



Università della Terza Età "Cardinale Giovanni Colombo" – Milano

A.A. 2023 - 2024

Corso di Astrofisica

Docente : **Adriano Gaspani**

Lezione 19

La ricerca della vita nell'Universo: Mondi Alien

I pianeti extrasolari

Un po' di storia

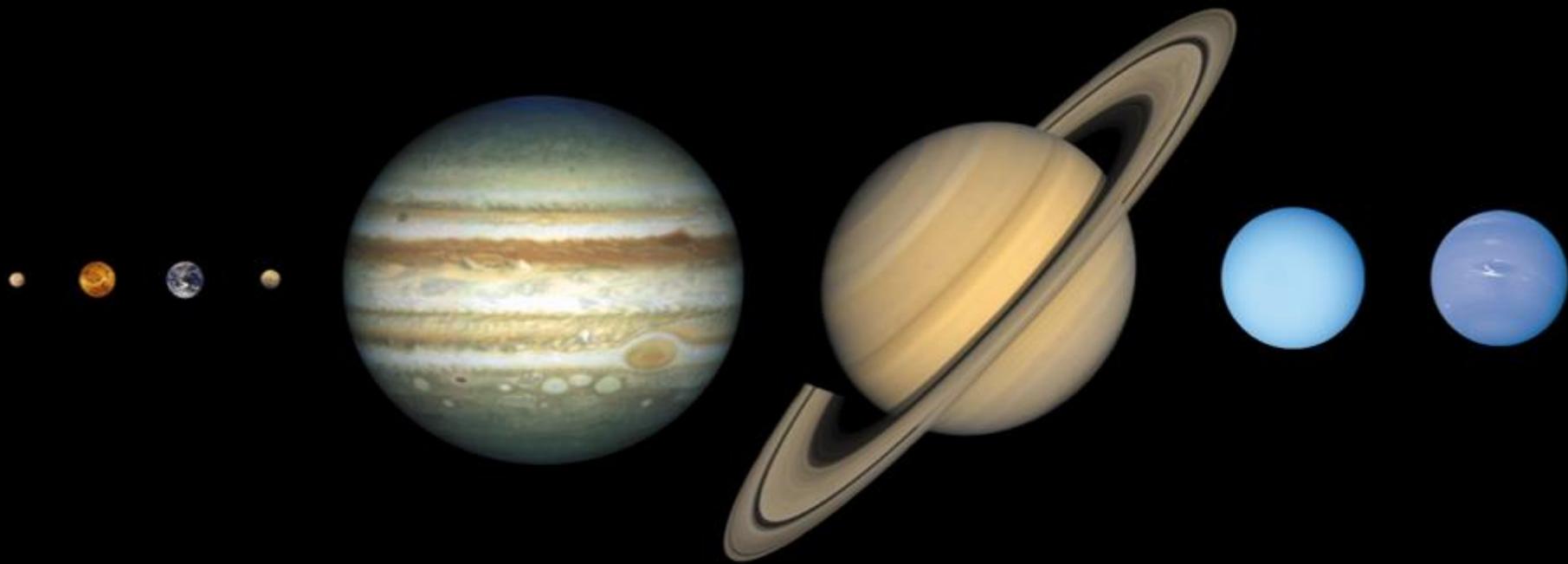
Tecniche per la rilevazione dei pianeti extrasolari

I risultati attuali e le prospettive future

La ricerca della vita extraterrestre

Un po' di storia

Il Sistema Solare

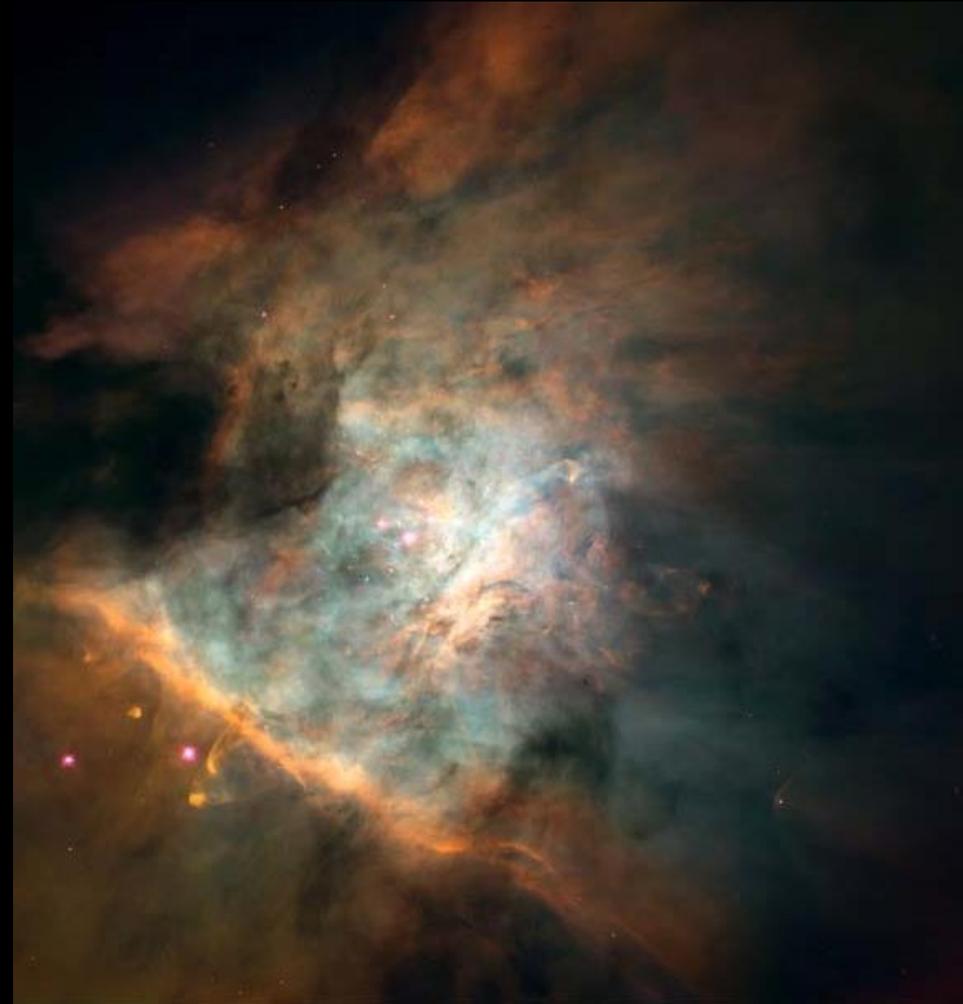


Un po' di storia

Come si è formato il Sistema Solare?

Si ritiene che il Sole e i pianeti si siano formati da una nebulosa di gas interstellari in contrazione, in un periodo di tempo compreso tra 5 e 4,6 miliardi di anni fa.

Secondo le attuali teorie, la nebulosa primordiale aveva una temperatura molto bassa ed era costituita per la maggior parte da idrogeno e da elio, ma erano presenti una grande varietà di elementi chimici più pesanti e polveri.



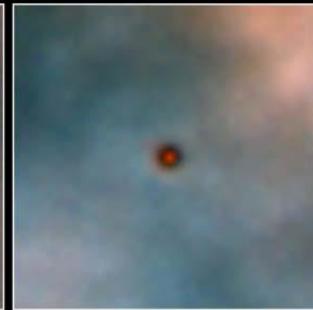
La nebulosa di Orione: una nube di gas culla di numerose stelle.

Un po' di storia

Come si è formato il Sistema Solare?

Circa 5 miliardi di anni fa al centro della nebulosa si sarebbe creata una parte più densa che successivamente si sarebbe contratta dando origine al Sole.

Contemporaneamente, tale contrazione avrebbe causato un aumento della velocità di rotazione e della forza centrifuga del sistema: la nube si sarebbe appiattita assumendo un aspetto simile a un disco rotante intorno al Sole.



*Dischi
protoplanetari
nella nebulosa
di Orione*

Un po' di storia

Come si è formato il Sistema Solare?

Nelle fasi finali del processo, un forte vento solare avrebbe trascinato verso le regioni più esterne tutti gli elementi leggeri, soprattutto idrogeno ed elio.

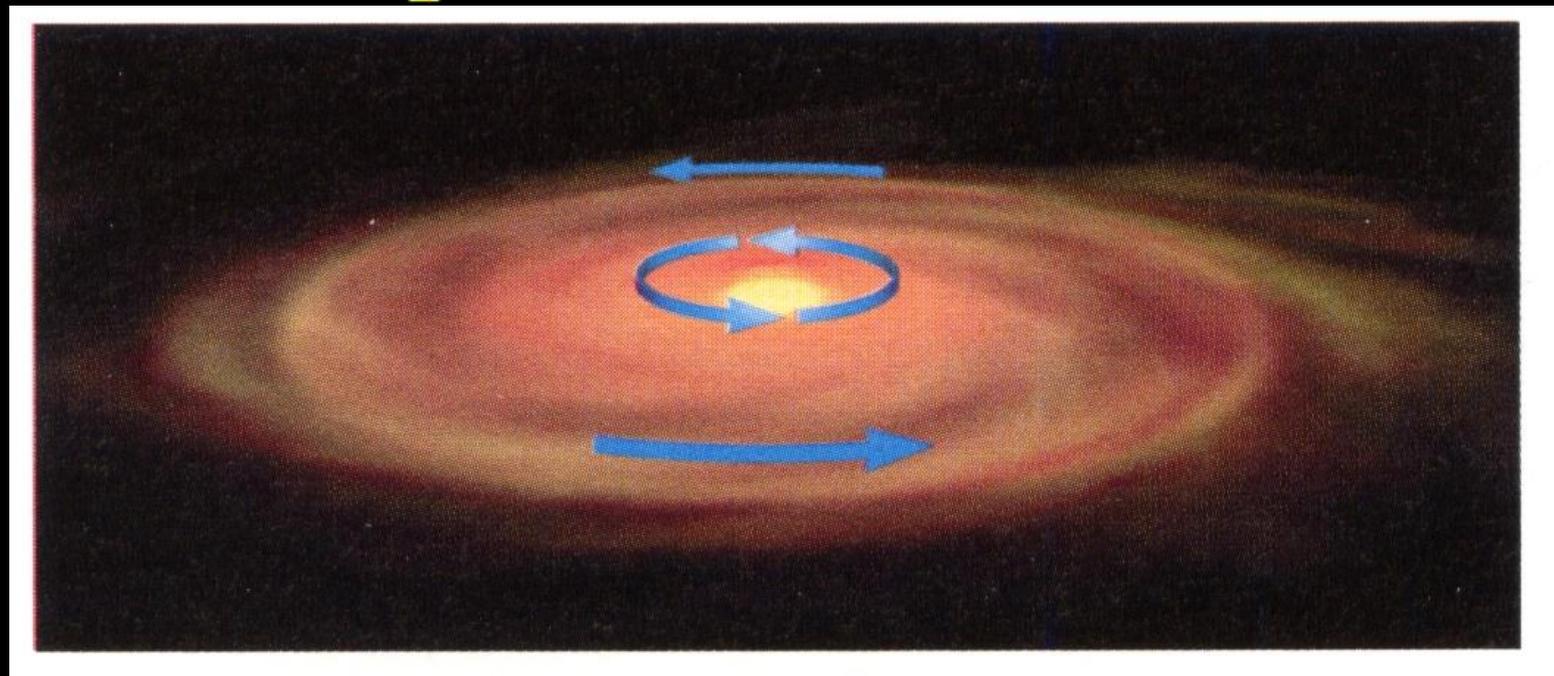
Mentre il nucleo del proto-Sole si riscaldava fino a raggiungere le temperature necessarie per le reazioni termonucleari, nel disco circostante accrescevano alcuni corpi attraverso delle collisioni e attirando i frammenti più piccoli presenti nello spazio circostante. Si sarebbero formati così i proto-pianeti, dai quali sarebbero derivati gli attuali pianeti, mentre il proto-Sole si trasformava in una stella gialla e stabile.



La formazione dei sistemi planetari.

Oggi si ritiene che i pianeti si formino insieme alla loro stella madre dal collasso di nubi di gas e di polvere.

La nube assume una forma a disco in rotazione intorno alla giovane stella, e infine forma i pianeti.



Un po' di storia

Che cos'è un pianeta extrasolare?

Il *Working Group on Extrasolar Planets* (WGESP) dell'IAU dà la seguente definizione (di lavoro, quindi suscettibile a revisioni) di pianeta extrasolare:

Oggetti con massa inferiore alla massa limite per la fusione termonucleare del deuterio (attualmente stimata pari a 13 volte la massa di Giove [M_J] per gli oggetti di metallicità solare) che orbitino intorno a stelle o resti di stelle (non importa come si siano formati); il minimo di massa richiesta sarà la stessa che si usa nel Sistema Solare (Mercurio).

Oggetti con massa minore di $70 M_J$, ma superiore a $13 M_J$ sono “nane brune”, non importa come si siano formate, nè dove si trovino.

Oggetti liberi in ammassi di stelle giovani con massa inferiore a $13 M_J$ non sono pianeti, ma “sotto-nane brune”.



La massa dei pianeti extrasolari è espressa come rapporto rispetto alla massa di Giove, il pianeta più grande del nostro sistema solare, perché inizialmente gli strumenti a disposizione consentivano solo di scoprire pianeti molto più grandi di Giove. La massa della Terra è pari a 0,00315 masse gioviane (M_J). La massa della Luna è pari a 0,0000387 masse gioviane (M_J).

Un po' di storia

Perché cercare pianeti extrasolari?

La ricerca dei pianeti extrasolari è una recentissima branca dell'astronomia che sta assumendo sempre più un ruolo fondamentale per le sue rilevanti implicazioni in ambito sia culturale sia filosofico.

È da lì che potrebbe giungere una risposta, forse in un futuro neppure troppo lontano, ad una delle domande cruciali per l'umanità:

esistono altre forme di vita, altri mondi abitati?

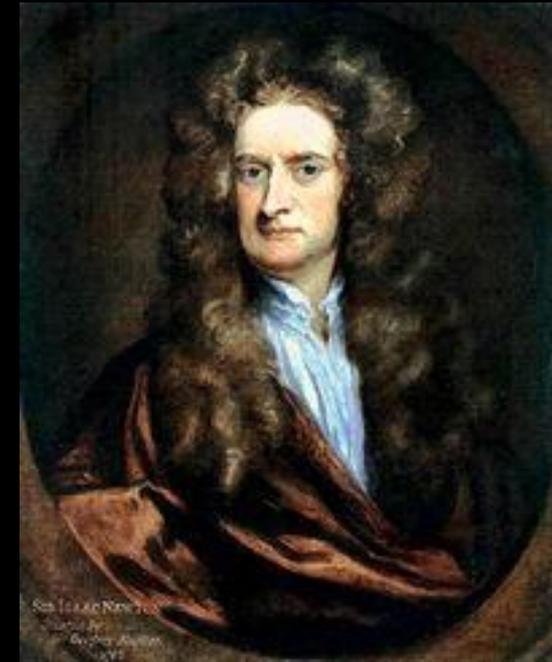
Un po' di storia

Gli inizi

L'esistenza dei pianeti extrasolari fu per lungo tempo ritenuta più che plausibile, e le prime speculazioni risalgono almeno all'inizio del XVIII secolo.

Il primo a ipotizzare l'esistenza degli esopianeti fu Isaac Newton nel 1713.

Falsi annunci di scoperte si susseguirono per tutto il XIX secolo.



Isaac Newton

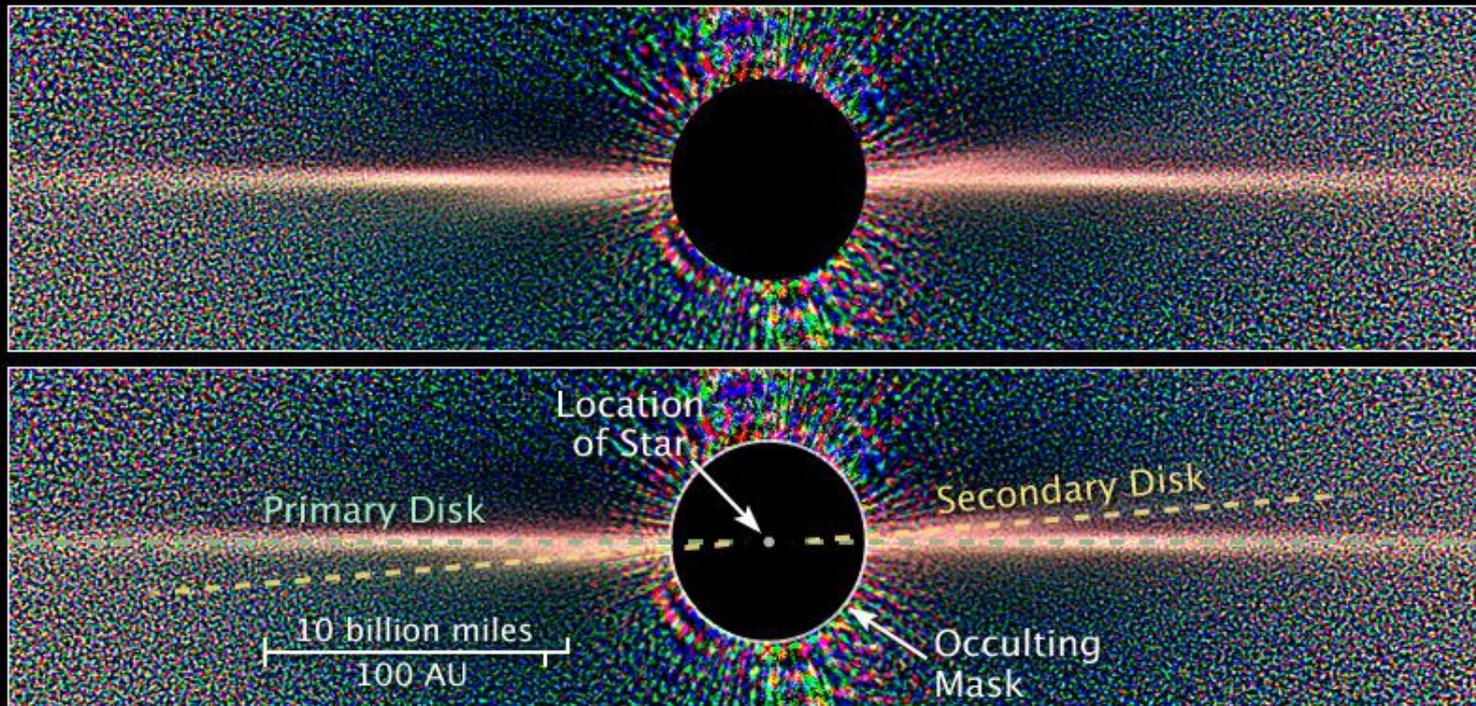
Un po' di storia

Gli inizi

Nel 1984 avviene la scoperta che inizia ad aprire un nuovo orizzonte:
viene scoperto un disco circumstellare attorno alla stella β Pictoris.

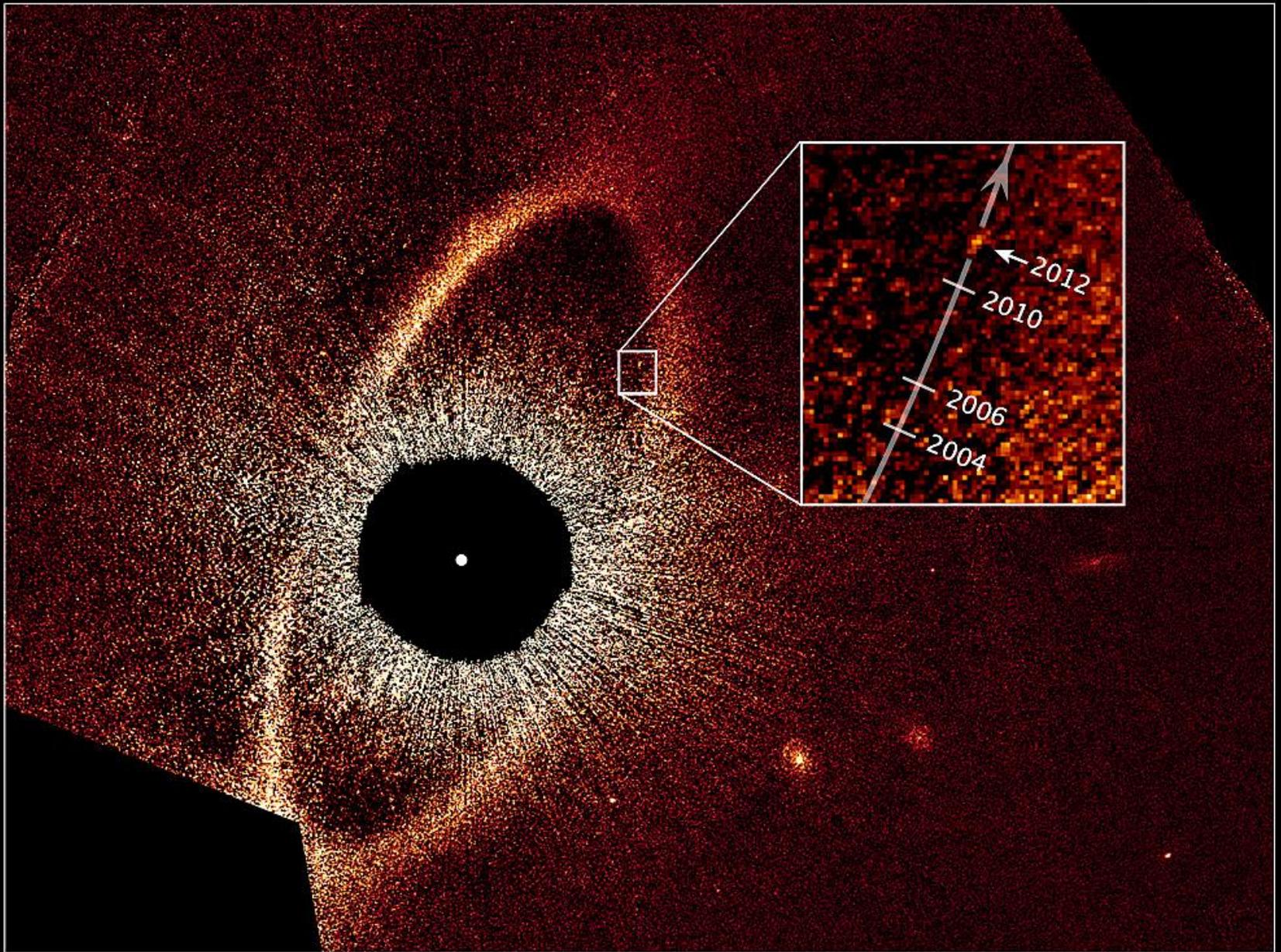
Beta Pictoris

Hubble Space Telescope ■ ACS/HRC



Fomalhaut System

Hubble Space Telescope • STIS



Un po' di storia

Gli inizi

Negli anni successivi vengono fatti diversi annunci di scoperte.

Nel 1989 Latham scopre un corpo di circa $10 M_J$ attorno alla stella HD 114762.

Nel 1991 Alexander Wolszczan identifica due pianeti di massa paragonabile alla massa terrestre, ma in orbita attorno ad una pulsar (PSR 1257+12).

Nel 1993 da Gordon Walker sostiene l'ipotesi che le oscillazioni della velocità radiale della stella γ Cephei potrebbero essere dovute alla presenza un pianeta di circa $2 M_J$.

Sono pianeti troppo “strani” e la comunità scientifica non prende troppo in considerazione questi eventi.

Un po' di storia

Gli inizi

Il 6 ottobre 1995, a Firenze, venne annunciata la scoperta di un pianeta attorno alla stella 51 Pegasi, molto simile al Sole, distante 50 anni luce).

Il pianeta è circa 160 volte più massiccio della Terra e orbita attorno alla sua stella in poco più di 4 giorni a 7,5 milioni di km.



Gli scopritori: Michel Mayor e Didier Queloz dell'Osservatorio di Ginevra



Rappresentazione artistica di 51 Pegasi

Un po' di storia

Gli inizi

Il 6 ottobre 1995 può essere considerata la data che ha segnato l'inizio della ricerca sistematica e convinta di pianeti extrasolari.

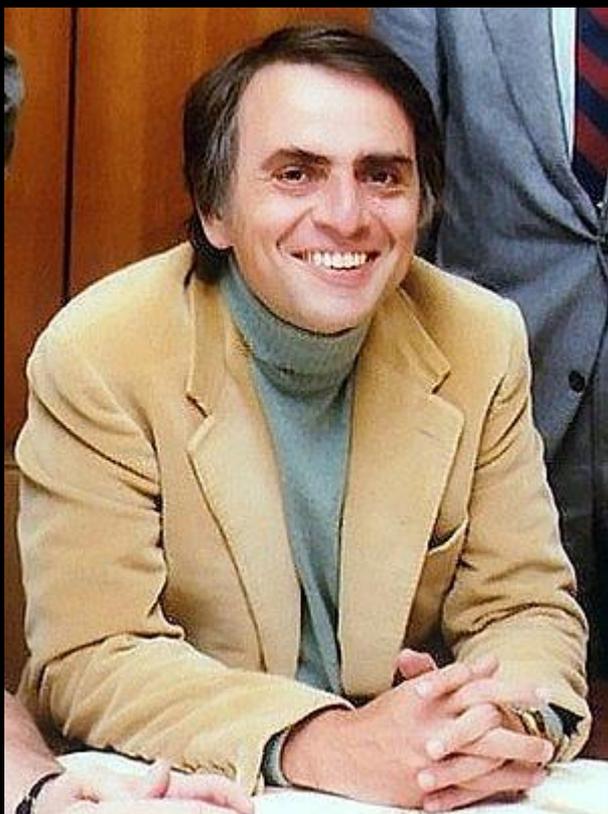
Al 30 ottobre 2017 sono noti oltre 3700 pianeti extrasolari in altri sistemi stellari.

La tipologia dei sistemi planetari extrasolari è molto varia.

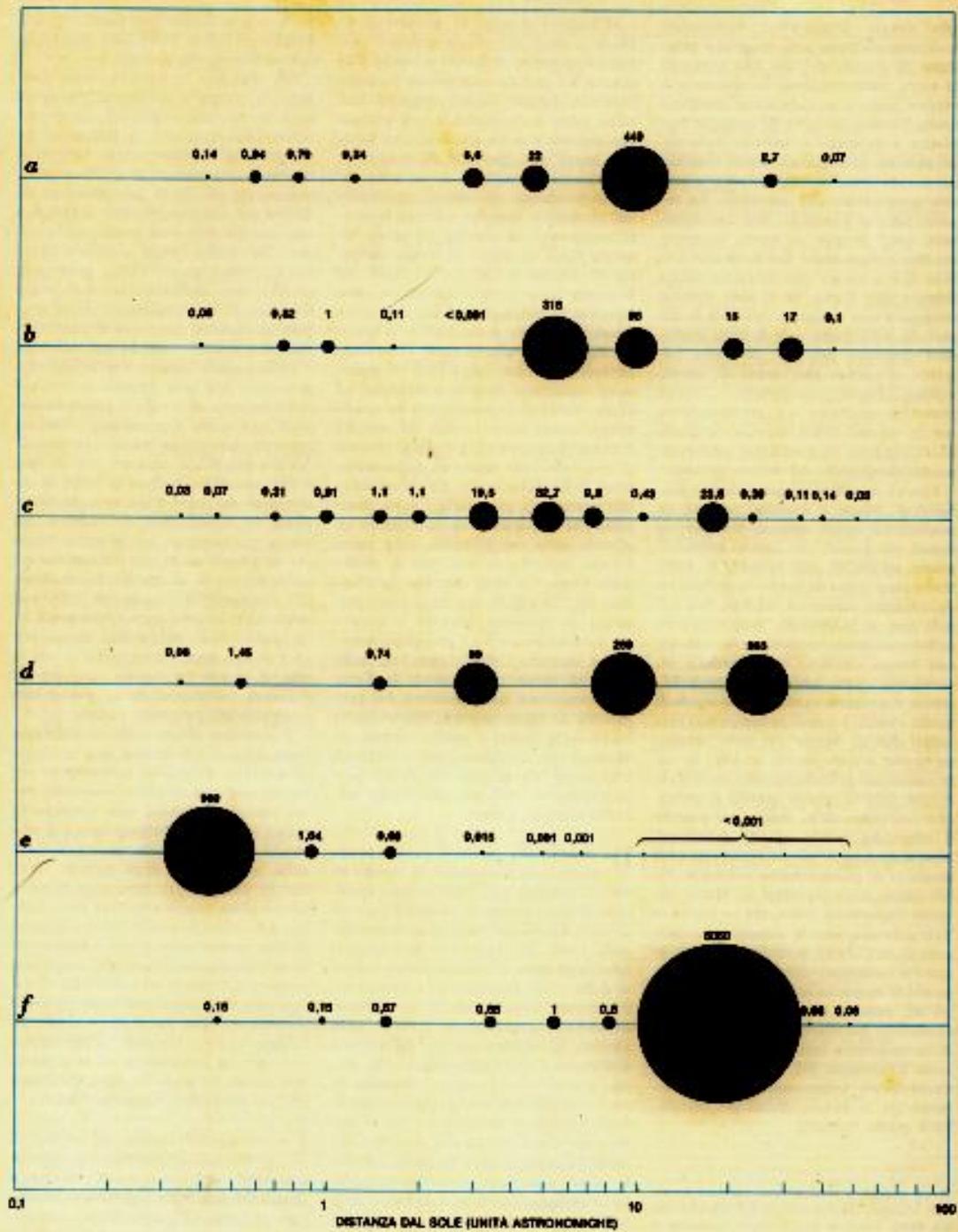
Una volta si pensava che il Sistema Solare fosse mediamente un buon modello per i sistemi planetari intorno ad altre stelle.

Ora sappiamo che NON E' VERO: Il Sistema Solare è strutturalmente una fluttuazione statistica.

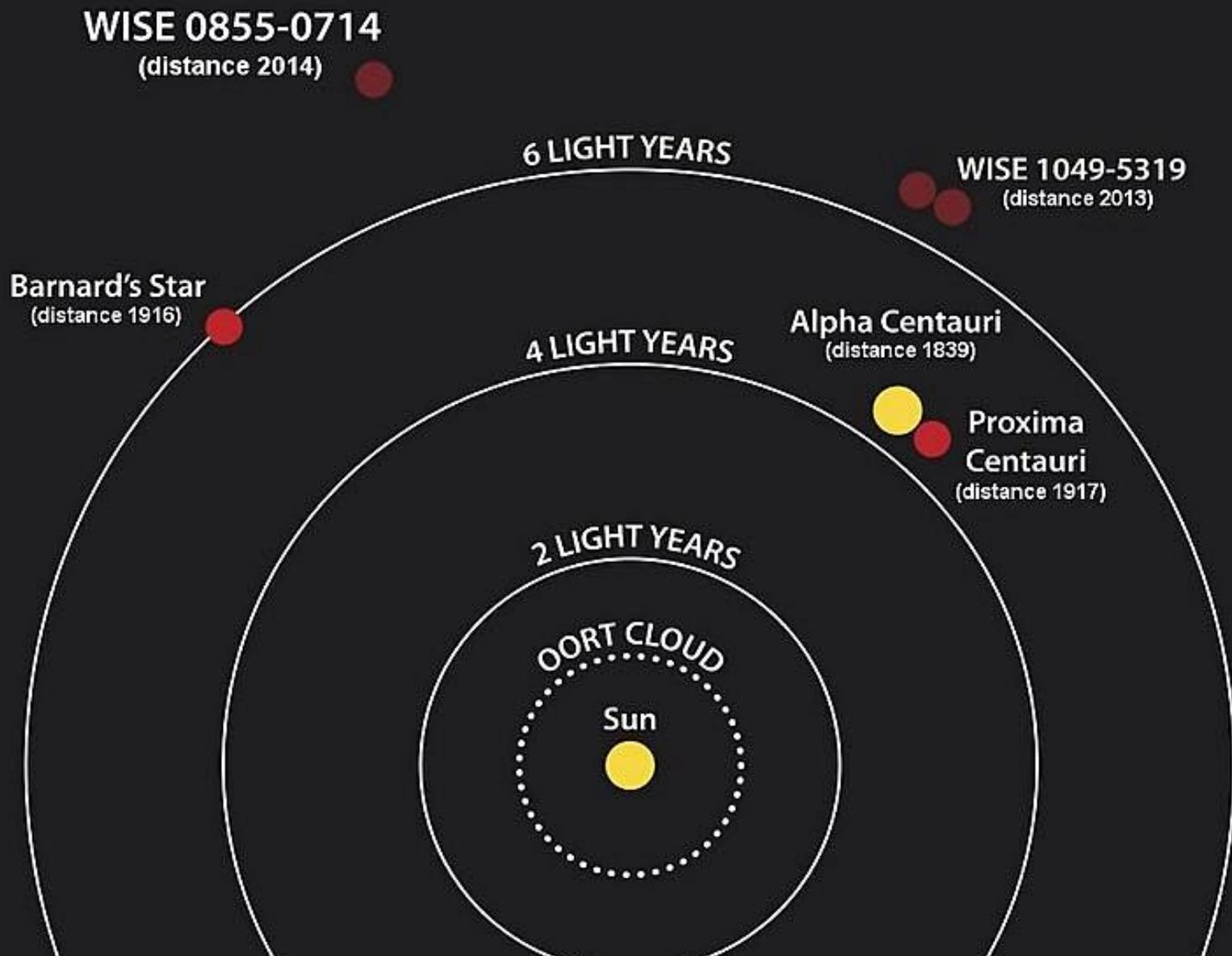
Simulazioni di sistemi planetari eseguite da Carl Sagan

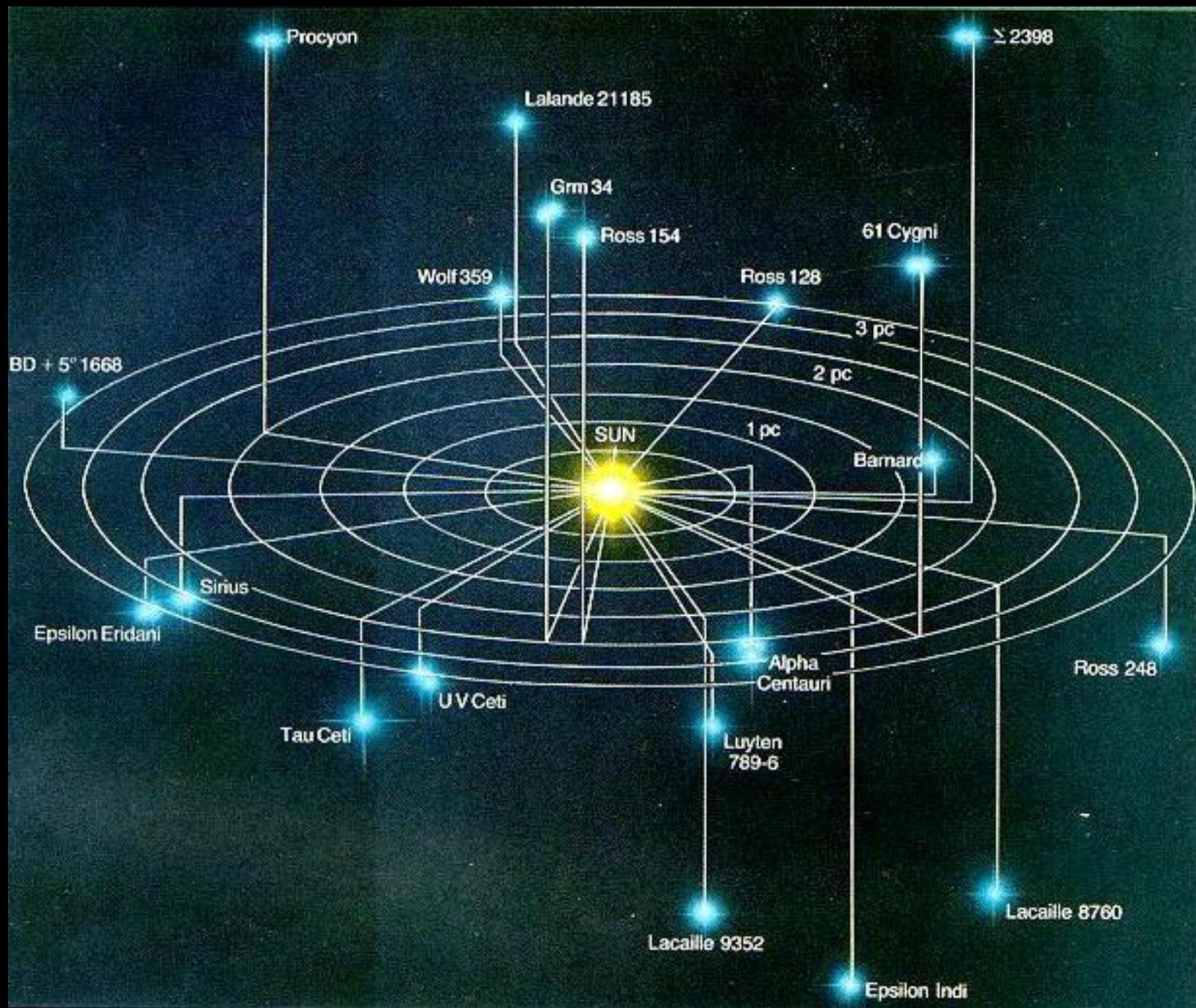


(1934 - 1996)



THE SUN'S CLOSEST NEIGHBORS





Metodi di individuazione dei pianeti extrasolari

E' molto molto difficile....

I pianeti, in confronto alle
stelle, emettono molta meno
luce nel cosmo.

Tecniche per la rilevazione

I vari metodi

La stragrande maggioranza dei pianeti extrasolari viene scoperta con metodi indiretti

È molto difficile osservare direttamente esopianeti poiché in genere la luce da loro emessa è enormemente più debole (circa un milionesimo) di quella della stella.



2M1207 b, uno dei pianeti extrasolari scoperti per osservazione diretta

Tecniche per la rilevazione

I vari metodi

Oltre all'osservazione diretta, esistono diversi metodi per il rilevamento di pianeti extrasolari.

- Astrometrico
- Velocità radiale
- Transito
- Microlente gravitazionale
- Timing

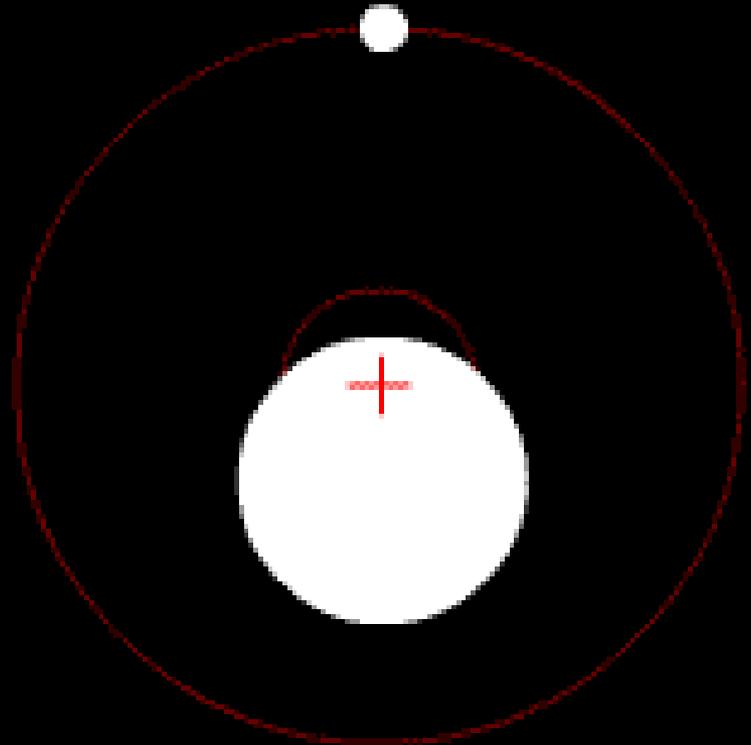
Tecniche per la rilevazione

Metodo astrometrico

Consiste nella misurazione precisa della posizione di una stella e nell'osservare in che modo questa posizione cambia nell'arco del tempo.

La presenza di un pianeta causerà alla stella un leggero movimento attorno ad un comune centro di massa.

Giove, a 10 anni luce, provoca al Sole un'oscillazione di circa 1 milionesimo di grado in circa 12 anni.



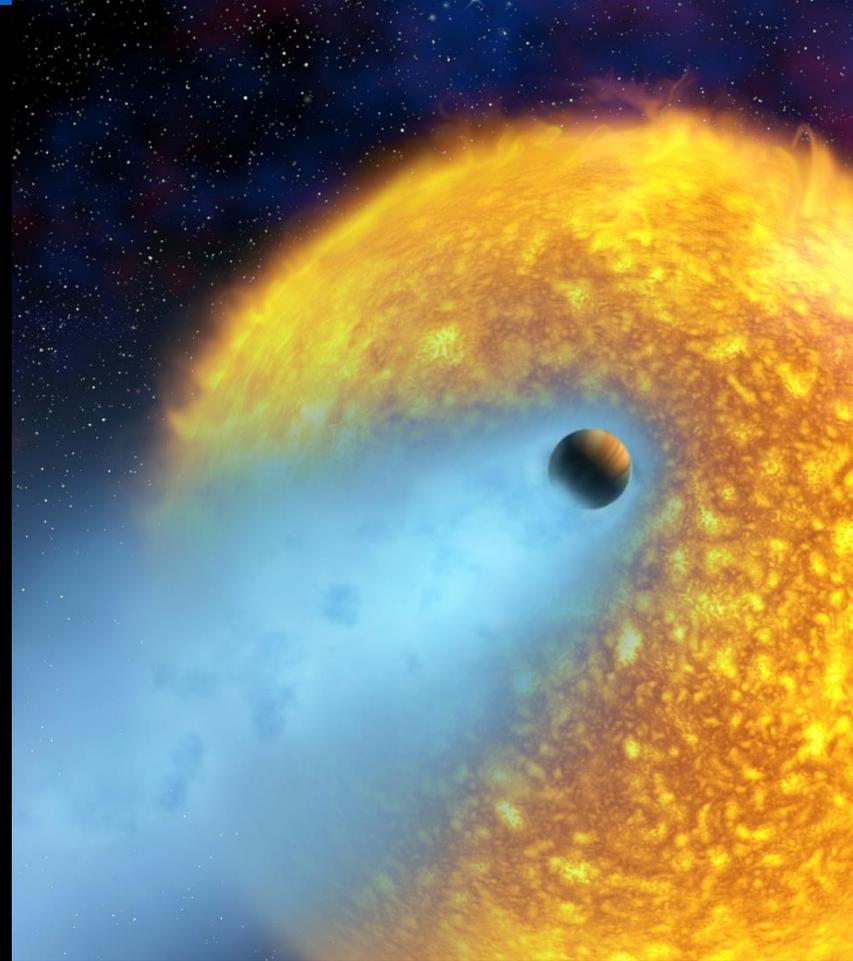
Tecniche per la rilevazione

Metodo astrometrico

Con questa tecnica si possono però rilevare pianeti molto massicci e molto vicini alla propria stella: i cosiddetti *pianeti gioviani caldi*.

Un pianeta gioviano caldo ha una massa confrontabile o che supera quella di Giove, ma che orbita a meno di 0,05 unità astronomiche (7,5 milioni di chilometri) dalla propria stella, ovvero è otto volte più vicino ad essa rispetto a quanto Mercurio dista dal Sole.

La temperatura tipica di questi oggetti, nella parte rivolta verso il loro sole, raggiunge facilmente migliaia di gradi.



*Rappresentazione artistica di HD 209458b.
La coda blu è l'atmosfera del pianeta che evapora a causa della vicinanza eccessiva alla sua stella.*

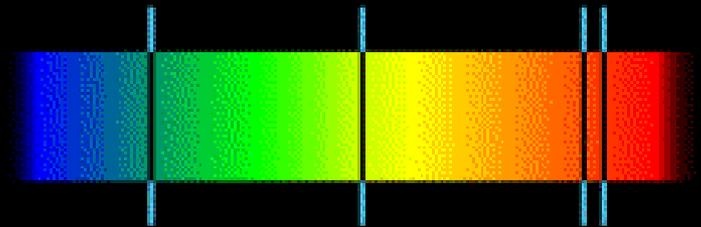
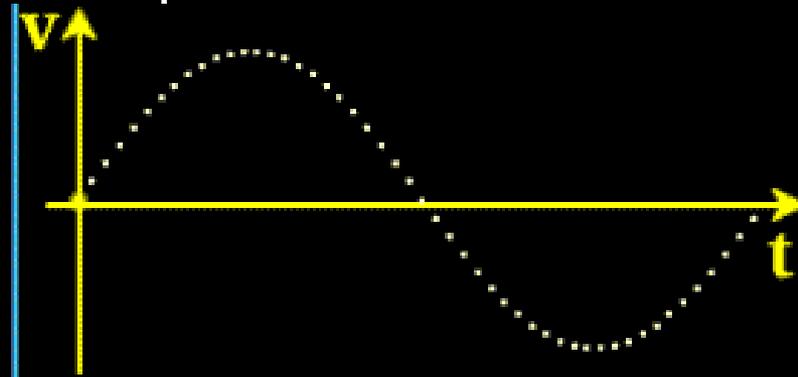
Tecniche per la rilevazione

Velocità radiale

La presenza di un pianeta intorno ad una stella produce delle variazioni nella velocità con cui essa si avvicina o si allontana dalla Terra (velocità radiale).

Analizzando gli spostamenti delle sue righe spettrali si possono dedurre delle caratteristiche del pianeta.

Gli spostamenti dello spettro sono molto piccoli e proporzionali alla massa del pianeta.



Tecniche per la rilevazione

Velocità radiale

È la tecnica che ha dato i maggiori risultati fino al lancio del satellite KEPLER.

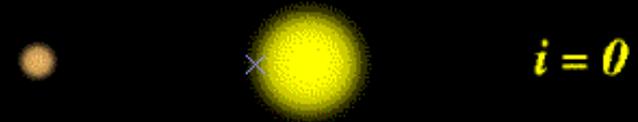
Le misurazioni e le leggi di Keplero permettono di ricavare alcuni importanti parametri relativi al pianeta quali il *periodo di rivoluzione*, la *distanza dalla stella* e una *stima della massa* (che dipende però dall'inclinazione dell'orbita rispetto all'osservatore)

Tecniche per la rilevazione

Transito

Se un pianeta passa davanti alla sua stella provoca una piccola eclisse e la luminosità della stella diminuisce leggermente.

Affinché sia possibile rilevare un transito è necessario che la Terra sia “ben posizionata” cioè: che la Terra, la stella e il pianeta extrasolare siano ben allineati (cosa abbastanza rara) e che l’osservazione sia fatta proprio nel momento in si verifica questo evento.



Satelliti in orbita intorno alla Terra

CoRoT



Rappresentazione artistica del progetto CoRoT

Satelliti in orbita intorno alla Terra

KEPLER



Il satellite Kepler

Dati della missione

Operatore  NASA

NSSDC ID [2009-011A](#) 

SCN 34380

Destinazione Osservazione astronomica

Esito in corso

Nome veicolo *Kepler*

Vettore Delta II (7925-10L)

Lancio 7 marzo 2009

Luogo lancio [Cape Canaveral Air Force Station](#), PAD 17B

Durata prevista: 3,5 anni
effettiva: 7 anni e 10 mesi

Proprietà veicolo spaziale

Massa 1 039 kg

Costruttore [Bell Aerospace](#)

Strumentazione Specchio principale con apertura di 95 cm

Parametri orbitali

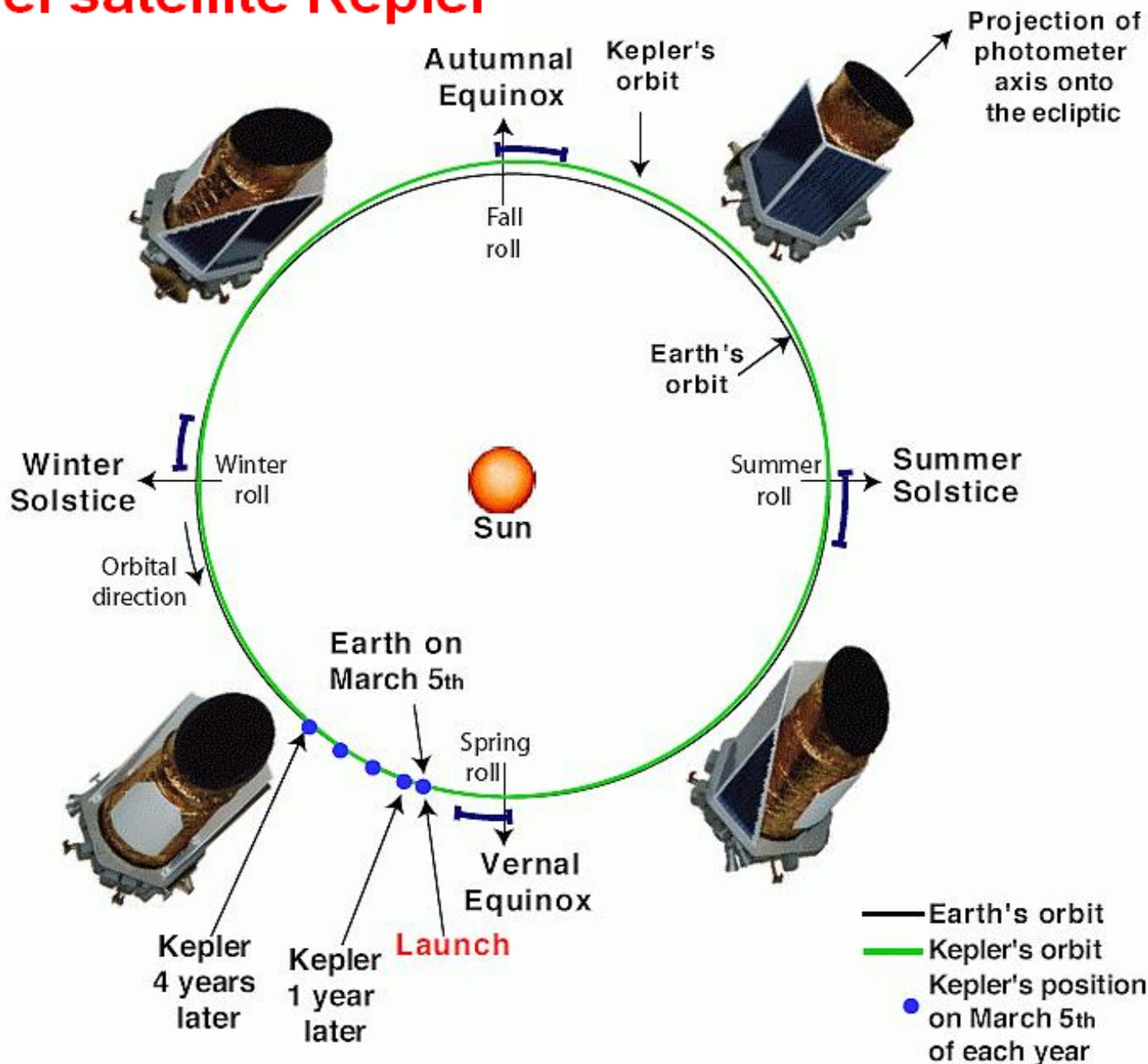
Orbita eliocentrica

Periodo 372,5 giorni

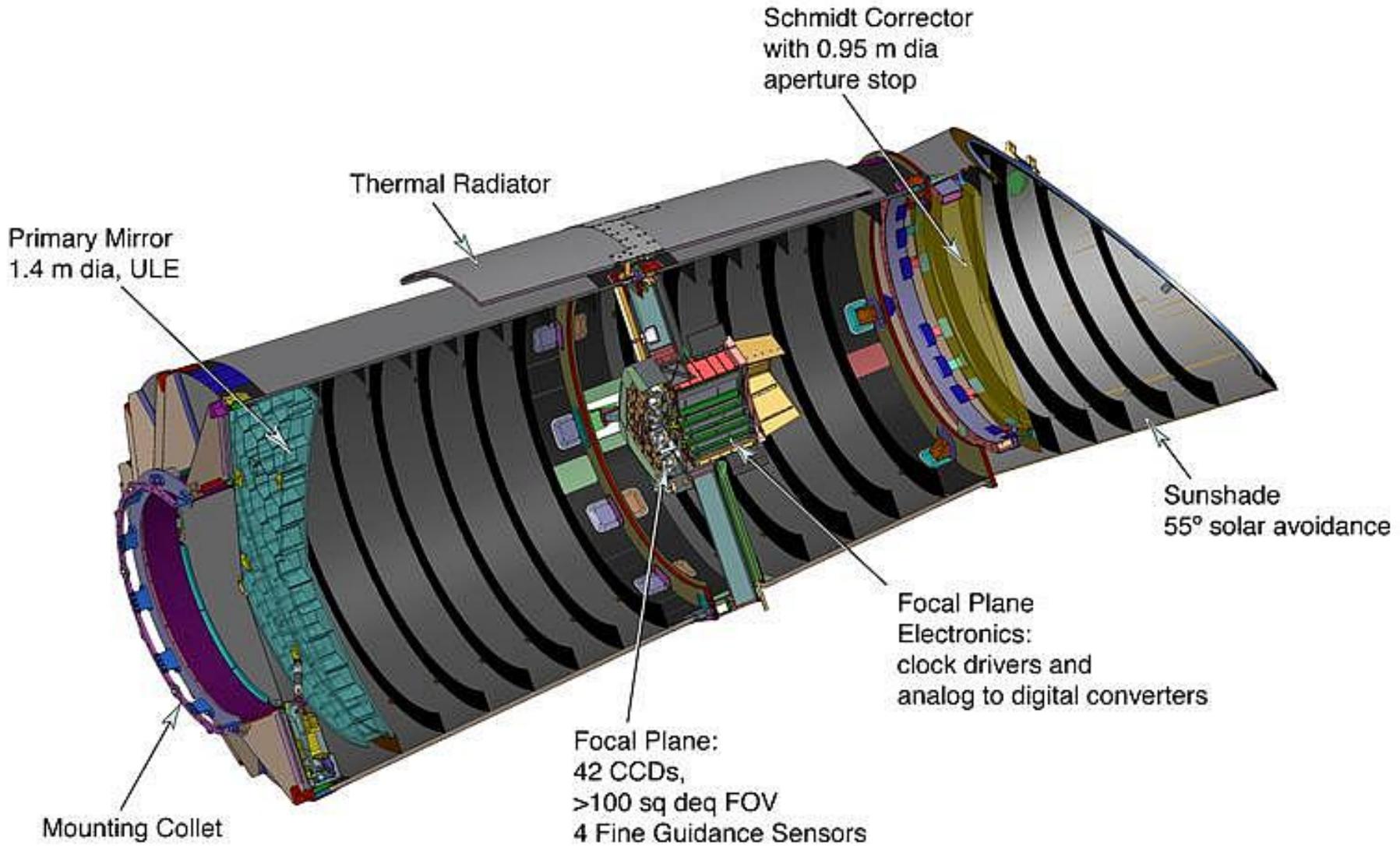
Eccentricità 0,03188

Semiassse maggiore 1,01319 UA

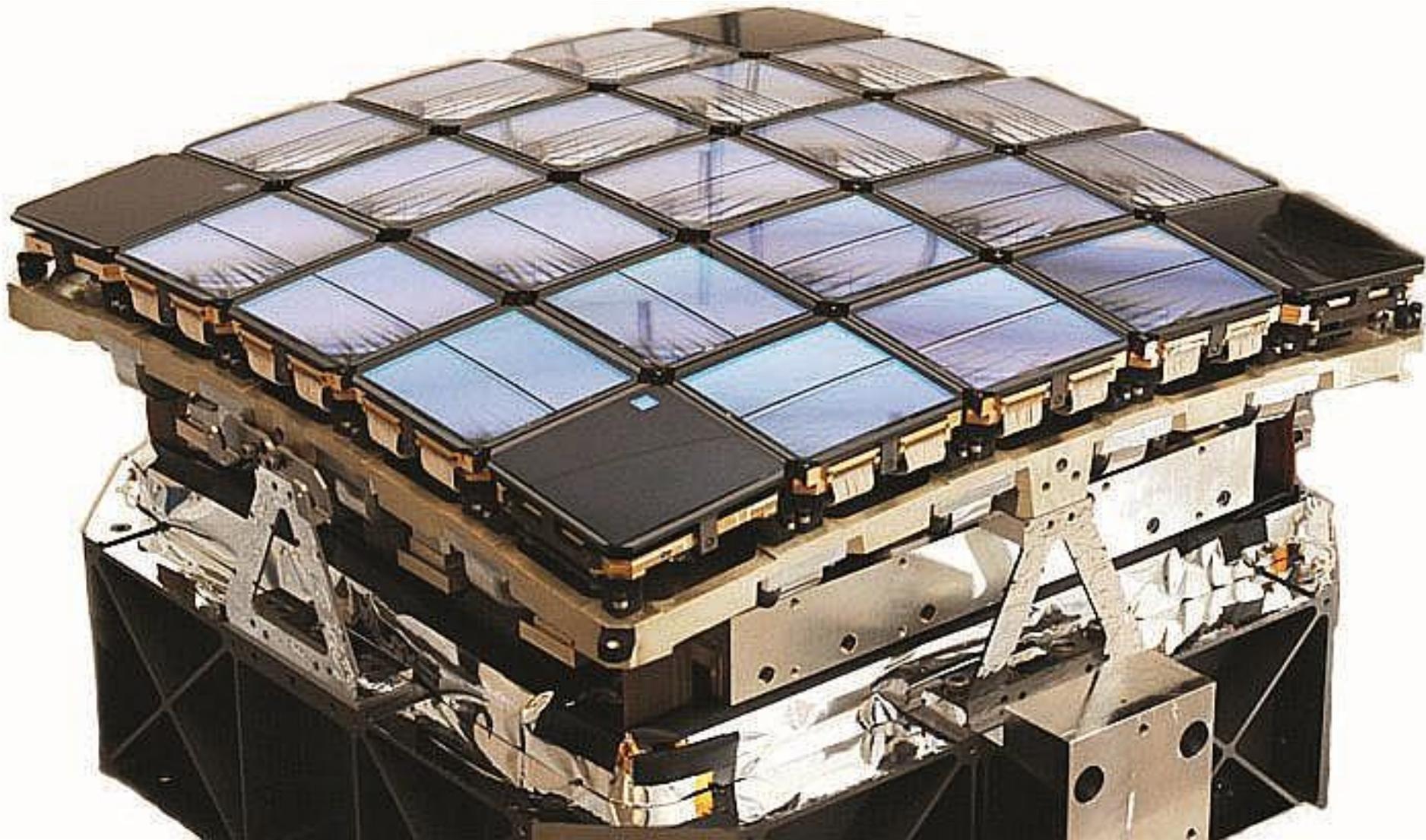
Orbita del satellite Kepler



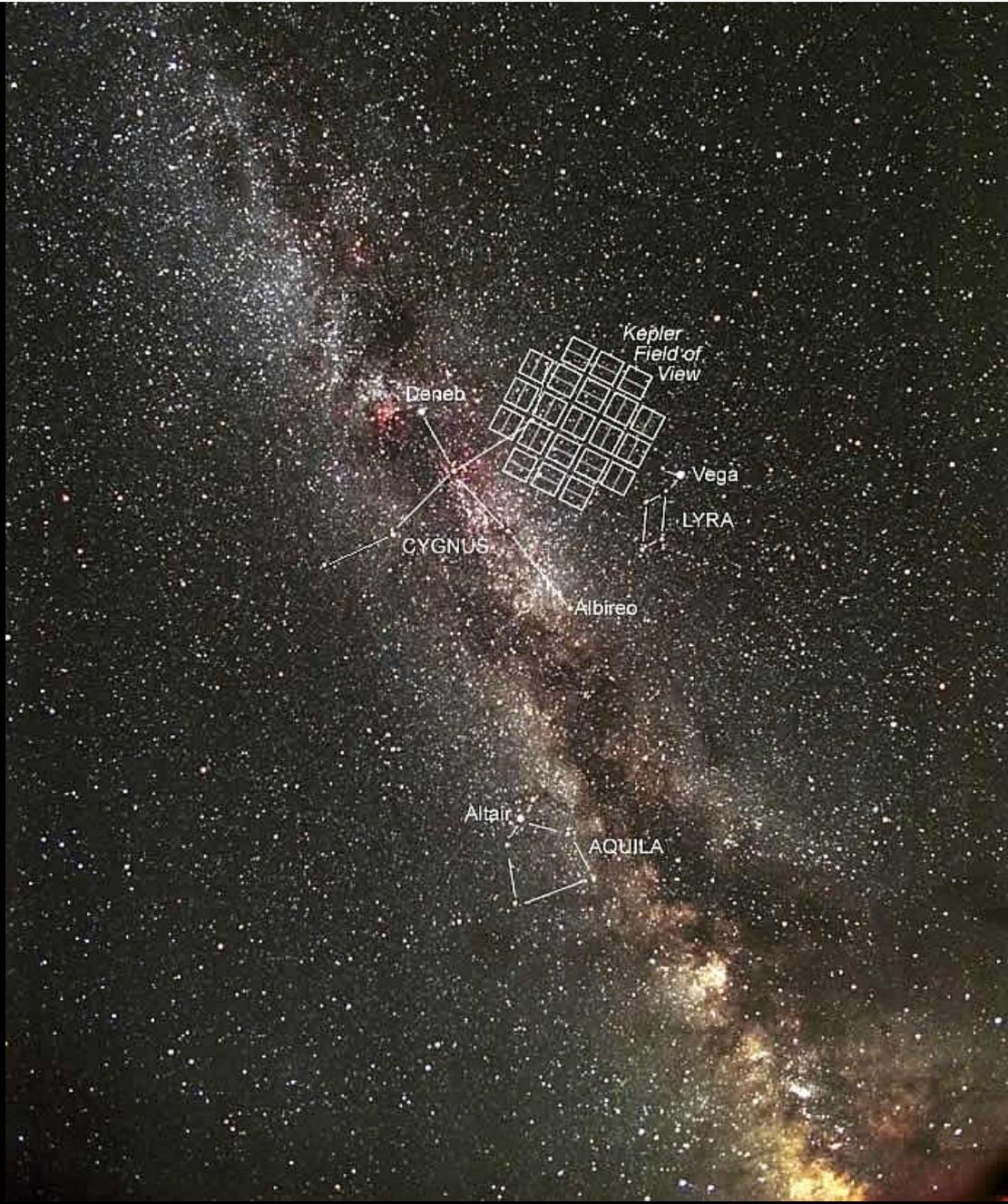
Il satellite artificiale Kepler



le 42 camere CCD di Kepler

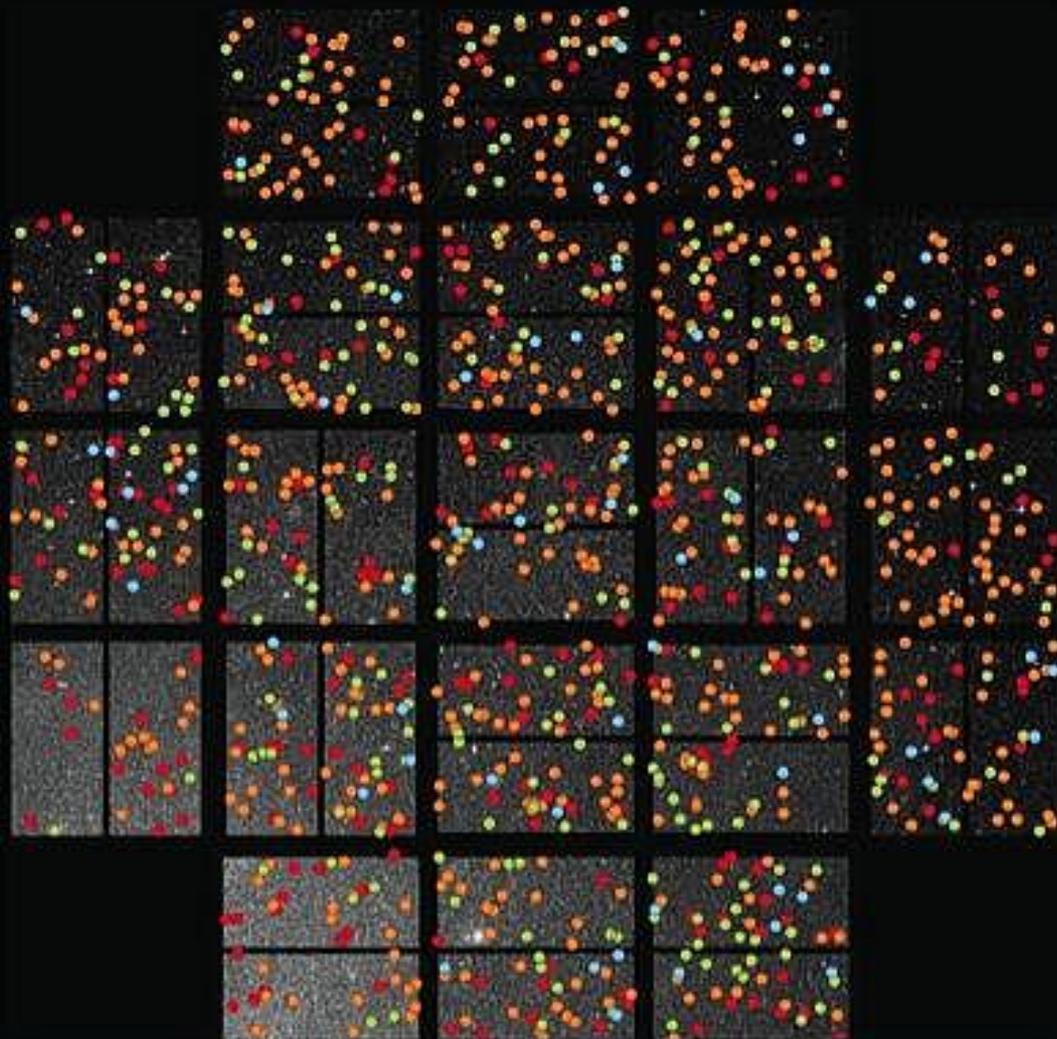


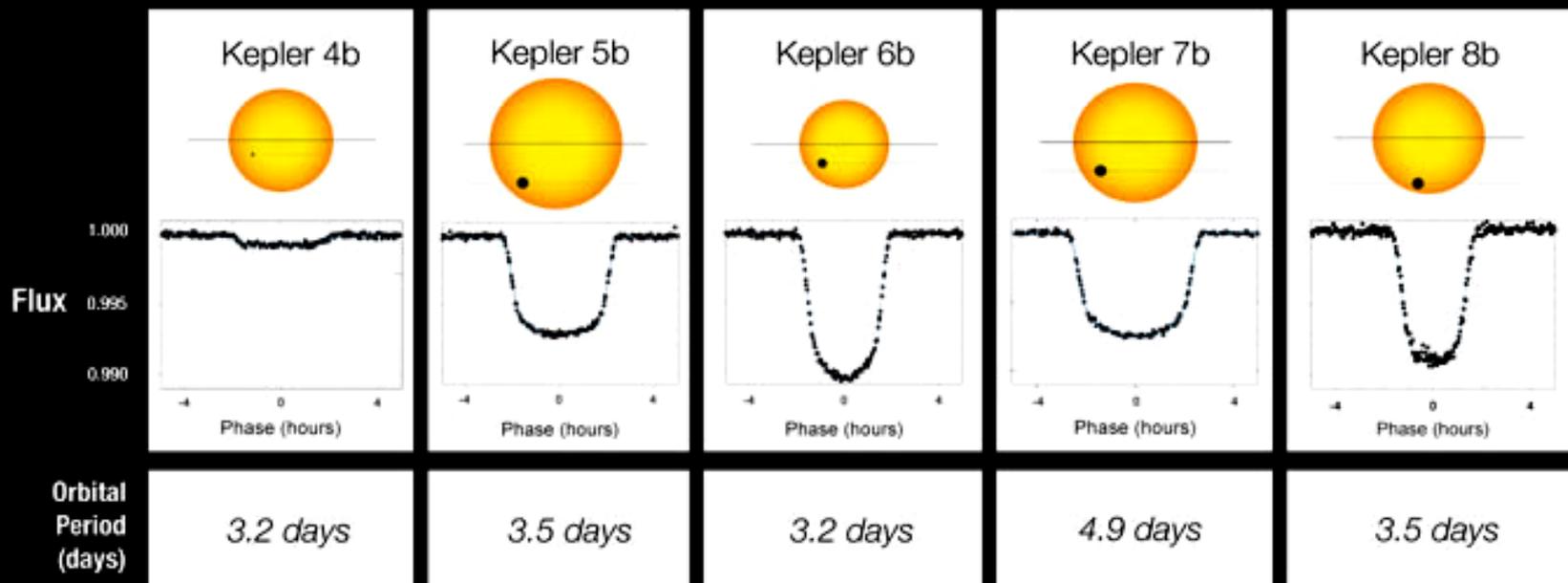
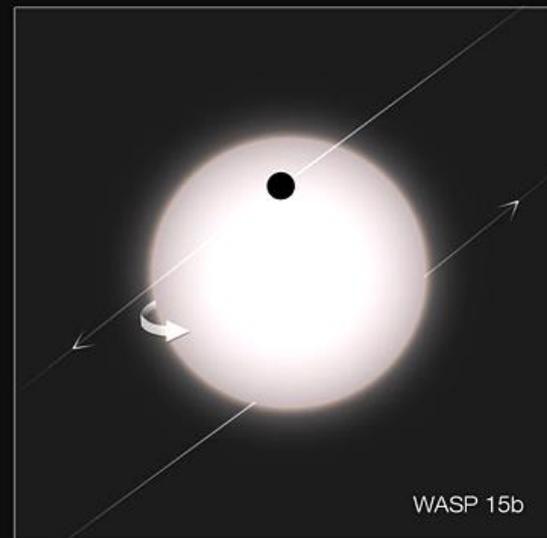
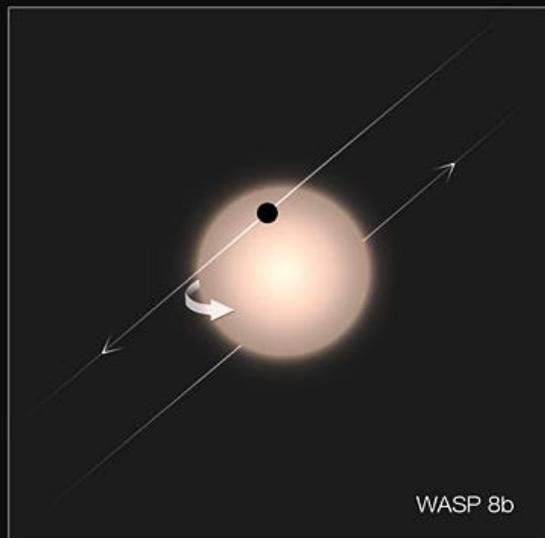
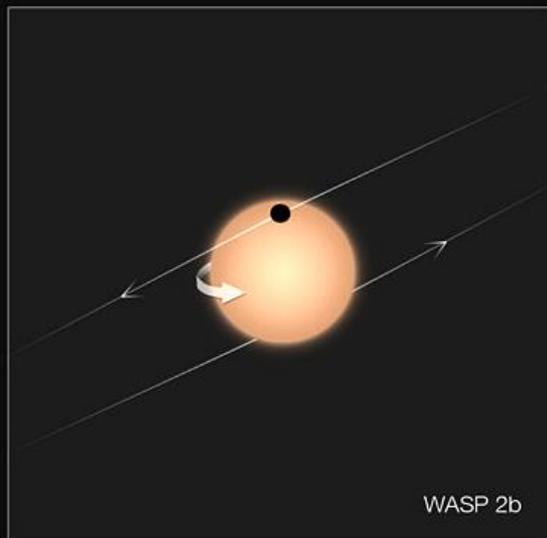
Settore di cielo indagato dal satellite Kepler

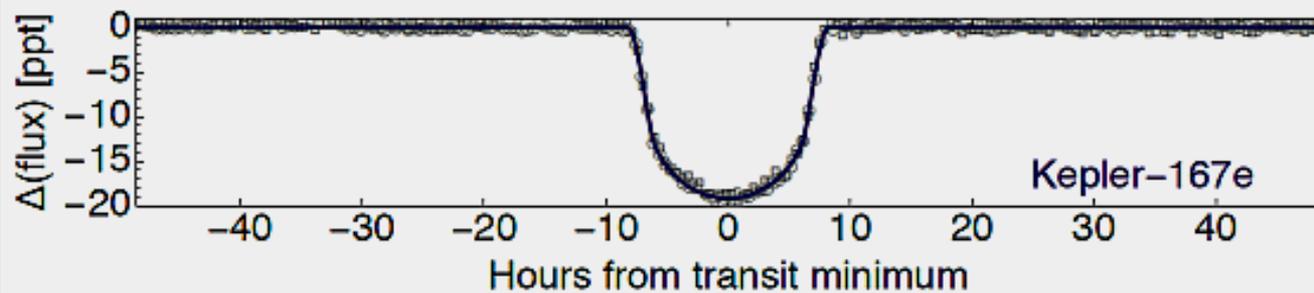
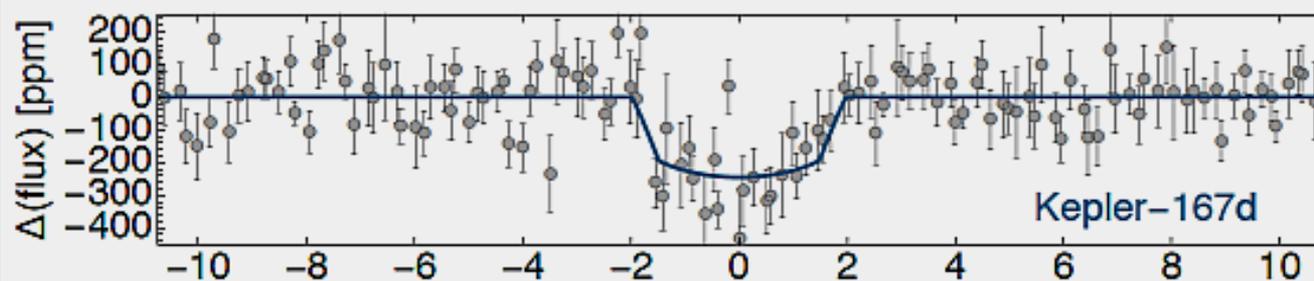
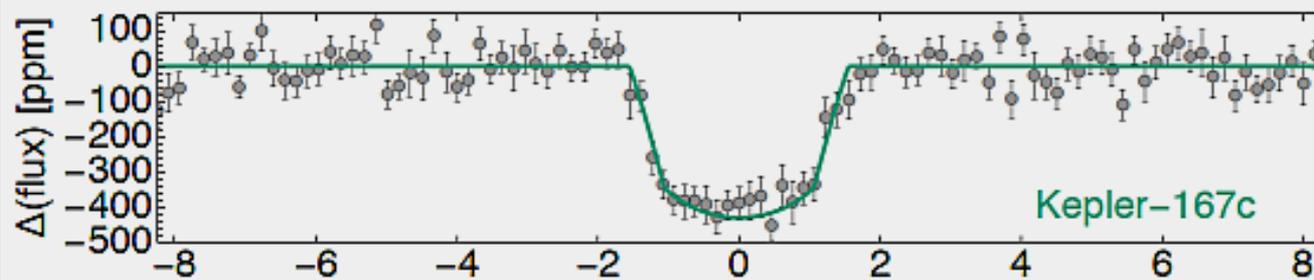
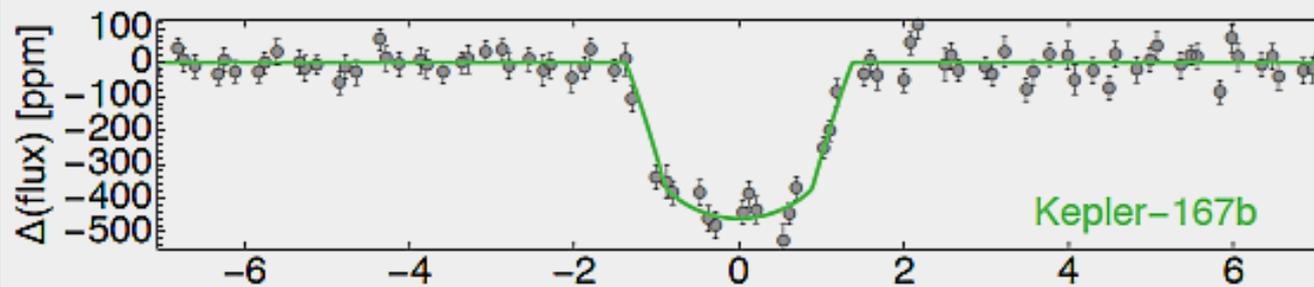


Locations of Kepler Planet Candidates

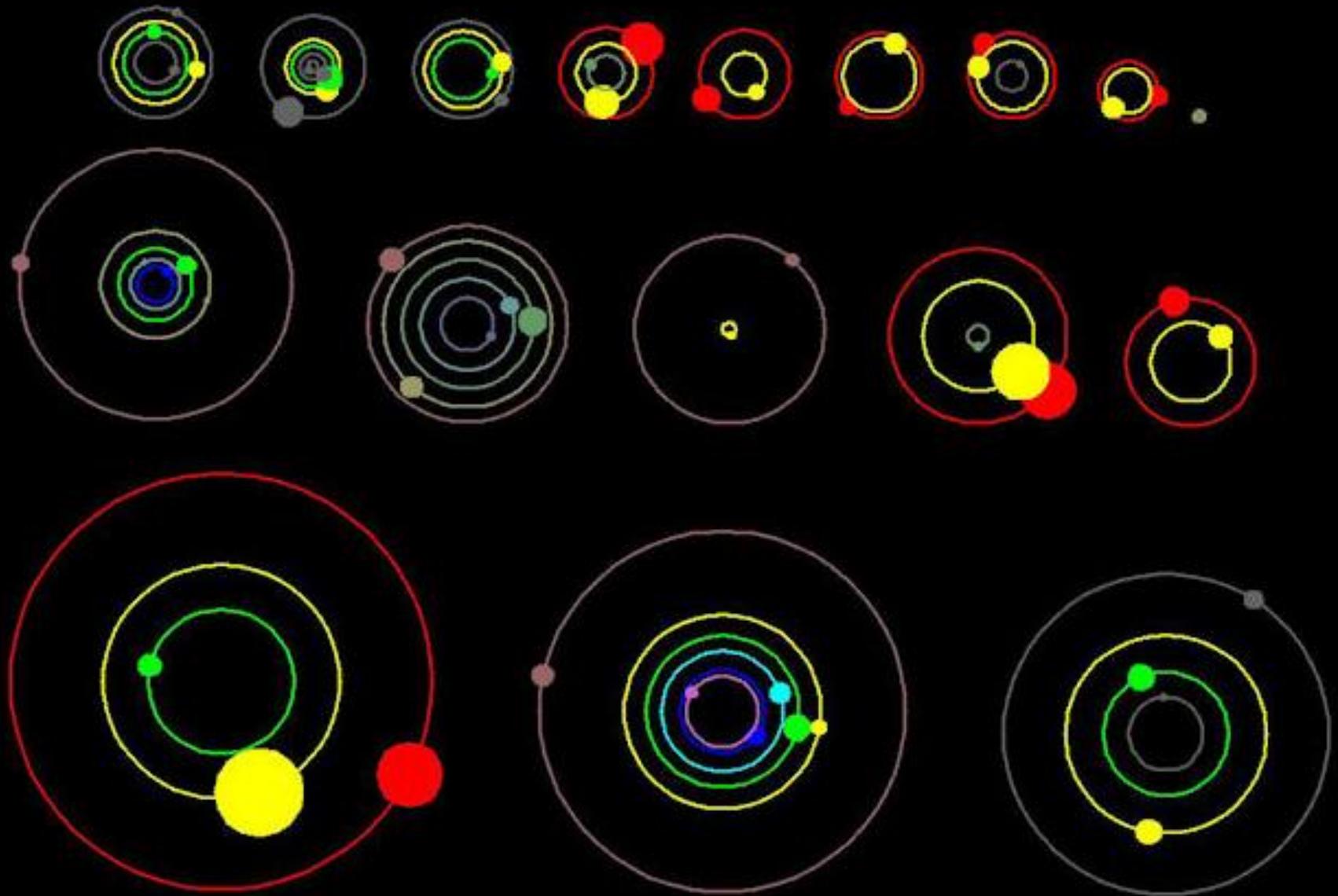
- Earth-size
- Super-Earth size
1.25 - 2.0 Earth-size
- Neptune-size
2.0 - 6.0 Earth-size
- Giant-planet size
6.0 - 22 Earth-size







Sistemi planetari scoperti dal satellite Kepler



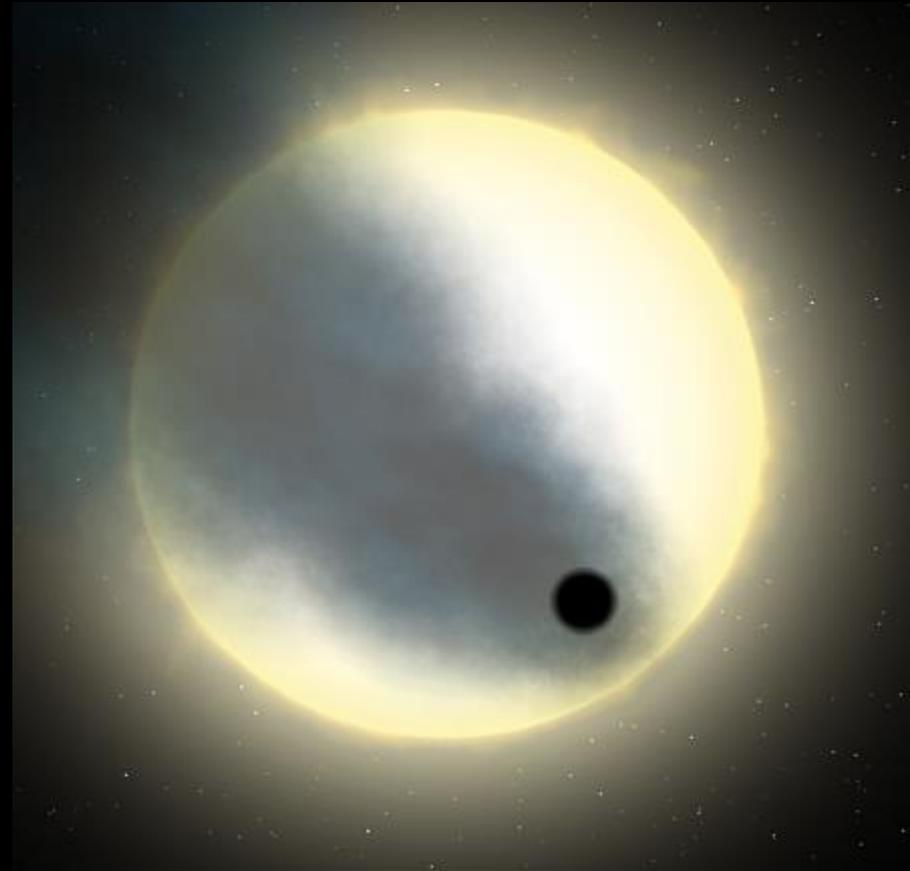
Tecniche per la rilevazione

Transito

L'osservazione di un transito permette di stimare il diametro del pianeta.

Abbinando tale metodo a tecniche spettroscopiche è possibile individuare una eventuale atmosfera del pianeta e i gas che la compongono.

Per fare ciò basta fare lo spettro della stella durante il transito e durante l'antitransito, quando cioè il pianeta passa dietro la stella.



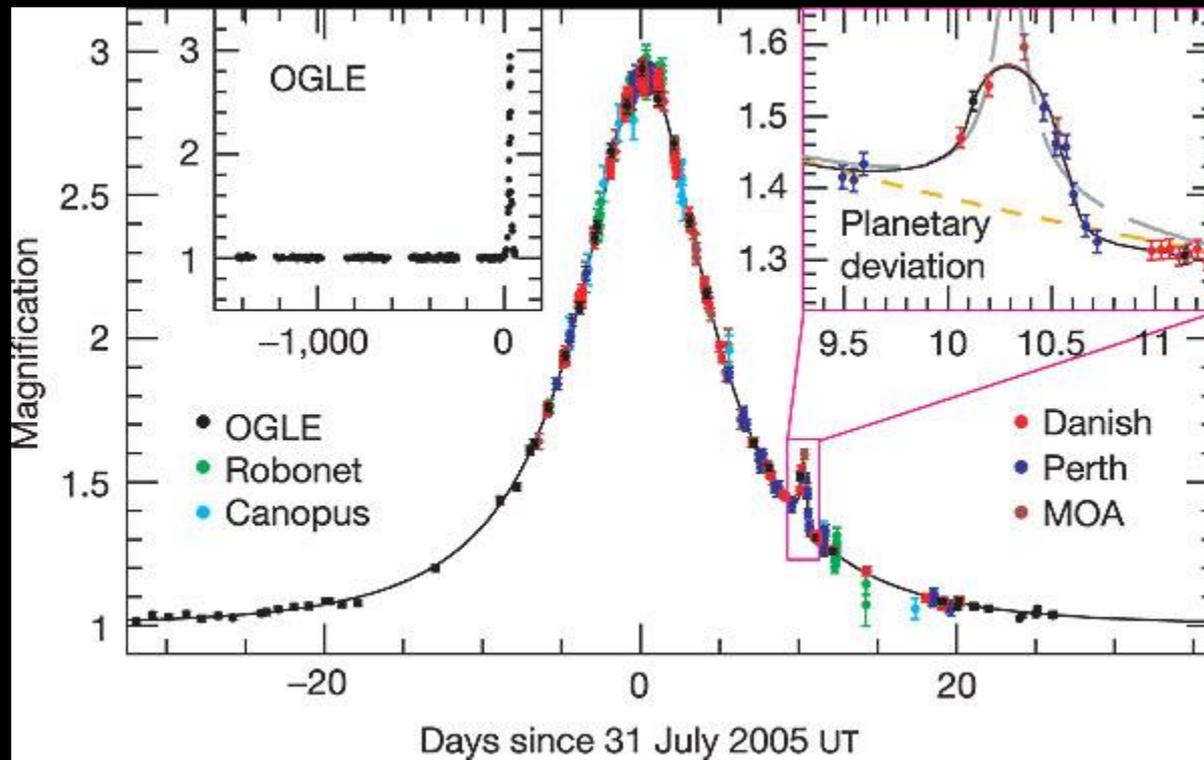
Una rappresentazione artistica di HD 209458b.

...alcuni pianeti extrasolari

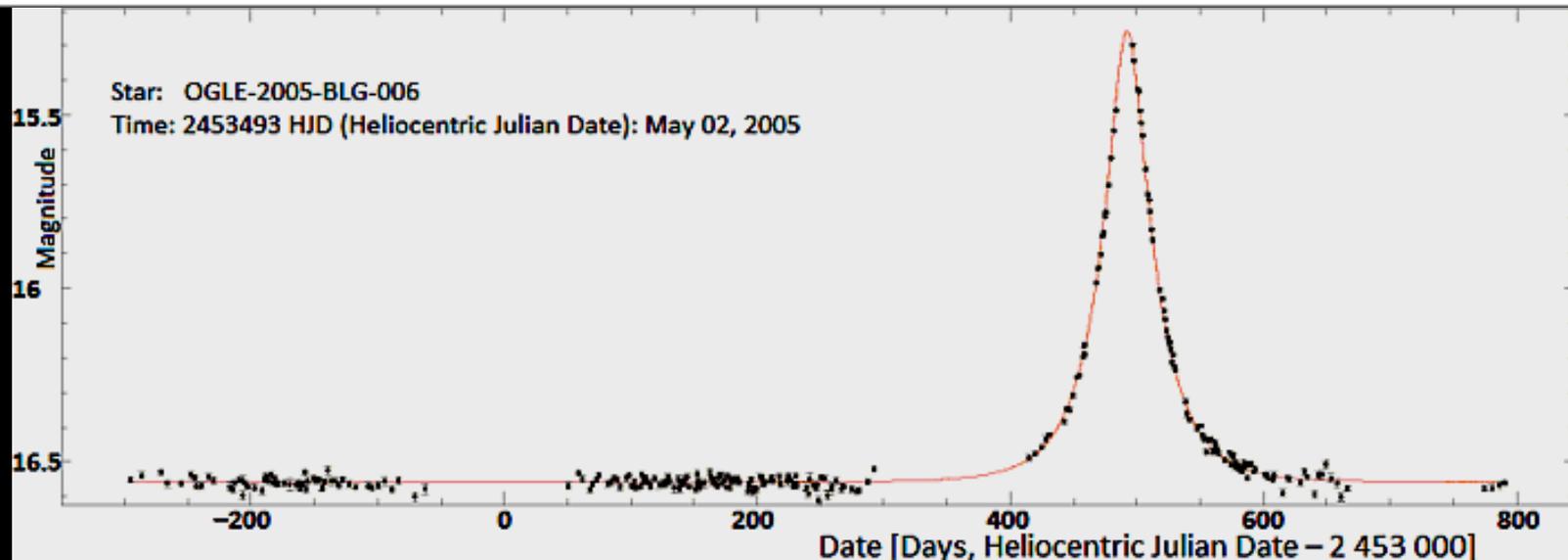
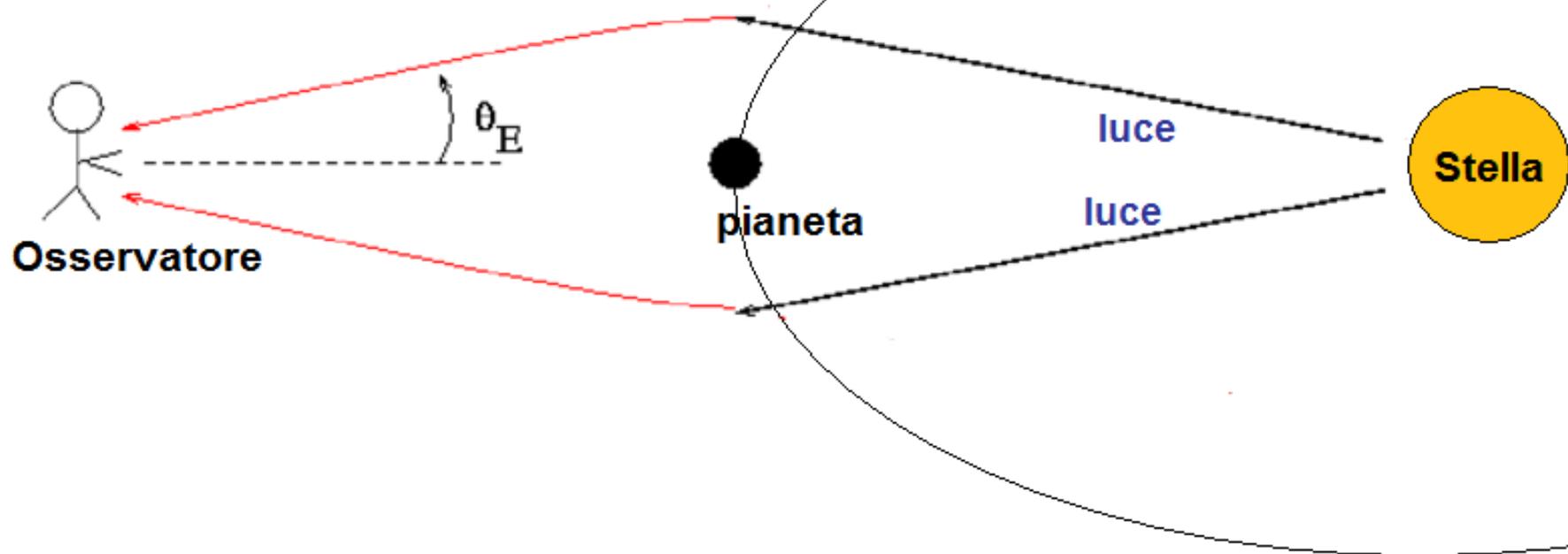


Tecniche per la rilevazione

Micro lente gravitazionale



Microlensing gravitazionale



Tecniche per la rilevazione

Timing

Il metodo consiste nella misurazione delle variazioni degli intervalli di emissioni di una pulsar.

Una pulsar (il residuo piccolo e ultradensa di una stella che è esplosa in una supernova), ruotando, emette onde radio a intervalli estremamente regolari.

Leggere anomalie negli intervalli delle emissioni possono essere usate per tracciare cambiamenti nel moto della pulsar, causati dalla presenza di uno o più pianeti.

Exoplanets search

Milky Way Galaxy



I risultati attuali

Ad oggi sono stati scoperti oltre 7000 pianeti tra i quali ne esistono alcuni particolarmente favorevoli per lo sviluppo della vita (per lo meno di tipo terrestre).

Casi particolarmente interessanti:

Il sistema Trappist 1 (distanza: 40 A.L. dalla Terra)

Il sistema Proxima Centauri b (distanza 4,24 A.L. dalla Terra)

1 A.L. = 9760 miliardi di Km

I risultati attuali

Alcuni esopianeti

I primi esopianeti scoperti...

Gliese 876 b – Il primo pianeta osservato intorno ad una nana rossa (Gliese 876). La sua orbita è più vicina a quella della sua stella di quanto lo sia l'orbita di Mercurio con quella del Sole.

HD 209458 b – È stato il primo pianeta extrasolare a essere osservato transitare davanti alla propria stella. È stato anche il primo di cui sia stato possibile osservare l'atmosfera.

Upsilon Andromedae – Il primo sistema planetario multiplo rilevato ad essere composto da tre pianeti, tutti simili a Giove.

I risultati attuali

Alcuni esopianeti

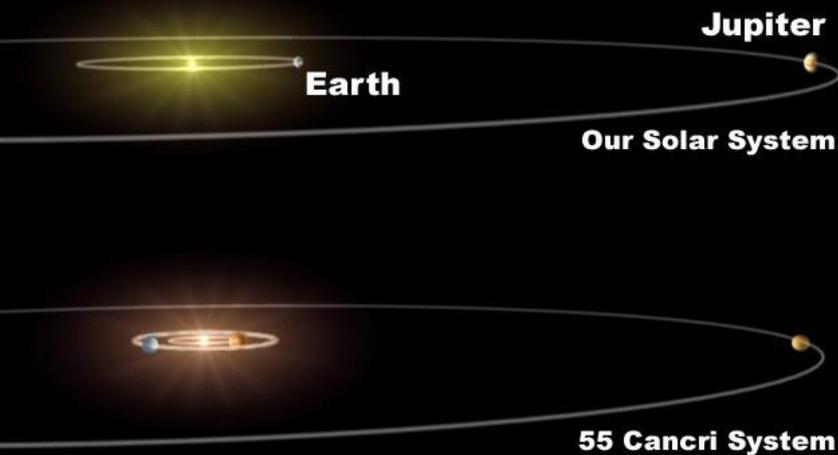
HD 188753 Ab – È il primo pianeta extrasolare scoperto intorno a sistema stellare multiplo (3 stelle).

HD 209458 b e HD 189733b – Sono i primi pianeti extrasolari di cui è stato osservato direttamente lo spettro.

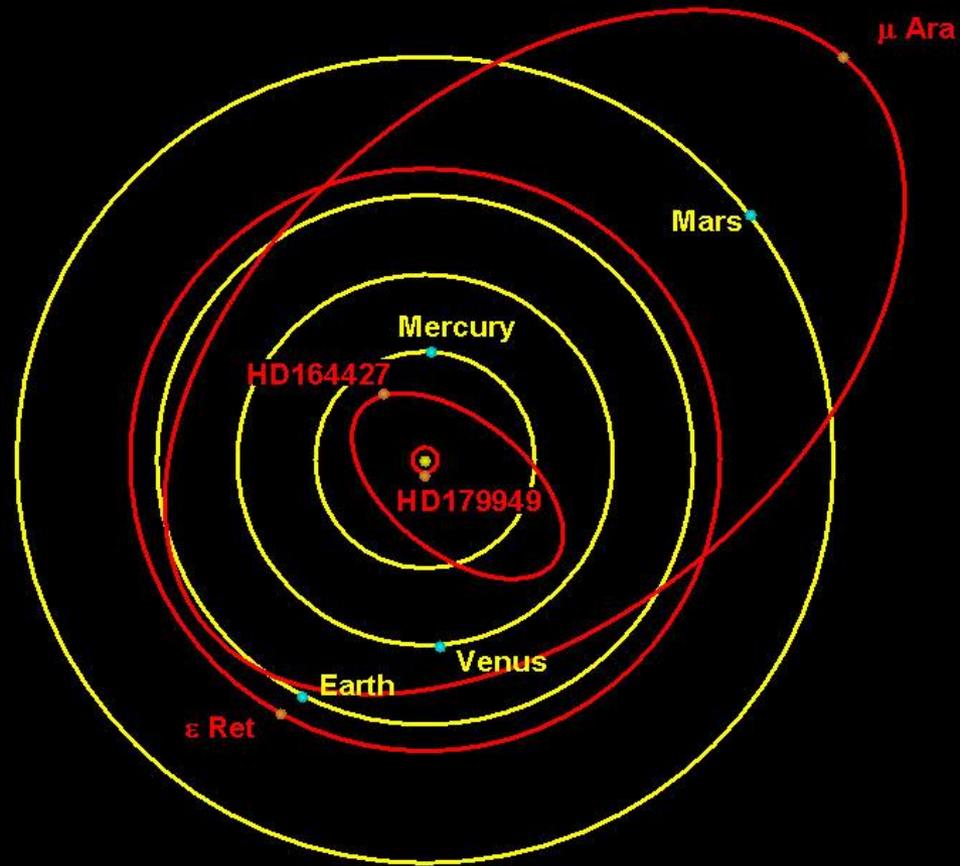
Gliese 581 c – Sembra che questo pianeta sia in grado di supportare la presenza di acqua allo stato liquido e, quindi, la vita. Sebbene non vi siano dati evidenti che segnalino la presenza di acqua, la posizione del pianeta permetterebbe all'acqua di esistere. Secondo le stime dovrebbe essere circa il 50% più grande della Terra, e avere una massa pari a 5 volte quella terrestre.

La ricerca di pianeti extrasolari

Alcuni esopianeti

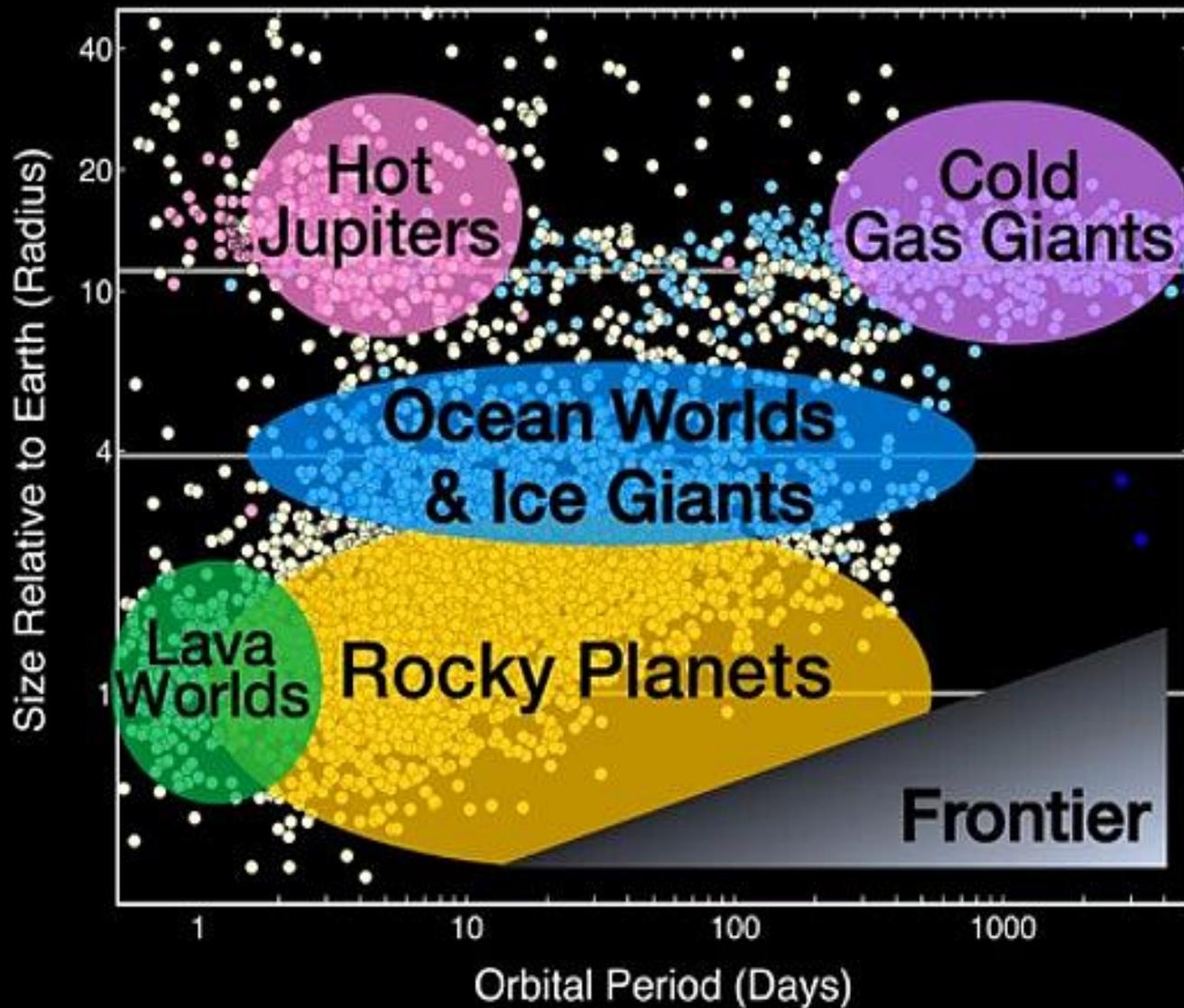


Il nostro Sistema Solare confrontato con quello di 55 Cancri



La parte interna del nostro Sistema Solare sovrapposta all'orbita dei pianeti HD 179949 b, HD 164427 b, ε Reticuli A b, e μ Arae b

Exoplanet Populations



I risultati attuali

Considerazioni

I risultati finora ottenuti hanno messo in evidenza una insospettata grande varietà di tipologie di sistemi planetari.

I pianeti esistono anche intorno a stelle improbabili per ospitare un sistema planetario (tipo le Pulsar).

Esistono pianeti che vagano nello spazio non essendo attualmente legati ad alcuna stella.

Le tecniche di osservazione attuali permettono di scoprire solamente i sistemi planetari che offrono condizioni favorevoli per essere scoperti: statisticamente si riesce a rivelare solo 1/220 del totale dei sistemi planetari presenti nella nostra galassia.

Obbiettivi

Tutti i programmi di ricerca di esopianeti, alla fine, mirano ad un unico obiettivo:

rilevare delle “terre”, ossia pianeti di taglia terrestre, posti nella zona di abitabilità di un sistema planetario extrasolare con l’obiettivo di stabilirne l’abitabilità e l’eventuale presenza di forme di vita aliene..

Obbiettivi

La zona di abitabilità

Per zona di abitabilità di un sistema planetario si intende l'intervallo di distanze dalla stella in cui, su di un pianeta roccioso è possibile trovare acqua allo stato liquido.

$$d(\text{U.A.}) = \frac{R_*}{R_{\odot}} \cdot \left[\frac{T_*}{5780} \right]^2$$

dove:

R_* = raggio della stella

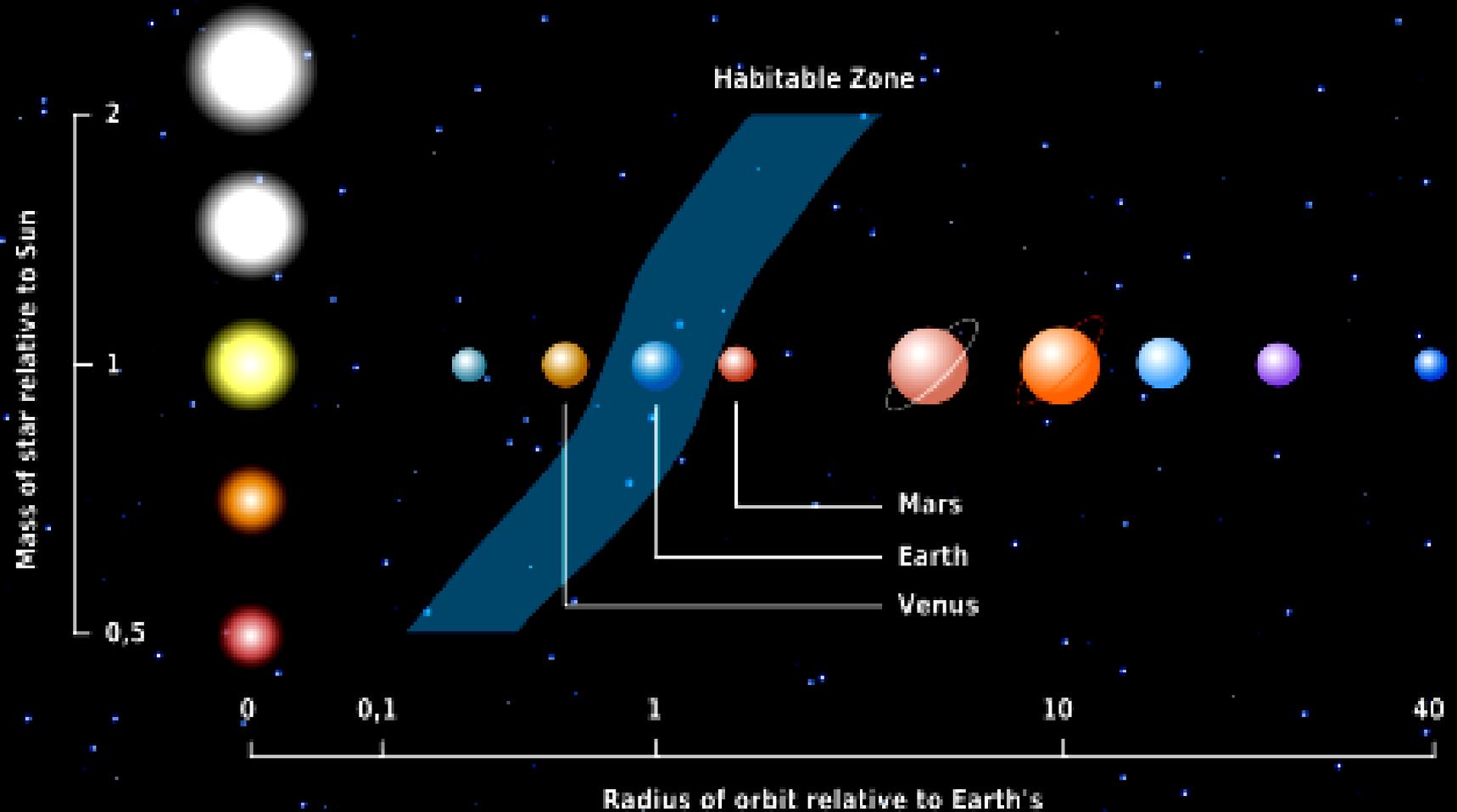
R_{\odot} = raggio del Sole

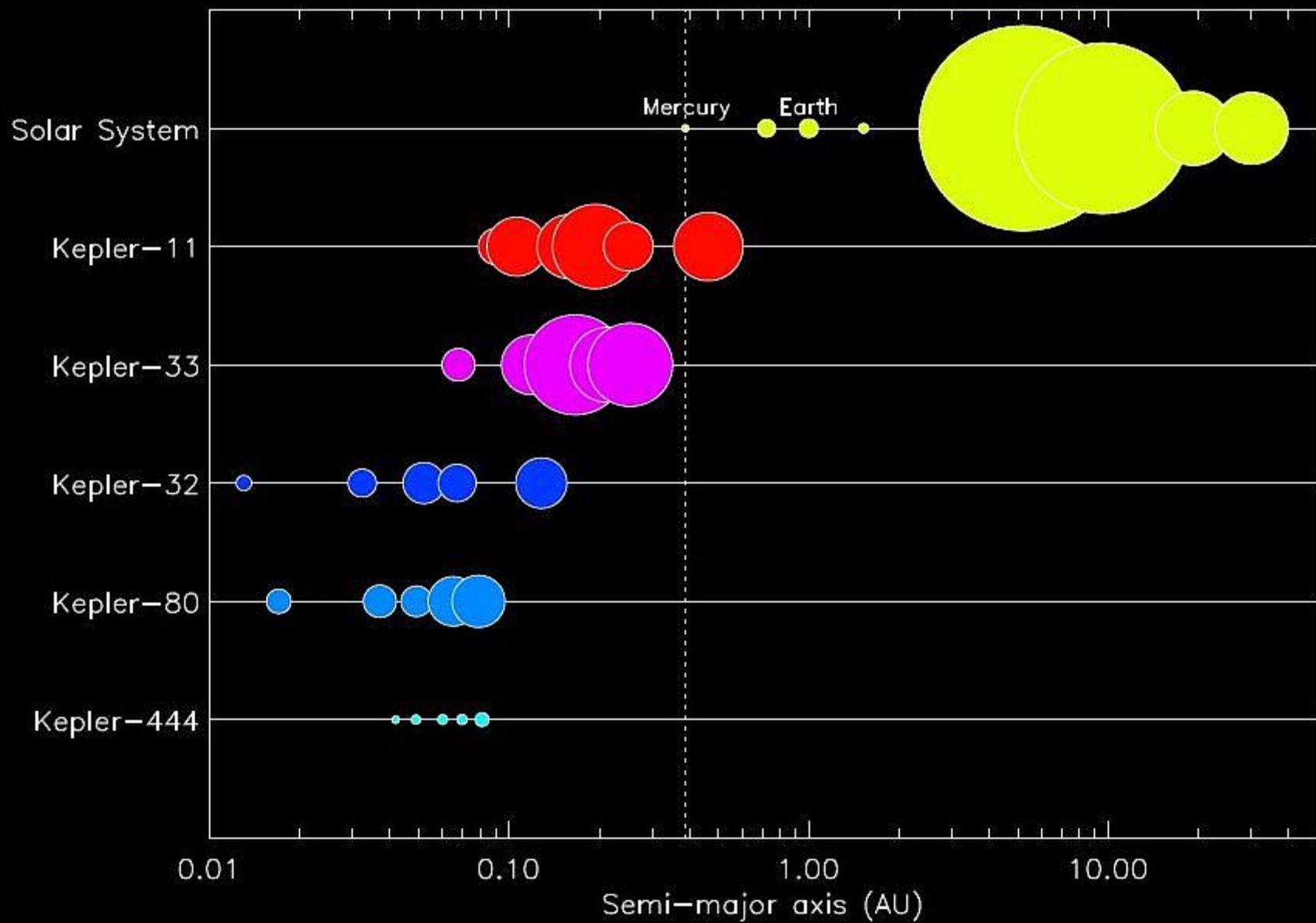
T_* = temperatura della stella

$d(\text{U.A.})$ = distanza in Unità Astronomiche

(1 U.A. = 149,6 milioni di Km)

Distanza del centro della fascia di abitabilità di un sistema planetario dalla stella centrale





Programmi futuri

Per l'astrometria

L'ESO ha in progetto la ricerca da Terra di pianeti giganti intorno a un centinaio di stelle; tale programma è iniziato nel 2008 con lo strumento PRIMA installato sul grande interferometro di 120 metri VLTi (Very Large Telescope Interferometer) in Cile.



Programmi futuri

Per l'osservazione diretta

Il metodo diretto è promettente e si basa sulla misura della piccolissima variazione periodica di posizione della stella a causa della presenza del sistema planetario. .

Quando ha successo permette una dettagliata caratterizzazione delle proprietà fisiche e chimiche dei pianeti:
atmosfera (densità, composizione chimica, ...),
superficie (colore, morfologia degli oceani/continenti ...)
rotazione del pianeta (durata del “giorno”)
Esistenza di satelliti naturali e anelli.

Molti progetti sono in corso, sia Terra sia nello spazio.

È il campo ove sono concentrate la maggior parte delle attività ed è in rapida espansione.

Programmi futuri

Per l'osservazione diretta da Terra

L'ESO ha reso operativo, a partire di 2008, uno strumento per immagini chiamato Planet Finder su uno dei telescopi di 8 metri di diametro del Very Large Telescope installato in Cile.

Il telescopio Keck di 10 metri ha un progetto analogo.



Very Large Telescope



Keck Telescope

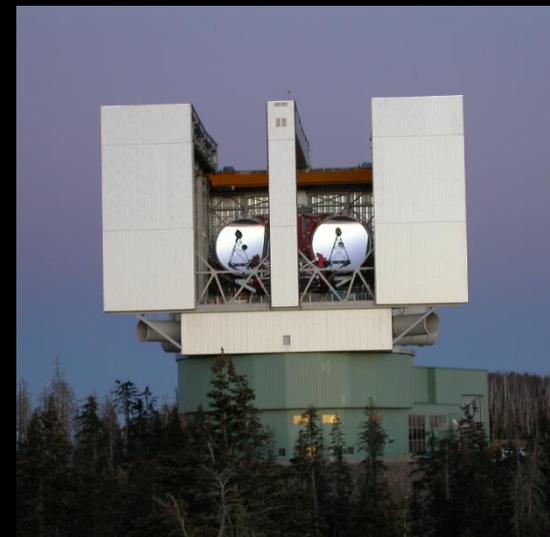
Programmi futuri

Per l'osservazione diretta da Terra

Il LBT (Large Binocular Telescope) è un telescopio binoculare americano, costituito da due telescopi di 8,2 metri di diametro, installato in Cile. Uno dei due telescopi è dotato di una camera capace di scoprire pianeti.

A più lungo termine, gli Stati Uniti e l'Europa hanno progetti di grandi telescopi i cui diametri saranno compresi tra 30 e 100 metri.

Saranno attrezzati con strumenti per immagini destinati a scoprire pianeti di taglia terrestre; dovrebbero nascere intorno al 2020.



Large Binocular Telescope



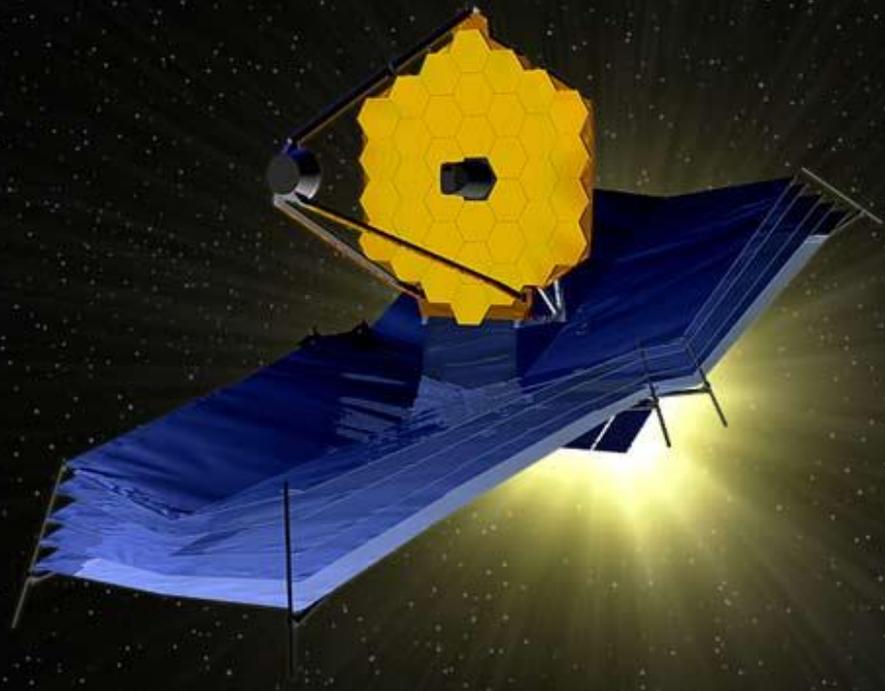
Owl Telescope

Programmi futuri

Per l'osservazione diretta dallo spazio

Oltre al vecchio Hubble, per il momento, esiste soltanto un telescopio spaziale il cui lancio era previsto nel 2011: il James Web Space Telescope (JWST).

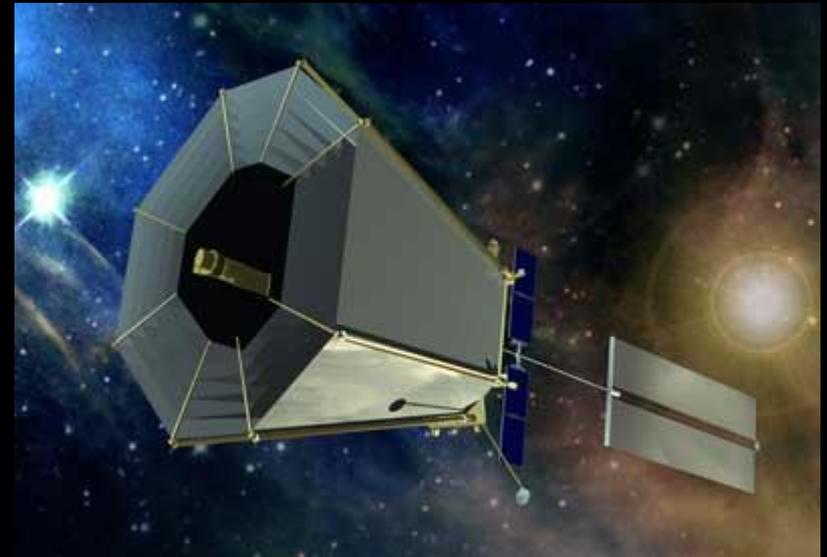
Il JWST è un telescopio di 7 metri di diametro ottimizzato per l'infrarosso e dovrebbe "vedere" pianeti in stelle vicine al Sole.



Programmi futuri

Progetti a medio termine per l'osservazione diretta dallo spazio

Il telescopio TPF-C (Terrestrial Planet Finder Coronagraph) della NASA destinato a scoprire pianeti di dimensioni della Terra grazie alla luce stellare riflessa.



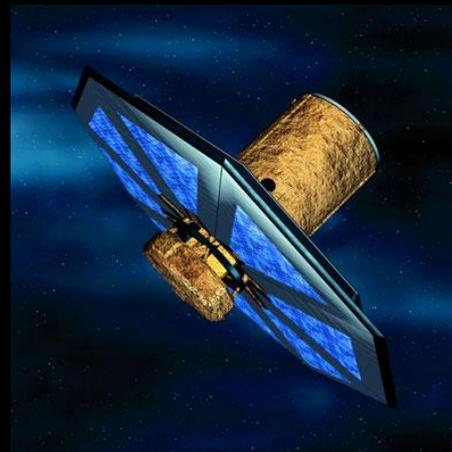
Programmi futuri

Progetti a medio termine per l'osservazione diretta dallo spazio

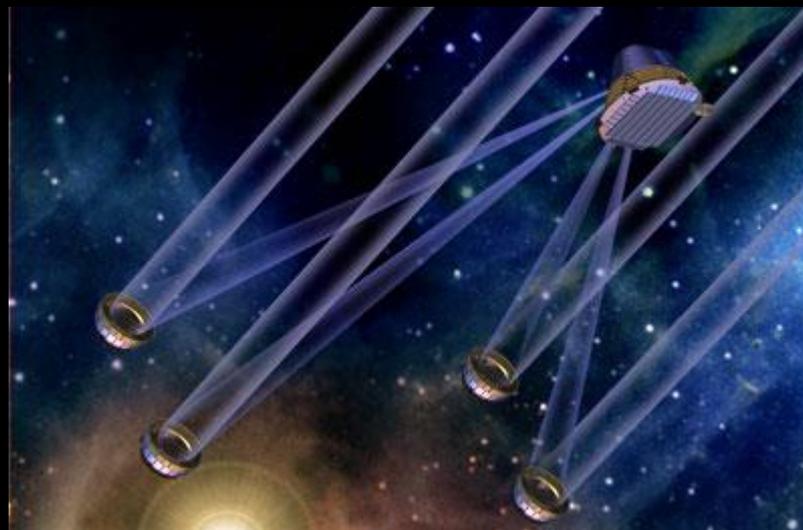
Un interferometro composto da un numero di telescopi compreso fra 3 e 6, ognuno di 3 metri di diametro e distanti fra loro da qualche diecina e qualche centinaio di metri.

Esistono due progetti paralleli:
Darwin dell'ESO e TPF-I della
NASA.

Questi due progetti sono destinati a cercare pianeti di taglia terrestre grazie alla loro emissione termica.



Uno dei quattro o cinque telescopi del progetto Darwin



*TPF-I – Terrestrial Planet Finder
Inteferometer*

Programmi futuri

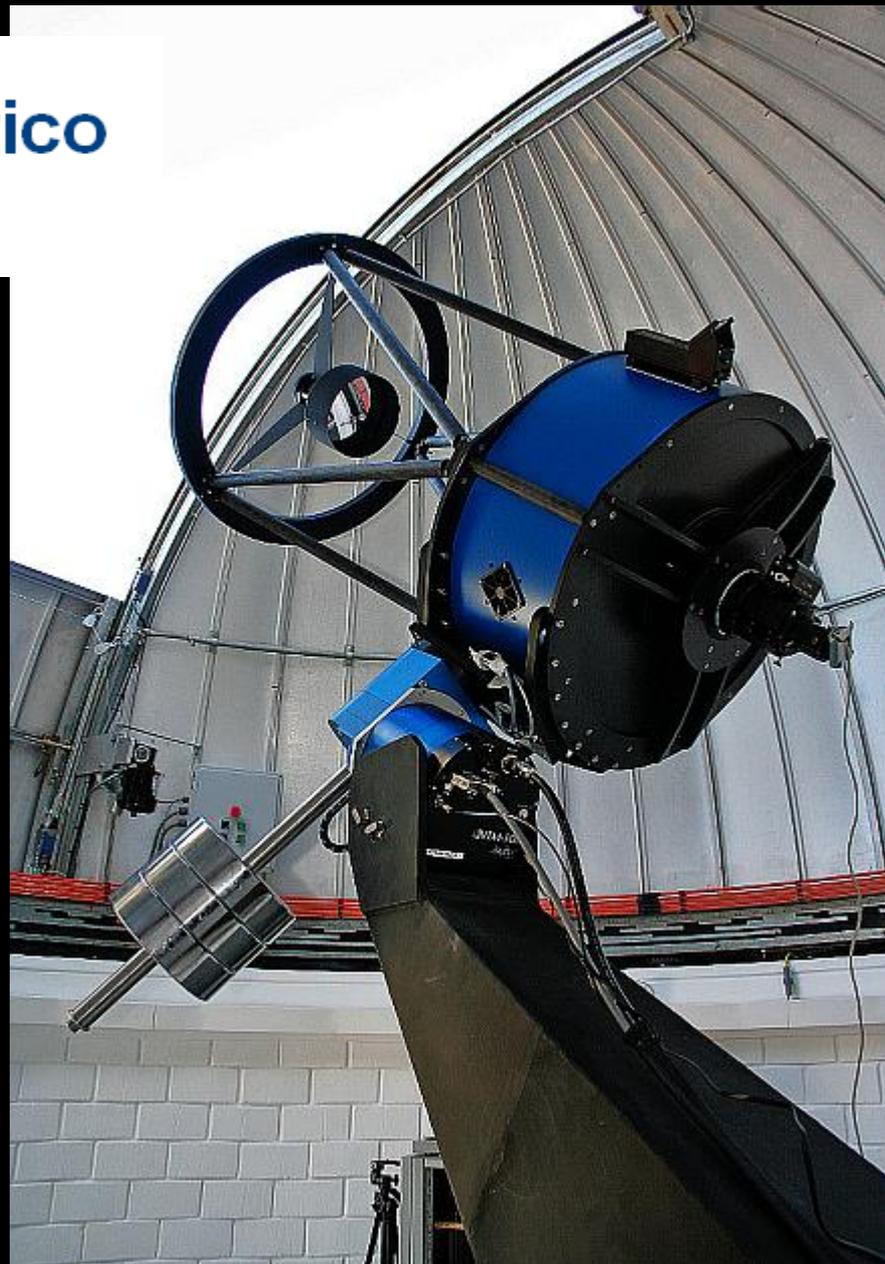
Considerazioni...

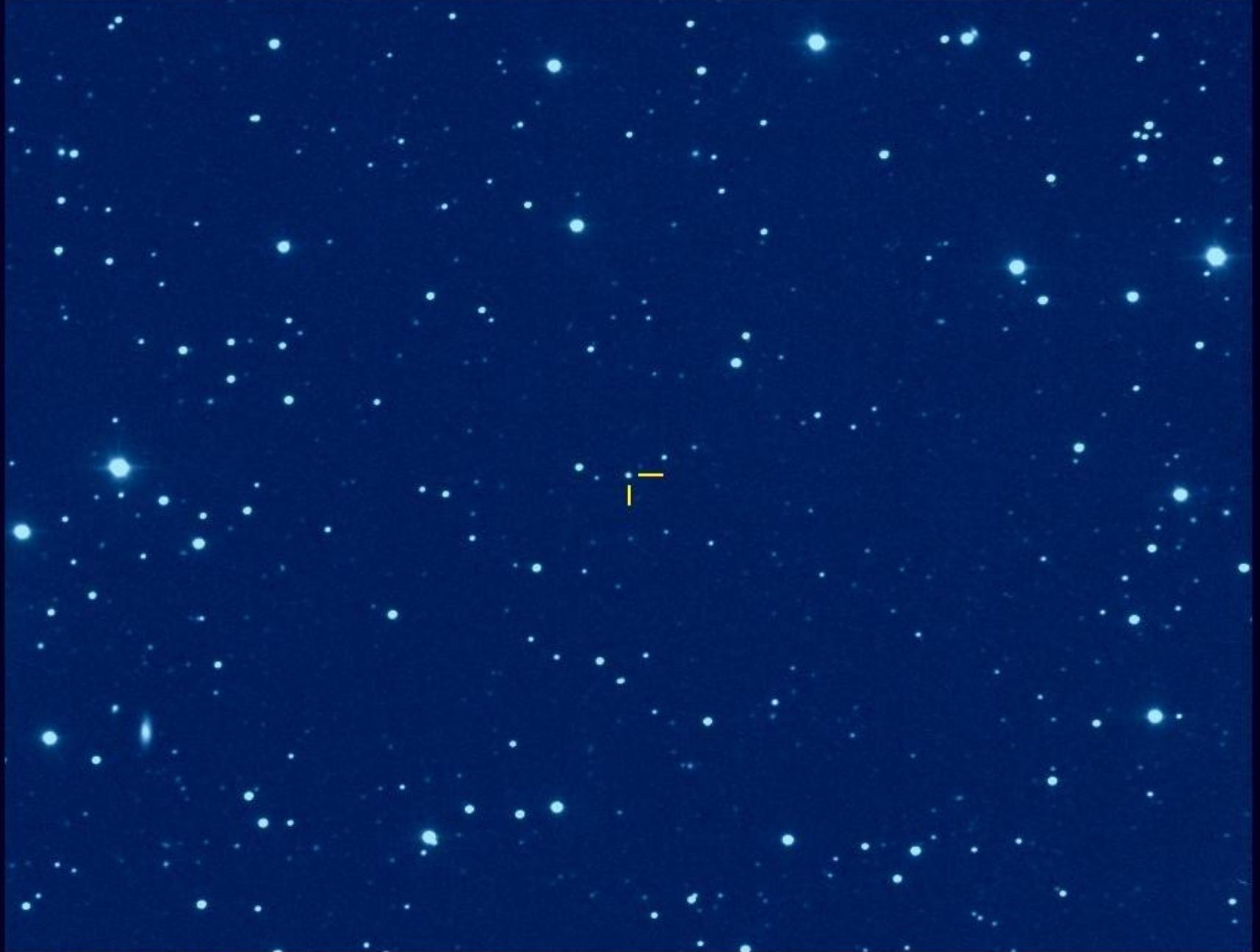
C'è un grande interesse intorno a questi tre progetti (Darwin, TPF-C, TPF-I) perché con essi sarà possibile cercare delle tracce biologiche negli spettri di pianeti extrasolari ed avere quindi la conferma scientifica ad una idea radicata nel DNA umano:

non siamo soli!

Due casi particolarmente interessanti...

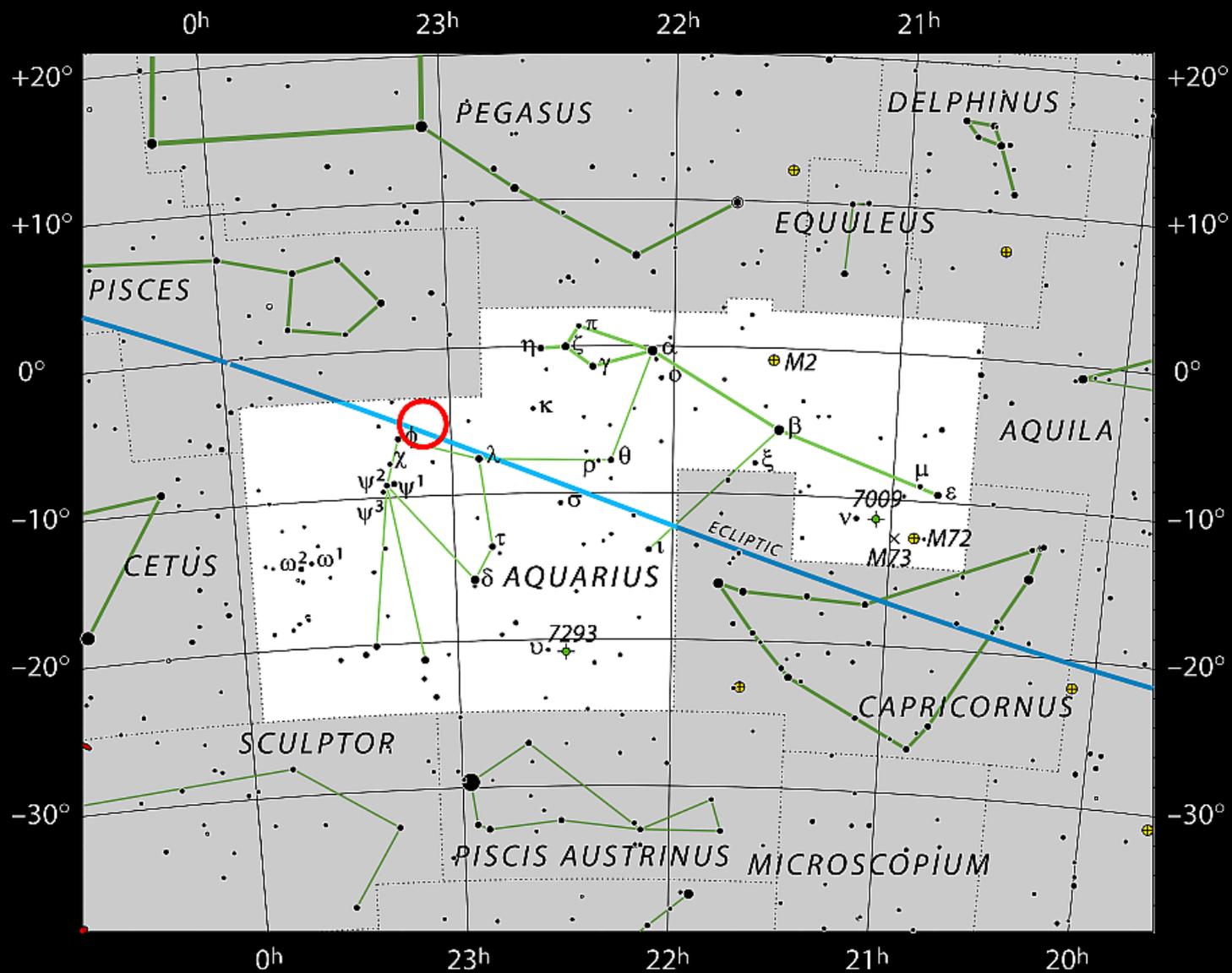
Il telescopio automatico belga TRAPPIST





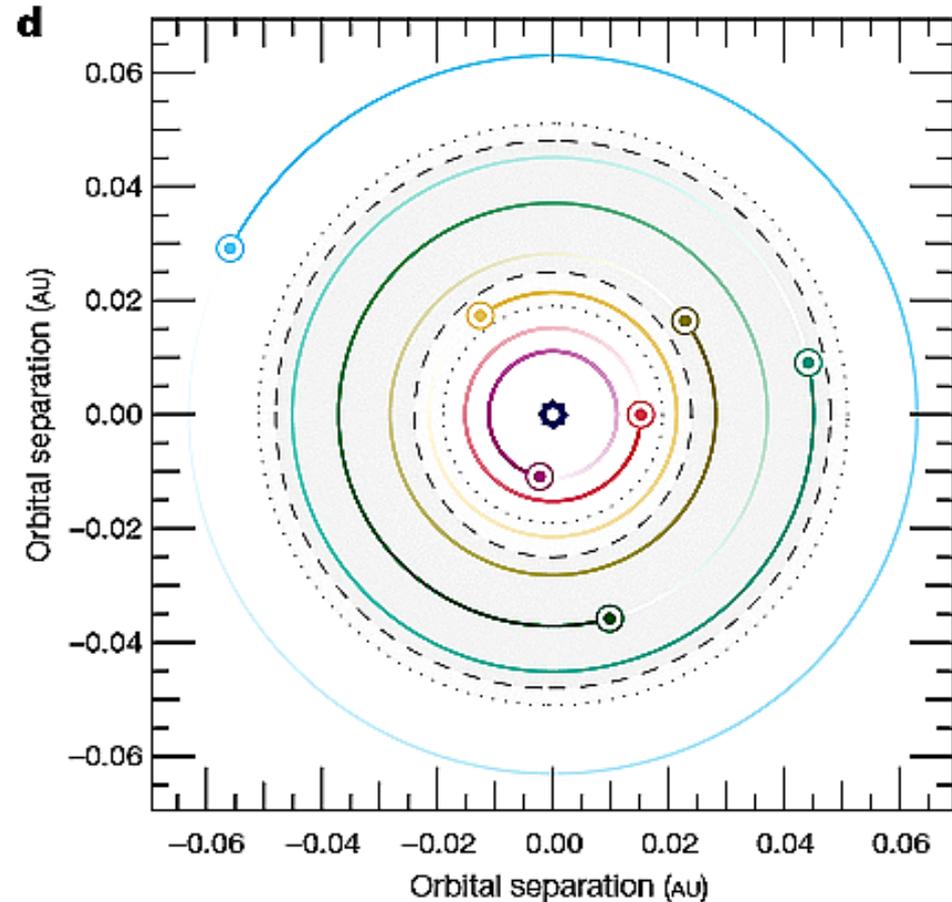
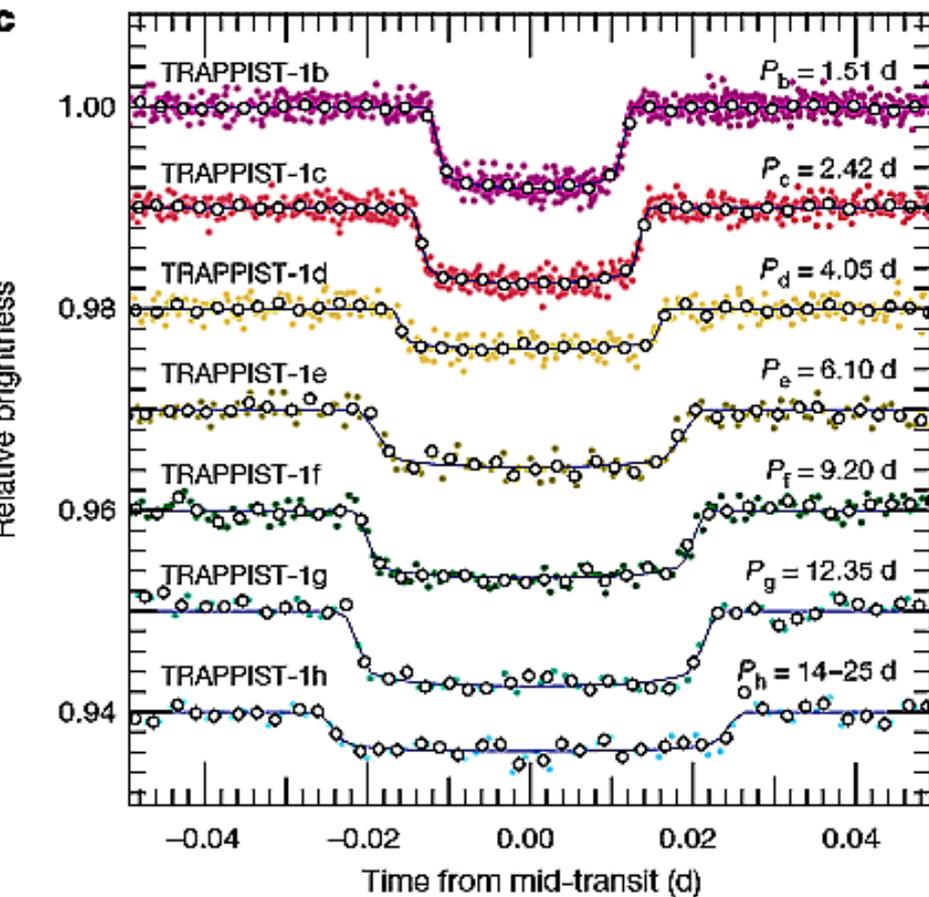
Trappist 1. 3 May 2017.

The image above comes from the average of ten, 60-second exposures, unfiltered, remotely collected with the 16"-f/3.75 Tenagra III ("Pearl") robotic unit part of Tenagra Observatories in Arizona. The image scale is 2.4"/pixel, North is up, east on the left.



○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6

Il sistema Trappist 1



TRAPPIST-1 System



b



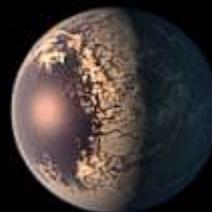
c



d



e



f



g



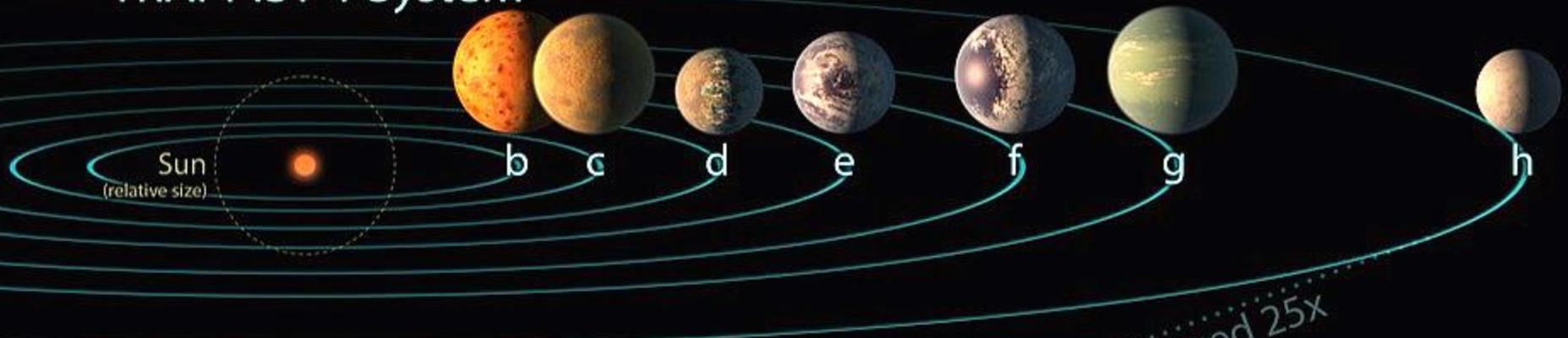
h

Illustration

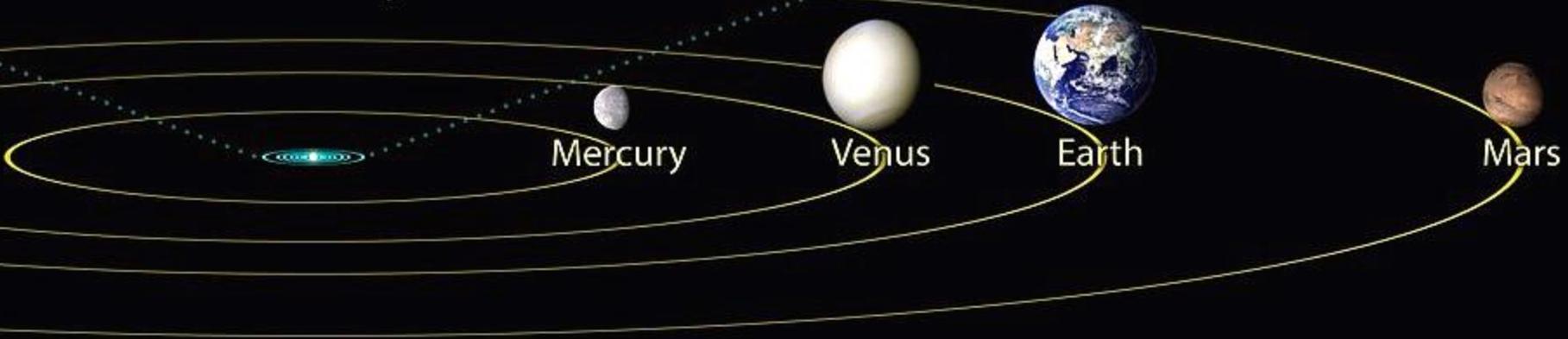
Jupiter & Major Moons



TRAPPIST-1 System



Inner Solar System



Orbits Enlarged 25x

Proxima Centauri b



Proxima Centauri b



Rappresentazione artistica della superficie di Proxima Centauri b.

Stella madre Proxima Centauri

Scoperta 24 agosto 2016

Scopritori European Southern Observatory

Classificazione Pianeta terrestre

Distanza dal Sole 4,224 a.l.

Coordinate

Ascensione retta 14^h 29^m 42.94853^s

Declinazione -62° 40' 46.1631''

Parametri orbitali

Semiasse maggiore 0,05 UA

Periodo orbitale 11,186 giorni

Dati fisici

Raggio medio 0,9 - 1,4 R_⊕

Massa 1,27 ± 0,18 M_⊕

Flusso stellare 0,66 ⊕

Temperatura superficiale 229 K assumendo un'albedo di 0,3 (media)



Location of Proxima Centauri

6 Light Years

4 Light Years

2 Light Years

Edge of our solar system

Earth Sun

Alpha Centauri A

Proxima Centauri

Alpha Centauri B

Not to scale



Requisiti per la vita extraterrestre

- Nella Astrobiology Roadmap (NASA, 2008) ^[8], viene così definito il principale criterio di abitabilità planetaria per il supporto di forme di vita basate sul Carbonio:

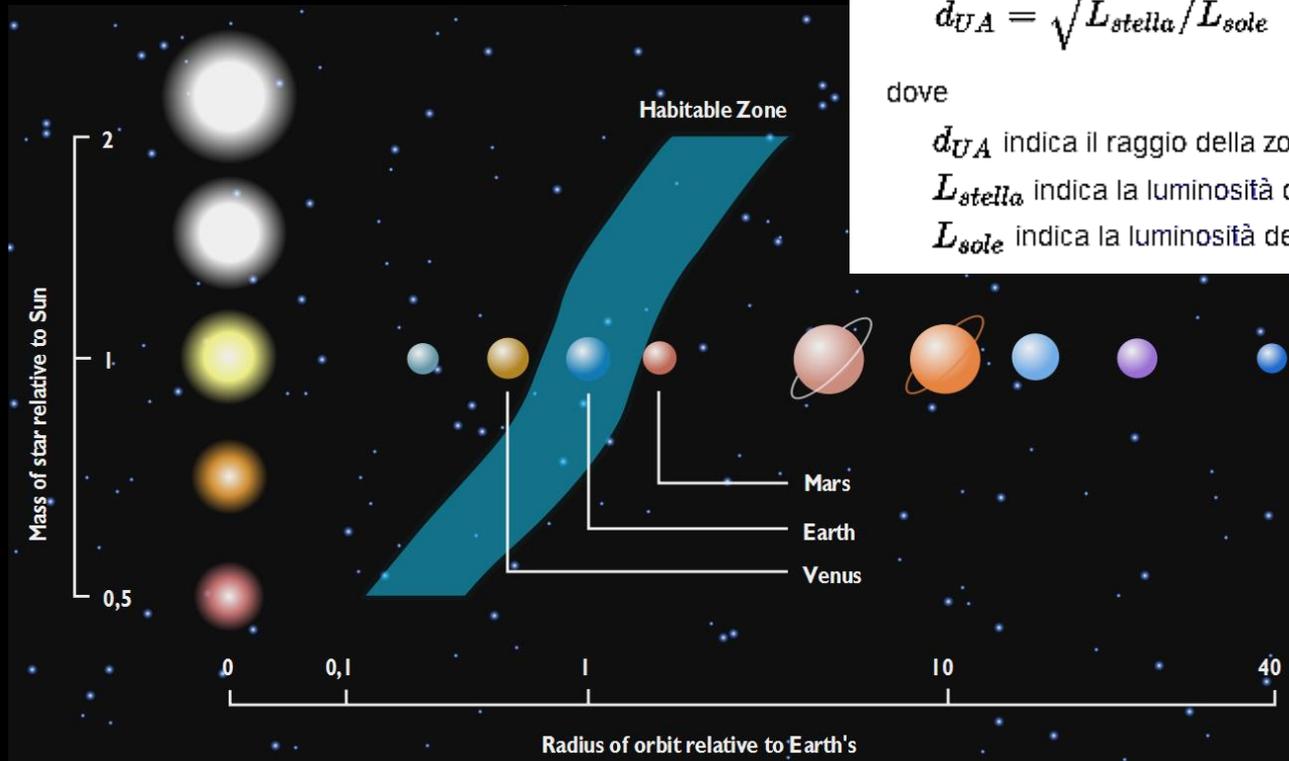
“[...] ambienti abitabili devono presentare estese regioni di acqua liquida, condizioni favorevoli all'assemblamento di molecole organiche complesse ed una fonte di energia in grado di sostenerne il metabolismo.”

- Altri parametri da considerare sono:
 - tipo spettrale, variazione della luminosità e metallicità della stella
 - massa, orbita, rotazione e geochimica del pianeta
 - presenza o meno di sistemi binari, vicinanza di sorgenti gamma, buchi neri, sorgenti di radiazione ionizzante
 - diverso tipo di biochimica rispetto a quella terrestre
 - presenza di un pianeta gioviano “buono”
 - presenza di grossi satelliti
 - tettonica delle placche

Sistemi stellari adatti

- Criteri di selezione per un sistema stellare potenzialmente interessante dal punto di vista astrobiologico (catalogo HabCat) [9]:
 - Stella di tipo spettrale tra “late F”, “G” fino a “mid-K”, pari ad un intervallo di temperatura superficiale tra 7000K e 4000K.
 - Età di alcuni milioni di anni per consentire la formazione di pianeti di tipo roccioso.
 - Emissione di sufficiente radiazione ultravioletta, in grado di innescare reazioni atmosferiche quali la formazione dell’ozono, ma non eccessiva per non ionizzare le molecole costituenti forme di vita basilari.
 - Presenza di acqua o altri composti chimici allo stato liquido in uno dei pianeti orbitanti la stella.
 - Presenza di un campo magnetico

Zona di Abitabilità



$$d_{UA} = \sqrt{L_{stella} / L_{sole}}$$

dove

d_{UA} indica il raggio della zona abitabile espresso in unità astronomiche,
 L_{stella} indica la luminosità della stella, e
 L_{sole} indica la luminosità del Sole.

Zona di Abitabilità



- La zona di abitabilità (Habitable Zone HZ) dipende dalla distanza dalla stella e dalla sua massa (luminosità).

$$d_{UA} = \sqrt{L_{stella} / L_{sole}}$$

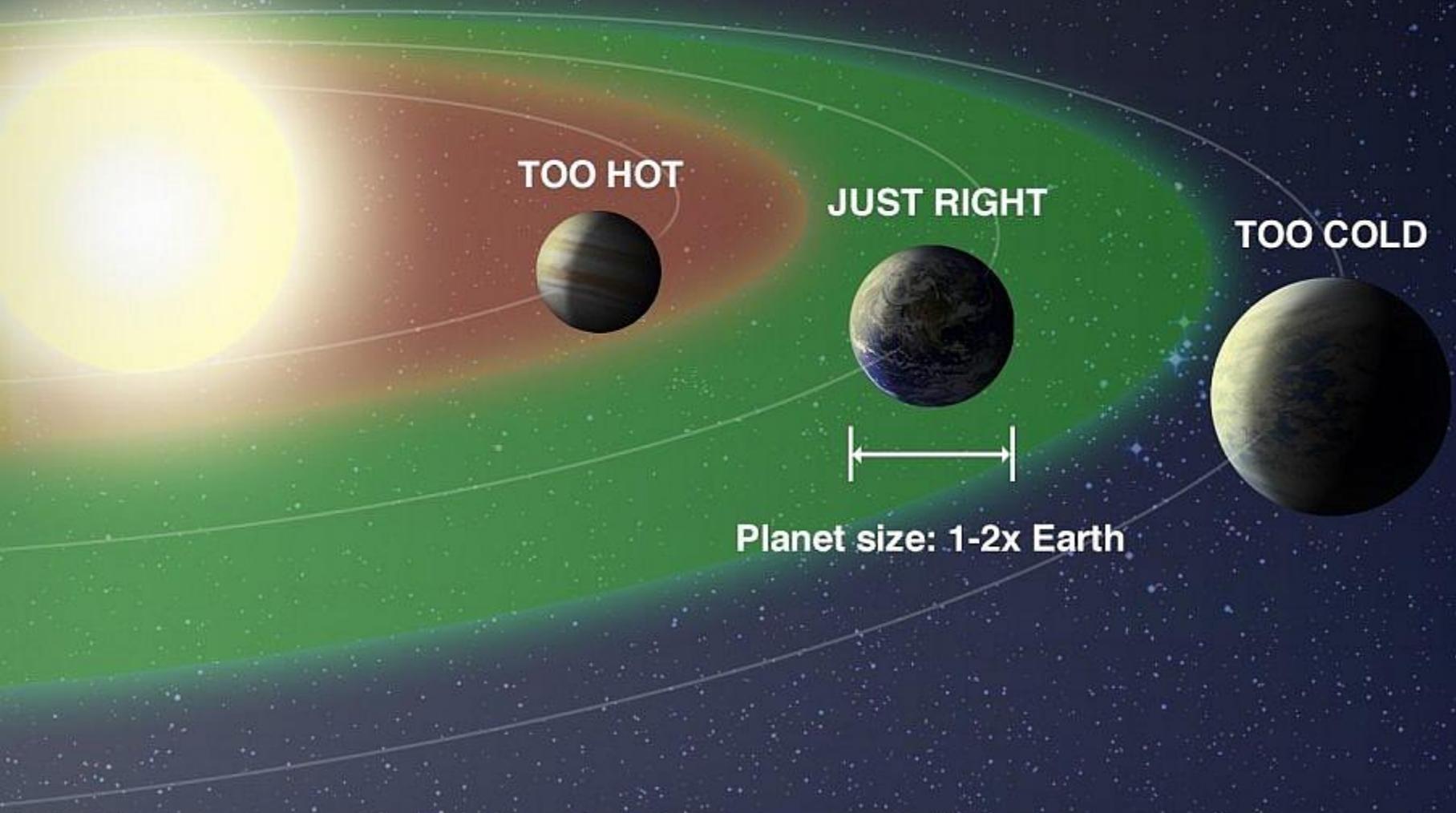
- Il requisito dell'acqua allo stato liquido è stato scelto per il suo ruolo di solvente fondamentale per le forme di vita basate sul Carbonio.
- Non è costante nel tempo, poichè dipende dagli stadi evolutivi della stella, ed inoltre la sua determinazione presenta molta incertezza.
- Una critica a questo concetto consiste nel fatto che non tiene in considerazione forme di vita non basate sul Carbonio, nè la presenza di attività vulcanica, effetti mareali o decadimenti radioattivi che potrebbero modificare la temperatura di un pianeta o satellite anche ben al di fuori della HZ (cfr. Europa).

Zona di Abitabilità



- Pianeti potenzialmente in grado di ospitare la vita richiedono una stella la cui luminosità sia il più possibile costante nel tempo, o subisca variazioni minime. Il Sole mostra una variazione di circa lo 0,1% durante gli 11 anni del ciclo solare.
- Brusche variazioni di luminosità impediscono alle forme di vita di adattarsi in tempi adeguati, o possono risultare letali nel caso di picchi di emissione accompagnata da radiazione X e Gamma.
- Infine, una stella con alta metallicità indica una maggior disponibilità di elementi pesanti anche nel disco protoplanetario, e quindi aumenta la probabilità che si siano formati pianeti rocciosi e di massa non troppo piccola ^[10].

Habitable Zone



TOO HOT

JUST RIGHT

TOO COLD

Planet size: 1-2x Earth

Zona di abitabilità

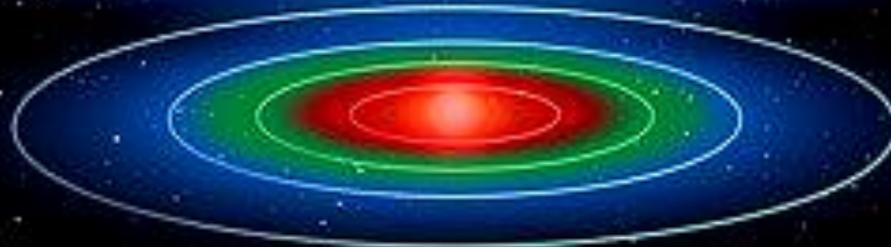
Hotter Stars



Sunlike Stars

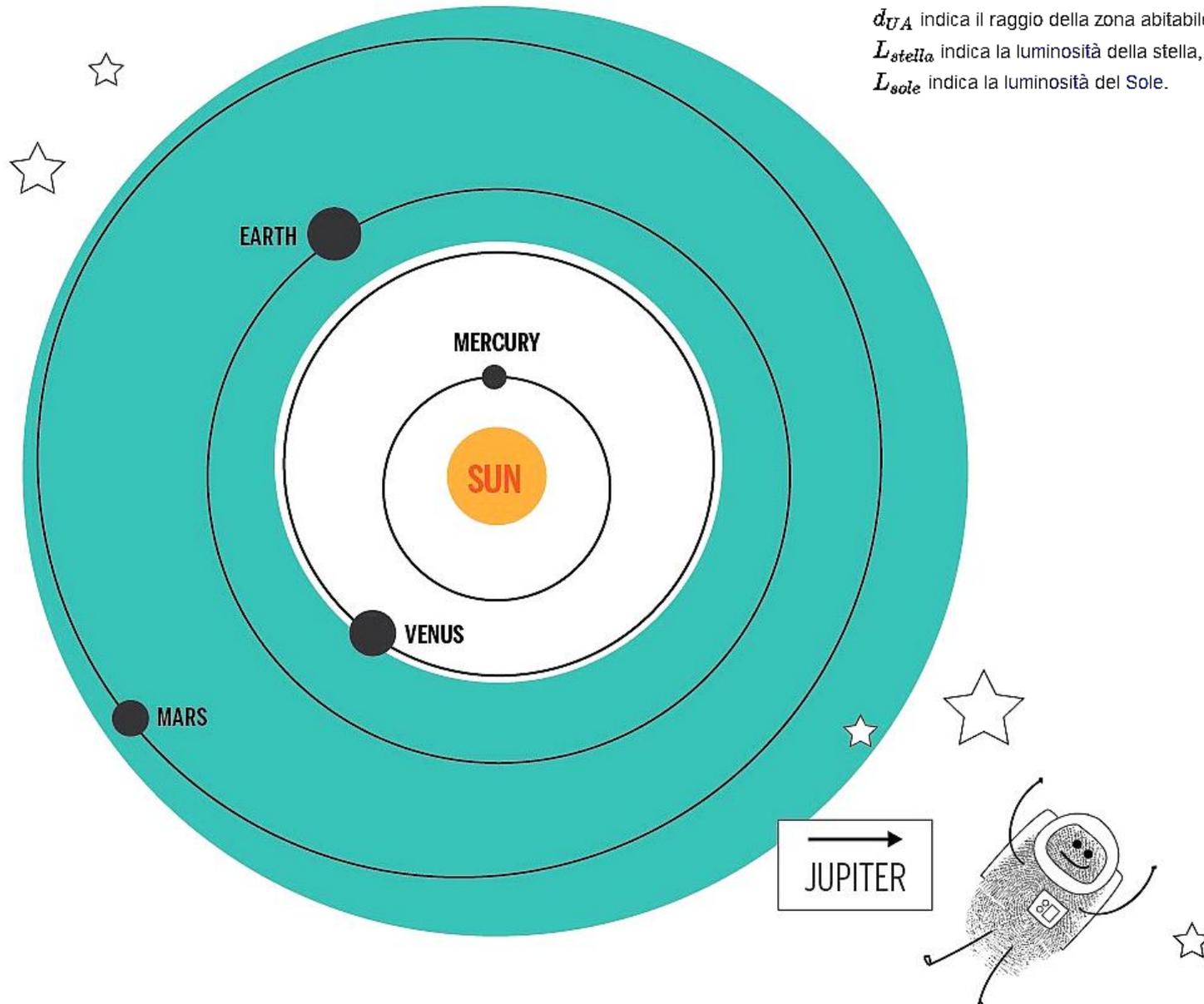


Cooler Stars



Our solar system's habitable zone

● HABITABLE ZONE ○ PLANETARY ORBITS



$$d_{UA} = \sqrt{L_{stella} / L_{sole}}$$

dove

d_{UA} indica il raggio della zona abitabile espresso in unità astronomiche,
 L_{stella} indica la luminosità della stella, e
 L_{sole} indica la luminosità del Sole.

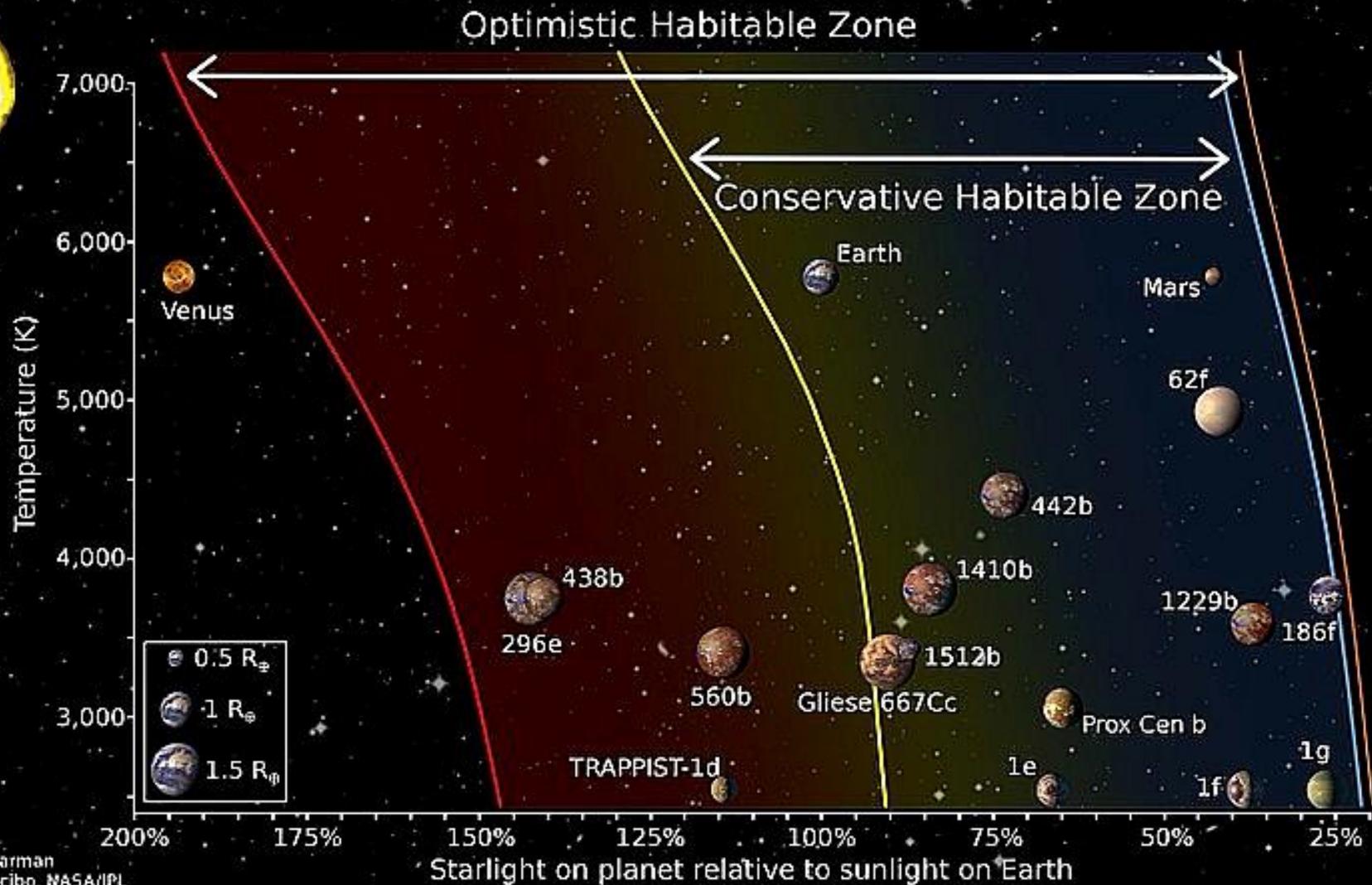
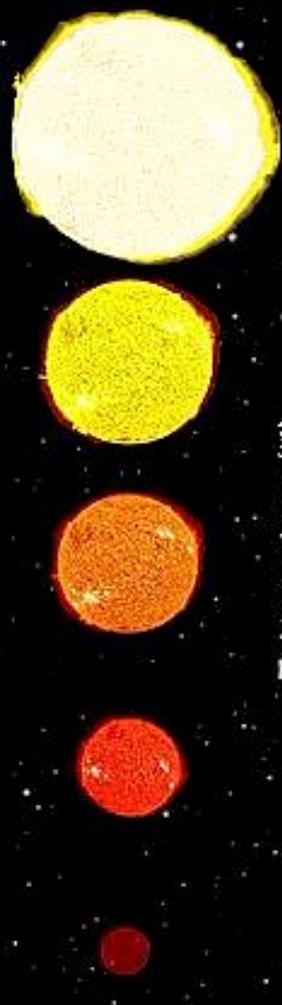
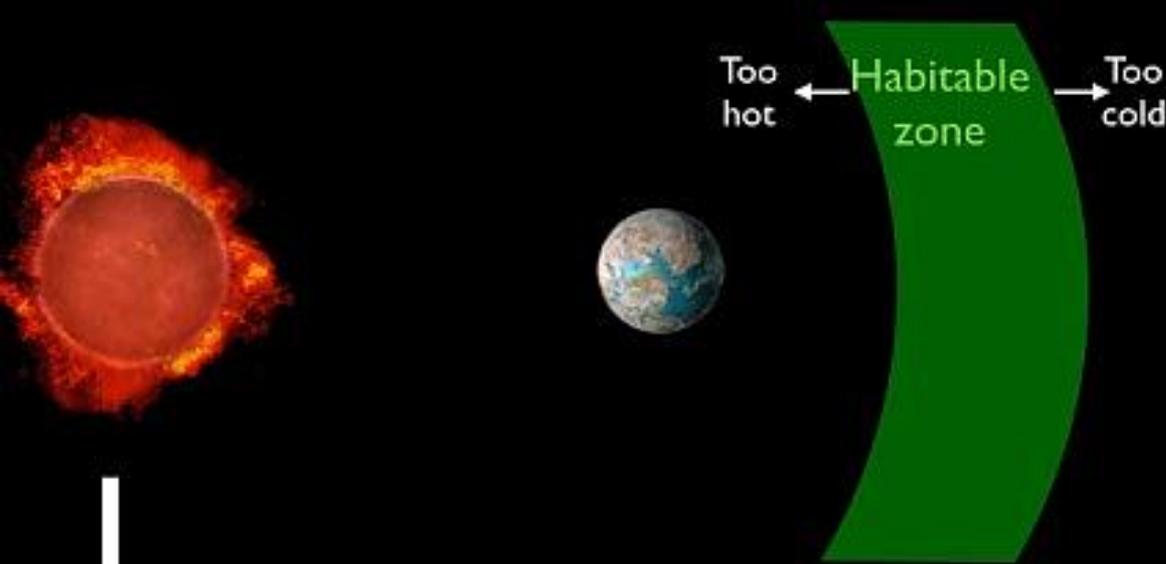


Image Credit: Chester Harman
Planets: PHL at UPR Arcibo, NASA/JPL



Proxima b formed close to its star, on an orbit too hot for life. Its water was vulnerable to being stripped by the energetic young star.

The star settled down and the habitable zone swept inward.

200 million years later



On entering the habitable zone, did Proxima b have any water left?

Caratteristiche del Pianeta



- L'assunzione principale sui pianeti abitabili stabilisce che essi siano di tipo terrestre, composti principalmente di rocce silicatiche, di massa intorno ad un ordine di magnitudine rispetto a quella della Terra (valore minimo 0.3 masse terrestri).
- Un pianeta di massa troppo piccola avrebbe difficoltà a tenere gravitazionalmente legata un'atmosfera (almeno di 608 Pa per la presenza di acqua liquida), e la bassa velocità di fuga permetterebbe alle molecole costituenti di perdersi nello spazio
- L'ipotesi che la vita possa evolvere anche sugli strati più esterni di un gigante gassoso non è esclusa, ma viene considerata altamente improbabile per l'assenza di una superficie e per la forte gravità. Restano ovviamente candidati validi i satelliti dei pianeti giganti.

Caratteristiche del Pianeta



- Un pianeta di dimensioni almeno pari a quella della Terra inoltre ha maggiori probabilità di essere geologicamente attivo, con vulcani, terremoti e attività tettonica in grado di rifornire la crosta di materiali necessari alla vita e l'atmosfera di regolatori di temperatura come la CO_2 .
-
- In ultimo, un pianeta di grandi dimensioni può presentare un nucleo interno costituito da ferro, il che sommato all'effetto dinamo, permette la formazione di un campo magnetico in grado di proteggere efficacemente la superficie e le sue specie viventi dal vento stellare
- Si osserva tuttavia che la massa del pianeta non è il parametro fondamentale per la sua abitabilità.

Caratteristiche del Pianeta



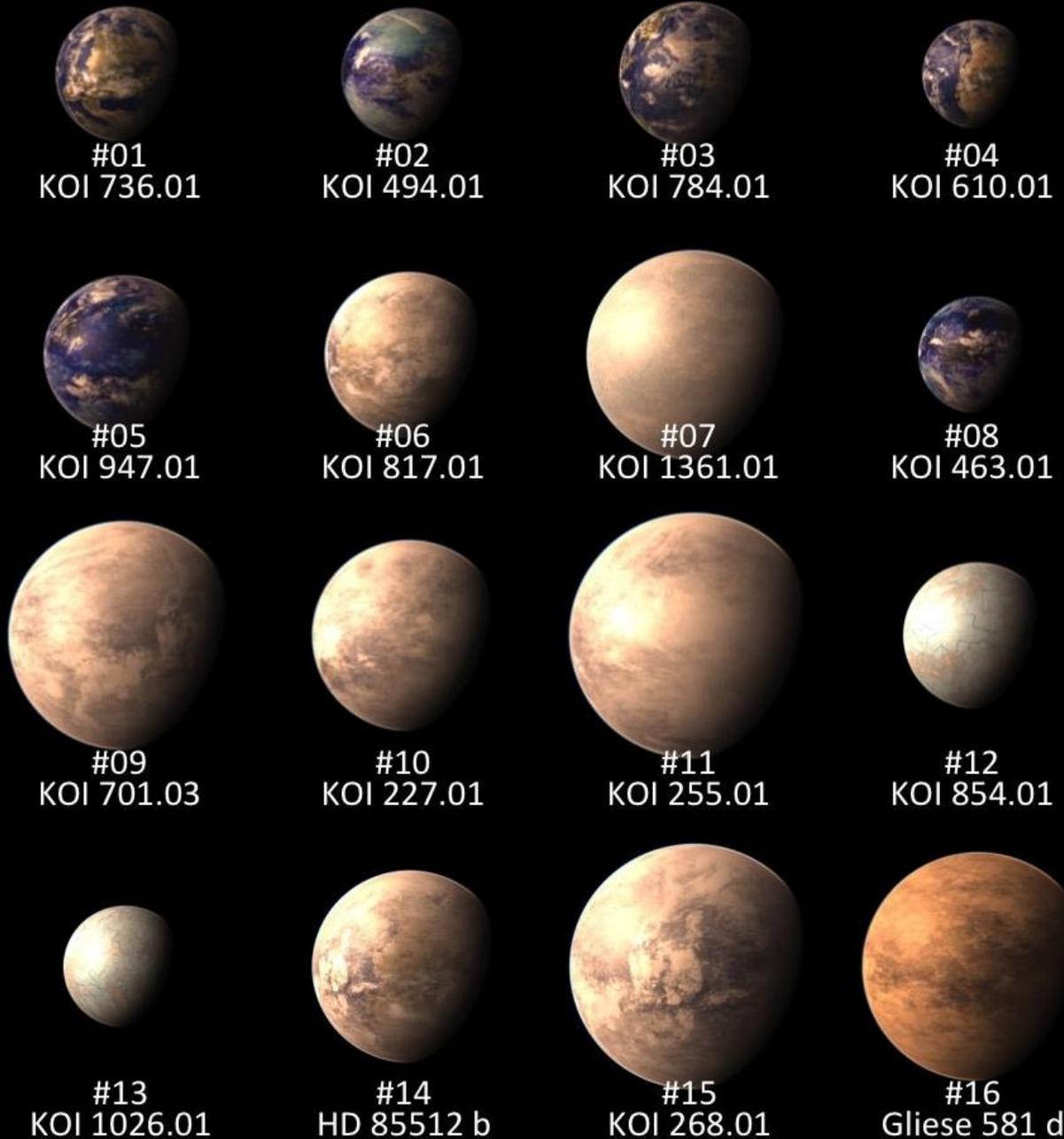
- La stabilità dell'orbita è un altro criterio importante per caratterizzare l'abitabilità di un pianeta. Più un organismo vivente è complesso, più risulta sensibile alle variazioni di temperatura e quindi una elevata eccentricità, che corrisponde a grandi fluttuazioni di temperatura, risulta sfavorevole per tali forme di vita.
- Una moderata inclinazione dell'asse di rotazione del pianeta permette la presenza di stagioni, che si pensa costituire un forte stimolo al dinamismo della biosfera
- La rotazione dovrebbe essere sufficientemente veloce per permettere un ciclo giorno-notte non eccessivamente lungo, e la presenza di un grande satellite (es. Luna) in grado di stabilizzare l'asse di rotazione e moderare il clima del pianeta può costituire un fattore importante in termini di abitabilità.

Caratteristiche del Pianeta



- Dal punto di vista biochimico, si suppone che forme di vita extraterrestri siano basate sugli stessi elementi fondamentali che si trovano sulla Terra: C, H, N, O.
- Ipotesi di biochimiche alternative a quella del Carbonio sono puramente speculative, e riguardano soprattutto l'uso del Silicio e dei siliconi come molecole costituenti, e dell'Ammoniaca o dell'etere come solventi alternativi all'acqua.

Potential Habitable Worlds in the Universe



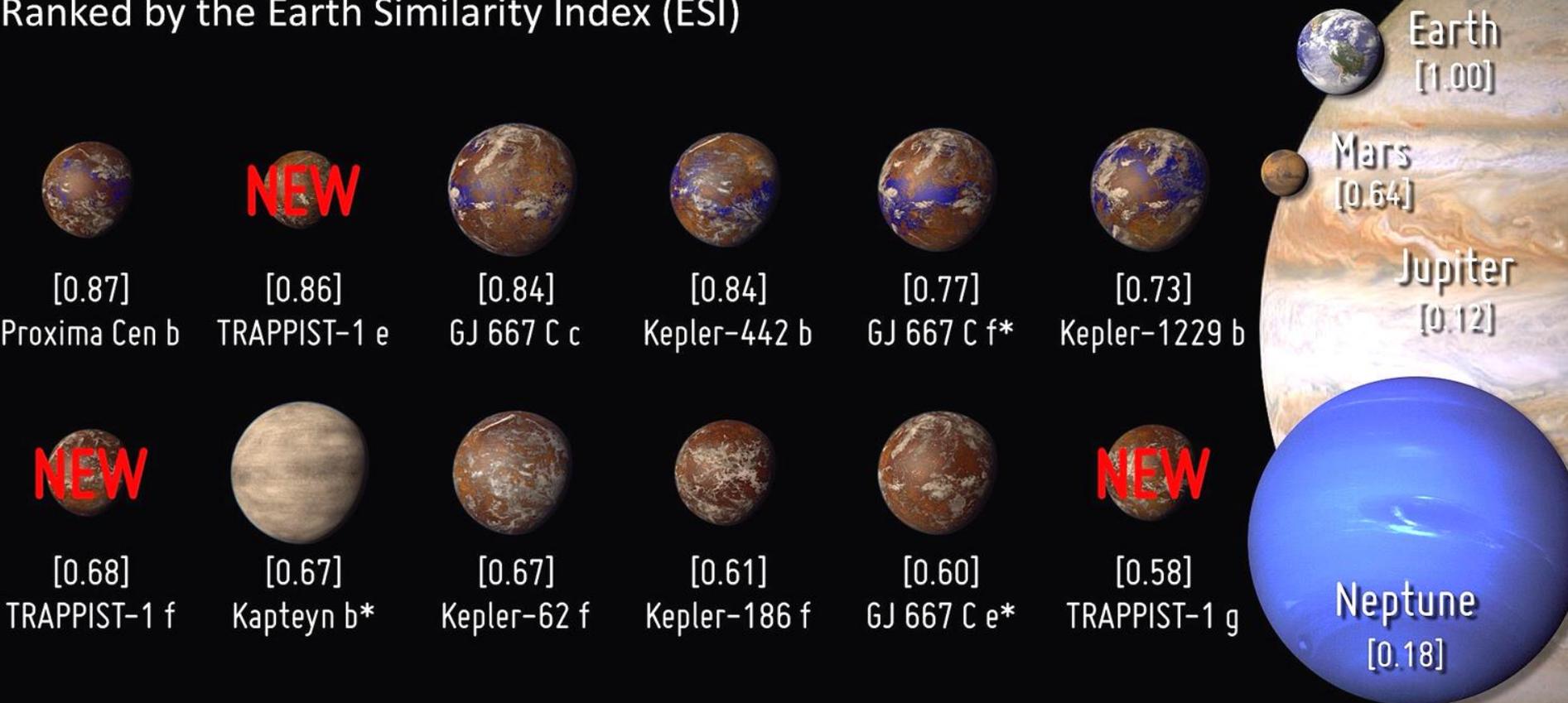
Scientists are starting to identify potential habitable exoplanets. Over 2,000 exoplanets that have been detected so far. Here is the current working list of 16 potential habitable exoplanet candidates ranked by similarity to Earth, from best to worst. They are to scale and can be compared to Earth, Venus, Mars, and Mercury below.

Solar System Terrestrial Planets



Potentially Habitable Exoplanets

Ranked by the Earth Similarity Index (ESI)



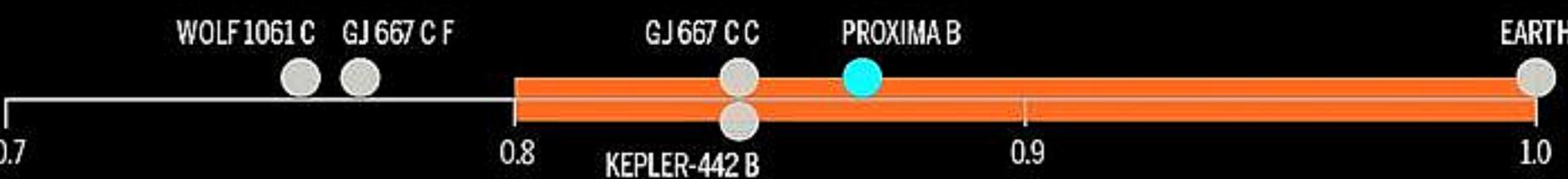
Artistic representations. Earth, Mars, Jupiter, and Neptune for scale. ESI is a measure of how similar is a planet to the size and stellar flux of Earth, value is between brackets. Planet candidates indicated with asterisks.

Earth Similarity Index

Our Solar System neighbours



The most Earth-like exoplanets



Sunset of the Habitable Worlds

Earth

Proxima b

Gliese 667C c

Kepler-442 b

Wolf 1061 c

...ma, ci sono?



Eseguiamo qualche calcolo...

Il numero di civiltà aliene attualmente presenti nella nostra galassia è dato da:

$$N = n^* \cdot P_0$$

n^* = numero di stelle presenti nella nostra galassia

P_0 = probabilità di sviluppo di una civiltà aliena intelligente e tecnologicamente evoluta

La probabilità di sviluppo di una civiltà aliena intelligente e tecnologicamente evoluta è:

$$P_0 = N_e \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot T_0$$

N_e = numero medio di pianeti per ogni sistema planetario extrasolare.

P_1 = probabilità che una stella abbia un sistema planetario.

P_2 = probabilità che la vita si sviluppi su un pianeta.

P_3 = probabilità che su quel pianeta si sviluppi una civiltà intelligente.

P_4 = probabilità che la civiltà intelligente sia tecnologicamente evoluta tanto da poter trasmettere segnali nello spazio.

T_0 = numero medio di anni durante i quali una civiltà evoluta si evolve prima di estinguersi rispetto all'età della Galassia:

$$T_0 = \frac{\text{durata civiltà}}{\text{età Galassia}}$$

Stime delle varie probabilità

$N^* = 100$ miliardi di stelle

$N_e = 1 \div 2$ (i pianeti entro la fascia di abitabilità)

$P_1 = 0,5 \div 0,7$ (50% - 70% del totale)

$P_2 = 0,1 \div 0,05$

$P_3 = 0,1 \div 0,05$

$P_4 = 0,1 \div 0,05$



stime grossolane

$$T_o = \frac{\text{durata civiltà}}{\text{età Galassia}} = \frac{10000 \text{ anni}}{10 \text{ miliardi di anni}} = \frac{1}{1 \text{ milione}}$$

eseguendo il calcolo risulta:

N = 140 (calcolo ottimistico)

N = 6 (calcolo pessimistico)



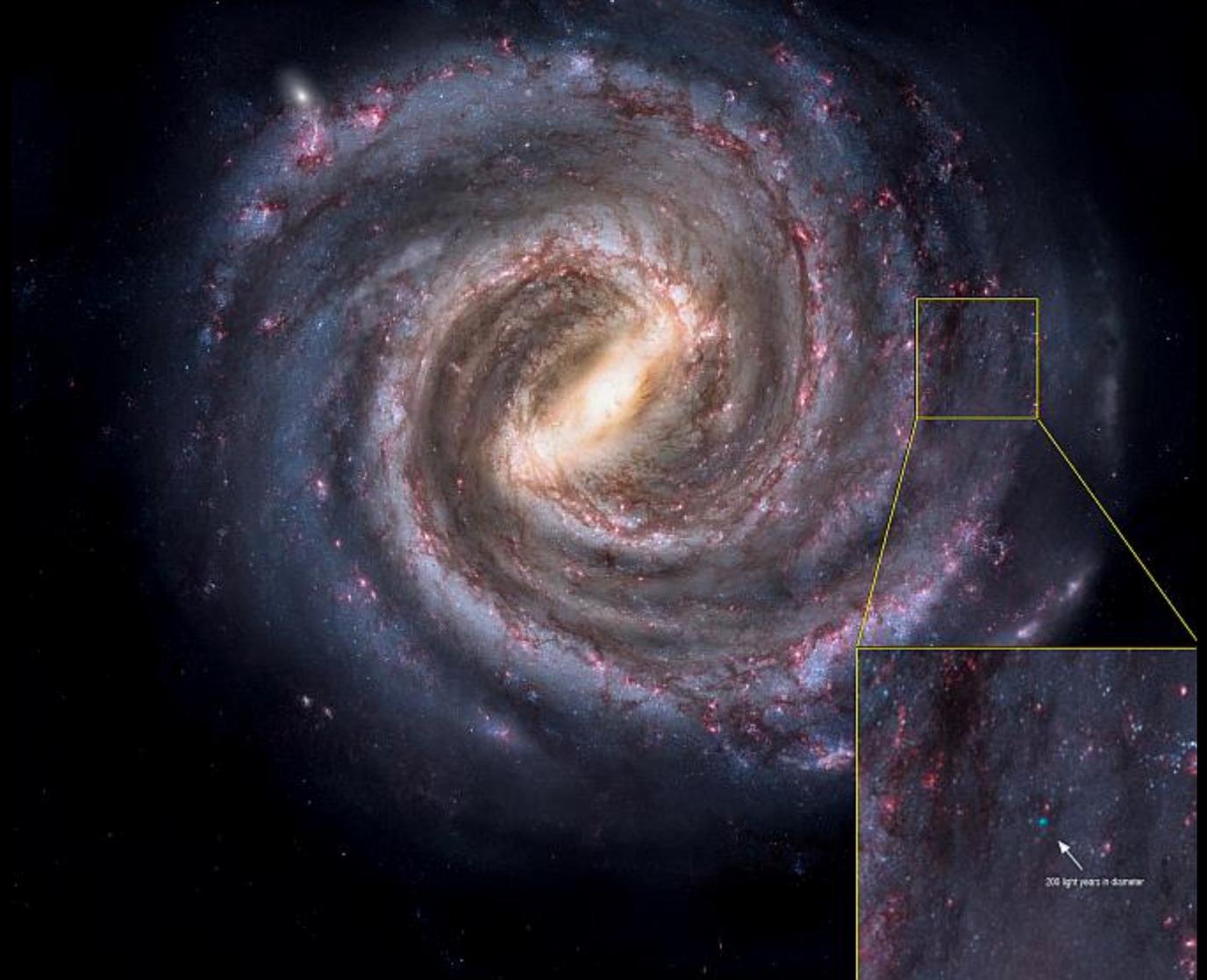
Quindi attualmente dovrebbero esistere da 6 a 140 civiltà aliene tecnologicamente evolute nella nostra galassia...

Livello di affidabilità: 50%

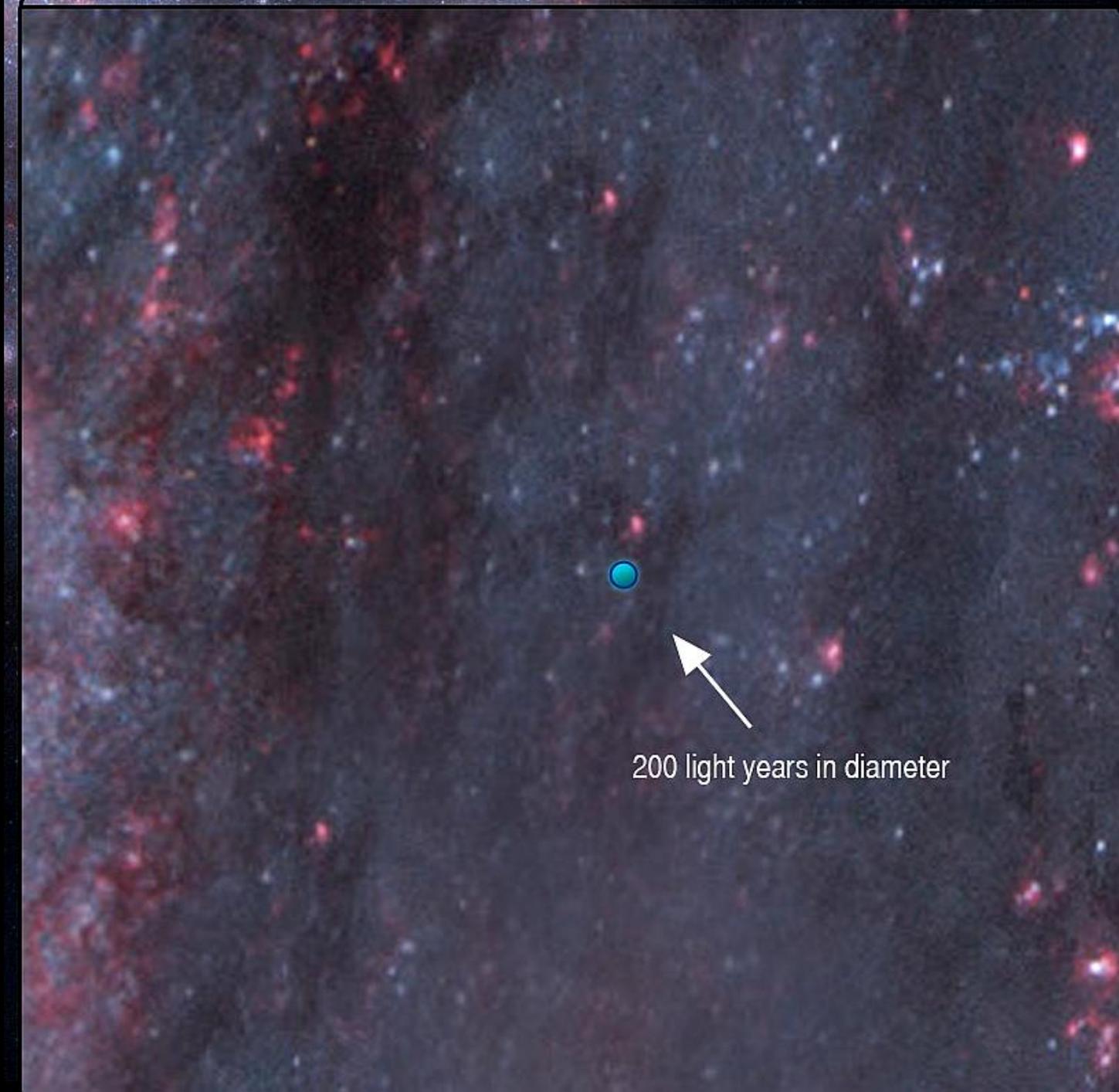
trasmettono qualche segnale?

noi si...

Extent of Human Radio Broadcasts



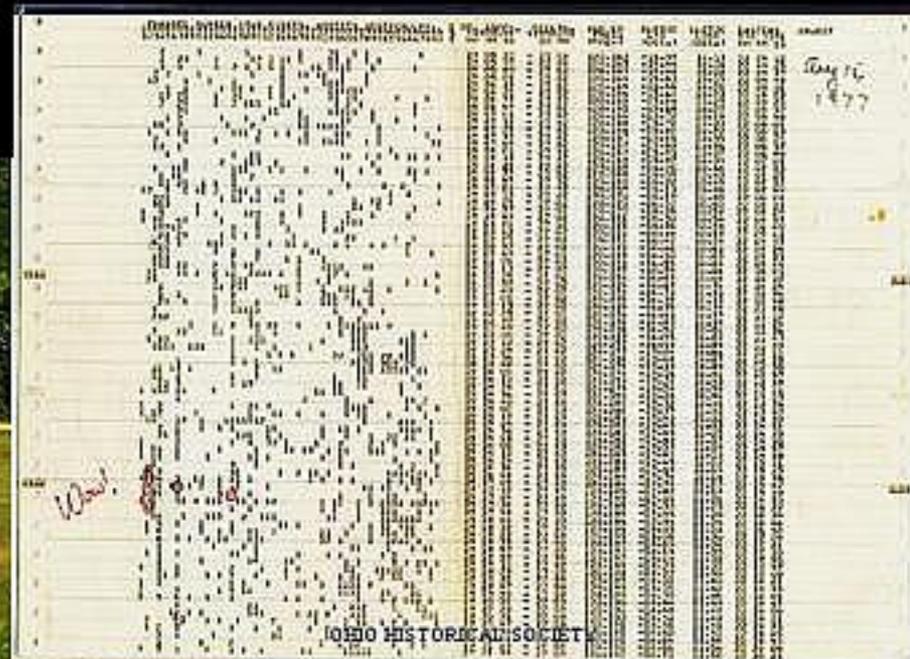


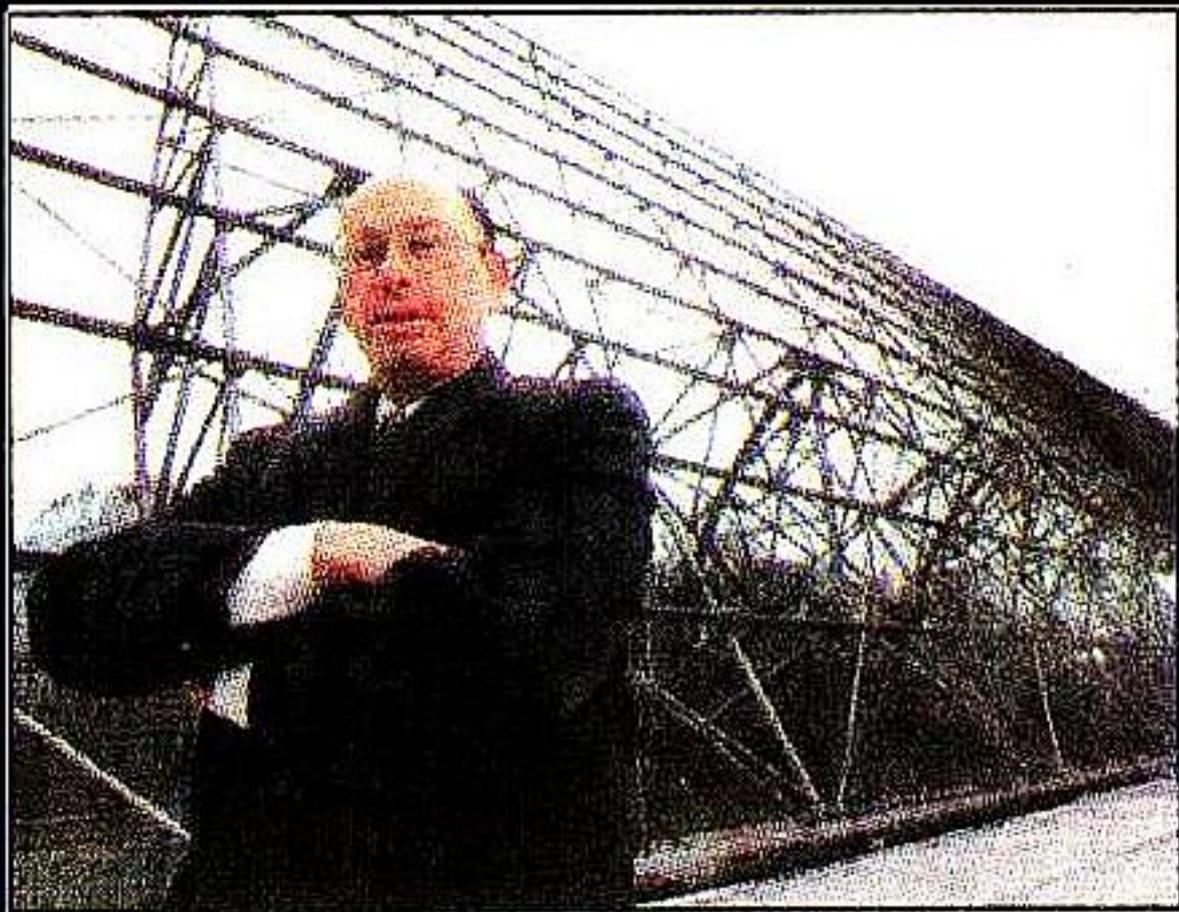


200 light years in diameter

the WOW signal

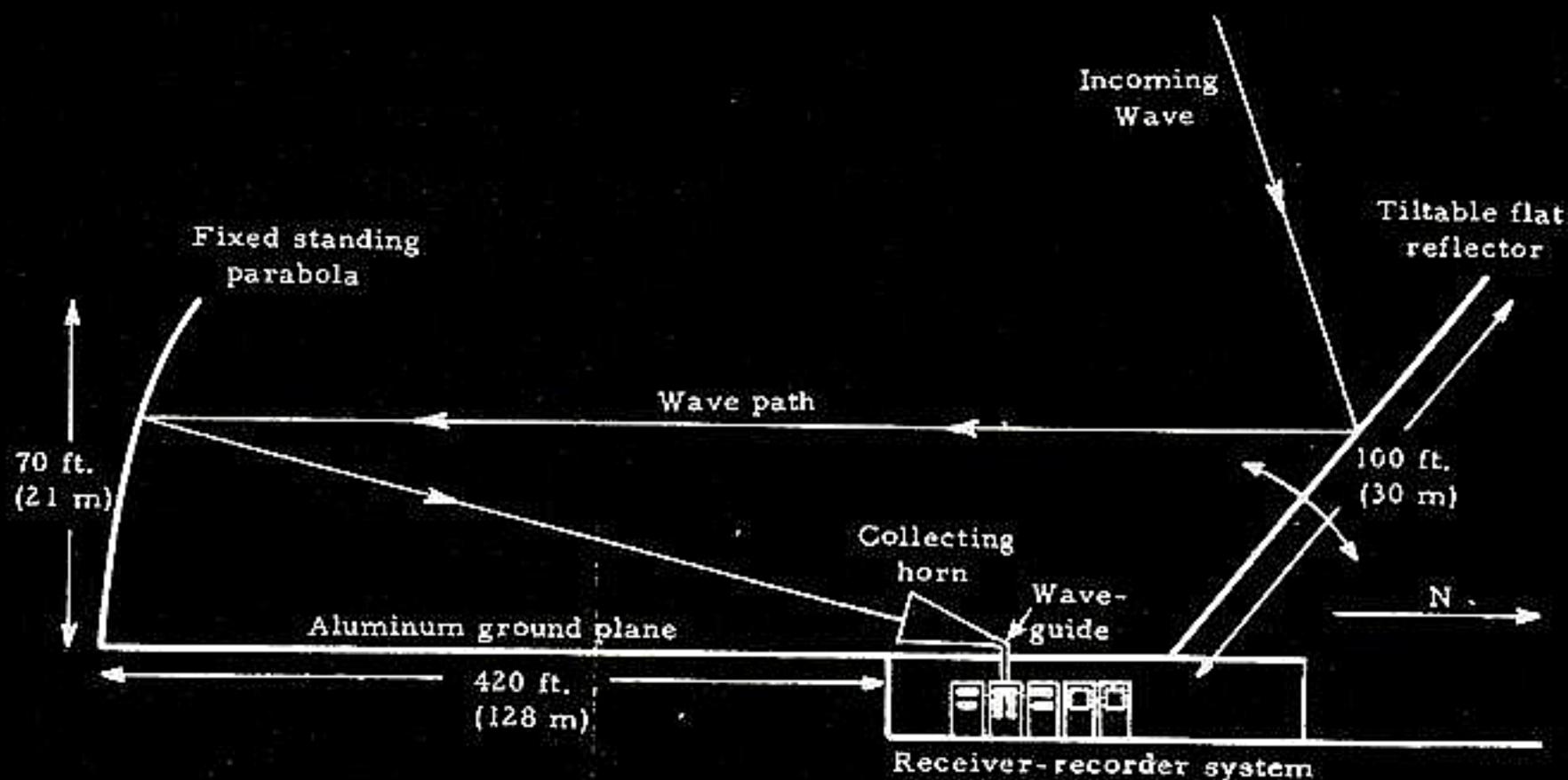
Il segnale WOW fu ricevuto il 15 Agosto 1977 dal radiotelescopio "Big Ear" della Ohio State University per 72 secondi su una frequenza di 1420 MHz. In quel momento l'astronomo Jerry R. Ehman era allo strumento e scrisse WOW sul tabulato...



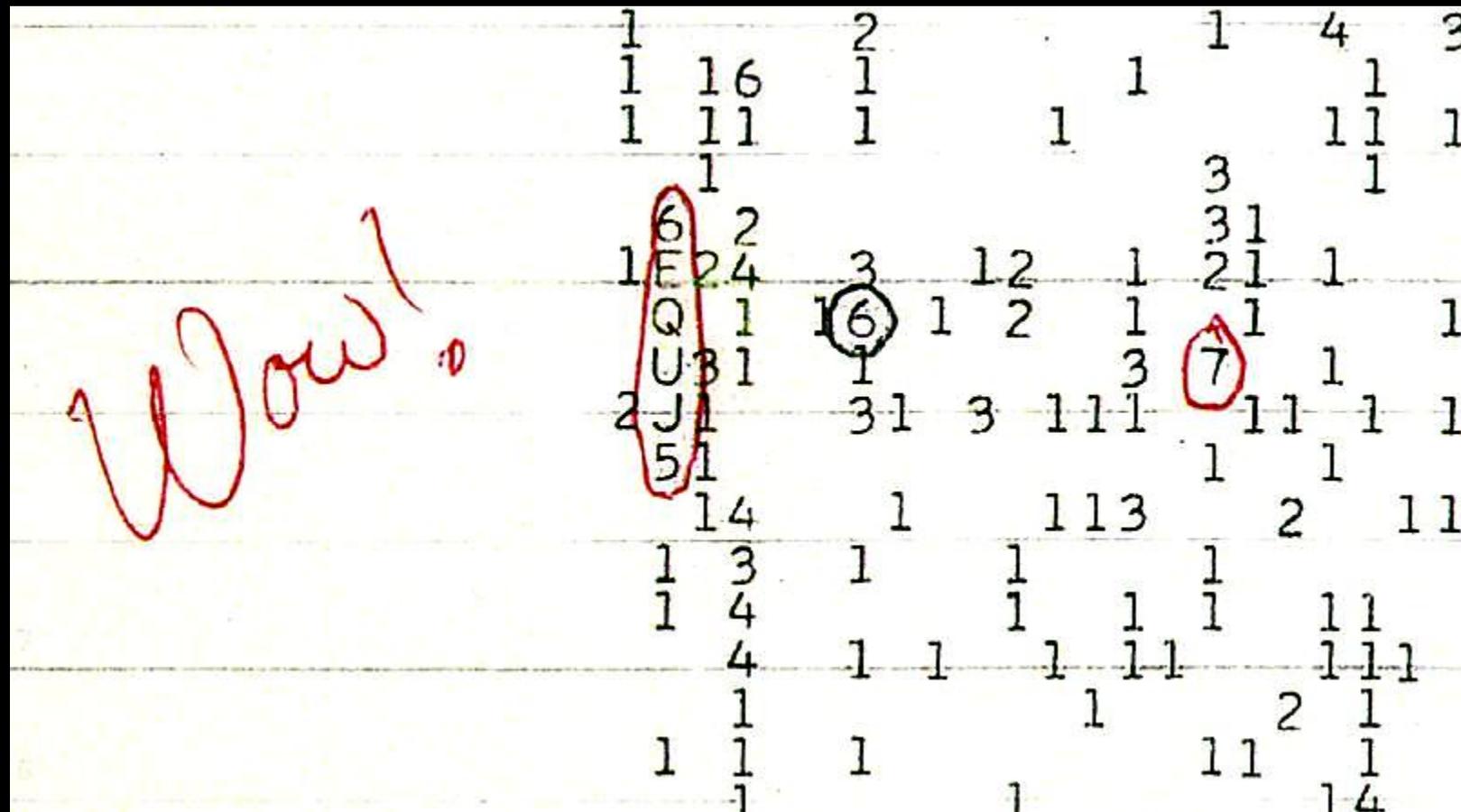


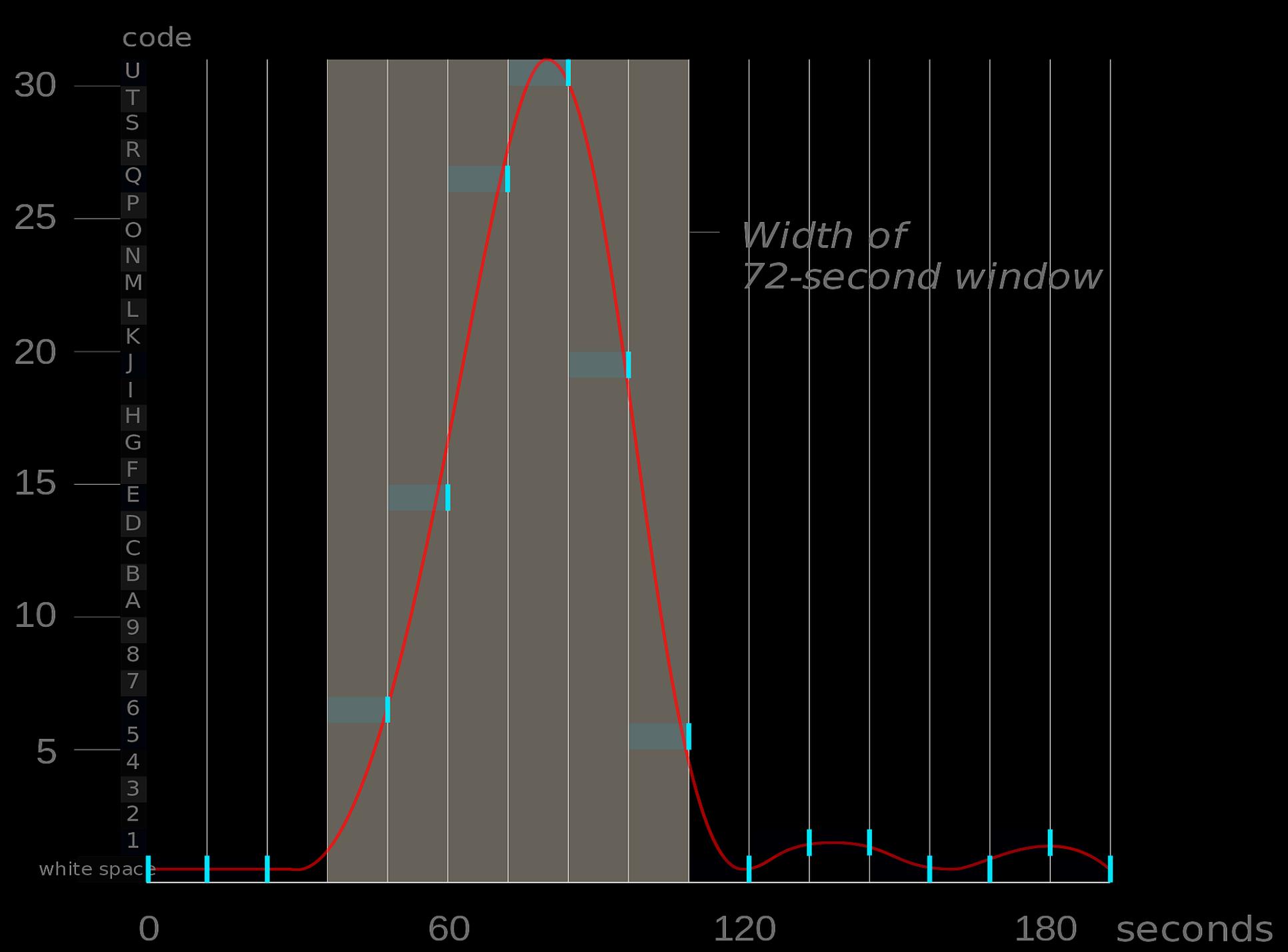
Jerry Ehman, photographed in front of the Big Ear radio telescope in 1995, detected a 70-second burst that came to be known as the “Wow!” signal. Big Ear was demolished in 1998. Project Argus is its successor.

radiotelescopio "Big Ear" della Ohio State University



the WOW signal





Chi-1 Sgr



Signal



266P

335P

M55

Sagittarius

	B1950 equinox	J2000 equinox
RA (positive horn)	$19^{\text{h}}22^{\text{m}}24.64^{\text{s}} \pm 5^{\text{s}}$	$19^{\text{h}}25^{\text{m}}31^{\text{s}} \pm 10^{\text{s}}$
RA (negative horn)	$19^{\text{h}}25^{\text{m}}17.01^{\text{s}} \pm 5^{\text{s}}$	$19^{\text{h}}28^{\text{m}}22^{\text{s}} \pm 10^{\text{s}}$

In contrast, the [declination](#) was unambiguously determined to be as follows:

	B1950 equinox	J2000 equinox
Declination	$-27^{\circ}03' \pm 20'$	$-26^{\circ}57' \pm 20'$



**Grazie
per
L'attenzione!**