

I PIANETI EXTRASOLARI

- Tecniche di rivelamento -

L'eventuale presenza nell'Universo di pianeti abitati, o abitabili, oltre la Terra ha da sempre affascinato l'umanità e nel corso degli anni ne ha persino influenzato le credenze ed i costumi popolari.

Nel campo dell'astrofisica, la scoperta di pianeti extrasolari è importante per capire come si forma un sistema planetario, per avere indicazioni sull'evoluzione di stelle di piccola massa e per individuare pianeti con caratteristiche simili alla Terra.

L'interesse della comunità scientifica verso la ricerca di pianeti al di fuori del sistema solare nacque alla fine degli anni '90, quando le metodologie di osservazione raggiunsero risultati soddisfacenti e compatibili con le teorie. Tali procedimenti, che portarono alla scoperta del primo pianeta extrasolare orbitante intorno alla stella singola 51 Pegasi (Charbonneau et al, 2000; Henry et al., 2000), fanno capo a due distinti sistemi d'indagine: il primo sistema, denominato “metodo della velocità radiale”, si basa su piccoli spostamenti periodici nello spettro di una stella; mentre il secondo “metodo del transito” registra e studia l'andamento della luminosità dell'astro in funzione del tempo. In quest'ultimo caso, un eventuale pianeta che si trovasse a transitare lungo la linea di vista del rivelatore, occultando col proprio disco la luce della stella, ne farebbe registrare una diminuzione dell'intensità luminosa (Fig.1).

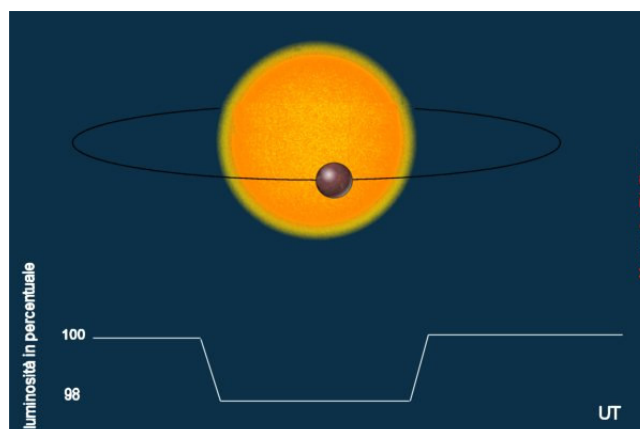


Fig.1 Transito di un pianeta e relativa diminuzione di luminosità.

Il metodo della velocità radiale può essere applicato a tutte le stelle, ma fallisce con i pianeti troppo piccoli o con le orbite troppo distanti. Questi impedimenti non si riscontrano nel metodo del transito e, sebbene si presentino problemi di allineamento, resta l'unico metodo affidabile per individuare pianeti della grandezza della Terra o più piccoli.

Nel metodo della velocità radiale, il segnale è proporzionale al rapporto dei cubi dei raggi del pianeta e della stella:

$$\frac{\Delta L}{L} \approx \left(\frac{R_{pl}}{R_*} \right)^3 ;$$

mentre, nel secondo metodo, detto anche 'fotometrico', il segnale risulta proporzionale all'area del disco del pianeta e varia come il rapporto dei quadrati del raggio del pianeta e del raggio della stella:

$$\frac{\Delta L}{L} \approx \left(\frac{R_{pl}}{R_*} \right)^2 .$$

Poiché il raggio del pianeta è molto minore del raggio della stella, è evidente che il metodo del transito registra un segnale maggiore a parità di fotoni rivelati. Questi, ovviamente, vengono utilizzati in maniera diversa: nel metodo della velocità radiale, i fotoni sono suddivisi, da uno spettrometro, in base alle rispettive lunghezze d'onda; mentre, nel metodo fotometrico, vengono contati, al passare del tempo, da un fotometro. Il metodo del transito, allora, non avendo bisogno di raccogliere una quantità enorme di fotoni, risulta utilizzabile anche da piccoli telescopi. Con telescopi di diametro <1m, generalmente equipaggiati con una camera CCD con precisione dello 0.1 %, risultano osservabili solo i pianeti della massa paragonabile a quella di Giove; massa che causa un abbassamento dell'1% della luminosità della stella intorno a cui orbita. A differenza, i pianeti di massa terrestre generano una diminuzione della luminosità dello 0.01 % e per rivelarli sono necessarie tecniche specifiche che individuino i loro transiti, facilmente coperti dal rumore del cielo.

Un grande ostacolo all'analisi fotometrica, che inizialmente fece abbandonare il metodo del transito, è dato dalla bassissima probabilità (11%) di intercettare un sistema planetario, orientato casualmente, allineato con il luogo d'osservazione. Le strategie seguite per aumentare tale percentuale si basano sull'analisi delle immagini di numerose stelle, tenendo presente che i pianeti grandi si trovano su orbite vicine e considerando le stelle che ruotano con inclinazione di 90° rispetto alla nostra linea di vista (in particolare si studiano i sistemi doppi).

- Pianeti in sistemi binari ad eclissi –

Fu pochi decenni dopo l'introduzione del cannocchiale nell'osservazione astronomica che G. Battista Riccioli rivelò l'esistenza delle stelle doppie, stelle legate tra loro dalla forza di gravità. Oggi sappiamo che circa il 50% delle stelle è costituito da questi sistemi binari, mentre, una percentuale più piccola, è riservata a stelle triple e stelle multiple. Delle stelle binarie, calcolando la distanza ed il periodo di rivoluzione delle compagne, si può ottenere la massa complessiva e determinare le orbite di eventuali pianeti. Lo studio dei sistemi doppi è importante anche nel quadro della comprensione dell'evoluzione stellare: le stelle si sono formate in un'unica epoca e dalla medesima nube di materia interstellare ed hanno, quindi, la stessa età e la stessa composizione chimica iniziale.

La necessità di trovare la giusta orientazione delle orbite dei pianeti concentra le ricerche sull'osservazione delle stelle binarie che periodicamente si eclissano ('eclipsing binary', o EB). Per definizione, infatti, l'inclinazione del piano orbitale di tali componenti è vicina a 90° e come previsto dalla teoria, la conservazione del momento angolare induce la formazione dei pianeti sul piano equatoriale, alzando la probabilità di avvistare un transito al 100 % !

Qualsiasi rassegna fotometrica ad ampio campo per l'indagine di transiti rivelerà inevitabilmente un consistente numero di EB. Inizialmente questo sistema gravitazionale era visto come una fonte indesiderata di confusione nei confronti di transiti planetari reali, ma oggi offre un ulteriore modo per individuare pianeti. Quando un pianeta passa davanti ad un sistema binario possono verificarsi tre casi distinti:

1) le stelle si trovano alla massima distanza apparente di separazione ed il transito fa registrare due distinti abbassamenti di luminosità (Fig.2);

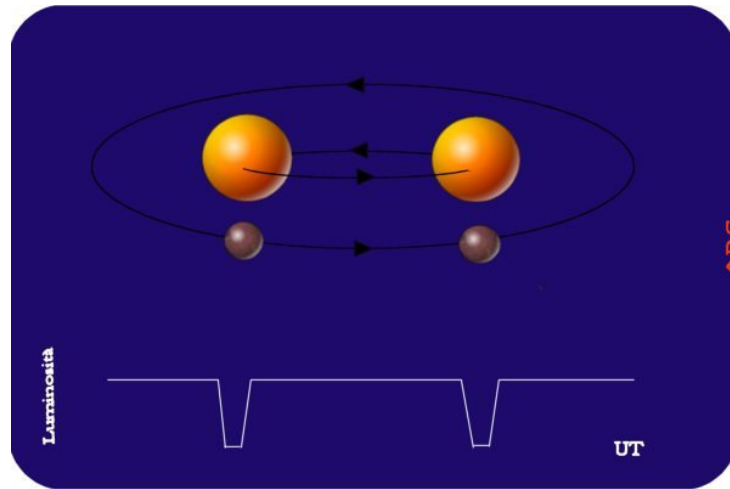


Fig.2 Binarie nella fase di massima distanza.

N.B. : Il transito del pianeta è simulato dalla presenza di due pianeti sulla stessa orbita.

2) Le binarie sono in fase di eclisse e, rispetto al caso precedente, il transito del pianeta genera una maggiore diminuzione di luminosità ed una durata temporale più lunga (Fig.3);

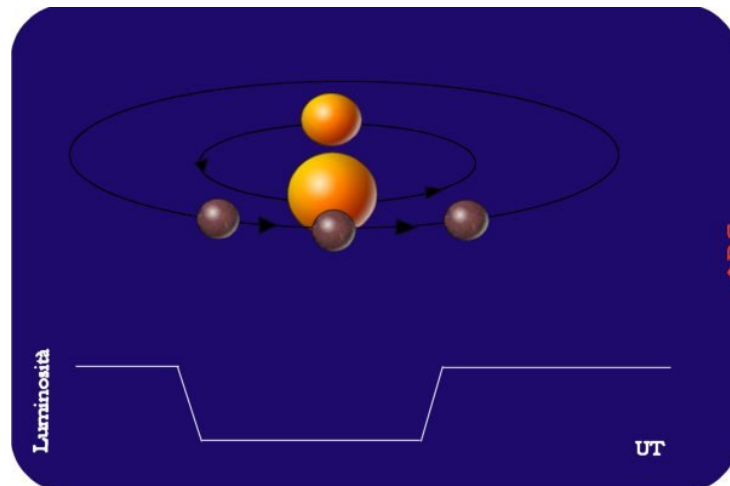


Fig.3 Binarie in fase di eclissi.

N.B. : Il transito del pianeta è simulato dalla presenza di tre pianeti sulla stessa orbita.

3) La posizione del sistema binario prima di un'eclissi genera un triplo abbassamento di luminosità: uno davanti alla stella vicina, un secondo davanti alla stella lontana (ma di breve durata perché la stella ed il pianeta si muovono in senso opposto) ed un ultimo transito ancora sulla stella vicina.

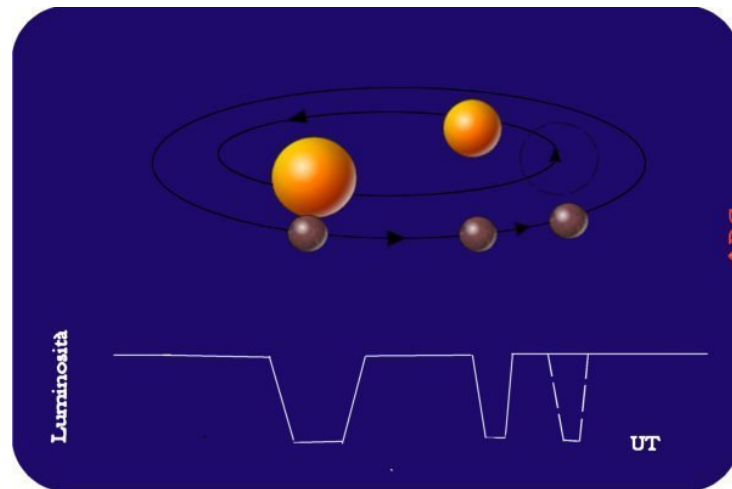


Fig.4 Binarie poco prima di un'eclissi.

N.B. : Il transito del pianeta è simulato dalla presenza di tre pianeti sulla stessa orbita.

Poiché un pianeta di una data grandezza produce un segnale più grande passando davanti ad una stella più piccola, alcune ricerche si sono intensificate intorno a CM Draconis, il più piccolo sistema binario ad eclisse conosciuto. A riguardo, sono state effettuate migliaia di osservazioni che vanno sotto il nome di TEP (Transit of Extrasolar Planet).

Un grosso problema è rappresentato dalla difficile distinzione tra il segnale di transito ed il rumore del cielo (variazioni dell'atmosfera terrestre, instabilità della strumentazione, variabilità stellare intrinseca); fortunatamente, però, possiamo aiutarci con determinati algoritmi e con tecniche di correlazione incrociata di filtri accoppiati.

Il metodo del transito, durante l'eclissi di sistemi doppi, in fotometria, non è l'unico modo per individuare pianeti extrasolari di massa gioviana: la variazione dell'esatto periodo dell'eclisse, variando, può caratterizzare la presenza di un terzo corpo (Fig.5).

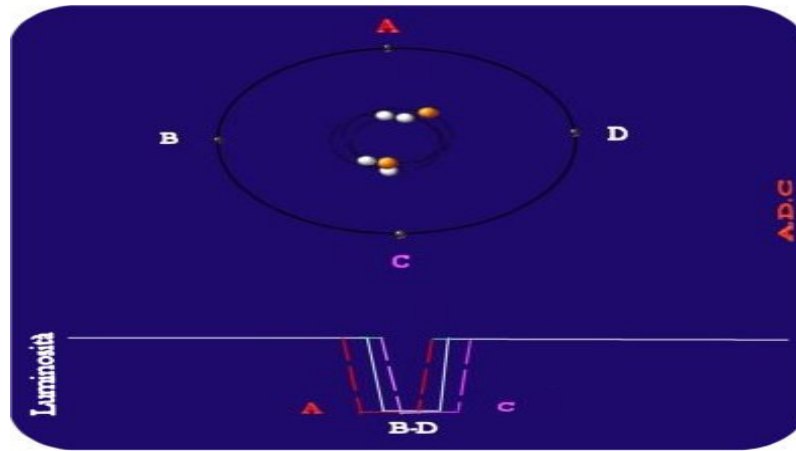


Fig.5 Movimento dell'orbita di una stella binaria sotto l'influenza di un pianeta di grande massa. In base alla posizione del pianeta (A,B,C,D), si registrano variazioni del periodo di eclissi.

Poiché l'errore più grande nel misurare la curva di luce di una stella viene dall'atmosfera della Terra, per rilevare i piccoli pianeti, si confida su satelliti spaziali; in particolare, il satellite Kepler della NASA rappresenta, per il numero di stelle da osservare (oltre 170000), la missione più ambiziosa.

Con l'utilizzo della spettroscopia, è possibile svolgere studi sull'atmosfera dei pianeti e capire la causa originaria della connessione tra la metallicità degli stessi e quella delle stelle binarie. Il prossimo passo sarà dunque individuare, mediante tecniche "coronografiche", pianeti con atmosfere terrestri e riuscire a risolvere le atmosfere dei pianeti di massa sempre più piccola. Obiettivi di questo tipo sono essenziali, nel campo dell'Astrobiologia, per la stima di forme di vita nell'Universo.

In ultima analisi, la forza di gravità di un pianeta in transito potrebbe curvare la luce proveniente da stelle lontane. Simili eventi, previsti dalle teorie cosmologiche e denominati "effetti di micro-lenti", sono stati analizzati per trovare i Massive Compact Halo Objects (MACHO), che si ritiene siano parte della cosiddetta "massa mancante". Un anomalo evento di microlente potrebbe comunque essere prodotto da un sistema stellare triplo o da un artefatto dovuto alla mutua orbita delle stelle.

Misure fotometriche di alta precisione e ripetute negli anni possono, inoltre, registrare la luce periodicamente riflessa dai pianeti delle orbite più strette e scoprire l'esistenza di eventuali satelliti.

Sino ad oggi sono stati scoperti oltre 120 pianeti extrasolari.