

PREMIO NOBEL PER LA FISICA 2019

Gli "altri" sistemi solari

assegnato a

James Peebles

"for theoretical discoveries in physical cosmology"

e

Michel Mayor e Didier Queloz

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

di Antonino Lanza*



* Astronomo associato presso INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica) - Osservatorio Astrofisico di Catania



Il premio Nobel per la Fisica 2019 è stato assegnato a tre scienziati per i loro contributi alla comprensione dell'evoluzione dell'Universo e del posto della Terra nel cosmo. James Peebles ha ricevuto il premio per le sue scoperte teoriche in cosmologia, mentre Michel Mayor e Didier Queloz per la scoperta di un pianeta al di fuori del sistema solare in orbita intorno a una stella simile al Sole. Già nel Medioevo, e prima ancora tra i filosofi stoici ed epicurei, all'interno di una visione del cosmo molto diversa da quella moderna, l'esistenza di altri sistemi di pianeti veniva dibattuta.

La tesi dell'esistenza necessaria di un unico cosmo, coincidente con il sistema planetario geocentrico, propria del pensiero di Aristotele, era stata infatti condannata a più riprese, per esempio dal Vescovo di Parigi Étienne Tempier nel 1277, perché contraria alla assoluta libertà e onnipotenza di Dio il quale può creare tutti i mondi che vuole.

Tuttavia, per secoli l'unico sistema planetario conosciuto è stato il nostro e la gran parte delle speculazioni sulla struttura degli altri sistemi sono state influenzate, anche indirettamente, dalle conoscenze acquisite dallo studio del sistema solare.

Osservare un pianeta delle dimensioni della Terra in orbita intorno a una stella simile al Sole è estremamente difficile. La luce riflessa dalla Terra è circa due miliardesimi della luce del Sole e la separazione apparente tra i due corpi è di appena un decimo di secondo d'arco se li osserviamo da una distanza di una trentina di anni luce. Nessun telescopio né da Terra né dallo spazio ha attualmente la possibilità di effettuare una tale osservazione.

Con gli strumenti più avanzati riusciamo a osservare soltanto pianeti con masse di diverse volte la massa di Giove, posti a distanze di diverse decine di volte la distanza media Terra-Sole, e soltanto nella fase in cui essi emettono un cospicuo flusso di energia nell'infrarosso, ovvero finché sono più giovani di 100-200 milioni di anni.



James Peebles, Michel Mayor e Didier Queloz
(Illustrazione di Niklas Elmehed. Copyright Nobel Media)

Pertanto la gran parte dei pianeti extrasolari oggi conosciuti (detti anche esopianeti) è stata individuata indirettamente, cioè osservando gli effetti che essi producono sulle loro stelle. I due principali metodi utilizzati sono il metodo delle velocità radiali e il metodo dei transiti. Questi due metodi sono illustrati, insieme ad altri dall'applicabilità più limitata, sul seguente sito della [Nasa](#).

Il metodo delle velocità radiali sfrutta il fatto che il centro di massa (baricentro) del sistema formato da una stella e da un suo pianeta si muove nello spazio di moto rettilineo e uniforme non essendo soggetto a forze esterne, mentre il pianeta e la stella orbitano intorno al detto baricentro.

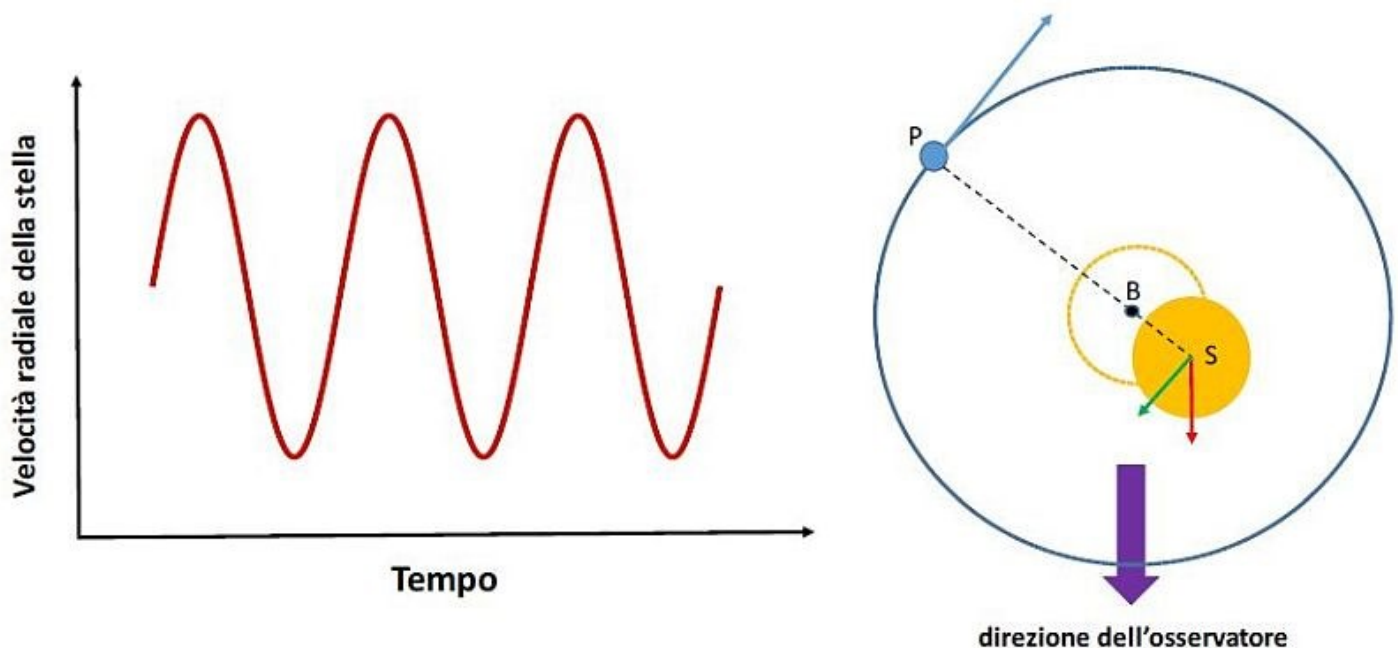


Figura 1. A sinistra: Variazione periodica della velocità radiale di una stella accompagnata da un pianeta in funzione del tempo. A destra: illustrazione del moto orbitale del pianeta P e della sua stella S intorno al comune centro di massa (baricentro) B. L'orbita del pianeta P intorno al baricentro è rappresentata dal cerchio azzurro ed il suo vettore velocità è indicato dalla freccia azzurra. L'orbita della stella S intorno al baricentro è rappresentata dal cerchio giallo a tratteggio ed il suo vettore velocità è rappresentato con la freccia verde. La componente della velocità della stella nella direzione dell'osservatore (freccia rossa) è la grandezza che possiamo misurare mediante l'effetto Doppler e che è riportata nel grafico a sinistra. La freccia violetta indica la direzione dell'osservatore.

La componente della loro velocità nella direzione che punta verso l'osservatore sulla Terra (detta *velocità radiale*) dovrà allora oscillare in modo periodico in conseguenza del moto orbitale intorno al baricentro.

L'ampiezza dell'oscillazione è inversamente proporzionale alla massa del corpo. Nel caso del pianeta Giove, la velocità orbitale media è di circa 13 km/s. La velocità del Sole, che è circa mille volte più massiccio di Giove, oscillerà quindi con una semiampiezza di appena 13 m/s e un periodo uguale al periodo orbitale di Giove, ovvero circa 12 anni. La velocità radiale si può misurare sfruttando l'effetto Doppler, ovvero la variazione della lunghezza d'onda della luce che riceviamo da una sorgente in moto.

Misurare una variazione di velocità radiale di 26 m/s richiede una precisione di una parte su dieci milioni nella misura delle variazioni in lunghezza d'onda ed è quindi estremamente complessa. Il metodo delle velocità radiali fornisce una misura della massa minima di un pianeta quando sia stata determinata la massa della stella.

Il metodo dei transiti sfrutta il passaggio del pianeta davanti alla sua stella. Se il piano dell'orbita del pianeta contiene la direzione che punta verso l'osservatore sulla Terra, allora il pianeta intercetterà una parte del flusso luminoso che riceviamo dalla stella durante tale passaggio (*transito*).

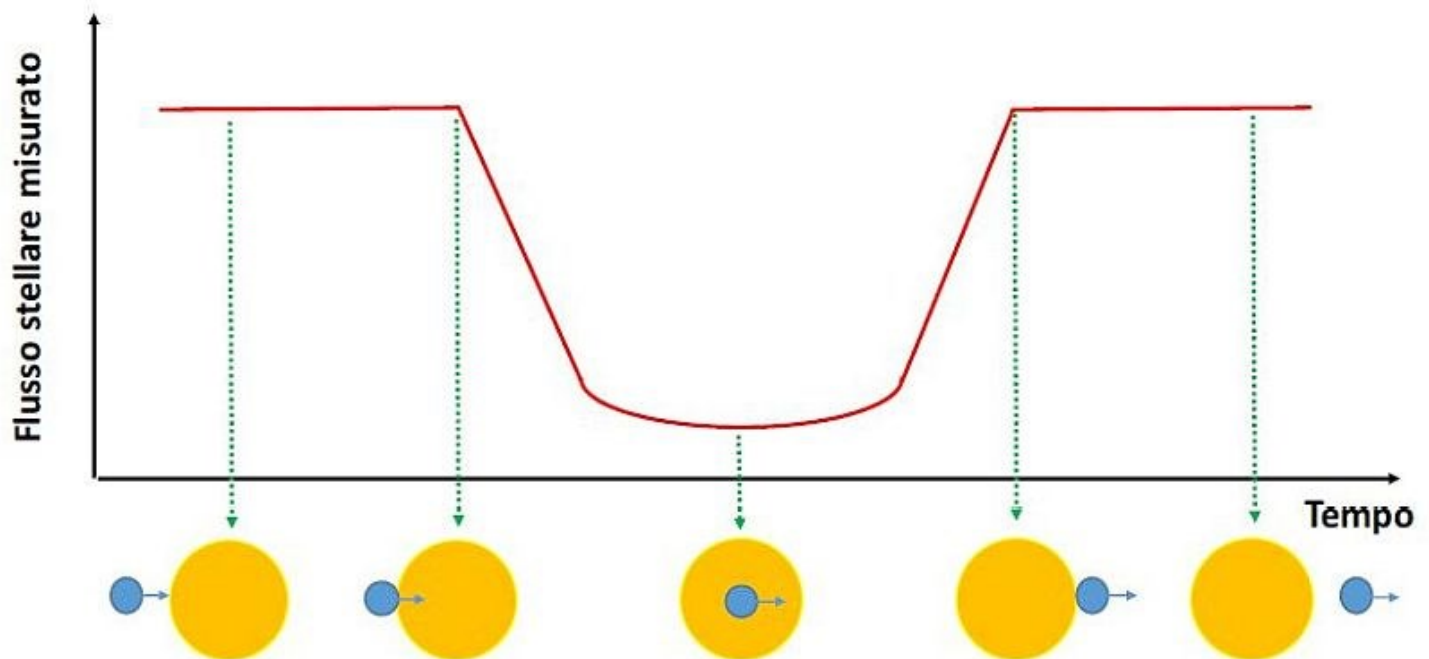


Figura 2. Variazione del flusso luminoso di una stella accompagnata da un pianeta transitante in funzione del tempo. La stella appare sempre come un punto privo di dimensioni anche nei più potenti telescopi ed il pianeta è invisibile ai nostri strumenti. Pertanto è la diminuzione della luce della stella quando il pianeta passa davanti ad essa (transito) che fornisce una prova indiretta della presenza del pianeta stesso. Le illustrazioni in basso mostrano la posizione del pianeta (dischetto azzurro) rispetto alla stella (disco giallo) durante i diversi istanti indicati dalle frecce verticali verdi a tratteggio. La parte centrale del transito non è perfettamente orizzontale, ma mostra una leggera curvatura a causa del fatto che il disco delle stelle è più luminoso al centro e meno brillante al bordo.

Per un pianeta come Giove, il cui raggio è circa un decimo di quello del Sole, la variazione del flusso ricevuto dalla stella sarà di circa un centesimo perché la diminuzione relativa è direttamente proporzionale al quadrato del rapporto tra raggio del pianeta e raggio della stella. Il periodo tra due transiti successivi, ovvero circa 12 anni nel caso di Giove, è uguale al periodo orbitale del pianeta.

Il metodo dei transiti permette la misura del raggio del pianeta quando sia noto il raggio della stella. Inoltre, per i pianeti transitanti, la massa minima determinata con il metodo delle velocità radiali coincide con la massa effettiva perché è nota l'inclinazione del piano orbitale.

Con questi presupposti, fino a tutti gli anni '80 del XX secolo, data la precisione delle misure allora raggiungibile, la scoperta di pianeti simili al nostro Giove in orbita intorno a stelle simili al Sole appariva una possibilità remota.

Negli anni '90 avvenne un notevole progresso nei metodi di misura delle velocità radiali che permise di raggiungere una precisione di circa 5-10 m/s, sufficiente a cominciare la ricerca di pianeti simili a Giove. Gli astronomi ritenevano che, accumulando misure per qualche centinaio di stelle e per almeno 25-30 anni, si sarebbe potuto scoprire qualche pianeta simile a Giove, ma a quel tempo nessuno aveva idea della abbondanza dei sistemi planetari simili al nostro tra le stelle vicine.

Si trattava quindi di un programma di ricerca da intraprendere con una notevole dose di pazienza e senza preventivamente conoscerne le probabilità di successo. Tra i primi, pochi gruppi che lo iniziarono vi fu quello dell'Osservatorio di Ginevra che aveva tra i suoi esponenti Michel Mayor e l'allora suo studente di dottorato Didier Queloz.

Inaspettatamente, dopo aver raccolto poco più di un anno di dati, nell'autunno del 1995, i due annunciarono che la stella 51 Pegasi mostrava un'oscillazione regolare della velocità radiale con periodo di 4,23 giorni e semiampiezza di circa 55 m/s che essi attribuirono a un pianeta con massa minima di poco inferiore alla metà della massa di Giove in orbita intorno alla stella.

Fu l'inizio di una serie di animati dibattiti e di ricerche che tentarono di spiegare l'oscillazione della velocità radiale con cause diverse dalla presenza di un pianeta perché era ritenuto impossibile che un pianeta così massiccio potesse trovarsi tanto vicino alla sua stella.

La scoperta venne confermata l'anno seguente quando gli statunitensi Butler e Marcy individuaronο oscillazioni simili in altre due stelle di tipo solare, 70 Virginis e 47 Ursae Majoris. Infine nel 2000 venne annunciato che il pianeta orbitante intorno alla stella HD 209458, precedentemente scoperto con il metodo delle velocità radiali, mostrava dei transiti che permettevano di determinarne il raggio. A questo punto, l'esistenza di pianeti con massa e raggio simili a quelli di Giove, ma orbitanti a distanze un centinaio di volte inferiori a quella di Giove dal Sole (detti *hot Jupiter*) divenne un risultato consolidato.

Fu l'inizio di una vera e propria rivoluzione scientifica che portò da un lato allo sviluppo di strumenti sempre più avanzati per le misure di velocità radiali da terra e dall'altro ai telescopi spaziali dedicati alla ricerca di pianeti mediante il metodo dei transiti, come CoRoT, Kepler e attualmente TESS.

Grazie alle scoperte che si sono succedute in questi 25 anni, è stato possibile cominciare a comprendere la struttura dei sistemi planetari intorno alle stelle di tipo solare. Il posto del nostro sistema solare nell'Universo inizia così a precisarsi permettendoci anche di cominciare ad affrontare questioni relative alle condizioni che permettono la presenza di pianeti adatti a ospitare la vita come noi la conosciamo intorno a stelle simili al Sole.

Inaspettatamente, il telescopio spaziale Kepler ha mostrato che il tipo di pianeta più frequente intorno alle stelle simili al Sole è rappresentato dalle *superterre*, oggetti con massa da alcune volte fino a circa dieci volte la massa della Terra che non si trovano nel nostro sistema. Sono stati anche scoperti sistemi planetari compatti dove diversi pianeti di tipo terrestre, anche 7 o 8, orbitano entro una distanza inferiore a quella di Venere dal Sole. Per converso, in altri sistemi abbiamo individuato pianeti con masse di diverse volte la massa di Giove su orbite che li portano fino a distanze 20-30 volte maggiori di quelle di Giove dal Sole.

Questa incredibile varietà di sistemi ci dice che il sistema solare è soltanto una delle possibili architetture per i sistemi planetari e non è neanche tra quelle più comuni. L'abbondanza di pianeti nella nostra Galassia è notevole: riteniamo che, statisticamente, ciascuna stella sia accompagnata da almeno un pianeta, con una maggiore abbondanza di pianeti di massa fino a una decina di masse terrestri rispetto ai pianeti giganti.

Nei prossimi anni, i telescopi spaziali WFIRST della Nasa e PLATO dell'Agenzia Spaziale Europea (Esa) intraprenderanno uno studio statistico dettagliato per determinare la frequenza dei diversi tipi di sistemi planetari.

Nel prossimo futuro, la rivoluzione iniziata con la scoperta di Mayor e Queloz ci condurrà a esplorare con sempre maggiore dettaglio le stelle più vicine alla ricerca di pianeti con dimensioni e orbite simili alla Terra. I pianeti collocati alla giusta distanza potrebbero avere acqua liquida sulla loro superficie e condizioni adatte allo sviluppo della vita.

La tappa finale di questo avventuroso viaggio di esplorazione sarà dunque la scoperta di forme di vita. È sorprendente che questo sia possibile senza la necessità di andare su quei remoti sistemi. Infatti, osservando la luce della stella che filtra attraverso l'atmosfera di un pianeta in transito, possiamo determinarne la composizione chimica con i metodi della spettroscopia, come da tempo facciamo con i corpi del sistema solare. L'Extremely Large Telescope del consorzio europeo ESO e le missioni spaziali James Webb Space Telescope (Nasa) e ARIEL (Esa) hanno tra i loro principali scopi scientifici proprio l'analisi spettroscopica delle atmosfere degli esopianeti.

È interessante notare come la presenza di ossigeno e ozono nell'atmosfera di un pianeta roccioso in percentuali simili a quelle dell'atmosfera terrestre possa generalmente essere ritenuta un marcatore dell'esistenza di processi fotosintetici legati alla presenza di vita.

Ciò renderà possibile l'individuazione di candidati su cui concentrare ulteriori future ricerche nella seconda metà del XXI secolo.

Antonino Lanza

(Astronomo associato presso INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica) - Osservatorio Astrofisico di Catania)

