

# **I pianeti extrasolari: cenni ai metodi di rilevazione**

di **Daniele Gasparri**

Da molto tempo l'uomo è affascinato da questa domanda: cosa c'è là fuori? C'è la possibilità di qualche altro essere senziente in quello sterminato spazio chiamato Universo? La risposta a questa domanda non può essere ancora data con rigore scientifico, ma possiamo rispondere esaurientemente alla prima: il nostro sistema solare non è l'unico conosciuto, anzi, se ne conoscono ormai qualche centinaio, sparsi nel disco galattico.

La branca dell'astronomia che studia i pianeti extrasolari è sicuramente tra quelle che in questi anni ha visto e sta ancora vedendo un fortissimo sviluppo e un'immensa mole di dati, teorie, osservazioni.

Il primo pianeta orbitante attorno ad una stella simile al Sole fu scoperto nel 1995 attorno alla stella 51 Pegasi; da allora fino ad oggi (Novembre 2008), sono 307 i pianeti finora scoperti attorno a 252 sistemi planetari. In realtà, da quello che si conosce fino ad ora, sembra che sistemi planetari attorno a stelle simili al Sole siano abbastanza comuni nella galassia, anche se una stima statistica precisa non è ancora disponibile. Almeno il 5% delle stelle di sequenza principale appare avere un pianeta (ma questo numero potrebbe essere anche molto maggiore). Gli ultimi dati sono più ottimistici e portano ad ipotizzare che un 30% di stelle simili al Sole possieda almeno un pianeta. Forse anche il sistema multiplo Alpha Centauri (in particolare Alpha Centauri A e B, simili al nostro Sole), formato dalle 3 stelle più vicine alla Terra (4,4 anni luce), potrebbe possedere dei pianeti di massa terrestre, secondo le ultime simulazioni al computer.

Solamente il progredire della tecnologia e della sensibilità degli strumenti saprà dirci se abbiamo dei pianeti molto vicini al nostro sistema solare.

Quasi tutti i pianeti finora scoperti sono dei giganti gassosi, simili o addirittura più grandi di Giove; molti orbitano a distanze esigue attorno alla propria stella, addirittura anche 1/10 la distanza di Mercurio, il pianeta più interno del nostro sistema solare, compiendo una rivoluzione in pochi giorni (tipicamente 3-5).

L'abbondanza di sistemi planetari molto stretti e formati da pianeti gassosi generalmente più massicci di Giove è da ricercare in ciò che gli astronomi professionisti chiamano bias osservativo, cioè una selezione causata dai metodi di ricerca che si utilizzano e dalla sensibilità limitata della nostra strumentazione.

Rilevare un pianeta che orbita attorno ad un'altra stella è infatti molto difficile e richiede strumentazione e tecniche sofisticate (ma non sempre, come più avanti vedremo). Nonostante l'enorme progresso tecnologico di questi anni, la strumentazione di cui disponiamo permette di rivelare (tranne in rari casi) solo pianeti giganti, decine, spesso centinaia di volte più massicci della Terra e quindi molto simili a Giove, Saturno o Nettuno. Inoltre il prezioso e limitato tempo di osservazione attraverso i grossi strumenti professionali aiuta ad individuare solo i pianeti giganti che hanno un periodo orbitale piuttosto breve, dell'ordine dei giorni.

L'attuale popolazione di pianeti extrasolari quindi è frutto dei limiti della strumentazione e dei metodi di ricerca e non rispecchia le reali caratteristiche dei sistemi planetari extrasolari. Nonostante ciò non mancano delle eccezioni, come la scoperta di pianeti di poco superiori alla massa della Terra e quindi, presumibilmente, più simili al nostro pianeta piuttosto che al gigante Giove.

Come si fa ad individuare un pianeta distante centinaia, a volte migliaia di anni luce dalla Terra e magari orbitante a pochi milioni di km dalla sua stella? Sicuramente è da escludere il metodo di rivelazione diretta, come invece spesso accade nell'astronomia osservativa: neanche il telescopio più potente, equipaggiato con la più sensibile camera CCD, è in grado di mostrarvi l'immagine di un pianeta extrasolare (tranne in rarissimi e particolarissimi casi), poiché la luce riflessa dal pianeta è molto più debole della luce della stella e la loro separazione angolare è molto piccola (dell'ordine dei millesimi o, in alcuni casi, decimi di secondo d'arco (vedi 5.2 per le misure angolari)). Per un paragone in merito all'enorme differenza di luminosità in gioco, basti rapportare la luce di Giove

con quella del Sole: una differenza di luminosità di oltre 6 milioni di volte! Inoltre un simile pianeta, se osservato alla distanza di circa 60 anni luce, dista angularmente dal Sole circa 0,25 secondi d'arco. Nessuno strumento è in grado di poter osservare un oggetto distante 0,25" da una stella 6 milioni di volte più luminosa!

Tranne rarissime eccezioni tutti i pianeti extrasolari si identificano con i cosiddetti metodi indiretti, analizzando e studiando la luce emessa dalla stella, la quale sente l'effetto della presenza di un eventuale pianeta. Da sottolineare comunque che si tratta in ogni caso di metodi assolutamente validi dal punto di vista scientifico.

I principali sono:

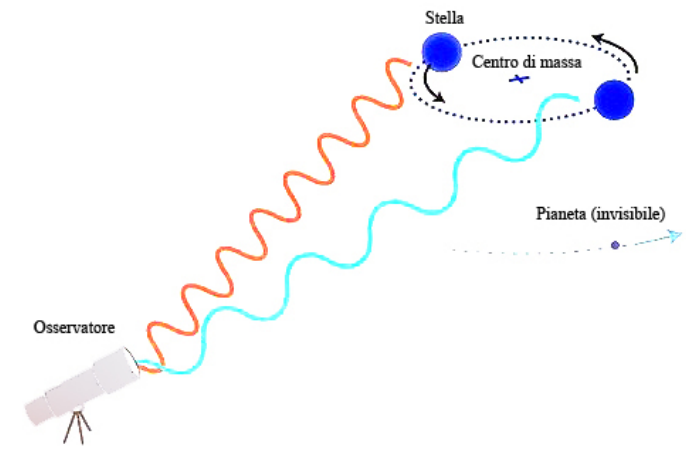
- 1) Metodo delle velocità radiali
- 2) Metodo dei transiti
- 3) Astrometria
- 4) Microlensing
- 5) Timing

I primi due sono i più utilizzati e quelli che hanno permesso le maggiori scoperte.

**Il metodo delle velocità radiali** è di gran lunga il più utilizzato ed ha portato la scoperta di 290 pianeti (in 249 sistemi planetari). Esso si basa su dei principi relativamente semplici da capire.

Due corpi legati tra di loro dall'attrazione gravitazionale, ruotano attorno al centro di massa del sistema, che in generale non coincide con il centro di nessuno dei due corpi.

Un esempio; ideale è costituito da due corpi dotati di uguale massa, legati gravitazionalmente: il centro di massa si trova esattamente nel punto medio del segmento (immaginario) che unisce i due centri. Mano a mano che la differenza di massa aumenta, il centro di massa (e quindi di gravità) si sposta verso il corpo più massiccio, ma non coinciderà mai esattamente con il suo centro geometrico, anche se può essere molto vicino: in ogni caso, in presenza di un sistema di due corpi, entrambi ruotano attorno al comune centro di massa, con una certa velocità.



Visione schematica dell'effetto doppler causato dalla presenza di un corpo planetario orbitante intorno ad una stella.

Se il sistema è costituito da un solo corpo (ad esempio una stella senza pianeti), non si avrà alcun movimento attorno al centro di massa (perché coinciderebbe con il centro stellare). Nel caso delle stelle, molto più brillanti dei pianeti, è possibile, analizzando il loro spettro, misurare l'eventuale velocità causata dalla presenza di un altro corpo nel sistema, attraverso l'effetto doppler, di cui sulla Terra ne siamo testimoni quasi ogni giorno. La situazione tipica è la sirena di un'ambulanza: quando il mezzo viene verso di noi il suono è acuto, mentre quando ci sorpassa e si allontana il suono cambia e diventa più grave: questo è l'effetto doppler.

Un'onda, come lo è il suono o la stessa luce, viene compressa o dilatata dal moto della sorgente rispetto all'osservatore (e viceversa) in misura tanto maggiore quanto maggiore è la velocità diretta verso l'osservatore stesso (radiale).

Se il moto è in avvicinamento si ha uno spostamento verso frequenze maggiori (il suono si sente più acuto); viceversa, quando è in allontanamento l'onda viene stirata e si ha uno spostamento verso frequenze minori (il suono è più grave).

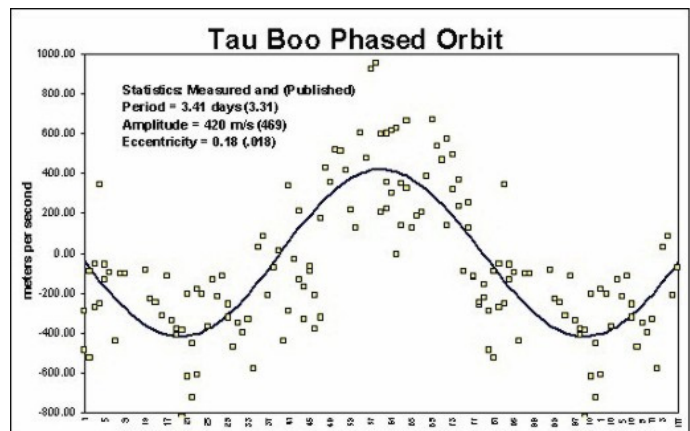
Nel caso della luce si ha lo stesso comportamento: una sorgente che si avvicina appare di frequenza maggiore, una che si allontana di frequenza minore.

In altre parole si può dire che una sorgente che si avvicina mostra un colore spostato verso la parte blu dello spettro, una che si allontana mostra un colore spostato verso la parte rossa dello spettro elettromagnetico.

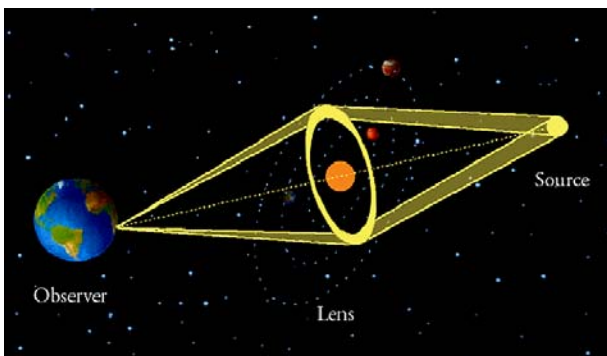
Analizzando la luce attraverso gli spettri è possibile quindi misurare la velocità verso l'osservatore (detta anche radiale) della sorgente.

Quando si è in presenza di una stella con un pianeta, dallo studio della sua luce (il suo spettro) si scopre un andamento di velocità radiale periodico: questo è il segno inequivocabile che c'è almeno un altro corpo nel sistema; poiché la velocità misurata dipende dalla massa dei due corpi, stimando la massa della stella si può stimare la massa del corpo sconosciuto e dire se si tratta di un pianeta o meno. Il limite tra un pianeta ed una stella è stato fissato a 13 masse gioviane. Oltre questa massa il corpo celeste riesce ad innescare al suo interno le reazioni di fusione nucleare che lo fanno brillare come una stella.

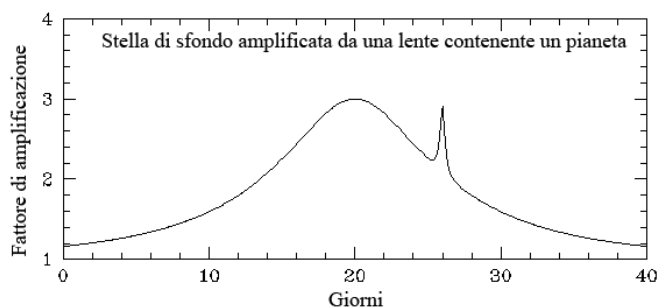
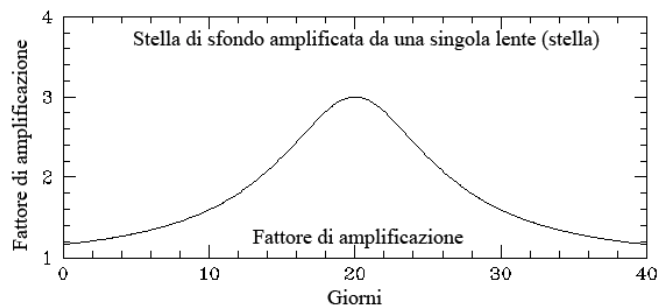
**Il metodo del microlensing** si basa sull'effetto lente gravitazionale. Una sorgente vicina (una stella con eventuale pianeta) che passa prospetticamente davanti ad una molto lontana (una stella, un Quasar) si comporta come una lente d'ingrandimento, amplificando la luce della sorgente posta dietro di essa. Se la stella che fa da lente possiede un pianeta, anche esso amplifica l'immagine della sorgente di fondo, attraverso la comparsa di un picco luminoso secondario. Questo metodo permette di scoprire pianeti relativamente piccoli, anche di massa simile a quella terrestre; purtroppo l'evento di lente è quasi sempre unico e non ripetibile poiché occorre che il moto proprio della stella la porti a transitare prospetticamente di fronte alla sorgente di cui misuriamo la luce. Si tratta anche in questi casi di un metodo indiretto poiché la presenza del pianeta viene evidenziata analizzando la luce della stella che subisce l'effetto di lente gravitazionale da parte del pianeta.



Curva di velocità radiali dedotta dallo studio dello spettro stellare. La presenza di un pianeta fa muovere la stella attorno al centro di massa del sistema, con velocità di qualche centinaio di metri al secondo, per pianeti grandi come Giove. Le precisioni massime raggiungibili sono dell'ordine di 1 metro al secondo, ancora non sufficienti per scoprire pianeti di taglia terrestre.



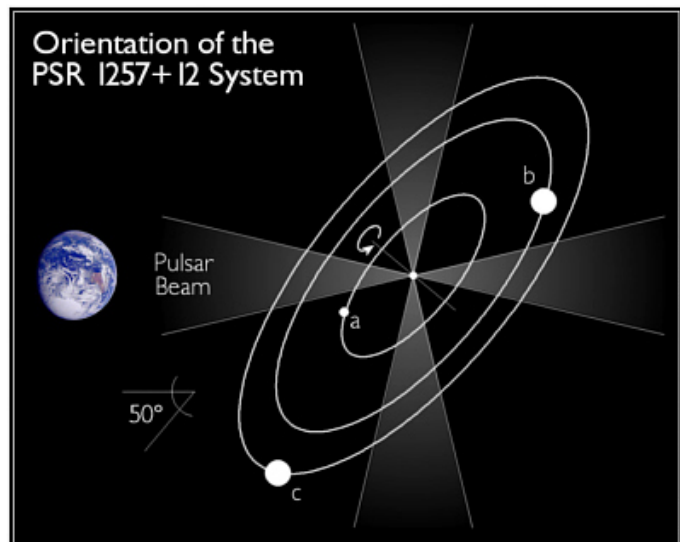
Schematizzazione del metodo della microlente gravitazionale. Una stella vicina che passa prospetticamente davanti ad una sorgente lontana amplifica la sua immagine. Se la stella possiede un pianeta, anche la sua massa amplifica la sorgente di sfondo.



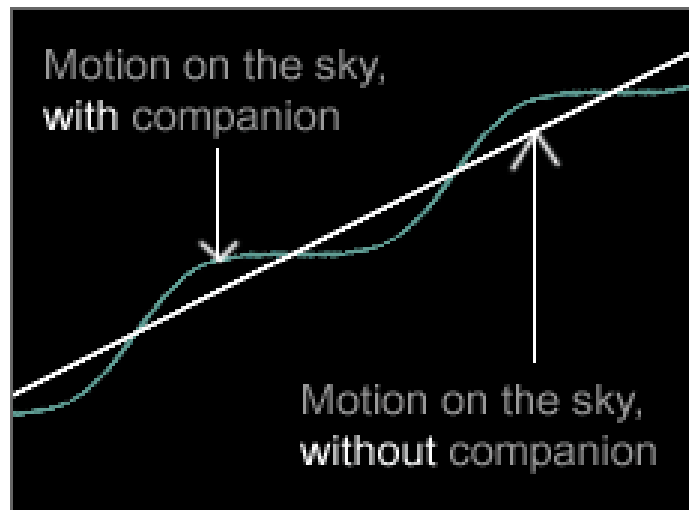
**Il timing** è applicabile solo a stelle che mostrano dei fenomeni altamente periodici, come le pulsar (resti di stelle esplose): la presenza di un pianeta altera il periodo di pulsazione della stella. Questo metodo, benché molto preciso, non è però pienamente sfruttabile poiché consente di trovare pianeti attorno a stelle ormai morte, e per di più dopo un'immane esplosione.

**Il metodo astrometrico** si basa sullo stesso principio delle velocità radiali ma analizza un effetto diverso. Come già sappiamo, i corpi di un sistema costituito da almeno due masse ruotano attorno al comune centro di massa. Analizzando la posizione della stella oggetto di studio, possiamo, in linea teorica, mettere il luce lo spostamento rispetto ad altre stelle fisse causato dalla presenza di un pianeta.

Nel caso delle velocità radiali si analizza lo spettro per misurare la velocità della stella; nel caso astrometrico si analizza invece il suo spostamento. Purtroppo la precisione di questo metodo non è grande e permette di scoprire solo oggetti estremamente massicci.

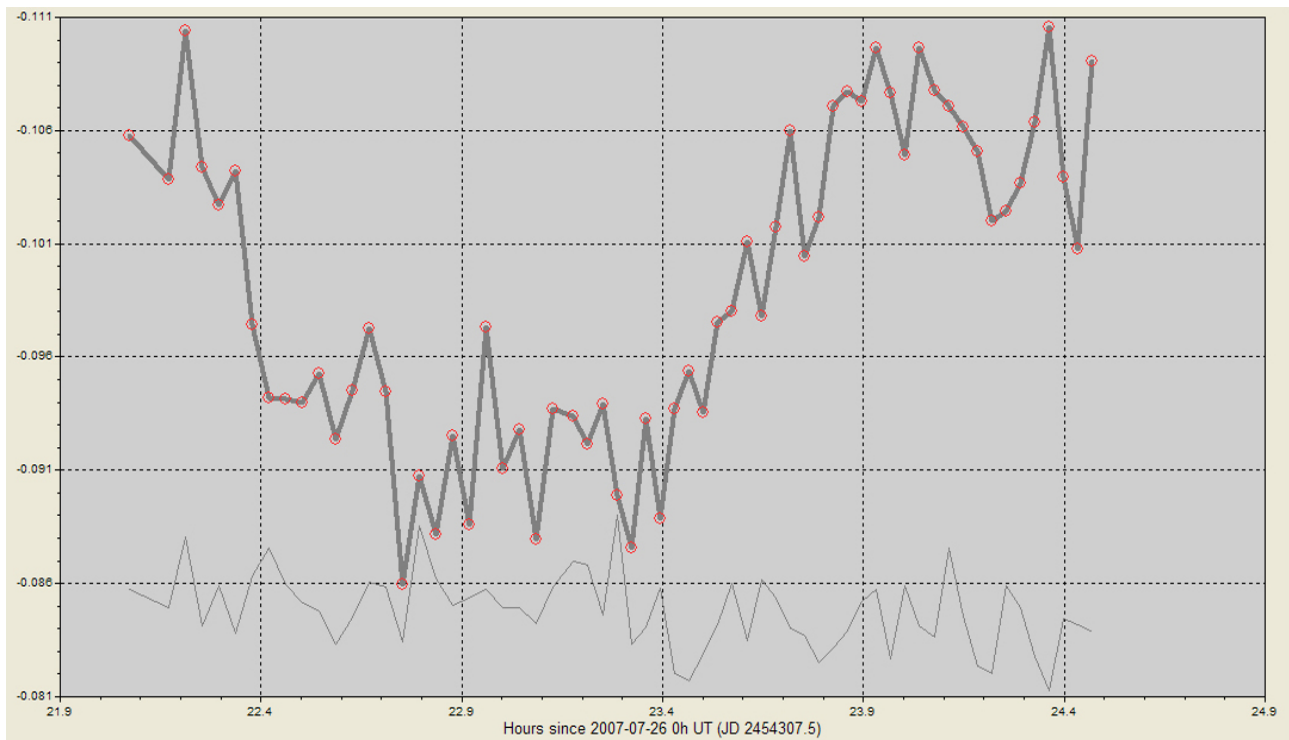


Il moto della pulsar attorno al centro di massa fa variare, a causa della velocità finita della luce, il periodo di pulsazione, altrimenti precisissimo, di questi oggetti.



Il moto di una stella con pianeta attorno al centro di massa del sistema è teoricamente rilevabile come uno spostamento periodico attorno al percorso che la stella sembra percorrere nel cielo (moto proprio). Questo metodo è il meno preciso di tutti.

## Il metodo dei transiti: pianeti extrasolari con strumentazione amatoriale.



Transito di un pianeta extrasolare di taglia gioviana (TrES-2) ripreso con un telescopio newtoniano da 25 cm e camera CCD astronomica. Quando il pianeta passa prospetticamente davanti alla stella madre produce un calo di luce dell'ordine di 1/100 di magnitudine, rilevabile con strumentazione amatoriale. Questo è stato il mio primo tentativo fotometrico, andato perfettamente a segno. (26 luglio 2007)

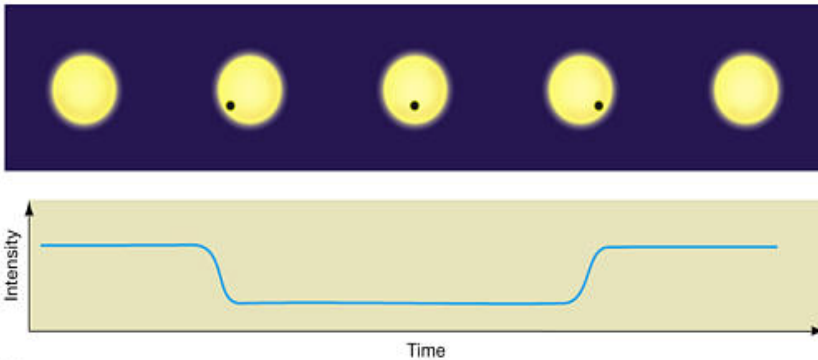
Il metodo dei transiti è stato lasciato volutamente per ultimo, poiché merita una trattazione particolare in quanto accessibile anche agli amatori equipaggiati con un telescopio da almeno 15-20 cm e una camera CCD. Esso permette di caratterizzare il pianeta con un valore esatto della massa, del raggio e quindi della sua densità e struttura interna, nonché di conoscere con precisione la sua orbita.

Un transito di un pianeta extrasolare si verifica quando esso, visto da Terra, attraversa il disco della propria stella, analogamente a quanto succede (raramente) per il transito di Mercurio o Venere. Il passaggio di un corpo oscuro provoca una diminuzione della luce stellare di una quantità proporzionale al rapporto delle superfici in gioco (e quindi ai raggi):  $R_p = R_* \sqrt{\Delta F}$ . Purtroppo la probabilità che si possa verificare un transito è piuttosto bassa poiché occorre che l'orbita del pianeta sia vista quasi di taglio dalla Terra; in effetti solo il 10% dei pianeti finora scoperti transita. Anche in questi casi si possono mettere in luce pianeti giganti simili a Giove (le dimensioni precise dipendono anche dal raggio della stella; minore è il raggio stellare, minore sarà il raggio di soglia planetario per la rilevazione del transito).

Il calo di luce, per pianeti grandi come Giove e stelle simili al nostro Sole, è tipicamente di 1-2 centesimi di magnitudine, un valore piccolissimo, analogo a quello che produrrebbe una moneta da 2 euro se posta davanti e a contatto con un lampione dal diametro di 30 cm, impossibile da notare ad occhio nudo.

Utilizzando una camera CCD progettata appositamente per le applicazioni astronomiche, anche di quelle commerciali, è possibile raggiungere precisioni oltre 10 volte superiori, minori di 1 millesimo di magnitudine. La tecnica da seguire è concettualmente semplice ed è la stessa già esposta: si riprende una serie di immagini della stella nel corso della nottata in cui si pensa si verifichi un transito planetario; successivamente si analizza la luminosità stellare in funzione del tempo e si costruisce un grafico, chiamato curva di luce, che riporta la luminosità della stella

sull'asse Y e il tempo sull'asse X. Se non si verifica alcun transito e la stella non è una variabile, la sua luce sarà costante nel tempo; se invece si verifica un transito planetario, allora la curva di luce assumerà la caratteristica forma a trapezio.



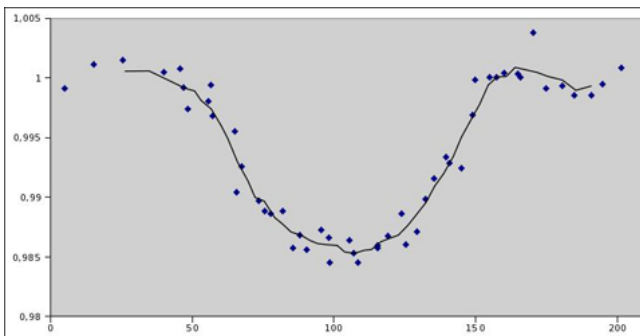
Un pianeta extrasolare che transita davanti alla propria stella produce un calo di luce dalla forma tipica e facilmente identificabile. Questa raffigurata è una situazione ideale (ed approssimata), ma le curve reali non si discostano troppo da questo andamento.

La potenza del metodo, oltre a permettere la determinazione di dati sul pianeta che in nessun altro modo si possono ricavare, è che non è sensibile alla distanza: un pianeta transitante a 10 o a 100 anni luce produce la stessa curva di luce.

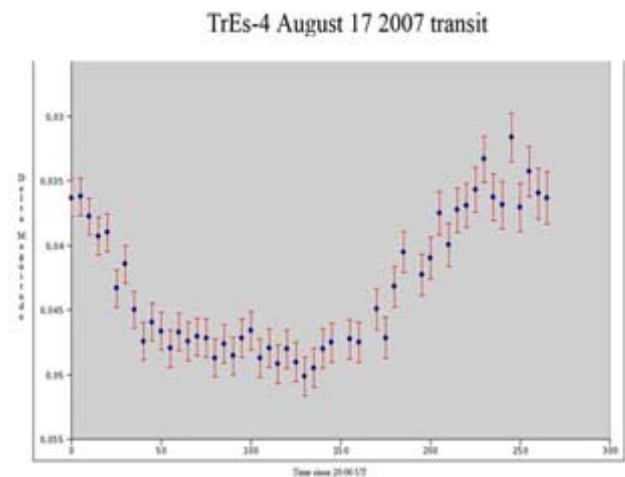
Con questa tecnica è possibile seguire il transito di pianeti già noti, oppure scoprirne di nuovi e dare un'importante mano alla ricerca scientifica, come nel caso del pianeta extrasolare HD17156b, il primo al mondo il cui transito sia stato osservato per la prima volta da un gruppo di astrofili, tra cui l'autore.

Riuscire a catturare la presenza di pianeti al di fuori del nostro sistema solare è una delle cose più affascinanti in assoluto e ciò è alla portata dell'amatore, purché disponga di una buona tecnica fotometrica.

Credo che questo rappresenti uno dei passi più importanti del secolo per l'astronomia amatoriale, che la avvicina di nuovo, in modo impressionante, all'astronomia fatta dai professionisti.



3 Transiti del pianeta extrasolare TrEs-2 sovrapposti in un'unica curva di luce che mostra un errore di 2 millesimi di magnitudine. Il transito è stato seguito con un telescopio Newton da 25 cm commerciale, dalla non eccelsa qualità ottica.



TrEs-4 e le relative barre d'errore mostrano una precisione di circa 2 millesimi di magnitudine. Strumentazione utilizzata: Newton da 25 cm, montatura EQ6 motorizzata, camera CCD ST-7XME e filtro Infrarosso da 730 nm: un setup minore di quello richiesto per fare della buona fotografia astronomica!