

---

## ALTRI SOLI, ALTRI SISTEMI PLANETARI<sup>1</sup>

FRANCESCO PALLA

*INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri*

### 1. Introduzione

Sino a pochissimo tempo fa l'uomo ha potuto parlare del proprio sistema solare come l'unico esempio certo della presenza di pianeti in orbita intorno a una stella, nel nostro caso il Sole. Malgrado idee, ipotesi, teorie e modelli non siano mancati nel passato, oggi viviamo un'epoca particolarmente fortunata, in quanto, alla domanda: «Esistono altri sistemi planetari e altre terre al di fuori del nostro?», possiamo rispondere in maniera affermativa basandoci su osservazioni astronomiche. Da poco più di quindici anni la caccia a nuovi pianeti e sistemi planetari è diventata una delle attività più affascinanti e competitive dell'astronomia.

A oggi, 16 febbraio 2012, sono stati identificati 760 pianeti in più di 600 sistemi planetari. Ma questo numero è destinato a essere largamente superato nei prossimi mesi non appena verranno resi noti i risultati finali della missione *Kepler*, un satellite dedicato alla caccia dei transiti planetari in una zona della Via Lattea nella costellazione del Cigno.

Ormai è una certezza: i pianeti sono altrettanto comuni delle stelle e, probabilmente, nella nostra Galassia ce ne sono in numero addirittura superiore a quello delle stelle. E, siccome la Via Lattea non è che una tra le tantissime galassie che popolano l'Universo, possiamo estrapolare che questo pulluli di pianeti. Quanti di questi pianeti siano abitabili e possano ospitare o in passato abbiano ospitato la vita – in particolare, quella intelligente – è una questione ancora irrisolta, ma al centro delle ricerche presenti e future.

### 2. Dove cercare i pianeti extra-solari?

Prima di parlare dei pianeti, è necessario introdurre alcuni concetti di base sulle stelle. I pianeti sono il risultato dello stesso processo fisico che porta alla formazione di stelle: quindi, per cercarli in maniera ragionevole, bisogna conoscere le proprietà più rilevanti delle stelle. Innanzitutto, le stelle non sono tutte uguali. Già a occhio nudo ci accorgiamo che esse hanno colori leggermente diversi. A questi colori corrispondono temperature superficiali differenti: nel caso del Sole la temperatura fotosferica è di 5800 K, ma esistono stelle molto più calde (fino a 40000 K) e più fredde (2500-3000 K).

La grandezza fisica che determina tutte le proprietà stellari è la massa. Per comodità prendiamo come unità di misura quella del Sole. Rispetto a questa, alle stelle più calde

---

<sup>1</sup> Lezione tenuta a Firenze il 10 ottobre 2011, presso la Sala delle feste del Consiglio Regionale della Toscana, nell'ambito dell'edizione 2011 di Pianeta Galileo.

corrispondono masse 40-50 volte maggiori del Sole (la massa massima che una stella può avere rimanendo in equilibrio tra forza di gravità e energia nucleare è di circa 120 masse solari). All'altro estremo della scala, la massa minima perché una stella possa innescare le reazioni di bruciamento dell'idrogeno è di 0.08 masse solari – un valore determinato esattamente dalla fisica nucleare. Oggetti più piccoli possono esistere, sono chiamati *nane brune*, ma dopo la loro formazione sono destinati a un lento processo di contrazione gravitazionale, durante il quale la luminosità decresce progressivamente fino a spegnersi del tutto. Rispetto alla scala delle masse stellari, il Sole dunque è una stella media: né piccola, né grande.

Le osservazioni fatte nella Via Lattea e nelle altre galassie hanno evidenziato che le stelle più frequenti sono quelle più piccole e meno luminose, mentre quelle brillanti e molto massicce sono rarissime. Questo è un risultato opposto all'esperienza diretta dell'osservazione del cielo a occhio nudo dove sembra che le stelle più numerose siano quelle più brillanti. Ma basta mettere l'occhio a un telescopio che ci si accorge esattamente del contrario: proprio come accadde a Galileo quando orientò il suo cannocchiale verso le nebulose e costellazioni e si accorse che il numero delle stelle era infinitamente maggiore di quelle visibili a occhio nudo.

La legge con cui sono distribuite le masse stellari è mostrata in Figura 1.

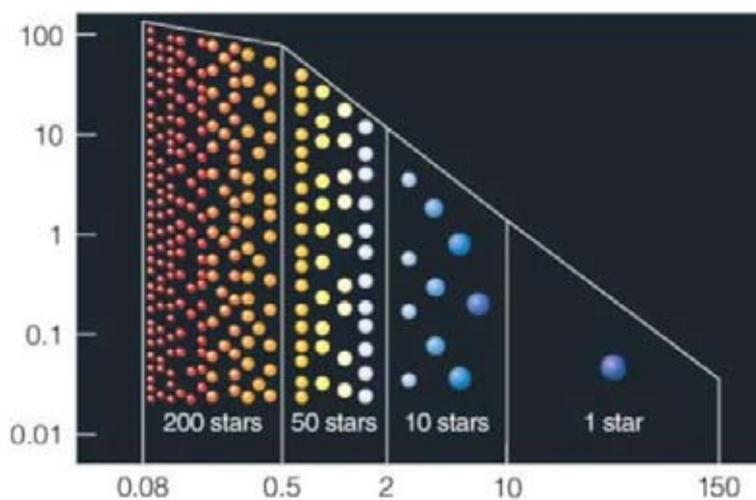


Figura 1. La distribuzione delle masse stellari. Il grafico mostra la variazione del numero osservato di stelle in funzione della massa stellare (in unità della massa del Sole). Le stelle più numerose sono quelle di massa piccola, mentre quelle massicce sono molto più rare.

Essa ha una forma particolare: è praticamente costante nell'intervallo tra 0.1 e 0.5 masse solari e poi decresce rapidamente all'aumentare della massa stellare. Al punto che la probabilità di trovare una stella dieci volte più massiccia del Sole è circa cinquecento volte minore. Come si vede dalla figura, il Sole non è una stella particolarmente tipica.

Un altro fatto importante è che la durata di vita non è la stessa per stelle di massa diversa. Quelle più piccole sono le più longeve (decine o centinaia di miliardi di anni), mentre le brillanti completano il ciclo nucleare in pochi milioni di anni. Il tempo di

vita di una stella dipende dalla rapidità con cui viene bruciato l'idrogeno (l'elemento più abbondante nell'universo) dalle reazioni nucleari. L'energia prodotta da una stella è proporzionale alla sua massa (attraverso la relazione di Einstein)  $E \sim M$ . La luminosità non è altro che la variazione dell'energia nell'unità di tempo e, empiricamente, aumenta molto rapidamente al variare della massa:  $L \sim M^4$ . Quindi, il tempo di vita è pari a  $t = E/L \sim M^{-3}$ , cioè diminuisce con l'inverso del cubo della massa. Per il Sole, la fase di bruciamento dell'idrogeno che caratterizza la permanenza nella fase detta di *sequenza principale* è di circa 10 miliardi di anni, mentre una stella quindici volte più massiccia esaurisce l'idrogeno in appena 15 milioni di anni. Stelle ancora più grandi vivono solo 2-3 milioni di anni prima di terminare l'evoluzione come *supernove*. Al contrario, una stella di massa pari a metà del Sole può continuare a emettere radiazione per circa 200 miliardi di anni e stelle più piccole ancora più a lungo.

Consideriamo ora i pianeti. Sappiamo che la loro formazione richiede tempi che variano notevolmente a seconda della massa: dalle decine di milioni di anni per i giganti gassosi come Giove, a circa 100 milioni di anni per i pianeti rocciosi di tipo terrestre. I giganti di tipo gioviano devono formarsi rapidamente per poter accumulare i gas di cui sono composti, dato che gli elementi leggeri come idrogeno ed elio scompaiono rapidamente dopo la nascita della nebulosa solare. Al contrario, rocce e metalli possono rimanere molto più a lungo e permettere la lenta formazione dei pianeti di tipo terrestre. Quindi, affinché pianeti rocciosi possano formarsi, è necessario che le stelle abbiano tempi di vita di centinaia di milioni di anni. Ma, se una stella vive troppo poco, come nel caso di quelle massicce, è improbabile che ci sia abbastanza tempo per la formazione di un sistema planetario stabile. Volendo perciò cercare i pianeti e i sistemi planetari attorno ad altre stelle, *non* si devono selezionare quelle brillanti. Paradossalmente, però, esse sono le più facili da osservare anche a grandi distanze, al contrario di quanto avviene per le stelle più piccole del Sole per le quali è necessario disporre di telescopi particolarmente potenti e di speciali tecniche di osservazione.

Infine, ricordiamo anche che la maggior parte delle stelle di tipo solare fa parte di sistemi doppi, tripli, multipli in cui le stelle orbitano una intorno all'altra. La domanda cruciale è dunque se queste condizioni particolari siano favorevoli o meno alla presenza di un sistema planetario. Se vogliamo avere un'idea precisa della frequenza totale dei pianeti extrasolari dobbiamo includere nel campione da osservare almeno i sistemi stellari doppi: un'ulteriore difficoltà per le tecniche osservative che devono poter distinguere gli effetti indotti dalla presenza di un possibile pianeta da quelli dovuti alla stella compagna.

### 3. Come trovare i pianeti extrasolari

Per scoprire i circa 700 pianeti noti sino ad oggi sono state sviluppate metodologie diverse. La più efficace è stata quella di vedere indirettamente la presenza di un pianeta in orbita attorno a una stella dalle perturbazioni prodotte dal pianeta stesso sul suo astro. Anche Giove produce un piccolo spostamento periodico nel movimento del Sole, ma

l'accelerazione indotta sulla stella è troppo piccola per la rilevazione con gli strumenti a disposizione. Se Giove, anziché trovarsi a circa 700 milioni di km di distanza dal Sole (pari a circa 4.5 UA, ove 1 UA = unità astronomica corrisponde alla distanza Terra-Sole ed è uguale a circa 150 milioni di km), fosse più vicino, la sua influenza risulterebbe molto maggiore e quindi misurabile.

Questo è quanto accaduto nel caso degli oltre seicento pianeti scoperti proprio grazie alla loro notevole dimensione/massa e alla minore distanza rispetto alla stella. In pratica, tutti i sistemi planetari scoperti sinora presentano questa caratteristica inattesa se confrontata con la tipologia del nostro sistema planetario in cui i pianeti interni sono quelli più piccoli (terrestri), mentre i grandi pianeti (gioviani) sono a enormi distanze dal Sole. In realtà, si pensava che una situazione con un pianeta gioviano alla distanza della Terra, o anche meno, non sarebbe potuto rimanere stabile per lungo tempo: le osservazioni hanno mostrato il contrario. La natura è molto più varia di quanto siamo portati a immaginare.

La tecnica utilizzata per l'osservazione degli effetti della presenza dei pianeti sui moti stellari si basa sulla misura spettroscopica dello spostamento alternato e periodico di alcune righe spettrali emesse dalla stella. Questi spostamenti verso il rosso e verso il blu sono legati all'effetto Doppler e possono corrispondere a variazioni della velocità radiale della stella di decine di metri al secondo nel caso di pianeti gioviani a distanze di qualche unità astronomica o di pochi metri al secondo per pianeti di tipo super-terrestre (3-5 volte il raggio della Terra) a distanze minori.

La velocità radiale,  $V_r$ , è legata allo spostamento spettrale dalla relazione  $V_r/c = \Delta\lambda/\lambda$ , dove  $c$  è la velocità della luce,  $\lambda$  è la lunghezza d'onda della radiazione emessa e  $\Delta\lambda$  la differenza tra la lunghezza d'onda osservata e quella a riposo misurata in laboratorio. D'altro canto, la terza legge di Keplero stabilisce l'ampiezza della variazione della velocità radiale in funzione della massa della stella ( $M$ ), del pianeta ( $m_p$ ) e del periodo orbitale ( $P$ ) secondo la relazione  $V_r \cong (m_p \sin i)/M^{2/3} P^{1/3}$ , dove  $i$  è l'angolo d'inclinazione del piano orbitale rispetto alla visuale. Quindi, la misura dello spostamento delle righe spettrali e la determinazione del periodo di tale spostamento, corrispondente al periodo orbitale del pianeta, consentono di avere un'indicazione diretta della prodotto della massa del pianeta per il seno dell'angolo d'inclinazione che, purtroppo, non è una grandezza misurabile. Questo metodo indiretto ma efficace consente di determinare solo un *limite inferiore* alla massa del pianeta. Per riuscire a conoscere la massa assoluta del pianeta, ci si deve trovare nella fortunata coincidenza in cui il piano dell'orbita del pianeta è perpendicolare al piano del cielo (nel qual caso,  $\sin i = 1$ ).

Un metodo diretto di rivelazione della presenza di pianeti extrasolari è quello dei cosiddetti *transiti planetari*. Infatti, se il piano orbitale del sistema planetario cade lungo la nostra visuale, è possibile che uno o più pianeti possano passare davanti al disco stellare, provocando un'eclisse – cioè una rapida diminuzione della luminosità dell'astro che si ripete a ogni passaggio del pianeta. Nel nostro sistema solare possiamo assistere a questo fenomeno quando Mercurio o Venere transitano sul Sole: un tale evento avrà luogo il 6 giugno 2012 quando sarà Venere a 'oscurare' leggermente il Sole.

Il primo transito planetario osservato fu quello di Mercurio nel 1631 grazie all'astronomo francese Pierre Gassendi, un grande estimatore di Galileo dal quale aveva ricevuto un cannocchiale di ottima qualità. Questa tecnica dei transiti è la stessa usata dal satellite *Kepler* che ha permesso di scoprire pianeti molto più piccoli di quelli rivelati dalle perturbazioni periodiche dell'orbita stellare. È interessante notare che i transiti di pianeti terrestri producono un piccolo cambiamento nella luminosità stellare pari a circa 1/10000 del totale e della durata variabile tra 1 e 16 ore. Il vantaggio sta nel fatto che a ogni transito dello stesso pianeta devono essere uguali la variazione percentuale di luminosità e il tempo impiegato per attraversare il disco stellare. Ciò permette quindi di avere un segnale ripetibile con piccoli errori di misura.

L'approccio seguito dal satellite *Kepler* è di osservare per un lungo intervallo di tempo (circa 3.5 anni) un grande numero di stelle, più di 150000, e ottenere delle accurate curve di luce in cui variazioni dell'ordine indicato sopra sono facilmente rivelabili grazie alla sensibilità delle camere CCD installate sul telescopio. Con un così gran numero di stelle, anche un risultato negativo (ad esempio, non si rivelano pianeti di tipo terrestre) è molto interessante dal punto di vista statistico, mentre la rivelazione di un certo numero di pianeti di questo tipo indicherebbe che essi sono molto frequenti nella Via Lattea visto che il numero totale di stelle che la compone eccede i duecento miliardi.

In Figura 2 vengono mostrate alcune curve di luce prodotte da Kepler che rivelano la presenza di pianeti extrasolari i cui periodi orbitali (in giorni) sono indicati in basso. La diminuzione dell'intensità della luce stellare permette di ricavare immediatamente le dimensioni del pianeta occultante.

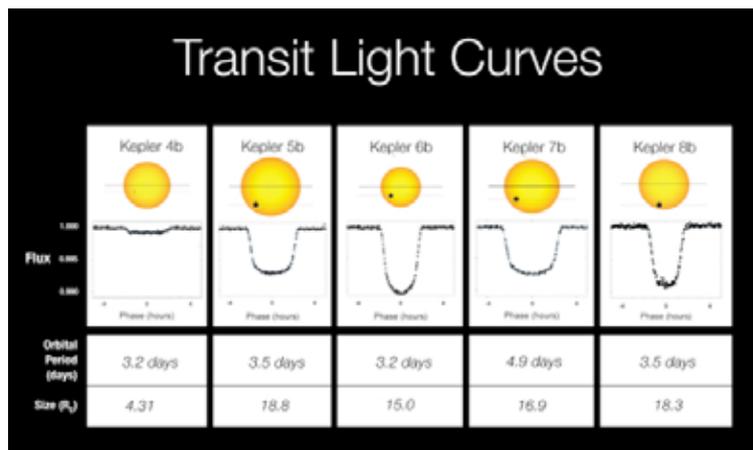


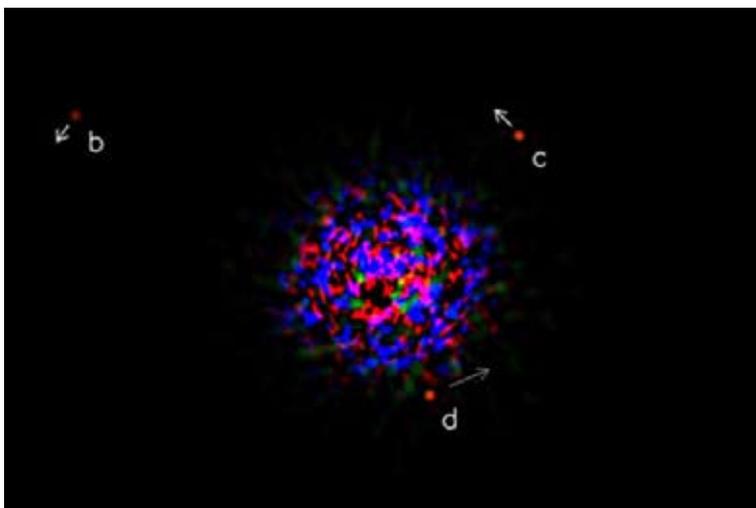
Figura 2. Alcuni esempi di curve di luce che rivelano la presenza di pianeti attorno a stelle di tipo solare. La massima variazione di flusso osservata è di circa un percento di quella stellare. I periodi orbitali variano tra 3 e 5 giorni, mentre i raggi planetari passano da 4 a 19 raggi terrestri. (Credito: NASA)

Ovviamente, la massa del pianeta resta incognita, a meno di non effettuare le osservazioni spettroscopiche precedentemente descritte: in questo modo le proprietà fonda-

mentali (massa e raggio) sono determinate con precisione. Da queste si può poi ricavare la densità che è una quantità essenziale per capire se si tratta di pianeti rocciosi (densi) o gassosi.

Di recente sono state sviluppate tecniche per ottenere immagini dirette, vere e proprie fotografie, della luce riflessa o emessa da alcuni pianeti extrasolari. I problemi da superare sono formidabili a causa dell'intrinseca debolezza della luce planetaria rispetto a quella stellare. Per esempio, la luce di Giove, se vista da fuori il sistema solare, è un miliardesimo di quella del Sole, mentre quella della Terra è dieci volte più debole di quella di Giove. Per eliminare la fortissima luce stellare si utilizzano due apparecchiature: un coronografo che blocca la luce diretta della stella e un sistema di ottica adattiva che elimina il disturbo introdotto dall'atmosfera e consente di avere un'immagine puntiforme della stella stessa e dell'eventuale pianeta. Inoltre, anziché osservare a lunghezze visuali, è preferibile utilizzare l'infrarosso dove viene emessa la maggior parte dell'energia dei pianeti freddi e dove è minore il contrasto con la stella.

La prima immagine di un pianeta è stata ottenuta nel 2004 da astronomi dello European Southern Observatory: si tratta di un pianeta di massa maggiore di quella di Giove in orbita intorno a una nana bruna, una quasi-stella di luminosità molto inferiore a quella di una stella normale. Successivamente, nel 2008, il telescopio spaziale Hubble ha prodotto la prima immagine di un pianeta intorno alla brillante stella Fomalhaut nella costellazione del Pesce Australe e, lo stesso giorno, è stato scoperto un sistema di tre pianeti intorno alla stella giovane HR 8799 (vedi Figura 3).



*Figura 3. Il sistema planetario intorno a HR 8799, una stella poco più grande del Sole a una distanza di 130 anni luce. L'immagine è stata realizzata dal telescopio Keck di 10m alle Hawaii e mostra tre pianeti (b,c,d) in orbita intorno alla stella a distanze confrontabili con quella di Nettuno e oltre. La stella al centro è occultata con un coronografo per poter catturare la debole emissione dei pianeti. (Credito: Keck Telescope)*

Attualmente sono ancora pochi i sistemi fotografati, ma non c'è dubbio che questa sia

la tecnica più promettente per il futuro, dato che con essa sarà possibile determinare i colori e gli spettri planetari e quindi dedurre la possibile presenza di segni di vita nelle atmosfere planetarie.

#### 4. Censimenti planetari

A oggi sono stati identificati pianeti di dimensioni molto simili a quella della Terra, a distanze confrontabili dalla propria stella. Questo è un punto fondamentale per affrontare la domanda se si possa ipotizzare la presenza di forme di vita su questi pianeti. Affinché ciò avvenga, bisogna che l'acqua – elemento essenziale, ma non unico, per lo sviluppo della vita sulla Terra – sia in condizioni liquide. L'acqua liquida esiste a temperature comprese tra 273 K e 373 K, a meno che la pressione sia troppo bassa, nel qual caso sublima in vapor d'acqua gassoso. Il pianeta, dunque, si deve trovare all'interno della cosiddetta *fascia di abitabilità* che nel caso del nostro sistema solare si estende dall'orbita di Venere a quella di Marte (vedi Figura 4).

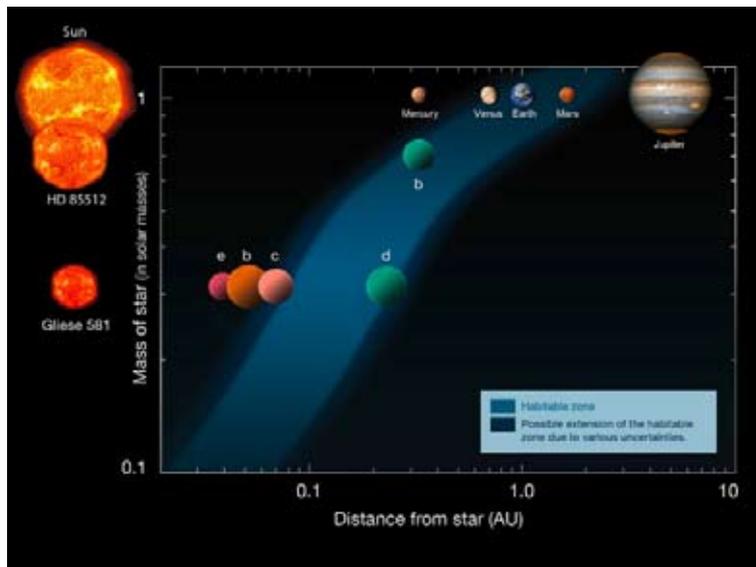
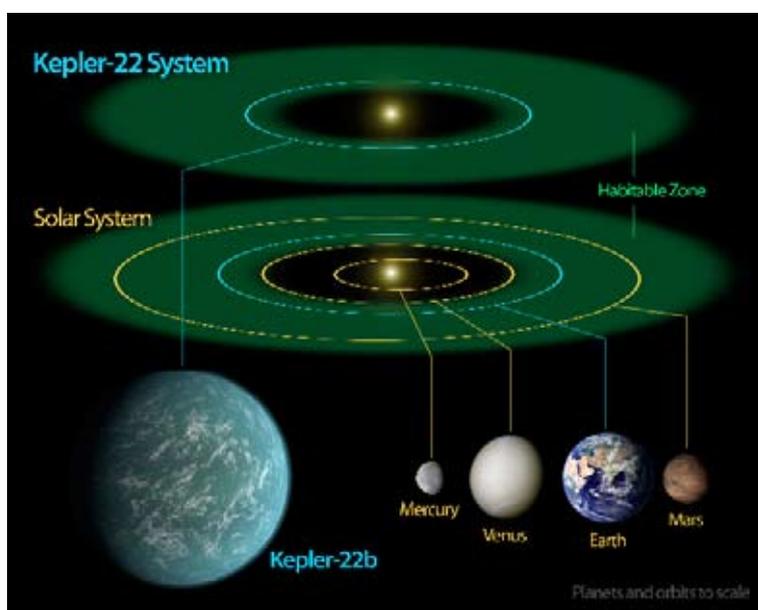


Figura 4. La fascia di abitabilità per stelle di massa diversa: dal Sole (in alto) a una stella nana rossa (Gliese 581) di sole 0.3 masse solari. La zona blu indica la regione in cui l'acqua si può trovare in fase liquida. La distanza della fascia di abitabilità dalla stella diminuisce al decrescere della luminosità. Sia HD 85512 che Gliese 581 hanno pianeti molto vicini o all'interno della fascia. (Credito: ESO)

I pianeti che si trovano all'interno di questa fascia sono in una condizione di equilibrio: né troppo freddi né troppo caldi. Questa condizione viene determinata dal bilancio tra la quantità di radiazione stellare assorbita e quella riemessa. La prima è proporzionale a  $L/D^2$ , dove  $L$  è la luminosità della stella e  $D$  la distanza del pianeta. La radiazione emessa dal pianeta è quella di un corpo nero alla temperatura  $T$  e quindi varia come  $T^4$ . Dunque, la distanza a cui un pianeta si trova alla temperatura  $T$  è proporzionale a  $1/T^2$ . Usando i valori minimi e massimi della temperatura dell'acqua liquida si trova facilmente il valore del raggio interno e esterno della fascia di abitabilità.

Il satellite Kepler ha individuato alcuni casi di pianeti extrasolari di tipo terrestre che soddisfano queste condizioni. Un caso molto interessante è quello di Kepler 22b illustrato in Figura 5.



*Figura 5. Il sistema extrasolare associato a Kepler 22, una stella di tipo solare a una distanza di 600 anni luce dal Sole. Il pianeta 22b è il primo di tipo terrestre scoperto all'interno della cosiddetta fascia di abitabilità. Il confronto con il nostro sistema solare mostra la presenza dei tre pianeti (Venere, Terra e Marte) che risiedono dentro la fascia determinata dal Sole. (Crediti: NASA/Ames/JPL-Caltech)*

Il pianeta ha un raggio due volte e mezzo maggiore di quello della Terra e un periodo orbitale di 290 giorni attorno a una stella molto simile al Sole, anche se un po' più fredda. La temperatura media è stata stimata pari a 22 gradi centigradi, il che fa immaginare un clima piacevolmente primaverile. Il fatto che siano stati individuati pianeti con queste caratteristiche lascia ben sperare sulla possibilità che su alcuni (o molti!) di essi si sia sviluppata una forma di vita, magari intelligente. Ma questo ancora non lo possiamo dire con certezza dato che non disponiamo degli strumenti per le osservazioni spettroscopiche necessarie a trovare tracce di vita. Basterà aspettare un po' di anni e qualche altra missione spaziale perché anche questo mistero venga svelato.

È significativo che la presenza di sistema planetari sia stata confermata anche attorno a sistemi stellari binari! In effetti, la probabilità di trovare pianeti intorno a sistemi complessi è simile a quella per le stelle singole. Ciò non deve sorprendere troppo, considerando che, come detto all'inizio, la formazione delle stelle e dei pianeti è parte dello stesso processo fisico che si è ripetuto innumerevoli volte nella storia dell'universo passato... e anche di quello futuro.

A questa conclusione si è giunti anche grazie a uno studio statistico basato sul metodo delle microlenti gravitazionali. Utilizzando un telescopio dedicato a monitorare un numero enorme di stelle, circa 200 milioni, per un periodo di tempo superiore a dieci anni è stato possibile rivelare l'improvvisa e anomala amplificazione della luce stellare

dovuta al passaggio casuale di un'altra stella lungo la linea visuale. L'amplificazione è causata dal campo gravitazionale della stella o del pianeta di passaggio che agisce come una lente per la luce di fondo che viene focalizzata nella direzione della Terra. Tali allineamenti sono molto rari, ma, guardando un numero grande di stelle, la probabilità di osservare gli eventi aumenta in maniera sensibile.

Nel caso della campagna OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) sono stati registrati migliaia di eventi di microlenti, una piccola parte dei quali sono attribuibili a un pianeta piuttosto che a una stella. Il vantaggio di questa tecnica sta nel fatto che è possibile rivelare la presenza di pianeti di masse comprese tra quella della Terra e quella di Giove anche a distanze relativamente grandi dalla stella, da 0.5 UA a più di 10 UA, in un intervallo maggiore di quanto non sia possibile esplorare con i transiti o con le misure spettroscopiche della velocità radiale. Il risultato sorprendente è che, in media, una qualunque stella ha almeno un pianeta associato! E la frequenza di pianeti di massa piccola è maggiore di quella dei grandi pianeti: i pianeti come Giove sono relativamente rari mentre quelli terrestri sono dieci volte più frequenti.

Le sorprese nello studio dei pianeti extrasolari non sono ancora finite. Nel maggio del 2011 un gruppo di astronomi giapponesi e neozelandesi ha annunciato una scoperta davvero particolare. Nel corso di una *survey* delle zone centrali della Via Lattea sono stati rivelati per la prima volta dieci pianeti della massa di Giove in condizione di totale isolamento nello spazio interstellare, lontani cioè dal sistema stellare di appartenenza. L'origine di questi pianeti (detti *free floating planets*) è misteriosa, anche se è molto probabile che si tratti di oggetti espulsi dal sistema protoplanetario durante le convulse fasi dinamiche iniziali della formazione. È possibile che i pianeti si formino in maniera isolata a causa della frammentazione estrema delle nubi molecolari da cui si originano le stelle. Tuttavia, la probabilità di trovarne in numero così elevato (dieci anziché uno solo) è molto bassa e fa propendere a favore dell'interpretazione dinamica.

Da notare che la tecnica usata in questo studio è sensibile soltanto ai pianeti di grosse dimensioni, tipo Giove o Saturno, ma non è in grado di rivelare oggetti più piccoli di tipo terrestre. Tuttavia, le teorie sulla formazione planetaria suggeriscono che i pianeti di massa minore siano proprio quelli che subiscono più frequentemente fenomeni di eiezione dinamica. Sembrerebbe quindi che lo spazio interstellare possa essere popolato da un numero impressionante di pianeti isolati. Estrapolando i primi risultati si potrebbe anche ipotizzare che il loro numero sia confrontabile a quello dei pianeti che orbitano attorno a stelle. Col che si arriverebbe ad avere centinaia di miliardi di pianeti solitari soltanto nella nostra Galassia!

## 5. Per approfondire

Mentre la bibliografia in lingua inglese è ricchissima di testi in continua pubblicazione grazie alla rapida evoluzione del campo, quella in italiano è ben più ristretta. Diverso è il caso delle riviste divulgative in cui il tema della ricerca e della scoperta dei pianeti

extrasolari è costantemente presente. Una breve lista di testi facilmente reperibili è la seguente:

- [1] Davies, P., *Uno Strano Silenzio: siamo soli nell'universo?*, trad. di E. Filoramo, Codice, Torino 2012.
- [2] Guaita, C., *I Pianeti e la Vita. Ultime Scoperte*, Gruppo B, Milano 2009.
- [3] Jayawardhana, R., *Strange New Worlds: The search for Alien Planets*, Princeton University press, Princeton 2011.

Per chi è interessato a conoscere in dettaglio le proprietà dei pianeti extrasolari, si consiglia il sito The Extrasolar Planets Encyclopedia che viene costantemente aggiornato e di cui esiste anche la versione italiana: <http://exoplanet.eu/catalog.php>

Un sito interessante con approfondimenti e progetti di osservazione dei sistemi planetari extrasolari è curato dalla Unione Astrofili Italiani (UAI): <http://pianetiextrasolari.uai.it/>