

ALLA RICERCA DI NUOVE TERRE

Sabrina Masiero e Riccardo Claudi

sabrina.masiero@oapd.inaf.it

riccardo.claudi@oapd.inaf.it



FIG. 1: Il Telescopio Nazionale Galileo (TNG) nell'Isola di La Palma e la spettacolare Via Lattea. Secondo uno studio pubblicato da un gruppo di astronomi dell'Università del Texas a El Paso (UTEP) circa 100 milioni di pianeti potrebbero ospitare forme di vita complessa nella nostra Galassia. Crediti e copyright: Giovanni Tessicini/TNG.

Abstract

Since 1995, more than 1800 planets around stars other than the Sun have been discovered. After centuries of speculation as to whether our planetary system might be one of many, that's a remarkable achievement. The techniques that have been used to accomplish those discoveries and to study the properties of the exoplanets are based on physical phenomena: instead of detecting the planet, astronomers infer its existence by observing the effects that it has on its parent star.

A partire dal 1995 sono stati scoperti oltre 1800 pianeti attorno a stelle diverse dal Sole. Si tratta di un risultato notevole, dopo secoli di speculazioni riguardo alla questione se il nostro Sistema Solare sia uno fra i molti.

Le tecniche usate per ricavare tali scoperte e per studiare le proprietà dei pianeti extrasolari si basano su fenomeni fisici: invece di rilevare il pianeta, gli astronomi deducono la sua esistenza osservando gli effetti sulla sua stella madre.

Il Sole è uno dei 100 miliardi di stelle della nostra Galassia e la nostra Galassia è una fra i miliardi di galassie che popolano l'universo. Nel corso dei millenni l'esistenza di pianeti al di fuori del nostro Sistema Solare ha affascinato grandi pensatori, filosofi, mistici e uomini di scienza.

All'inizio del XXI secolo viviamo un momento molto particolare: per la prima volta ci troviamo nella situazione di poter dare una risposta concreta, scientifica, falsificabile (cioè che può essere confutata sulla base di dati osservativi) alla domanda: esistono altri pianeti nell'Universo?

Per molto tempo gli astronomi si sono chiesti come fare a trovarli, dato che era alquanto verosimile che dovessero esistere. Oggi sappiamo che esistono e sono anche tanti, oltre al fatto che sono molto diversi dal nostro pianeta.

L'obiettivo degli astronomi, tra cui quelli impegnati nel programma *GAPS-Global Architecture of Planetary Systems*, è di trovare un luogo analogo alla Terra dal punto di vista del raggio, della massa, della densità e alla giusta distanza dalla propria stella perché vi sia acqua allo stato liquido sulla superficie.

Quest'ultima condizione è fondamentale per la formazione di forme di vita come noi le conosciamo: tale distanza rappresenta la zona abitabile di una stella.

I progressi dell'esobiologia, che si occupa di capire se, come e dove possano essere comparse altre forme di vita oltre a quelle del pianeta Terra, portano a ritenere la formazione di forme di vita più probabile su piccoli pianeti rocciosi.

Un pianeta simile alla Terra non è ancora stato trovato, non perché non esista ma perché non abbiamo ancora la tecnologia per poterlo individuare.

I primi pianeti scoperti e le conseguenze sulle teorie di formazione planetaria

Fino a una ventina di anni fa non eravamo neppure in grado di abbozzare una risposta alla domanda: esistono pianeti al di fuori del nostro Sistema Solare?

La situazione è cambiata a partire dal 1995 quando gli astronomi svizzeri Michel Mayor e Didier Queloz scoprirono il primo pianeta attorno ad una stella simile al Sole, 51 Pegasi, con un periodo di 3 giorni e una massa metà di quella di Giove.

Da quel momento il numero di pianeti extrasolari è aumentato fino a superare la soglia dei 1800. Questi sistemi planetari hanno caratteristiche per lo più differenti da quelle del nostro Sistema Solare.

Per esempio, sono stati osservati pianeti denominati Super-Terre (pianeti rocciosi con massa da 2 a 10 volte la massa della Terra) e *Hot Jupiter* (giganti gassosi con masse confrontabili o superiori a quelle di Giove) molto vicini alla loro stella ospite, ben al di là dell'orbita di Mercurio, il pianeta roccioso più interno nel nostro Sistema Solare.

Per spiegare la presenza di corpi rocciosi e gassosi molto vicini alla loro stella, la teoria della formazione planetaria ha intrapreso due strade distinte.

La teoria maggiormente accreditata, quella dell'interazione disco-pianeta (o interazione disco-pianeta) afferma che i pianeti gassosi si formano lontano dalla loro stella per accrescimento di materiale (planetesimi) su un nocciolo.

Poi, per interazioni gravitazionali estremamente complesse, migrano verso le regioni più interne della loro stella.

Molti sono i quesiti ancora da spiegare. Uno di questi è come avvengono i meccanismi di frenamento della migrazione. In assenza di tali meccanismi i pianeti continuerebbero ad avvicinarsi alla stella su orbite sempre più brevi fino ad essere investiti.

La seconda teoria, invece, detta instabilità di disco, è più veloce del processo appena descritto. Questa prevede che i pianeti si formino nella stessa posizione dove sono scoperti a causa di perturbazioni mareali causate da differenze di densità all'interno del disco protoplanetario stesso.

FIG. 2: Rappresentazione artistica di una Super-Terra, un oggetto con massa tra le 2 e le 10 masse terrestri. Crediti: Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics.



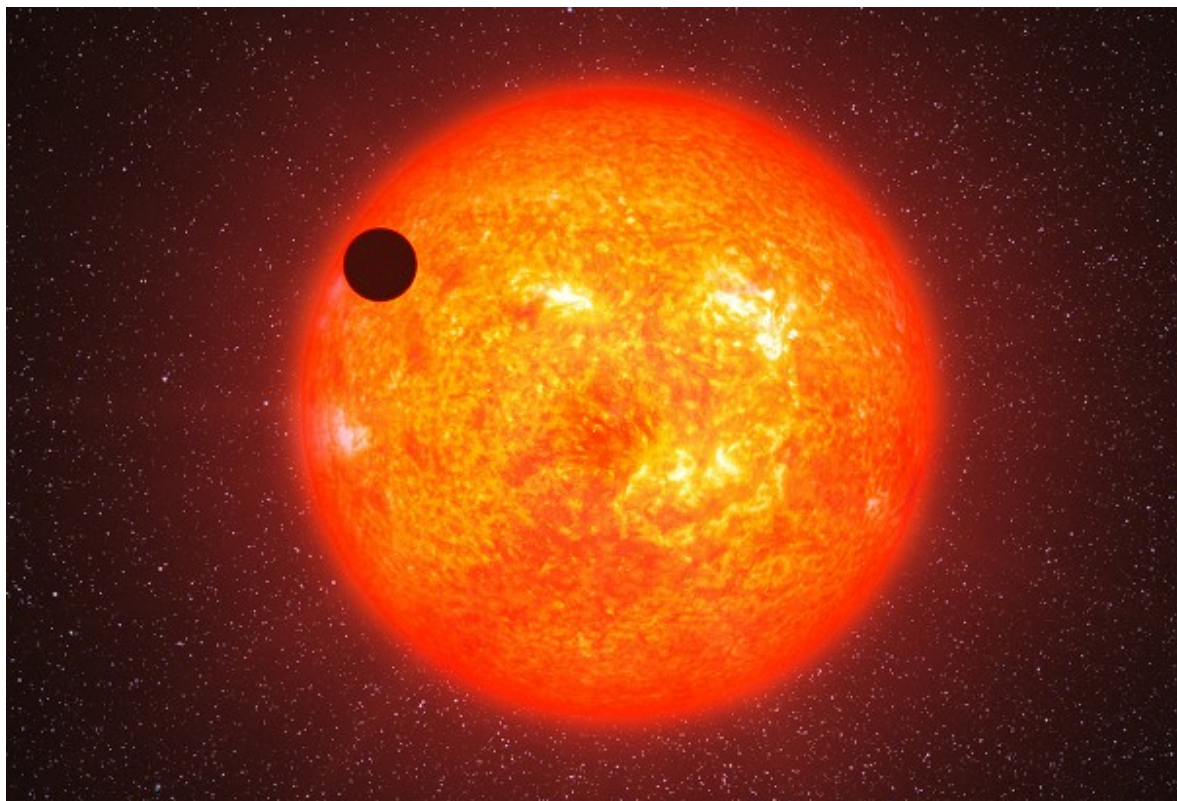


FIG. 3: *Transito della Super-Terra Gliese 121-4b davanti alla sua stella. La probabilità di osservare un transito è piuttosto bassa, circa 2 pianeti su 100. Crediti: ESO, L. Calçada.*

Queste perturbazioni innescano un processo di accrescimento di materia localizzato che porta direttamente alla formazione del gigante gassoso.

Metodi utilizzati e primi risultati

L'osservazione dei pianeti extrasolari pone sfide molto ardue agli astronomi e ai tecnici. Ciò che si vuole osservare, infatti, è un corpo piccolissimo rispetto alla stella attorno a cui orbita. Se immaginassimo di schiacciare il Sole, che ha un diametro di 1 392 000 chilometri, fino a farlo diventare un'arancia di 10 centimetri, in questa

scala la Terra diventerebbe un granellino di sabbia di un millimetro di diametro posta ad una distanza di 10 metri dall'arancia-Sole.

La Luna diventerebbe ancor più insignificante della Terra; Giove sarebbe una pallina da calcetto di un centimetro di diametro posto a 50 metri di distanza dal Sole. Nettuno, l'ultimo pianeta del nostro Sistema Solare, avrebbe una dimensione di 3,2 millimetri a 300 metri di distanza dalla stella.

Quindi, cercare pianeti extrasolari attorno a una stella diversa dal Sole è come pensare di individuare un granellino di sabbia di fronte a un'arancia a migliaia di chilometri di distanza. I pianeti, infatti, sono piccoli, poco luminosi e riflettono la luce della loro stella. In più sono prospetticamente a lei vicini. Pensare di individuarli in modo diretto attraverso un sistema fotometrico (tecnica detta di *imaging*) o registrando lo spettro della sua atmosfera (tecnica spettroscopica), è possibile ma molto complicato.



Fig. 4: *HARPS-N - High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher-North, al fuoco del Telescopio Nazionale Galileo dal 2012, è lo spettrografo gemello di HARPS montato al Telescopio di La Silla in Cile oltre una decina di anni fa. Grazie ad HARPS-N è possibile determinare la massa del pianeta. Crediti: Università di Ginevra/TNG.*

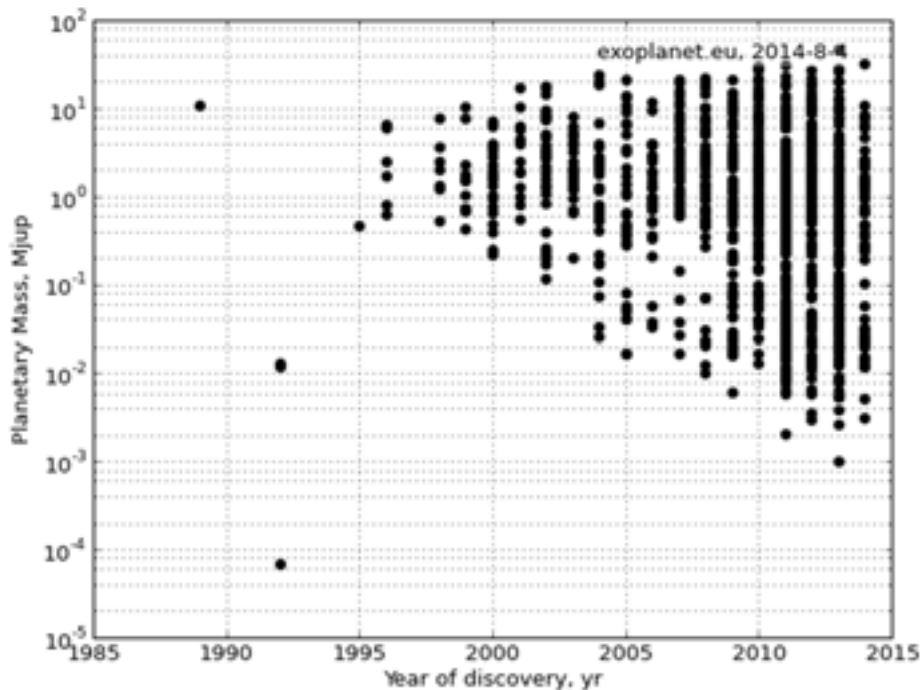


FIG. 5: Il diagramma riporta la massa dei pianeti (espressa in massa gioviana) in funzione del tempo (misurato in anni terrestri). I punti neri rappresentano i vari oggetti scoperti nel corso del tempo a partire dal 1989. Si osserva il graduale aumento di pianeti scoperti con massa via via più piccola. I dati provengono dal Catalogo di Pianeti Extrasolari - The Extrasolar Planets Encyclopaedia: <http://exoplanet.eu/>

Ciò che lo rende difficile sono le enormi distanze a cui si trovano le stelle dal Sole: la separazione angolare stella-pianeta è così piccola che neppure i grandi telescopi professionali sono per ora in grado di risolvere il pianeta.

Di conseguenza, si cerca di individuare gli effetti che la presenza del pianeta causa sulla stella. Più in dettaglio, il rapporto tra la massa della stella e quella del pianeta è tipicamente dell'ordine di 1000 o più. Di conseguenza, le perturbazioni gravitazionali che il pianeta esercita sulla stella sono di piccola entità e quindi difficilmente rilevabili. Malgrado ciò, numerosi sono i metodi che permettono di esplorare gli immediati dintorni di stelle simili al Sole (ossia, stelle di sequenza principale dei tipi spettrali F, G e K) alla ricerca di eventuali pianeti.

Quelli più utilizzati oggi e che hanno permesso di scoprire il maggior numero di pianeti extrasolari sono la tecnica delle velocità radiali e il metodo dei transiti.

La tecnica delle velocità radiali misura la componente nella direzione dell'osservatore della velocità del moto orbitale della stella intorno al baricentro del sistema stella-pianeta. Questa misura che richiede una sensibilità strumentale e una precisione altissime, sfrutta

l'effetto Doppler, ovvero lo spostamento della lunghezza d'onda (λ) della luce verso il rosso (λ maggiori) o verso il blu (λ minori) a seconda che il corpo si stia allontanando o avvicinando dall'osservatore.

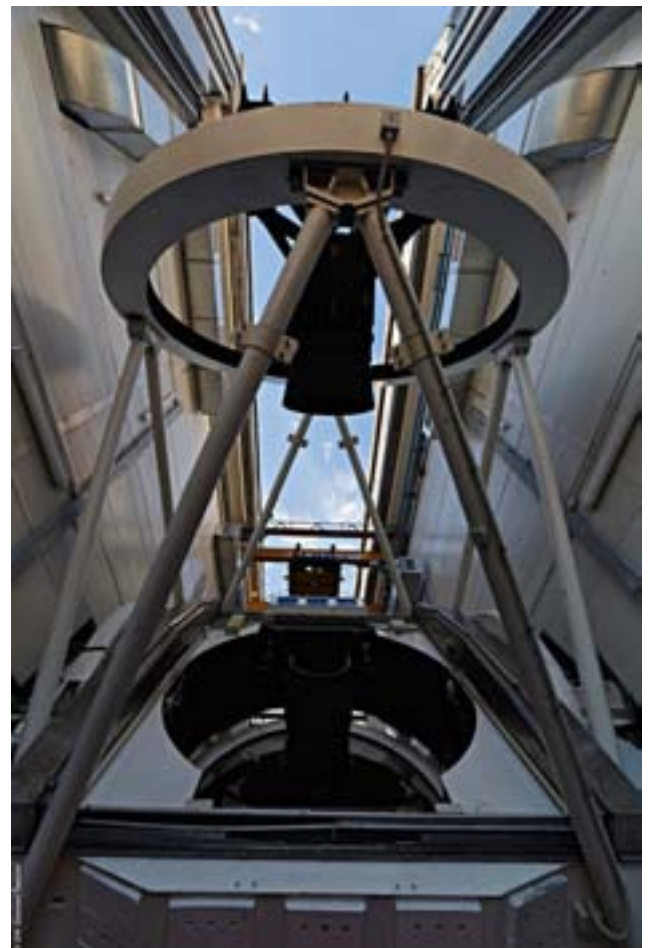


FIG. 6: Il Telescopio Nazionale Galileo (TNG) è il telescopio ottico/infrarosso di 3,58 metri nell'Isola di La Palma, Canarie, gestito dall'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) e dalla Fundación Galileo Galilei. Crediti e copyright: Giovanni Tessicini/TNG.

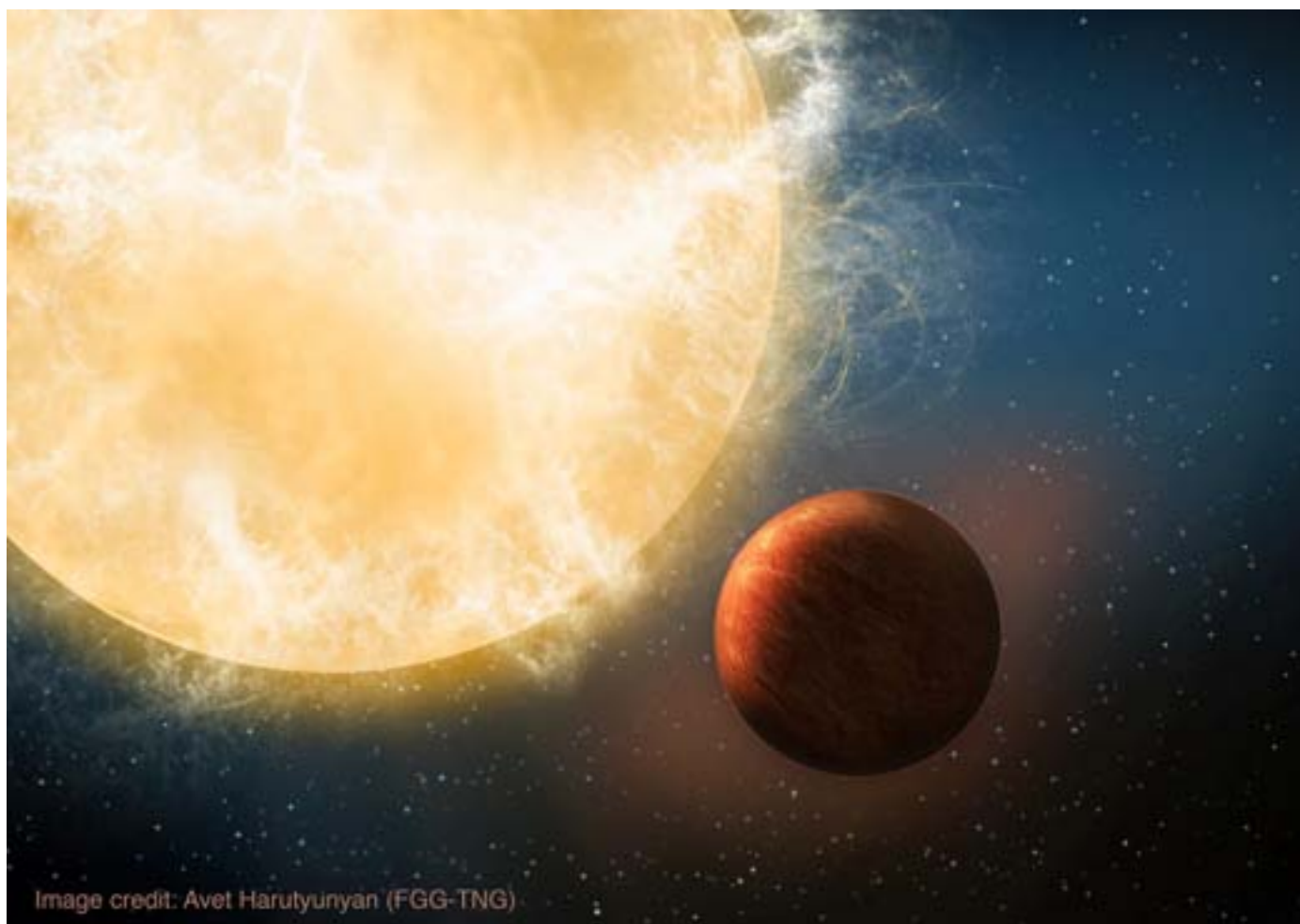


FIG. 7: Una rappresentazione artistica di Kepler-78b, il primo pianeta con massa e dimensioni simili alla Terra. Crediti e copyright: Avet Harutyunyan/TNG.

Per comprendere la difficoltà della misura si pensi che Giove imprime al nostro Sole un moto orbitale la cui ampiezza è di soli 12 metri al secondo, ovvero una velocità da centro urbano: 43 km orari. Gli strumenti usati sono spettrografi ad alta risoluzione come per esempio HARPS-N (*High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher-North*, fig. 4). Questo metodo, oltre alla rivelazione del pianeta, permette di misurare i parametri orbitali, come per esempio il periodo e il limite inferiore della sua massa.

Dopo una timida partenza il metodo dei transiti ha ormai sorpassato quello delle velocità radiali nel numero di successi.

Questo metodo si basa sulla diminuzione di luminosità della stella nel caso in cui la stella, il pianeta e l'osservatore si trovino allineati nell'ordine scritto. Questo evento non ha un'alta probabilità di avvenire. La diminuzione di luminosità della stella è dovuta al corpo opaco del pianeta che blocca la luce stellare. L'entità di questa diminuzione dipende dal quadrato dei raggi del pianeta e della stella. I transiti pertanto ci danno una

informazione importantissima: una volta noto il raggio della stella, possiamo conoscere quello del pianeta e nota la sua massa misurata con il metodo precedente possiamo valutare la densità del pianeta e sapere se questo corpo è ghiacciato, gassoso o roccioso.

I primi risultati trovati con queste due tecniche mostrano pianeti molto diversi da quelli del nostro Sistema Solare: qui, infatti, i pianeti rocciosi (da Mercurio a Marte) sono più interni, quelli gassosi (da Giove a Nettuno) sono più esterni.

I pianeti osservati in altri sistemi planetari mostrano anche pianeti giganti gassosi vicinissimi alla loro stella. Questo non significa che il nostro Sistema Solare sia unico, né che i pianeti siano in generale molto vicini alla loro stella. I risultati raccolti risentono di un effetto probabilistico: è più probabile trovare un pianeta vicino alla propria stella con la tecnica delle velocità radiali dato che l'effetto gravitazionale del pianeta è molto più forte tanto più il corpo è vicino alla stella, sulla base della legge di gravitazione universale (inverso del quadrato della distanza).

Allo stesso modo, da un punto di vista geometrico, è più probabile osservare il transito sul disco planetario tanto più vicino il pianeta si trova alla stella.

La ricerca al Telescopio Nazionale Galileo

L'Italia ha il suo telescopio ottico/infrarosso per eccellenza, il Telescopio Nazionale Galileo (TNG) nell'Isola di La Palma. Il TNG fa parte dell'Osservatorio del Roque de Los Muchachos a 2400 metri di quota assieme ad altri 14 telescopi appartenenti a numerosi paesi europei. Il TNG ha uno specchio primario di 3,58 metri con un controllo ad ottica attiva.

Dal 2012 montato in uno dei fuochi del TNG vi è il cacciatore di pianeti extrasolari, lo spettrografo HARPS-N (*High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher-North*), uno strumento all'avanguardia in grado di misurare la velocità radiale delle stelle con una precisione di 1 m/s, che rappresenta l'impronta sulla velocità della stella dovuta alla presenza di pianeti con massa simile a quella della Terra.

GAPS è il programma di osservazione dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) per la ricerca e la caratterizzazione dei sistemi planetari grazie ad HARPS-N. Nell'ottobre scorso HARPS-N ha permesso di caratte-

rizzare il primo pianeta di caratteristiche simili alla Terra, ossia con massa e raggio confrontabili con quelle del nostro pianeta: Kepler-78b però ha un periodo orbitale di 8,5 ore che lo porta così vicino alla sua stella che la temperatura superficiale raggiunge i 2000 gradi centigradi. Troppo elevata per poter ospitare forme di vita come le conosciamo.

Successivamente, all'inizio di giugno di quest'anno il team GAPS grazie ad HARPS-N ha individuato la prima Mega Terra, Kepler-10c, un oggetto di massa 17 volte quella della Terra ma con un raggio pari a 2,3 raggi terrestri. Un tale oggetto non era mai stato osservato prima né ipotizzato esistere: al di là delle 10 masse terrestri il pianeta dovrebbe trattenere gas idrogeno in una quantità tale da diventare un pianeta gassoso delle dimensioni di Giove o Saturno. Kepler-10c suggerisce che i pianeti di dimensioni più grandi possono rimanere rocciosi, con superfici ben definite, piuttosto che diventare giganti gassosi.

Un altro grande successo al TNG è stato la scoperta all'inizio di luglio 2014 del primo sistema binario denominato XO-S dove entrambe le stelle, XO-2S e XO-2N, presentano un mini sistema planetario con pianeti gassosi molto vicini alla loro stella madre.

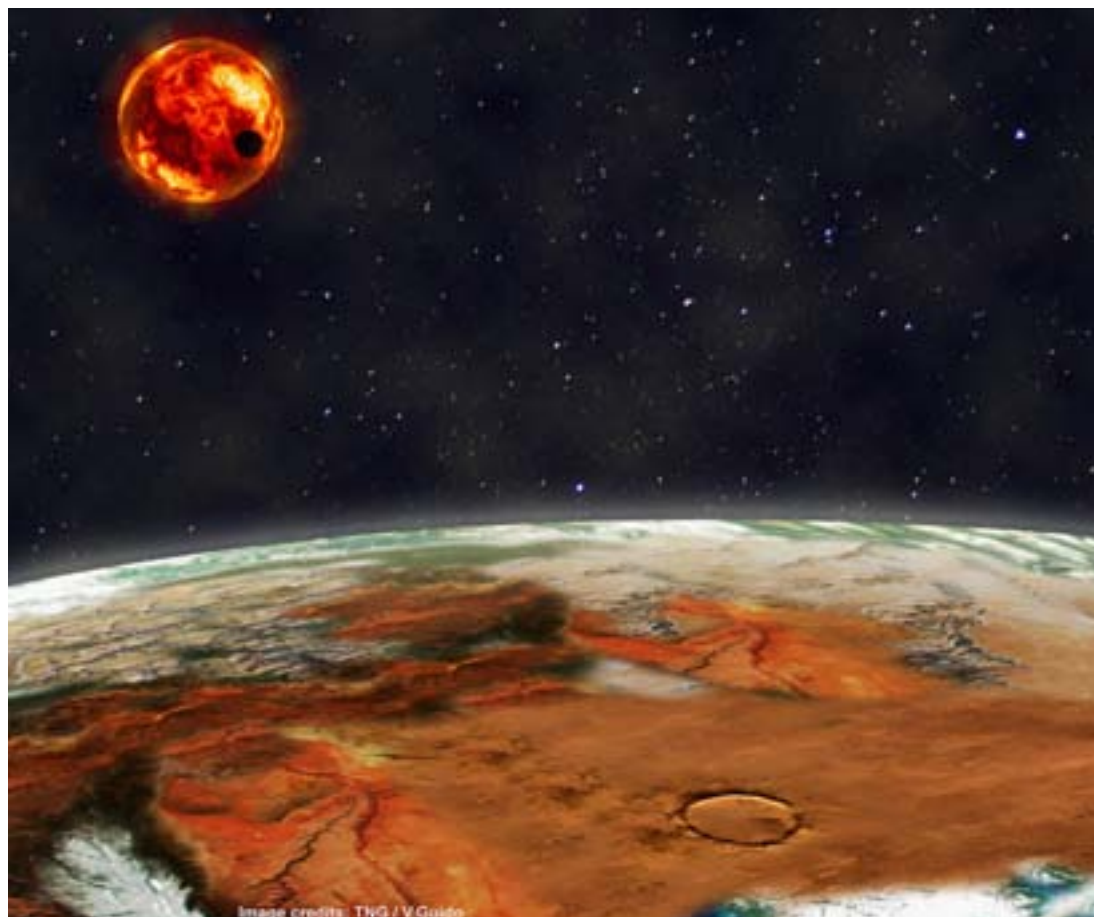


FIG. 8: La prima Mega-Terra (pari a 17 volte la massa terrestre) individuata da HARPS-N montato al Telescopio Nazionale Galileo in una rappresentazione artistica. Un tale oggetto roccioso così massiccio non era mai stato osservato prima. Crediti e copyright: Vincenzo Guido/TNG.



FIG. 9: La cupola dell'edificio che ospita il Telescopio Nazionale Galileo viene aperta poco dopo il tramonto del Sole per dare avvio alle osservazioni. Sulla sinistra, il Gran Telescopio Canarias (GTC) di 10,4 metri di diametro. Spettacolare il mare di nuvole che si forma a una quota di circa 1000 metri. I due telescopi, che fanno parte dell'Osservatorio del Roque de Los Muchachos, sono a quasi 2400 metri di quota. Crediti e copyright: Giovanni Tessicini/TNG.

Il futuro – le prossime missioni spaziali

Il futuro prossimo e quello lontano sono già pieni di progetti che ci permetteranno una conoscenza migliore di questi corpi. A partire dagli strumenti terrestri come per esempio ESPRESSO, uno spettrografo erede di HARPS-N, che verrà montato all'avveniristico telescopio dell'ESO E-ELT (42 metri di diametro) fino alle nuove missioni spaziali, il prossimo futuro sembra una succosa promessa di comprensione della fisica di questi nuovi mondi.

In particolare, nel prossimo futuro, lo spazio sarà "affollato" di satelliti alla ricerca di pianeti. CHEOPS e PLATO dell'ESA, TESS della NASA sono fra questi, per non parlare di GAIA, missione ESA appena lanciata.

Lo scopo della missione dell'ESA CHEOPS (**nota 1**), è quello di osservare pianeti noti, per lo più Super-Terre o Nettuni, e misurare con estrema precisione il raggio per permettere così una migliore conoscenza della natura di questi pianeti. Il lancio di CHEOPS è previsto nel 2017.

Un'altra missione ESA di ricerca dei pianeti con il metodo dei transiti, molto più grande in dimensioni, è PLATO (**nota 2**). A differenza delle precedenti, PLATO esplora nello stesso istante un numero di stelle enormemente maggiore di quelle di Kepler della NASA (in orbita dal 2009) avendo un campo di vista dell'ordine del migliaio di gradi quadrati. Il lancio è previsto in un anno compreso tra il 2020 e il 2024.

La missione TESS (**nota 3**) della NASA è ancora una missione basata sul metodo dei transiti. Il suo scopo è quello di raccogliere il testimone di Kepler e di osservare stelle brillanti alla ricerca di pianeti di dimensioni variabili fino a quelle terrestri. Il lancio di questa missione è previsto per il 2017. GAIA dell'ESA, lanciata il 19 dicembre 2013 dalla base di Kourou nella Guiana Francese, riuscirà a determinare con altissima precisione la posizione di centinaia di milioni di stelle, e quindi a misurarne il loro moto proiettato sulla volta del cielo. Grazie a questo lavoro, GAIA ci regalerà migliaia, forse centinaia di migliaia di nuovi pianeti.



FIG. 10: Una rappresentazione artistica di GAIA. La missione è iniziata lo scorso 19 dicembre con il lancio dalla base di Kourou nella Guiana Francese. L'obiettivo di GAIA è di ricavare una mappa 3D della nostra Galassia unica nel suo genere, che non ha precedenti nella ricerca astronomica, con una precisione elevata delle posizioni e dei moti di miliardi di stelle. Importante sarà la ricerca dei pianeti extrasolari attorno a stelle di tipo solare. Crediti: ESA.

NOTE

Nota 1: <http://sci.esa.int/cheops/>

Nota 2: <http://sci.esa.int/plato/>

Nota 3: <http://tess.gsfc.nasa.gov>

Bibliografia

Marco Ciardi, *Terra - Storia di un'idea*, Editori Universale Laterza, 2013.

Riccardo Claudi, J.M.Alcalà, Elvira Covino, Silvano Desidera, Raffaele Gratton, F. Marziari, Lina Tomasella, *La ricerca di pianeti extrasolari e il progetto italiano RATS*, allegato al n. 28 aprile 2005 di *Le Stelle*.

Dimitar Sasselov, *Un'altra terra - La scoperta della vita come fenomeno planetario*, Codice Edizioni, 2012.

Giovanna Tinetti, *I Pianeti Extrasolari. Alla ricerca di nuovi mondi nella nostra Galassia*, Il Mulino, 2013.



Riccardo Claudi si è laureato in Fisica presso l'università di Roma "La Sapienza" ed è ricercatore astronomo presso INAF Osservatorio Astronomico di Padova. E' responsabile della collaborazione italiana a SPHERE; è stato responsabile e partecipa a GAPS (Global Architecture of Planetary Systems) e si occupa dello studio delle atmosfere di pianeti extrasolari. Tiene corsi di Planetologia Extrasolare presso le scuole di Dottorato in Fisica e Astronomia delle tre università di Roma e dell'università di Padova.

Sabrina Masiero si è laureata e dottorata in Astronomia presso l'Università degli Studi di Padova. Attualmente si occupa della comunicazione del programma GAPS-Global Architecture of Planetary Systems con lo strumento HARPS-N montato al Telescopio Nazionale Galileo (TNG) per lo studio e la ricerca dei pianeti extrasolari presso l'INAF-Osservatorio Astronomico di Padova e la Fundación Galileo Galilei-TNG a La Palma.