⁰ ₋₂₆	
Irradiation $S_p [S_{\text{Earth}}]$	4.25±0.33	2.27±0.18	1.143 ±0.088	0.662 ±0.051	0.382 ±0.030	0.258 ±0.020	0.131 ^{+0.083} _{-0.067}	
Equilibrium temperature [K] ^b	400.1 ±7.7	341.9 ±6.6	288.0 ±5.6	251.3 ±4.9	219.0 ±4.2	198.6 ±3.8	168 ⁺²³ ₋₂₈	
Radius $R_p [R_{\text{Earth}}]$	1.086 ±0.035	1.056 ±0.035	0.772 ±0.030	0.918 ±0.039	1.045 ±0.038	1.127 ±0.041	0.755 ±0.034	
Mass $M_p [M_{\text{Earth}}]$ (from TTVs)	0.85 ±0.72	1.38 ±0.61	0.41 ±0.27	0.62 ±0.58	0.68 ±0.18	1.34 ±0.88	-	
Density $\rho_p [\rho_{\text{Earth}}]$	0.66 ±0.56	1.17 ±0.53	0.89 ±0.60	0.80 ±0.76	0.60 ±0.17	0.94 ±0.63	-	

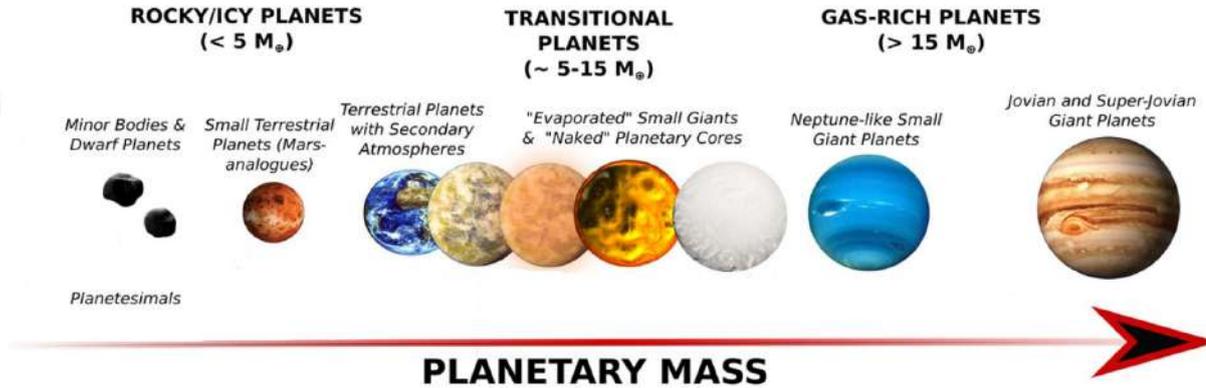
Gillon, M., et al., Nature 542, 546, 2017



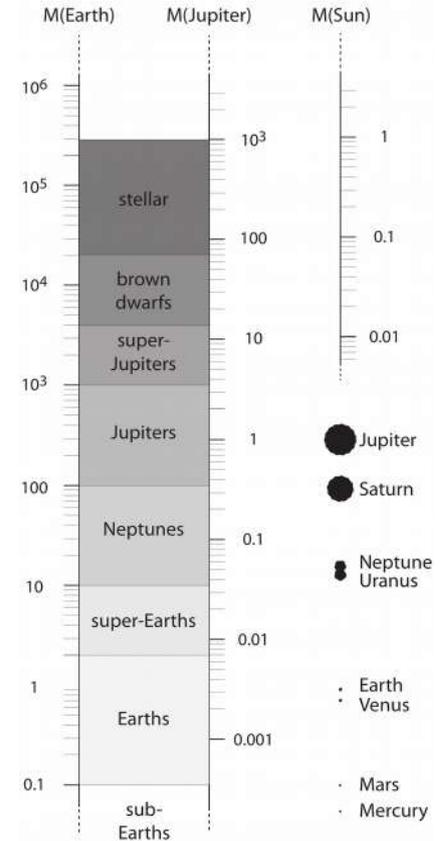
Zona abitabile



Classificazione per massa e raggio

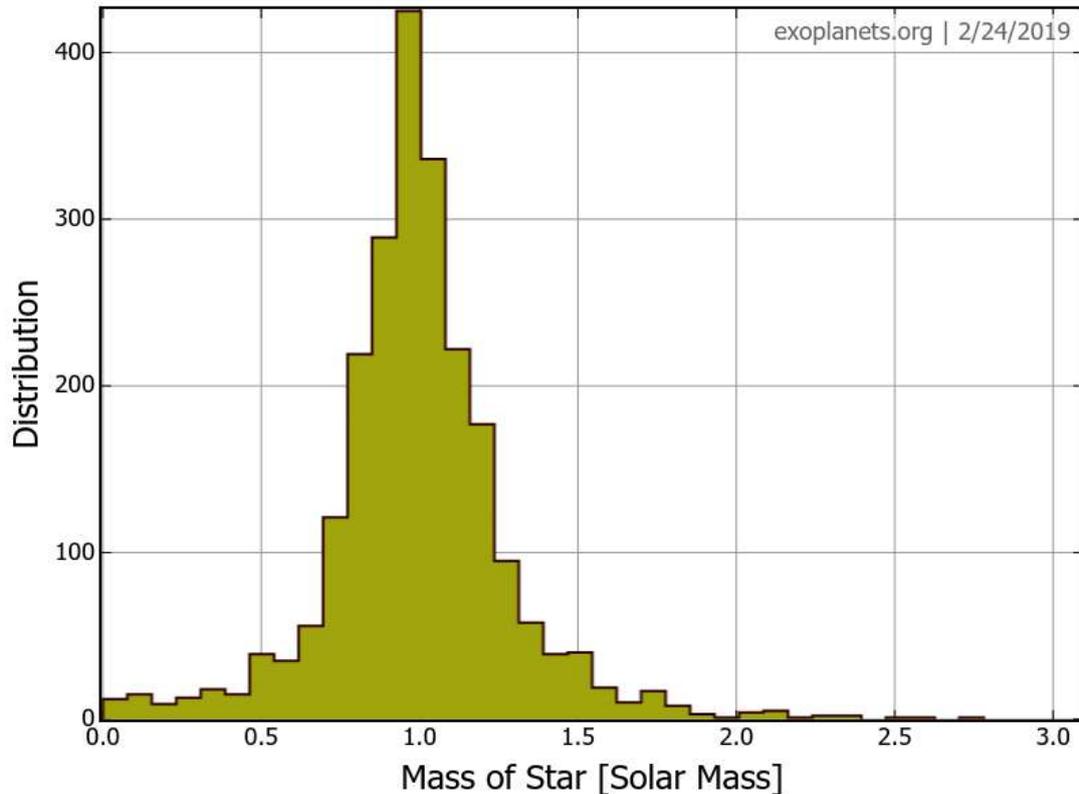


Adapted from Turrini & Riazoli



Perryman, 2018

Planet star-mass distribution (biased)

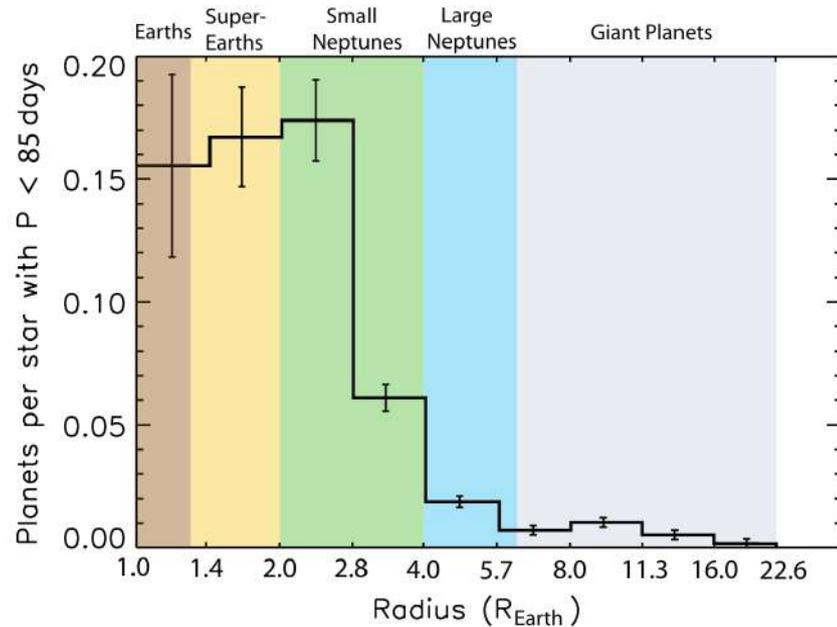


La forma della distribuzione e' affetta da bias osservativi

Il picco di emissione per stelle di tipo G si trova nella regione visibile dello spettro elettromagnetico, cioe' dove sono piu' sensibili sensori di tipo CCD.

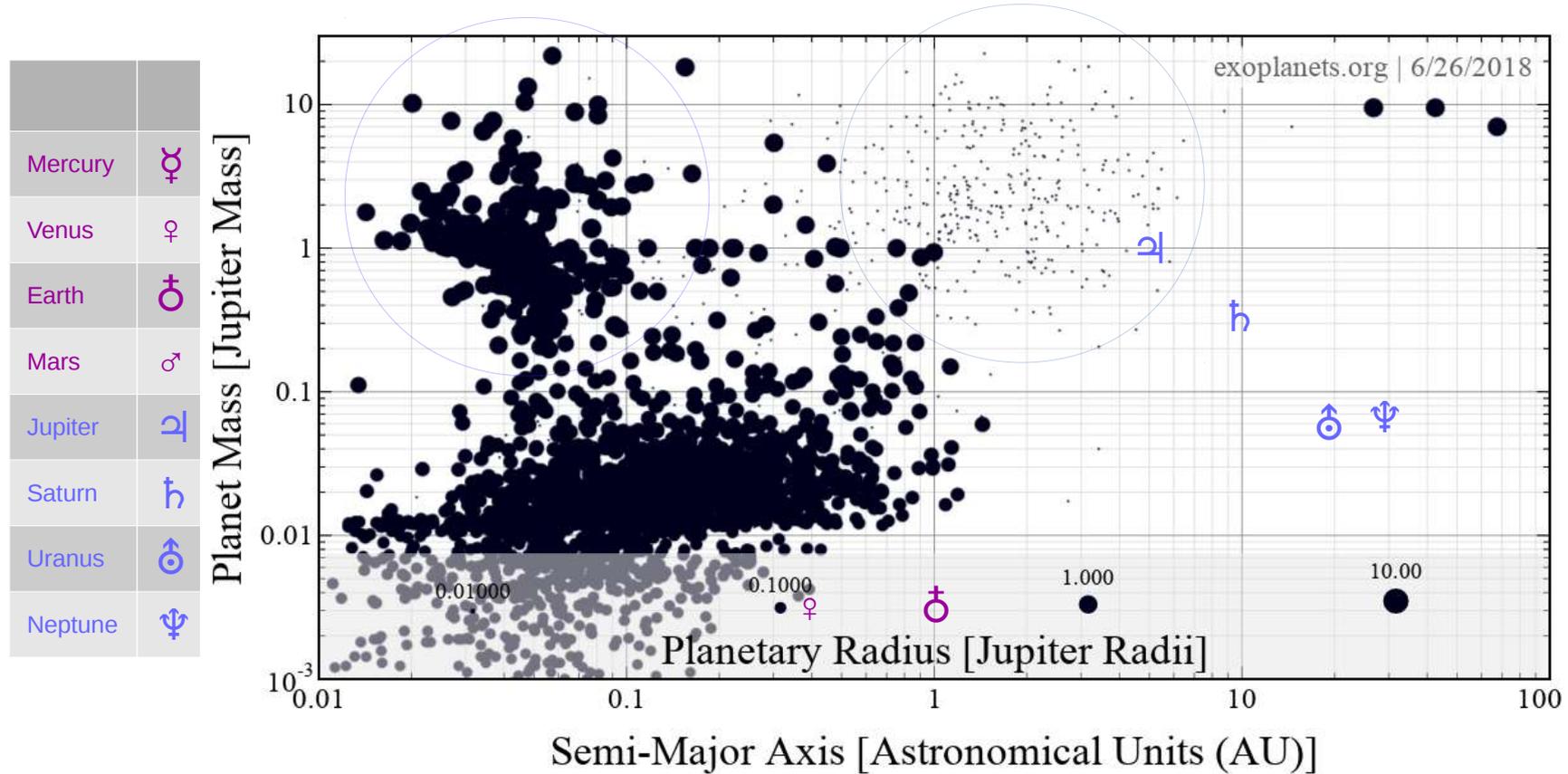
Rilevare pianeti intorno a stelle M richiede sensori che siano sensibili nel vicino infrarosso.

Planet size distribution



- Pianeti piccoli sono piu' frequenti
- La popolazione e' dominata da super-Terre e mini-Nettuni
- Classi planetarie che non sono rappresentate nel nostro Sistema Solare.

Distribuzione massa – semiasse maggiore



Formazione e evoluzione planetarie

Qui si formano pianeti gassosi

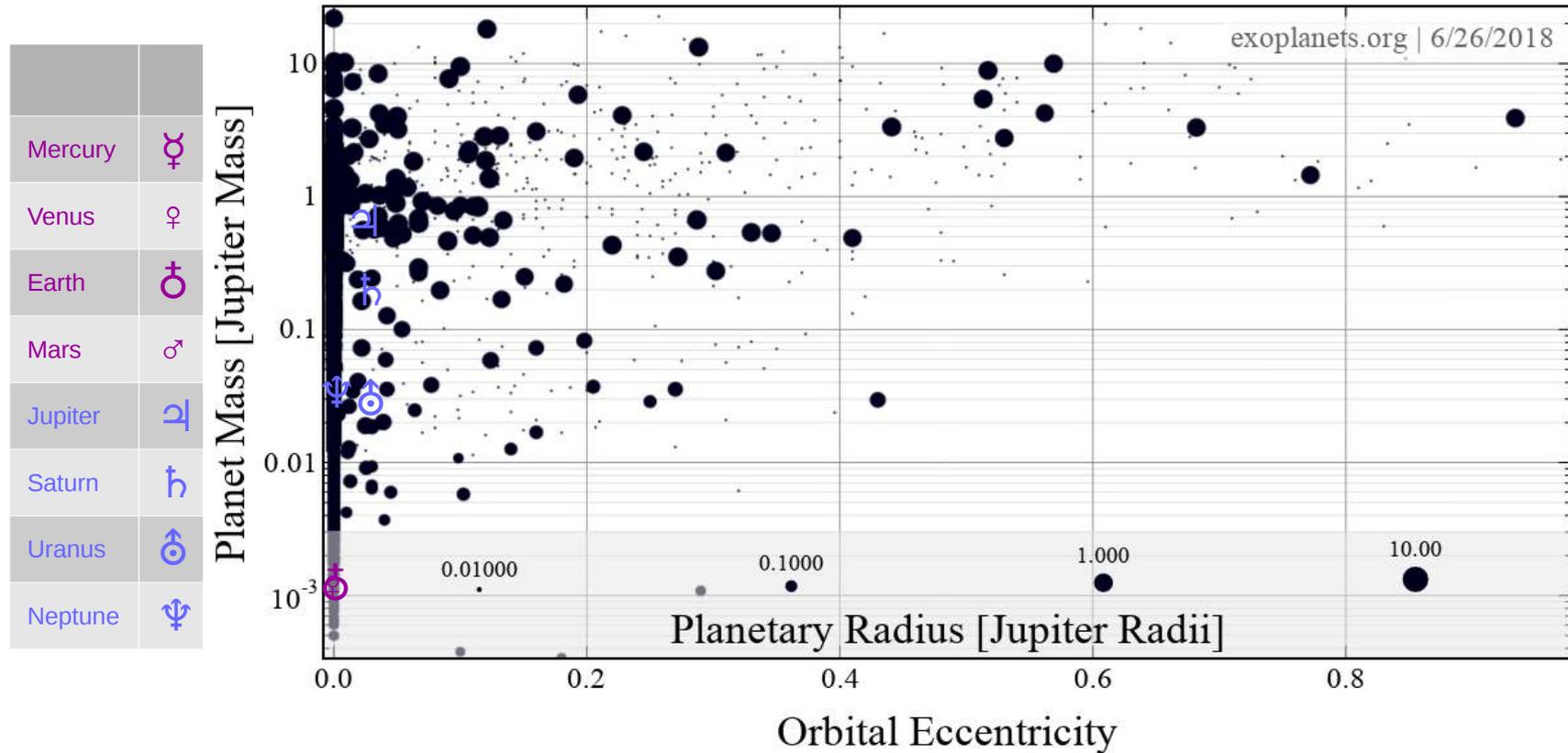
Accrescimento

Interazione con la stella

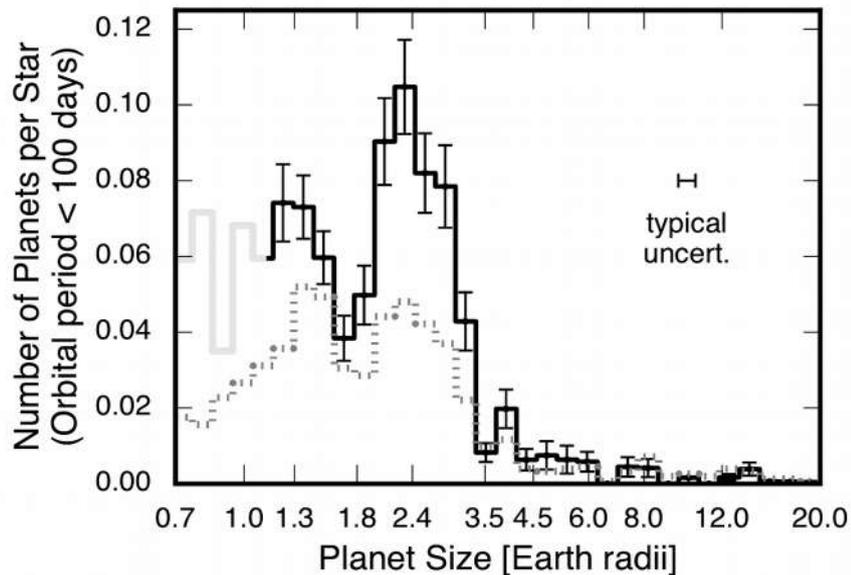
Ghiaccio, polvere, gas

Migrazione

Mass-Eccentricity distribution



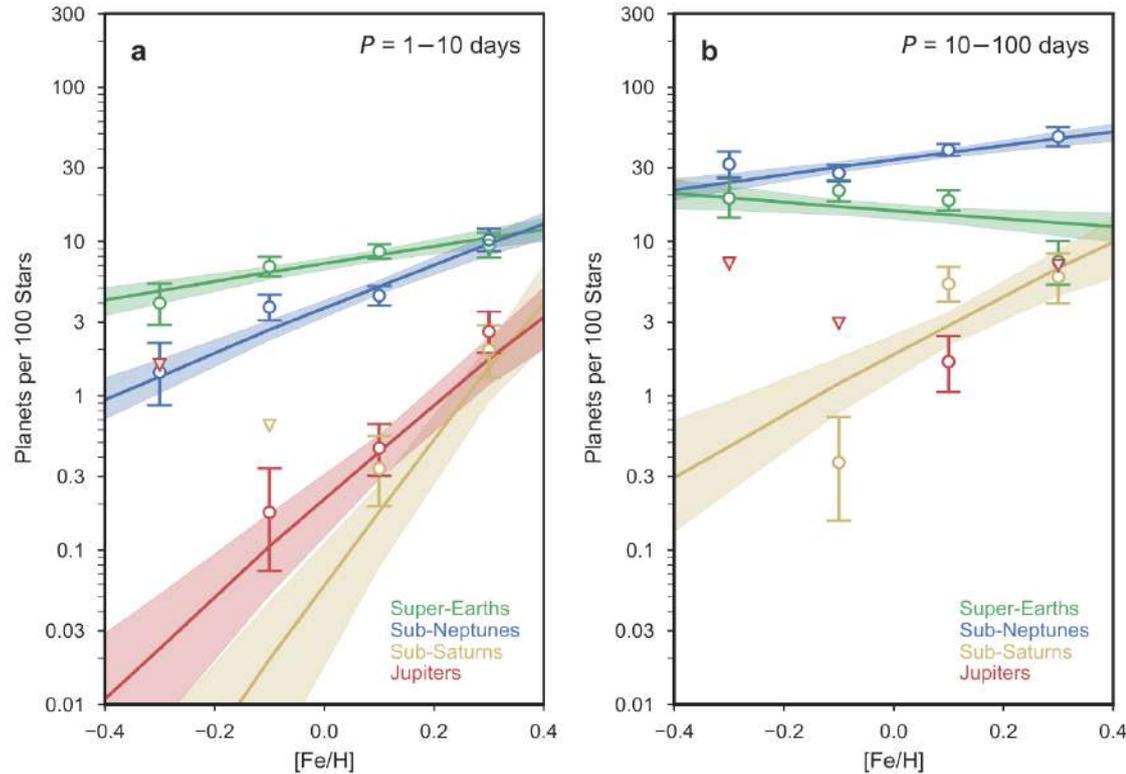
Gap in the radius distribution of small planets



Fulton, B. J., et al., ApJ 154, 109, 2017
Fulton, B. J., et al., AJ 156, 264, 2018 *

- Esopianeti piccoli (sub-nettuniani) si manifestano in due classi distinte
 - La prima con raggi $\sim 2.4 R_E$
 - La seconda con raggi $\sim 1.3 R_E$
 - Pianeti con raggi intermedi sono piu' rari
- Planets fall into two classes, one with radii of ~ 2.4 and another with radii of $\sim 1.3 R_E$
- Questa scoperta e' considerata una conseguenza dei meccanismi di formazione planetaria, ma i dettagli rimangono ancora incerti.

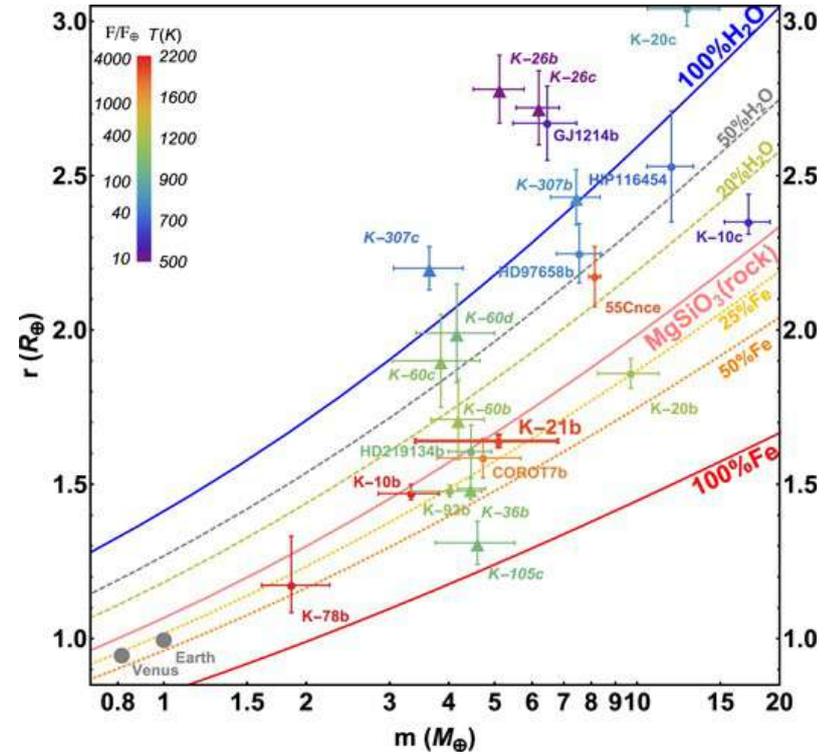
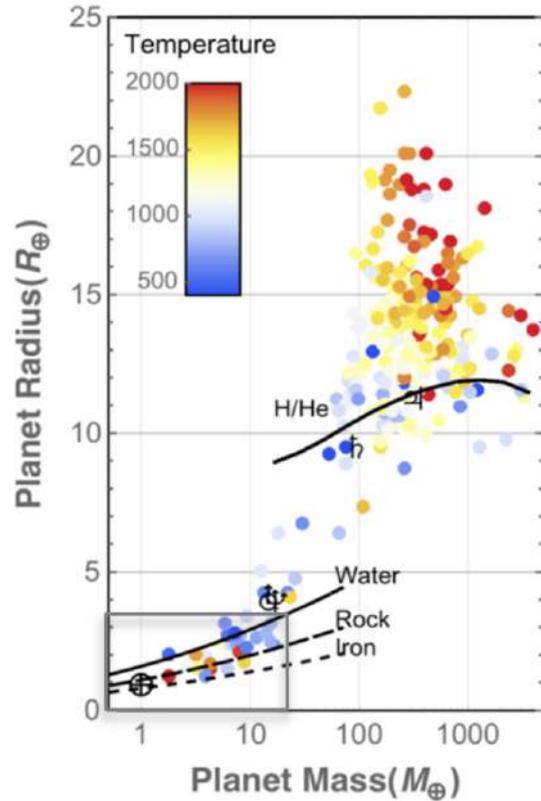
Planet-metallicity correlation



Petigura, E. A., AJ 155, 89, 2018

- Pianeti più massivi sono scoperti preferenzialmente intorno a stelle con alta metallicità'
- Questo suggerisce che pianeti con piccola massa si possono formare intorno a ogni tipo di stella, mentre quelli più massivi solo intorno a stelle con alta metallicità'

Densita' – Composizione media



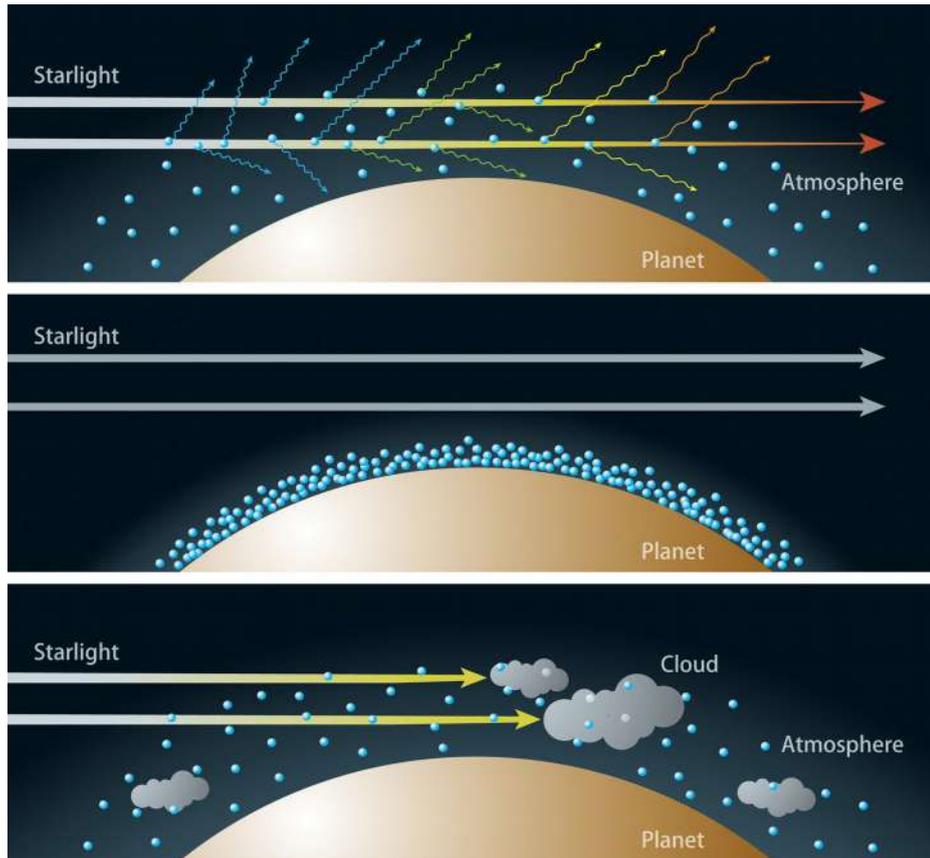
López-Morales, et al., ApJ 152, 204, 2016

Spettroscopia di transito

The stellar photons are filtered through the planetary atmosphere



Spettroscopia di transito

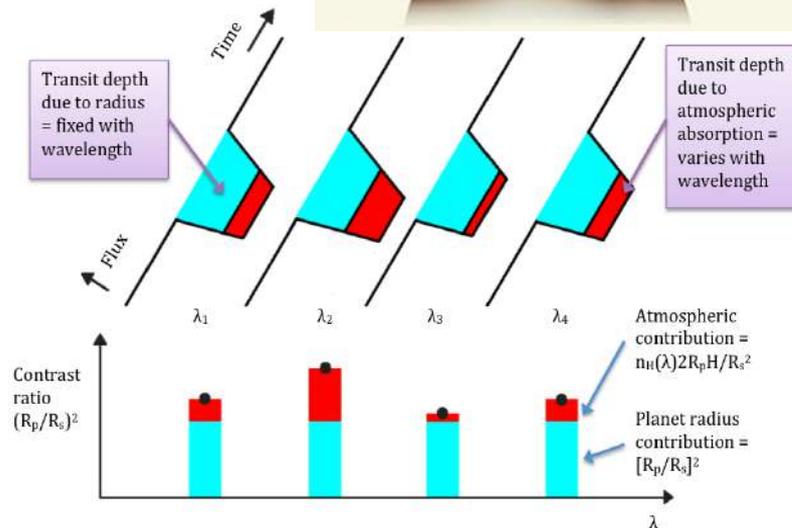
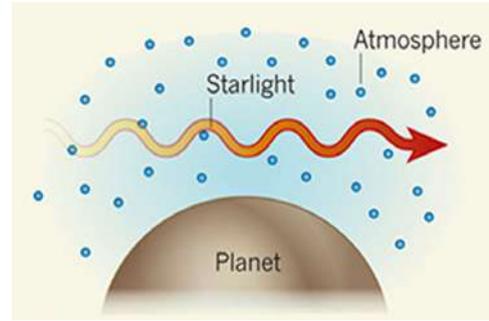


- Durante il transito, una parte della radiazione stellare filtra attraverso l'atmosfera esoplanetaria
 - Sensibile a scattering atmosferico e assorbimento da parte di atomi e molecole
 - L'effetto e' tanto piu' grande quanto piu' estesa e' l'esoatmosfera.
 - Atmosfera estesa: gas leggeri come H/He
 - Atmosfera compatta: gas pesanti, per es N_2
- Nuvole costituiscono un'ulteriore sfida alla detezione spettroscopica

<https://exoplanets.nasa.gov/resources/168/rayleigh-scattering-in-exoplanet-atmospheres/>

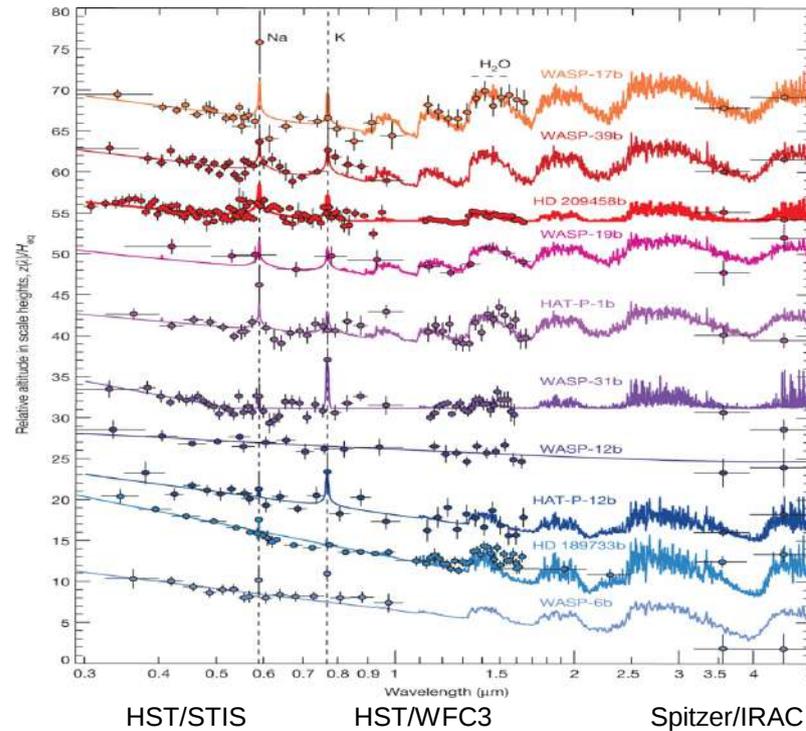
Primary transit spectroscopy

Both planet body and atmosphere block starlight, but atmospheric contribution changes with wavelength, due to absorption (or scattering) by molecules



Credit: S. Sarkar

HST/Spitzer transmission spectra of Hot Jupiters



DK Sing *et al.* 2016 doi:10.1038/nature16068

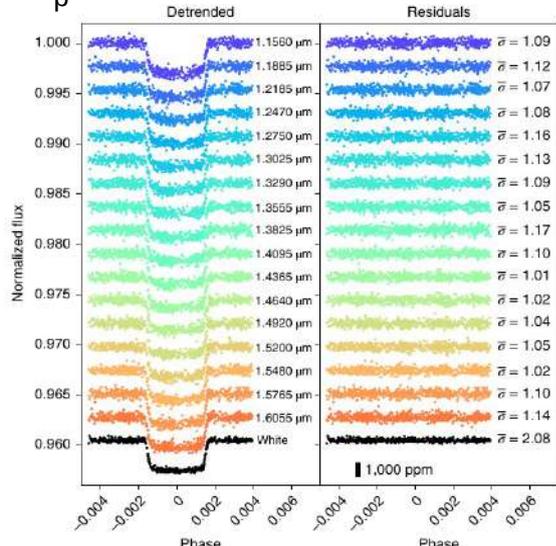
K2 18b

Stella ospite: M2.5 (3450K)

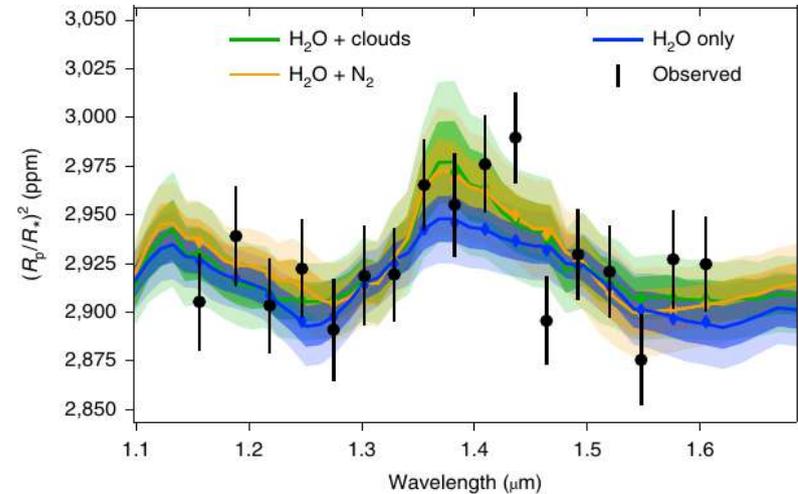
$R_p \sim 2.3 R_E$

$M_p \sim 8 M_E$

$T_p \sim$ between 270 K and 310 K



Tsiaras et al., 2019



Spettroscopia: arrivano i *Roaring Twenties*

James Webb Space Telescope
(2021)

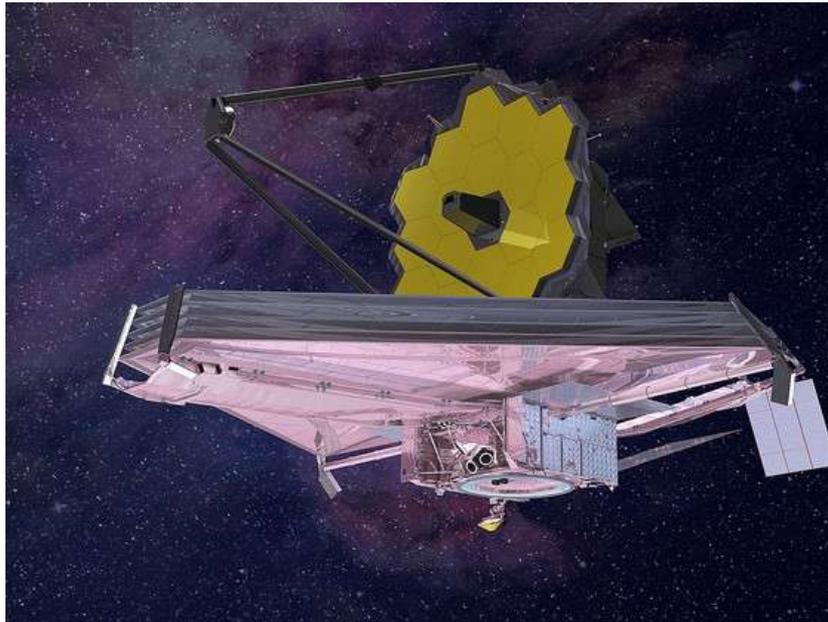


Image credit: Northrop
Grumman

ARIEL Space Mission
(2028)



Image credit: Ariel Consortium

Nessun posto e' bello come casa (nostra)



"If we are talking about exoplanets, things should be clear: We will not migrate there, kill all the statements that say, 'OK, we will go to a livable planet if one day life is not possible on Earth.' "

"We must take care of our planet, it is very beautiful and still absolutely livable."

Michel Mayor, Nobel laureate 2019

