

Claudio Lopresti

# La mia ricerca per la scoperta del transito del pianeta HD 17156b

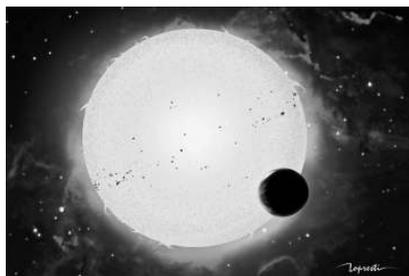
Istituto Spezzino Ricerche Astronomiche - Gruppo Astronomia Digitale - Società Astronomica Italiana

Sezione Pianeti Extrasolari - UAI - [yclop@yahoo.it](mailto:yclop@yahoo.it), <http://pianetiextrasolari.uai.it>

## Abstract

*In this paper we describe the history of the discovery of the transit of exoplanet HD 17156b. Before now, a discovery of this kind had never occurred using amateur equipment. The team of researchers who made the discovery consists of some amateurs, coordinated by professional astronomers.*

Se si apre un libro di astronomia che sia uscito prima degli inizi degli anni '90, e ci si imbatte in un capitolo che riguarda i pianeti extrasolari, è possibile rendersi conto che, a quell'epoca, se ne ipotizzava l'esistenza, ma che non vi era ancora la certezza sperimentale che esistessero davvero.



**Figura 1.** Rappresentazione grafica della stella, di tipo solare, HD 17156 e del suo pianeta in transito HD 17156b (disegno di Claudio Lopresti).

Oggi non è più così.

I pianeti extrasolari scoperti, fino al 2007, sono circa 250.

Essi sono stati, fino ad oggi, scoperti da astronomi professionisti con mezzi professionali. Vi sono diversi metodi usati per la scoperta di pianeti extrasolari. Il più redditizio, in termini di risultati, è il metodo delle velocità radiali, cioè la misura della variazione di velocità di alcune stelle, che, in presenza di un corpo orbitante nelle vicinanze, per effetto della rotazione attorno al baricentro del sistema, la stella presenta, se vista da Terra, un'oscillazione rispetto ad esso, e quindi un'accelerazione o un rallentamento, evidenziato dallo spostamento delle righe spettrali della stella verso il blu o verso il rosso. Queste variazioni spettrali, a parità di masse dei corpi in gioco (stella e corpo orbitante), si mostrano tanto più pronunciate quanto più è piccola l'ampiezza dell'angolo formato fra la retta di congiunzione Terra-Stella e il piano dell'orbita del corpo in rivoluzione attorno alla stella. Evidentemente la rilevazione delle velocità radiali presuppone

strumentazione professionale (grandi telescopi e spettrografi che abbiano la risoluzione necessaria e le capacità di conoscenza degli operatori). Siamo quindi al di là delle odierne possibilità dei comuni astrofili, per quanto riguarda il metodo delle velocità radiali.

Per esempio, la strumentazione del SARG (acronimo di "Spettrografo ad Alta Risoluzione Galileo") installato al fuoco Nasmyth del Telescopio Nazionale Galileo a Roque de Los Muchachos nell'isola di La Palma (Isole Canarie) comprende un sofisticato spettrografo e una cella assorbente allo iodio. Lo strumento copre l'intervallo spettrale da 370 a 900 nm con una risoluzione spettrale  $R = 46\,000$  e una fenditura di 1 arcosecondo, è stabilizzato termicamente e meccanicamente, e ha un'alta efficienza, oltre al fatto di essere applicato ad uno strumento di 3.5 m. di diametro. Tutto questo fa sì che sia uno strumento adatto anche a stelle deboli.

Un altro importante metodo è quello dei transiti. Una percentuale (non molto grande però, circa il 9-10%) dei pianeti extrasolari presenta un'orbita sullo stesso piano di vista del nostro punto di osservazione, o poco inclinata rispetto ad esso. Ecco che, in questi casi, un corpo orbitante, "transita" davanti al disco della stella (proprio come nel caso delle stelle binarie ad eclisse) e, durante questo passaggio, sottrae alla stella-madre una piccolissima percentuale di luce.

Sempre in materia di rilevazione della presenza di pianeti extrasolari, possiamo accennare anche a sistemi astrometrici. Al variare dell'angolo di vista del piano dell'orbita, abbiamo visto che il corpo che orbita può avere una complanarità con la retta Terra-Stella (e allora avviene periodicamente un transito), ma può essere anche che, a causa dell'inclinazione dell'orbita il transito non avvenga (condizione statisticamente assai più probabile) ed abbia qualsiasi altra inclinazione (da pochi gradi a  $90^\circ$ ) e, nel caso estremo, perpendicolare alla nostra direzione di vista. In questo caso, quanto più ci si approssima alla condizione di perpendicolarità, tanto più il metodo astrometrico può assumere sempre più importanza, poiché si vede la stella oscillare (ruotare) attorno ad un punto (baricentro), al variare della posizione orbitale del corpo che la perturba. Anche questo sistema è totale appannaggio di professionisti dotati di attrezzature professionali e in grado di apprezzare le piccolissime ampiezze

degli angoli di variazione astrometrica. Ma è talmente difficile scoprire pianeti extrasolari per via astrometrica, che questo sistema è stato, di fatto, abbandonato anche dai professionisti, in quanto è applicabile solo nelle strette vicinanze del sistema solare e, in ogni caso, non produce risultati sicuri e attendibili, e, per questo motivo, difficilmente porterebbe alla conclusione di aver scoperto con certezza pianeti extrasolari.

Anche altri sistemi, come le microlenti gravitazionali (quando i campi gravitazionali di una stella e di un suo ipotetico pianeta agiscono da "lente gravitazionale" facendo variare la luce delle stelle di fondo) o i dischi protoplanetari (nubi avvolgenti le stelle con sistemi planetari in formazione), o ancora l'osservazione diretta (che presenta la grandissima difficoltà dell'abbagliamento dovuto alla luce della stella rispetto a quella di eventuali pianeti), sono ancora più difficili e di gestione critica anche per i professionisti, e direi impossibili per gli astrofili.

Ecco perché queste scoperte, nella ricerca di pianeti extrasolari, sono avvenute generalmente attraverso lo studio, spettroscopico, delle velocità radiali. Le variazioni del moto delle stelle indotta dai pianeti, viste attraverso l'analisi spettroscopica, ne rivelano l'esistenza. La ricerca viene fatta prevalentemente su stelle di tipo solare, poiché nello spettro di quelle stelle ci sono righe metalliche a sufficienza per determinare con esattezza le velocità radiali; le stelle molto calde (con poche righe utili per fare questa analisi) o molto fredde (con troppe righe negli spettri) non forniscono risultati attendibili in merito al calcolo delle velocità radiali. Un certo numero di questi pianeti, quelli che hanno il piano dell'orbita che contiene la retta di congiunzione Terra-Stella, transitano periodicamente davanti alla loro stella madre.

Di tutti i sistemi descritti, quello che oggi è alla portata degli astrofili è il metodo dei transiti. È infatti possibile, ovviamente entro un certo limite, che un astrofilo, con attrezzature amatoriali, possa vedere un transito planetario che avviene su una lontana stella. Così come è possibile, per un astrofilo, vedere un transito già noto, è anche possibile effettuare scoperte di transiti non noti, e cioè scoprire che il pianeta che orbita attorno a una stella ha un'inclinazione orbitale tale da provocare un transito periodico sulla stella.

Nel momento in cui si osserva un transito



mai visto prima, si può parlare, in questo caso, non di “scoperta del pianeta”, ma di “scoperta del transito del pianeta”.

E se in una stella, nella quale non si conoscono ancora pianeti, si dovesse scoprire un transito? Ciò non è ancora mai accaduto per opera di astrofili, ma se dovesse accadere, anche qui, non si potrebbe mai parlare di “scoperta di un pianeta”, ma solo di scoperta del transito di un oggetto (qualora ne fosse dimostrata la successiva periodicità), ma non ancora di un pianeta. Per stabilire se l’oggetto osservato come transitante sia o no un pianeta, occorrerà ricorrere, ancora una volta, ai professionisti, i quali, facendo controlli accurati sulle velocità radiali della stella, potranno concludere di quale natura sia l’oggetto “misterioso” che transita.

Dei pianeti che presentano questa caratteristica, cioè quella di avere un pianeta (già identificato come tale) transitante sulla propria stella, su oltre 2000 stelle studiate, se ne conoscono ad oggi solo poco più di una ventina. C’è da dire che, ai fini della conoscenza, i pianeti che hanno un transito sono maggiormente ricercati ed ambiti dagli astronomi, poiché dallo studio del transito si può risalire alla completa conoscenza delle caratteristiche fisiche del pianeta, e questo aumenta la possibilità di comprendere la formazione di quei sistemi planetari, e anche avere preziose informazioni indotte per una migliore formulazione anche della genesi del nostro sistema solare.

Per osservare un transito di un pianeta extrasolare con mezzi amatoriali, occorre effettuare una sequenza di osservazioni ed analizzare le immagini ottenute tramite tecniche di fotometria differenziale, cioè occorre paragonare, nel tempo, la luce della stella che presenta un transito, rispetto alla luce di una o più stelle non variabili, che si trovano nel campo inquadrato da un sensore digitale (CCD). Se il transito avviene, la luce della stella con pianeta transitante diminuisce di un ordine di grandezza di centesimi di magnitudine, o anche meno. Occorre dire che tale variazione di per sé non rappresenta la grandezza del pianeta che transita, ma soltanto la proporzione del suo disco rispetto a quello della stella, ma l’analisi della forma della curva di luce, della profondità e della durata del transito, assieme alle cognizioni ottenute dall’astrofisica stellare e dallo studio delle velocità radiali, permette di calcolare, se avviene un transito, tutti i parametri del pianeta e addirittura (però, come già detto, non con mezzi amatoriali) se questo ha un’atmosfera e la sua temperatura. Non è poco!

La diminuzione di luce dovuta a un transito di un pianeta su una stella presenta caratteristiche quali la profondità (cioè quanto la

luce della stella si abbassa) e la durata (cioè per quanto tempo dura la caduta di luce). Queste due caratteristiche dipendono dal rapporto fra i raggi della stella e del pianeta, in maniera inversamente proporzionale al raggio della stella e direttamente proporzionale a quello del pianeta. Ciò che noi osserviamo dalla Terra è la combinazione di queste due caratteristiche. Ovviamente nessuno può conoscere *a priori* il raggio del pianeta, ma quello della stella, con sofisticate procedure ed algoritmi matematici si riesce a definire con precisione sufficiente. Possiamo sintetizzare come il raggio e la massa della stella si ottengono tenendo in considerazione le isocrone (luogo dei punti che una popolazione stellare di medesima età forma sul diagramma H-R); in questo modo si trova la miglior massa, metallicità ed età di una stella che sia in accordo con i dati sperimentali ricavati dagli spettri, e cioè la temperatura, gravità e metallicità osservate. Dopodiché si cerca di ottenere il valore del raggio stellare tenendo conto di questi parametri e anche di quello della parallasse.

Una volta che, con queste tecniche, siano noti raggio e massa della stella, il raggio del pianeta si può ottenere unicamente dalle osservazioni di un transito. Ecco perché è importantissimo, ai fini scientifici, sapere se una stella abbia o meno pianeti che transitano su di essa.

Dal periodo del transito, nota la massa stellare, si ricava il semiasse maggiore dell’orbita. Dalla durata del transito si ottiene la latitudine, e quindi l’inclinazione dell’orbita. Combinando le informazioni ottenute dalle misure di velocità radiale si ricava la massa del pianeta e quindi la sua densità.

Ecco alcune formule utili, per orbite circolari e stelle di dimensioni solari:

**probabilità di transito** =  $R_s / a$  [1]  
dove  $R_s$  è il raggio della stella e  $a$  il semiasse maggiore dell’orbita

**profondità del transito** =  $(R_p / R_s)^2$  [2]  
dove  $R_p$  è il raggio del pianeta ed  $R_s$  il raggio della stella

**durata del transito** =  $13 \sqrt{a}$  [3]  
dove  $a$  è il semiasse maggiore dell’orbita

Solamente una frazione delle stelle di tipo solare mostra transiti; per aumentare le probabilità di successo occorrerà cercare i pianeti osservando grandi aree di cielo oppure cercandoli in stelle con magnitudine più debole.

L’accuratezza fotometrica che occorre per rivelare i transiti deve essere con errore minore di 1 centesimo di magnitudine per pianeti giganti, e molto inferiore di un millesimo di magnitudine per pianeti ter-

restri: ma quest’ultimo valore è raggiungibile solo dallo spazio a causa della turbolenza atmosferica.

Vi è da porre attenzione anche ai falsi allarmi. Non sempre una diminuzione periodica di luce di una stella ci autorizza a pensare che questo comporti automaticamente l’individuazione di un pianeta: ciò può essere causato anche da stelle nane brune in eclisse, o eclissi di stelle radenti (che tolgono poca luce alla stella e quindi per questo potrebbero essere scambiate per oggetti di minore massa, come i pianeti), oppure binarie ad eclisse con stelle di sfondo molto vicine e variabili, che produrrebbero curve di luce “ingannevoli”.

In ogni caso, per poter cominciare a parlare di “pianeta” è sempre necessario un controllo spettroscopico con la tecnica delle velocità radiali. È solo questo che darà la conferma sulla natura dell’oggetto che transita.

Statisticamente, meno del 10% dei candidati sono confermati come pianeti in transito. Infatti, sui circa 250 pianeti extrasolari conosciuti, solo poco più di 20 (al momento della scoperta del transito di HD 17156) erano conosciuti come pianeti transitanti.

HD 17156 è uno di questi pochi pianeti scoperti come “transitanti”.

Dalle considerazioni fatte, quindi, i non professionisti, in realtà, non sono nella possibilità di annunciare “scoperte” di pianeti extrasolari. Ma oggi possono però (ed è ora la prima volta che ciò accade!), come si dirà in questo Lavoro, annunciare di aver scoperto il transito relativo ad un pianeta extrasolare, che mai nessuno aveva osservato prima, ed aver quindi permesso il calcolo preciso delle caratteristiche fisiche di quel pianeta!

Fino ad oggi, statisticamente, queste variazioni sono avvenute generalmente entro intervalli di uno-due centesimi di magnitudine. Ma il pianeta di cui si parlerà qui, ha indebolito la luce della sua stella di un valore di soli 6 millesimi di magnitudine! Ed è stata individuata questa variazione attraverso un piccolo telescopio, di soli 180 millimetri di diametro! Un altro record assoluto!

Si veda il grafico (figura 2) relativo alle profondità di transito dei pianeti ad oggi conosciuti. HD 17156, come si vede, è stato uno dei più difficili da scoprire, in relazione alla profondità di transito, di 6,2 millesimi di magnitudine. Eccetto il nostro, tutti gli altri transiti, compresi gli altri due più deboli (a destra di HD 17156 nel grafico), sono stati tutti scoperti da professionisti.





6) il transito avverrà e i nostri strumenti lo avrebbero registrato, ma la nostra analisi dei dati non sarà in grado di rilevarne la presenza a causa della troppo piccola variazione di luce della stella

7) il transito avverrà durante la notte del 9 settembre, i nostri strumenti lo avrebbero registrato, e la nostra analisi dei dati lo avrebbe rivelato.

### La mia esperienza

Per quanto mi riguarda, speravo tanto nella settimana ipotesi! C'era solo da augurarsi quello che tutti gli osservatori del cielo si augurano prima di ogni osservazione: un cielo sereno!

Qualche sera prima faccio delle prove tecniche di esposizione, prendo confidenza con il campo stellare, individuo le stelle di confronto, e mi rendo conto delle varie altezze sull'orizzonte raggiunte dalla stella HD 17156 e mi accorgo di un primo problema: dopo le 4 del mattino, vi sarebbe stato il passaggio al meridiano della stella, e il tubo ottico della mia montatura tedesca sarebbe andato a scontrare con il treppiede. A quel punto, per continuare le osservazioni fino all'alba, come era nei piani, avrei dovuto ribaltare il tubo ottico di 180°, ripuntare la stella, ricentrarla nel campo inquadrato dal ccd, fare un nuovo settaggio dei motori, e continuare con una seconda serie di riprese. Mi alleno a fare questa operazione per arrivare ad effettuarla senza incidenti nel minor tempo possibile (*nella notte dell'osservazione questa operazione riuscii poi a farla nel tempo record di 2.5 minuti*). Tutto questo processo nascondeva anche un'altra complicazione (questa impossibile da eliminare sul campo) che consisteva nel fatto che tutta questa seconda serie di riprese avrebbe avuto il campo invertito (cioè il Nord-Sud ribaltati reciprocamente). In sede di riduzione dati occorreva quindi effettuare la normalizzazione relativa ai *dark frame* e ai *flat field* prima di ribaltare tutte le immagini della seconda serie e, solo successivamente, ruotarle per l'analisi dei dati relativi alla fotometria delle immagini.

Arriva la notte del 9-10 settembre. La possibilità era quindi di osservare, per la prima volta al mondo, da parte di non professionisti, un transito non noto, ma la consapevolezza era, a scanso di delusioni frustranti, che il transito avrebbe potuto anche non esservi. Mi ero sforzato di abituarci a questa non incoraggiante idea, ma era forte la "voglia" di sfidare il destino, e di credere nel miracolo.

### Premesse

Il periodo orbitale era incerto: 21.2 giorni ( $\pm 0.3$ ), vale a dire che poteva variare tra i 20 giorni e 19 ore circa e i 21 giorni 13 ore, quindi l'incertezza era sulle 18 ore circa (3/4

di un giorno). Le osservazioni fotometriche fatte dagli scopritori del pianeta non coprivano la finestra osservativa del transito.

Nel caso peggiore, cioè quello in cui il transito non si fosse visto (sia allora che nelle future finestre di possibile transito), allora sarebbe stato escluso che il pianeta fosse un "transitante". Comunque sarebbe stata un'informazione utile per la scienza. Ma questa era un'eventualità che avrebbe avuto il senso di un "premio di consolazione".

### Ipotesi

Le ipotesi che si erano fatte sulle caratteristiche dell'oggetto, erano queste: ponendo un raggio = 1.107 raggi gioviani e la stella 1.2 raggi solari, il transito avrebbe avuto una durata di 164 minuti.

Le simulazioni mostravano che la massima probabilità per la centralità del transito sarebbe stata alle 03h 39m UT (5h 39m del mattino del 10 settembre), 37 minuti dopo il crepuscolo.

Con queste ipotesi l'inizio del transito sarebbe avvenuto alle 02h 17m UT (dopo le 4 del mattino), 40 minuti prima del crepuscolo. Tutto ciò solo nel caso che le simulazioni fossero state vere, altrimenti la finestra utile del probabile transito sarebbe stata molto ampia, e cioè dalle 18 UT del 9 settembre dalle 13 UT del 10 settembre. La profondità prevista (*poi rivelatasi ottimistica*) dell'eventuale transito sarebbe stata al massimo 1/100 di magnitudine.

### Speranze

Nel caso migliore: il transito si vede, e allora sarebbe stata la prima scoperta un transito extrasolare con strumentazione amatoriale.

Oltre a questo, la cosa più interessante è che si sarebbe potuto misurare il raggio, la massa, e quindi la densità e capire come il pianeta è fatto dentro!

Sarebbe stato anche il pianeta extrasolare fra quelli transitanti con il periodo più lungo mai scoperto oltre che il più difficile da scoprire!

Fatte tutte queste premesse, in parole povere... **MISSION IMPOSSIBILE!**

Ho compiuto l'osservazione dalla Stazione Astronomica IRAS-2 (che non è altro che il mio terrazzo di casa, figura 4). Il telescopio è un'ottica russa Intes-Micro in configurazione Maksutov-Newton, il diametro è 180 mm, con una ostruzione del 33%; la focale 720 mm, rapporto focale f/4. La montatura è una Vixen GP, lo stazionamento non è fisso, ma è effettuato accuratamente in ogni serata di osservazione. Il puntamento è automatico, la motorizzazione è DA2 con motori passo-passo.

La camera CCD è una SBIG ST-10XME (con microlenti) dotata di ruota portafiltri CFW10 e filtri Astrodon L, R, G, B, H-alpha 6 nanometri, SII, OIII. Il luogo di

osservazione è La Spezia, città sul mare; la postazione è leggermente defilata, sulle alture della città, ad una altezza di 178 m s.l.m., le coordinate Lat.: 44° 07' 19.98 N Long.: 9h 48' 59.78 E.



**Figura 4.** L'autore dell'articolo, Claudio Lopresti, accanto al telescopio MN-74 (Maksutov-Newton da 180 mm F/4) con cui, dal terrazzo di casa, a La Spezia, ha scoperto il transito del pianeta extrasolare HD 17156b.

L'osservazione per me è durata un'intera notte. Il mattino dopo, senza neppure andare a dormire mi sono messo ad analizzare i dati di circa 600 immagini realizzate. Intanto, la mattina del 10, dagli altri osservatori giungevano le seguenti notizie: Federico Manzini era riuscito ad effettuare solo alcune immagini iniziali e poi il resto dell'osservazione purtroppo non era stata effettuata per cielo coperto. Anche Giovanni Sostero ed Ernesto Guido non erano riusciti ad effettuare le osservazioni per totale copertura nuvolosa. Quella di Daniele Gasparri, invece, era stata un'osservazione effettuata in modo parziale e discontinuo (sempre a causa di nubi) e aveva osservato solo nella prima parte della notte, poi un'interruzione nella parte centrale e poi l'osservazione era stata ripresa nella parte finale, ma in questa seconda fase, la lastra correttiva del suo Schmidt-Cassegrain si era appannata per l'umidità. E io?... Cielo sereno fino all'alba!

### Il lavoro effettuato nella riduzione dei dati.

Ho realizzato, quindi, oltre 600 riprese nella notte fra il 9 e il 10 settembre 2007, e fatto subito le analisi dei primi dati. Alla fine, ho eliminato una bella serie di immagini finali, poiché ormai il cielo era troppo chiaro e l'alba incombe e mi sono rimaste 580 immagini grezze (*raw*), con 75 *dark frame* e 50 *flat field*.

Le 580 immagini sono state tutte "normalizzate" (ognuna con la media dei 75 *dark* e 50 *flat*). Inoltre ho sommato a 10 a 10

tutta la sequenza, per un totale di 58 *file* di immagini sommate.

Il lavoro di analisi dei primi dati è consistito nella misurazione in fotometria differenziale delle sequenze di immagini della stella HD 17156 rispetto a 12 stelle di confronto. Il che ha portato a realizzare i *file* poi lavorati come massa-dati da cui estrarre i grafici delle curve di luce delle stelle utilizzate.

Quindi iniziai una lotta personale con tutti i computer di casa: avevo qualcosa come 3,5 Gigabyte di dati da esaminare!

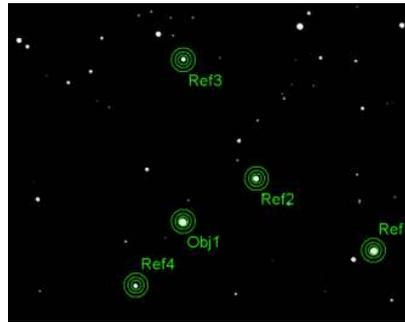
Il lavoro di analisi per la fotometria differenziale l'ho effettuato usando la sequenza di immagini in formato fits. Il formato fits contiene tutte le informazioni relative ai tempi di posa, alla data e all'istante in cui le immagini sono realizzate, e questo è indispensabile ai fini dell'identificazione degli orari degli eventi (nel nostro caso, inizio e fine eventuale transito). Ho usato il programma *MaxIm DL4* (uno dei programmi più conosciuti nel mondo amatoriale, che permette sia le riprese, sia l'elaborazione delle immagini astronomiche) per l'analisi fotometrica del campo stellare e, dato il campo relativamente grande dato dal sistema ottico usato, 70' x 47', ben 12 stelle di confronto per avere il maggior numero di controlli possibili sulle misure. Le stelle di confronto le ho esaminate anche fra loro, per eliminare ogni dubbio sulla loro eventuale variabilità.

In figura 5 vediamo una porzione del campo stellare di HD 17156 nel programma *MaxIm DL*, relativamente alla parte di analisi delle misure di fotometria differenziale per l'individuazione del transito. Le immagini vengono caricate in memoria; dopodiché si indicano al programma le stelle da misurare (stella che si vuole misurare, indicata in figura 5 come Obj1 e le stelle di confronto, indicate come Ref1, Ref2, Ref 3, Ref 4). Il programma riconosce le stelle indicate in tutta la sequenza, ne individua la posizione, e produce un grafico ove è possibile visualizzare le curve di luce delle stelle ai fini della rilevazione di un transito (o comunque una variabilità stellare). Il programma inoltre ha la possibilità di salvare tutti i dati di lettura in un *file* di testo, che può essere importato e letto da altri programmi di elaborazione (quali MS-Access, Excel, ecc...).

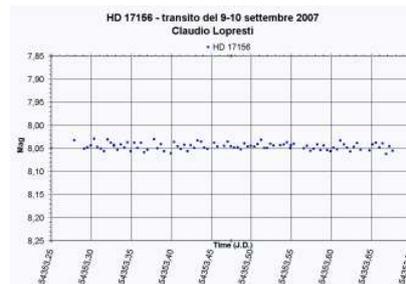
Dopo tutto questo lavoro, mi appare il primo grafico, fatto sulle 58 immagini sommate a 10 a 10, che vediamo nella figura 6. A prima vista, piuttosto deludente, direi... Ma dopo tutta questa fatica non mi voglio arrendere!

Provo a mettere una linea di tendenza polinomiale (anche se non è la migliore da usare in questi casi) alla serie di punti, per vedere se salta fuori qualcosa: mi pare di notare che c'è un "leggerissimo calo" del-

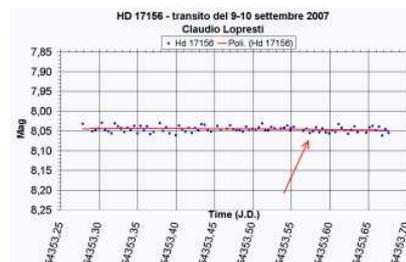
la curva di luce, che per diverse ore si presenta sempre stabile, ma, a partire dal punto indicato dalla freccia, come si vede nel grafico di figura 7, la curva sembra lievisimamente scendere...



**Figura 5.** Il programma *MaxIm DL4* possiede una buona routine di analisi fotometrica differenziale delle immagini. I cerchi concentrici rappresentano: il cerchio più interno è la finestra fotometrica di apertura entro la quale vengono letti i valori di saturazione dei pixel della stella; la corona circolare esterna viene usata per la misura del fondo cielo.



**Figura 6.** Questo è il primo grafico derivato dalla somma (a 10 a 10) di 580 immagini della sequenza. Sull'asse x il tempo (in giorni giuliani), sull'asse y la magnitudine.



**Figura 7.** Come l'immagine precedente, ma con l'aggiunta di una funzione (linea di tendenza polinomiale). La curva, nell'ultima parte, sembra scendere. È l'inizio del transito?

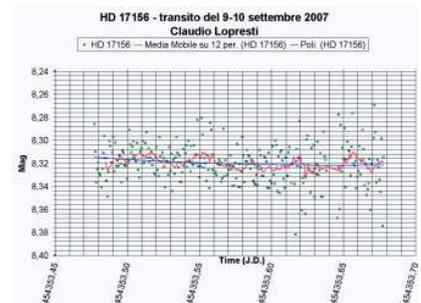
Prima di approfondire la cosa, cambiare tipo di curva, e applicare una scala diversa all'asse y, in modo da cogliere ogni possibile variazione, "sento" nell'aria, nei messaggi di posta elettronica che arrivano dagli altri componenti del gruppo, una certa tendenza alla "smobilitazione", nel senso che ormai tutti pensavano di non essere riusciti a registrare il transito. Non c'era da stare allegri. Tutti gli altri osservatori ave-

vano avuto problemi di copertura nuvolosa e Daniele, l'unico che oltre a me aveva ripreso una serie di immagini, stava desistendo poiché non riusciva a vedere nulla nelle analisi dei dati.

Invio quindi, senza più aspettare, un messaggio al gruppo, in cui allego l'ultimo grafico (quello di figura 7) e dico che è molto difficile interpretare i dati, (questo non è come Tr-ES2, un pianeta molto noto già ripreso in transito da noi precedentemente, ma, tutto sommato, abbastanza facile da rilevare!) almeno con i mezzi di calcolo a mia disposizione... ma "forse" si nota un calo debole nella curva (circa 1/100) a partire dalle 00h 27m UT. E intanto continuo con i miei grafici.

Mauro Barbieri mi risponde, rivolgendosi a me e poi a tutto il *team*: «potrebbe anche essere vero, ma in quella zona la dispersione dei punti aumenta, e probabilmente il *background* lunare ha cominciato a farsi sentire. La cosa da fare è passare attraverso la *pipeline* di riduzione e vedere cosa salta fuori (incrociamo le dita). Intanto prova a sommare più immagini e vedi cosa esce anche rispetto alle altre stelle, raccogli tutte le immagini che hai fatto e mandamelle, a questo punto, visto che il dubbio me lo hai messo, mandami sia quelle sommate sia tutte le originali (*dark, bias, flat*, oggetto, insomma tutto quello che hai). Federico e Daniele, potete mandarmi anche voi le vostre immagini?

Giovanni tu non hai neanche una immagine? In ogni caso male che vada non c'è da buttarsi giù: con queste osservazioni potremmo concludere che il pianeta non transiti»



**Figura 8.** Il lavoro, concentrato solo sulla parte dove si vedeva il calo di luce, cominciava a rivelare l'esistenza effettiva del transito planetario.

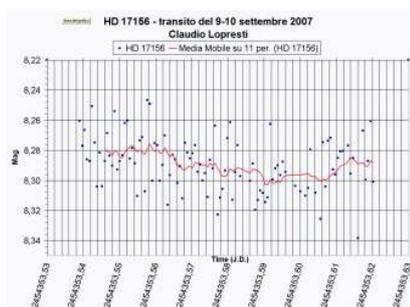
Era solo il giorno dopo le osservazioni, e era quindi ancora tutto nel dubbio più assoluto, ma credo, anche perché lo stesso Mauro Barbieri me lo ha confermato, che la mia insistenza e quel messaggio abbia provocato l'innescio del lavoro che venne dopo, e cioè, prima l'analisi di tutte le immagini raccolte e poi piano piano, ma costantemente, la convinzione di avere veramente scoperto il transito di quel pianeta.

Infatti produco tutta una serie di altri studi, riduzioni e grafici, concentrando l'attenzione solo sulla parte delle osservazioni dove avevo osservato il "calo di luce" della stella (figura 8).

Anche Daniele Gasparri in un primo momento aveva quasi deciso di cestinare (!) tutte le immagini, giudicando la missione fallita, ma, sollecitato dal mio messaggio, era riuscito a racimolare un po' di osservazioni utili per HD17156 dalle 00h 40m UT fino alle 03h 50m e, aveva cercato di tirare fuori tutto il possibile dalle immagini. I primi tentativi non avevano mostrato nulla perché aveva utilizzato stelle di paragone sbagliate... ma poi sembrava essere venuto fuori qualcosa. Un primo dato (promettente!) era che l'inizio del calo di luce era identico nel tempo, sia nelle mie osservazioni che in quelle di Gasparri!

Intanto masterizzo un DVD e spedisco tutte le mie immagini a Marsiglia, in modo che vengano tutte direttamente analizzate con i programmi dell'osservatorio francese (per la cronaca, i fotoni che ho registrato nelle mie immagini hanno impiegato 255 anni per arrivare dalla stella al mio telescopio e la lentezza delle poste, italiane e francesi, rischiano di far passare altrettanto tempo perché le immagini facessero il tragitto La Spezia-Marsiglia. Alla fine, visto il ritardo postale e la necessità impellente di lavorare al più presto sui dati, abbiamo utilizzato una giornata intera per fare il download in FTP dal sito del GAD, e così abbiamo fatto prima delle poste. Le immagini spedite per posta poi arrivarono, infatti, quando già avevamo la certezza di avere scoperto il transito).

Il lavoro andava avanti e ormai avevo fatto centinaia di tentativi e grafici, fino a che nonostante il rumore di fondo presente in tutte le misure, mando un altro messaggio e altri grafici e intitulo il messaggio con un ottimistico "Io lo vedo !" (figura 9).



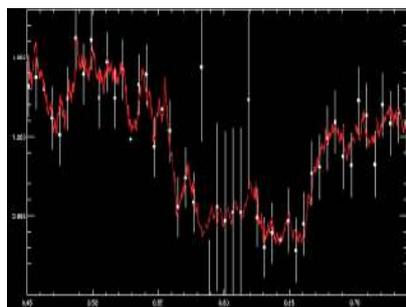
**Figura 9.** "Io lo vedo !" Ormai dopo centinaia di prove, grafici, confronti incrociati fra HD 17156 e stelle di confronto e fra queste ed altre stelle, e infine fra loro stesse, il calo del transito mi appariva chiaro. Tenere sempre presente il fatto che ho utilizzato uno strumento da soli 180 mm di diametro e che la profondità del transito è stata solo di 6.2 millesimi di magnitudine. Questo non era mai accaduto prima al mondo nella scoperta di un transito!

Si viene a sapere, dopo qualche giorno dalla nostra osservazione, che un osservatore indipendente, Jose Manuel Almenara Villa, amico di Roi Alonso (che è un astronomo di Marsiglia, collega di Mauro Barbieri) ha compiuto anch'egli osservazioni (anche in questo caso parziali, a causa del forte vento) che riprendevano l'inizio e la fine del transito, ma con tutta la parte centrale mancante. Anche Almenara Villa aveva però già abbandonato la speranza di aver registrato il transito... e si apprestava a seguire la successiva finestra di transito utile per l'Europa, a dicembre 2007.

Ma richieste (da Roi Alonso), avute, ed analizzate anche le sue immagini... ecco il risultato.

I nostri dati (Lopresti-Gasparri), già splendidamente univoci nel mostrare l'inizio del transito, parametro già questo fondamentale, avevano avuto un'altra importantissima conferma, poiché anche le osservazioni di Almenara Villa confermarono l'inizio e la fine del transito e quindi **confermavano alla grande che avevamo scoperto il transito!**

Il 22 settembre 2007 (ormai erano passati già 13 giorni dalle osservazioni, ed io mi trovavo a Faenza per il congresso UAI) Mauro Barbieri mi comunica:



**Figura 10.** Questo è uno dei primi grafici elaborati dall'Osservatorio di Marsiglia sui nostri dati (Lopresti - Gasparri).

«**Le prime analisi dei dati sono state confermate!** Si tratta della prima volta al mondo che viene scoperto un transito di un pianeta extrasolare da non professionisti e con attrezzature amatoriali! È il pianeta con una delle più piccole profondità di transito mai osservata. È il pianeta che presenta la più grande difficoltà di osservazione fra quelli fino ad oggi conosciuti, il transito sarà poi misurato con una profondità di solo 6.2 millesimi di magnitudine!

E ancora: solo due stelle con pianeti presentano 5/1000 di variazione (qualcosa meno del nostro), ma gli altri due sono stati scoperti da professionisti e con attrezzature professionali.

Le nostre osservazioni hanno permesso di determinare il raggio del pianeta, la sua massa vera, e quindi la sua densità, parametro fondamentale per comprendere il

processo di formazione di questi pianeti.» In figura 10 vediamo uno dei primi grafici elaborati dall'Osservatorio di Marsiglia sui nostri dati.

## 21 giorni dopo...

La nostra osservazione del transito era avvenuta tra la notte del 9-10 settembre.

**Il 1° ottobre 2007** c'era il transito successivo, visibile però solo dall'America. Altri astronomi americani, su nostro invito, e anche i "nostri" Giovanni Sostero ed Ernesto Guido, con un telescopio a gestione remota nel New Mexico, provano a seguire il transito successivo di HD 17156b (anche qui però, purtroppo per la seconda volta, la presenza di nubi fa sì che non si possa aggiungere molto alle nostre prime osservazioni).

Però altri astronomi americani, e, in particolare l'astronomo David Charbonneau (colui che ha scoperto il primo transito di un pianeta extrasolare in assoluto), ci ha fornito una splendida conferma, il 1° ottobre, della nostra scoperta del 9-10 settembre, osservando il transito successivo di HD 17156b da Mount Laguna, in California.

A questo punto abbiamo fatto la comunicazione ufficiale della scoperta (4 ottobre).

Intanto, da alcuni giorni, era in preparazione l'articolo per Astronomy & Astrophysics "**HD 17156b: A Transiting Planet with a 21.2 Day Period and an Eccentric Orbit**" [1], firmato da:

- M. Barbieri, LAM, Observatoire de Marseille-Haute Provence, France
- R. Alonso, LAM, Observatoire de Marseille-Haute Provence, France
- G. Laughlin, University of California Observatories, Santa Cruz, CA, USA
- J. M. Almenara, Instituto de Astrofísica de Canarias La Laguna, Spain
- R. Bissinger, Racoon Run Observatory, Pleasanton, CA, USA
- D. Davies, Racoon Run Observatory, Pleasanton, CA, USA
- C. Lopresti, Istituto Spezzino Ricerche Astronomiche, La Spezia, Italy
- D. Gasparri, Università di Bologna, Bologna, Italy
- F. Manzini, Stazione Astronomica di Sozzago, 28060 Sozzago, Italy
- G. Sostero, Osservatorio di Remanzacco, Remanzacco, Italy
- E. Guido, Osservatorio di Remanzacco, Remanzacco, Italy

In questo articolo, preparato in tempo da record, è stato messo in evidenza che questo pianeta ha caratteristiche uniche fra i pianeti extrasolari transitanti conosciuti, a causa della relativa grande eccentricità orbitale ( $e = 0.67$ ) e per il periodo orbitale ( $P = 21.2$  d), oltre al fatto, veramente inusuale, che il pianeta riceve una variazio-

ne della radiazione (insolazione) da un valore da 1 a 26 volte durante il corso della sua orbita, durante la quale cambia il tipo spettrale! Ce n'è abbastanza per scatenare l'appetito scientifico dei più grandi ricercatori in materia di pianeti extrasolari, e HD 17156b si rivelerà un oggetto molto utile per la descrizione della dinamica atmosferica dei pianeti extrasolari.

Subito dopo la stesura e la presentazione di questi risultati su A&A, che è stato subito accettato integralmente, vi è stata una prima importante citazione, otto giorni dopo, in un altro articolo, apparso su *Astrophysical Journal*, da parte di J. J. Fortney (*Space Science and Astrobiology Division, NASA*) ed altri [3], che avevano sottomesso il loro lavoro, riguardante un altro pianeta, un mese prima del nostro, il 4 settembre, ma poi l'uscita del nostro lavoro ha portato ad una revisione del loro articolo, ritirato e quindi poi sottoposto nuovamente ad ApJ il 12 ottobre, proprio sulla base della nostra scoperta: in pratica i nostri risultati sono serviti a questi ricercatori per definire una nuova classe di pianeti extrasolari!

La stesura di questo articolo (A&A) è avvenuta in pochissimo tempo. È stato necessario approntare il tutto in concomitanza con l'annuncio ufficiale della scoperta. Io vi ho collaborato scrivendone la parte relativa alla mia osservazione e ai dati tecnici della mia strumentazione, evidenziando come era stata critica la fase osservativa, sia per il piccolo telescopio usato, sia per la particolare montatura che in questo tipo di osservazioni costringe l'operatore ad acrobazie che sono causate, nel momento del passaggio al meridiano, dal fatto di dover ripetere tutte le operazioni di centraggio, puntamento, e settaggio dei motori.

Per me è stata una grande soddisfazione collaborare a questo lavoro, vedere le mie curve di luce nei grafici dell'articolo su *Astronomy & Astrophysics*, contribuire in modo determinante alla scoperta di questo transito planetario e, di conseguenza, comparire nei ringraziamenti finali. Penso che questa sia una delle più grandi soddisfazioni che possa capitare ad un astrofilo: riuscire a fare qualcosa che nessuno ha mai fatto prima, essere "il primo!" in qualsiasi attività che si stia facendo... è impagabile!

#### Cosa hanno detto di noi.

La nostra scoperta ha avuto una grande risonanza in tutto il mondo scientifico internazionale ed è stata riportata da stampa, reti televisive, siti web.

Ora la cronaca della scoperta del transito di HD 17156b prosegue attraverso le stesse parole degli astronomi americani che hanno attribuito una grande importanza e l'hanno commentata come segue.

Dal sito americano che promuove la campagna di ricerca per i transiti planetari [www.transitsearch.org](http://www.transitsearch.org) si legge:

«Partecipanti a [Transitsearch.org](http://www.transitsearch.org) hanno di recente scoperto che il pianeta HD 17156 transita sulla sua stella. Questo pianeta ha una durata di periodo orbitale di tre settimane, il che significa che è di gran lunga il pianeta in transito con il più lungo periodo finora scoperto. È il primo transito scoperto dalla rete degli osservatori di *Transitsearch.org*. Questa scoperta scientifica è un importante risultato.»

Greg Laughlin, da uno dei più importanti siti americani di riferimento mondiale per i transiti planetari [www.oklo.org](http://www.oklo.org) mostrava già una mobilitazione internazionale per questo evento e scriveva nel suo blog:

«Ho ricevuto una e-mail da Mauro Barbieri, un ricercatore italiano che sta lavorando al satellite CoRoT. Mauro ha reclutato quattro astronomi dilettanti italiani per controllare la finestra di transito. Due osservatori in Italia del Nord non hanno potuto osservare per cielo nuvoloso già da prima dell'inizio del transito, ma altri due, D. Gasparri e C. Lopresti, potevano osservare con gran parte della notte in Italia centrale.

I loro dati sono sembrati promettenti, mostrando l'inizio del transito nello stesso momento in cui l'ingresso è stato osservato da Jose Almenara nelle Canarie. Ron Bissinger, osservando da Pleasanton, dalla California e sette ore dopo, poteva cominciare a osservare subito dopo che il transito si è concluso»

Ancora Greg Laughlin, dal sito americano [www.oklo.org](http://www.oklo.org):

«Sono felice di segnalare che HD 17156b è osservabile in transito e che gli osservatori di *Transitsearch.org* hanno svolto il ruolo chiave nella scoperta»

Il 16 ottobre siamo in *home page* nel sito di *Sky & Telescope*, dove dicono di noi, nell'articolo di Robert Naeye (scrittore di scienza in *Astrofisica - Science Division, NASA's Goddard Space Flight Center*):

**“Astrofilo scoprono il transito di un pianeta extrasolare.”**

“Un team internazionale di astronomi ha annunciato **una delle più imponenti scoperte mai fatte da astronomi non professionisti**”

“Questo oggetto è uno dei 28 altri pianeti noti in transito, e il controllo successivo sulle sue osservazioni **farà ottenere preziose intuizioni nello studio sulle differenti caratteristiche dei pianeti in tutta la nostra galassia**”

**“È così frantumato non uno, ma due record per il transito pianeti.** Il pianeta orbita intorno alla sua stella ogni 21.2 giorni, molto più lungo del titolare del precedente record di 5.66 giorni. Ha anche di gran

lunga l'orbita molto più allungata, con una eccentricità di 0.67.”

**“Questo pianeta è sicuramente un importante passo avanti”**, afferma Greg Laughlin (Università della California, Santa Cruz), che organizza la rete [Transitsearch.org](http://www.transitsearch.org) che ha fatto la scoperta. **“È la nostra prima scoperta di un transito. E il pianeta, con il suo lungo periodo e di alta eccentricità, è unico entro l'attuale censimento di pianeti transitanti.”**

**“Questa è una fantastica scoperta storica”**, aggiunge il ricercatore di pianeti extrasolari Sara Seager (MIT), “In primo luogo, questa scoperta ci permette di studiare un pianeta molto diverso da quelli di tipo gioviano ‘normale’ caldo, che hanno quasi tutti orbite circolari di meno di 4 giorni. **Questa scoperta è anche storica perché il transito è stato scoperto da non professionisti.**

**“La comunità professionale ha ora posto una sontuosa attenzione su questa stella, perché sono ora rivelate le proprietà del pianeta”**, dice Charbonneau. **“Ma sono in grado di farlo per merito del grande contributo di questi astrofili.”**

#### Conclusioni.

Ritengo che ciò che ho descritto rappresenti il futuro prossimo della ricerca, oltre che professionale, anche di quella amatoriale, poiché ora lo sappiamo, e lo abbiamo dimostrato: anche con mezzi modesti è possibile ottenere grandi risultati, ed è possibile e probabile che nei prossimi anni la ricerca dei pianeti extrasolari sia uno dei maggiori campi di battaglia degli astrofili, proprio come per molti anni lo è stato il campo dello studio delle stelle variabili. Ora è dimostrato che un piccolo strumento quale quello che ho utilizzato (meno di 20 cm. di diametro) può arrivare a risultati quali quello della scoperta di un transito di un pianeta extrasolare che ha una profondità di soli 6 millesimi di magnitudine! Chi mai poteva pensare una cosa simile? Non era mai accaduto prima: ora la strada è aperta.

#### Bibliografia

- [1] Barbieri M. et al., *HD 17156b: A Transiting Planet with a 21.2 Day Period and an Eccentric Orbit*, A&A (2007).
- [2] Fisher D.A. et al., *Five Intermediate-Period Planets from the N2K Sample*, ApJ (2007)
- [3] Fortney J.J. et al., *A unified theory for the atmospheres of the hot and very hot Jupiters: two classes of irradiated atmospheres*, ApJ (2007)



Mauro Barbieri

# HD 17156b: la scoperta del transito

LAM, Observatoire de Marseille- Haute Provence, Traverse du Siphon, BP 8, Les Trois Lucs, 13376 Marseille Cedex 12, France  
 Responsabile Sezione Pianeti Extrasolari - UAI - [mauro.barbieri@oamp.fr](mailto:mauro.barbieri@oamp.fr); <http://pianetiextrasolari.uai.it>

## Abstract

We report the discovery of transits by the 3.1 M<sub>Jup</sub> companion to the V=8.17 G0V star HD 17156. The transit was observed by three independent observers on Sept. 9/10, 2007 (two in Italy and one in the Canary Islands), who obtained detections at confidence levels of 3.0  $\sigma$ , 5.3  $\sigma$ , and 7.9  $\sigma$ , respectively. Analyses of the 7.9  $\sigma$  data set indicates a transit depth  $d=0.0062 \pm 0.0004$  and a transit duration  $t=186 \pm 5$  min. These values are consistent with the transit of a Jupiter-sized planet. This planet occupies a unique regime among known transiting extrasolar planets, both as a result of its large orbital eccentricity ( $e=0.67$ ) and long orbital period ( $P=21.21$  d). The planet receives a 26-fold variation in insolation during the course of its orbit, which will make it a useful object for characterizing exoplanetary atmospheric dynamics.

Traduzione e riadattamento dall'inglese dell'articolo originale [2] sulla scoperta del transito di HD17156b pubblicato sulla rivista *Astronomy & Astrophysics*.

Negli ultimi anni la scoperta pianeti extrasolari transitanti è cresciuta rapidamente, contando un totale ad oggi (novembre 2007) di 26 pianeti transitanti noti (si veda la lista ufficiale in tabella 1), su un totale di circa 250 pianeti extrasolari. L'insieme di questi pianeti consiste sostanzialmente di pianeti di massa gioviana di breve periodo, denominati in gergo astronomico *Giovi caldi*, i cui prototipi sono HD209458b [8,19] e HD189733b [4]. Questi pianeti tendono ad avere  $M \sim 1M_{Jup}$ , periodi compresi tra 2 e 5 giorni, ed ad essere su orbite circolarizzate maramente.

**Tabella 1.** Elenco dei pianeti extrasolari noti per il loro transito. Dall'elenco sono esclusi i pianeti solo annunciati e non confermati per i quali non esiste una pubblicazione professionale di riferimento al momento attuale (novembre 2007).

nome	$M_p$ $M_{Jup}$	$R_p/R_{Jup}$	$P$ giorni	a AU	e	$M_c$ $M_c$	$R_c$ $R_c$	$T_{eff}$ K	[Fe/H]
HD17156	3.12 ± 0.5	1.15 1.04 1.26	21.22	0.15	0.67 ± 0.08	1.2 ± 0.1	1.47 ± 0.15	6079 ± 56	0.24 ± 0.03
HD147506	8.04 ± 0.04	0.98 0.94 1.02	5.83341	0.0685	0.517 ± 0.002	1.32 ± 0.08	1.48 ± 0.05	6290 ± 110	0.12 ± 0.08
HD149026	0.330 ± 0.02	0.728 0.662 0.790	2.87598	0.042	0	1.3 ± 0.1	1.45 ± 0.1	6147 ± 50	0.36 ± 0.05
HD189733	1.15 ± 0.04	1.154 1.137 1.171	2.128581	0.031	0	0.82 ± 0.03	0.755 ± 0.011	5050 ± 50	-0.03 ± 0.04
HD209458	0.657 ± 0.006	1.320 1.295 1.345	3.52474859	0.047	0.07 ± 0.02	1.101 ± 0.064	1.125 ± 0.022	6117 ± 26	0.02 ± 0.03
HAT-P-1	0.53 ± 0.04	1.203 1.152 1.254	4.46529	0.0551	0.09 ± 0.02	1.12 ± 0.09	1.115 ± 0.043	5975 ± 45	0.13 ± 0.02
HAT-P-3	0.599 ± 0.026	0.890 0.844 0.936	2.899703	0.03894	0	0.936 ± 0.05	0.824 ± 0.04	5185 ± 46	0.27 ± 0.04
HAT-P-4	0.68 ± 0.04	1.27 1.22 1.32	3.056536	0.0446	0	1.26 ± 0.10	1.59 ± 0.07	5860 ± 80	0.24 ± 0.08
HAT-P-5	1.06 ± 0.11	1.26 1.21 1.31	2.788491	0.04075	0	1.16 ± 0.06	1.17 ± 0.05	5960 ± 100	0.24 ± 0.15
HAT-P-6	1.057 ± 0.119	1.330 1.269 1.391	3.852985	0.05235	0	1.29 ± 0.06	1.46 ± 0.06	6570 ± 80	-0.13 ± 0.08
GJ46	0.071 ± 0.006	0.374 0.358 0.390	2.64385	0.028	0.15 ± 0.01	0.44 ± 0.04	0.463 ± 0.02	3200 ± 200	-0.03 ± 0.2
OGLE-TR-10	0.61 ± 0.13	1.22 1.15 1.34	3.101278	0.04162	0	1.10 ± 0.05	1.14 ± 0.08	6075 ± 86	0.28 ± 0.10
OGLE-TR-56	1.29 ± 0.12	1.30 1.25 1.35	1.211909	0.0225	0	1.17 ± 0.04	1.32 ± 0.06	6119 ± 62	0.19 ± 0.07
OGLE-TR-111	0.52 ± 0.13	1.01 0.97 1.05	4.014479	0.0467	0	0.81 ± 0.02	0.831 ± 0.031	5044 ± 83	0.19 ± 0.07
OGLE-TR-113	1.35 ± 0.19	1.09 1.06 1.12	1.4324757	0.0229	0	0.78 ± 0.02	0.77 ± 0.02	4804 ± 106	0.15 ± 0.10
OGLE-TR-132	1.14 ± 0.12	1.18 1.11 1.25	1.689868	0.0299	0	1.26 ± 0.03	1.34 ± 0.08	6210 ± 59	0.37 ± 0.07
OGLE-TR-182	1.01 ± 0.115	1.13 1.05 1.37	3.97910	0.051	0	1.14 ± 0.05	1.14 ± 0.15	5924 ± 64	0.37 ± 0.08
TrES-1	0.76 ± 0.05	1.081 1.052 1.110	3.0300737	0.0393	0.135 ± 0.10	0.89 ± 0.035	0.811 ± 0.020	5250 ± 75	-0.02 ± 0.06
TrES-2	1.198 ± 0.053	1.220 1.178 1.205	2.47063	0.0367	0	0.98 ± 0.062	1.00 ± 0.035	3850 ± 50	-0.15 ± 0.10
TrES-3	1.92 ± 0.23	1.295 1.214 1.376	1.30619	0.0226	-	0.90 ± 0.15	0.802 ± 0.046	5720 ± 150	0.00 ± 0.2
TrES-4	0.84 ± 0.10	1.674 1.580 1.768	3.553945	0.0488	-	1.22 ± 0.17	1.738 ± 0.092	6100 ± 150	0.00 ± 0.2
WASP-1	0.867 ± 0.073	1.443 1.404 1.482	2.519661	0.0382	-	1.15 ± 0.09	1.453 ± 0.032	6110 ± 245	0.23 ± 0.08
WASP-2	0.88 ± 0.07	1.038 0.988 1.088	2.159226	0.0307	-	0.79 ± 0.09	0.813 ± 0.032	5200 ± 200	0.00 ± 0.2
WASP-3	1.76 ± 0.11	1.31 1.17 1.38	1.846834	0.0317	-	1.24 ± 0.09	1.31 ± 0.09	6400 ± 100	0.00 ± 0.2
XO-1	0.90 ± 0.07	1.184 1.166 1.212	3.941534	0.0488	-	1.0 ± 0.03	0.928 ± 0.033	5750 ± 13	0.01 ± 0.03
XO-2	0.57 ± 0.06	0.973 0.965 1.003	2.615838	0.037	-	0.98 ± 0.02	0.964 ± 0.02	5340 ± 32	0.45 ± 0.02

Negli ultimi anni, due importanti scoperte hanno significativamente allargato lo spazio dei parametri occupato dai pianeti transitanti. Il primo è HD147506b [1] con  $M=8.04 M_{Jup}$  che è il pianeta extrasolare più massivo finora noto, inoltre era anche il pianeta di periodo orbitale più lungo (5.63 giorni) e dotato di una notevole eccentricità (circa 0.5). Il secondo dall'altro lato dell'intervallo delle masse è GJ436b [16,6] con massa  $M=0.007 M_{Jup}$ , un periodo orbitale di 2.64 giorni ed una eccentricità  $e=0.15$  [12]. Questi due pianeti differiscono in massa di oltre due ordini di grandezza e la loro grande eccentricità orbitale è in grado di fornire importanti informazioni.

Al momento le osservazioni infrarosse dei pianeti extrasolari effettuate con il telescopio spaziale Spitzer forniscono un quadro incompleto ed in alcuni casi forniscono dei dati contraddittori. Quello che non è ancora chiaro è come la direzione dei venti e la distribuzione della temperatura si comportino in funzione dell'altezza atmosferica e delle longitudini e latitudini planetarie. Inoltre il parametro più importante, la costante di tempo di rilassamento termico del trasporto radiativo, non è ancora stata misurata nei pianeti di corto periodo orbitale, di conseguenza le simulazioni volte a determinare l'aspetto atmosferico di questi pianeti [5,21,11,9,14] hanno mostrato un notevole disaccordo nell'aspetto risultante. Questa mancanza di uniformità nei risultati proviene in gran parte dalla mancanza di una misura univoca della costante di tempo radiativo atmosferico.

Per ottenere una misura univoca di questo parametro è necessario avere un pianeta di lungo periodo e grande eccentricità. Le osservazioni fotometriche di un simile pianeta effettuate con Spitzer durante

il tempo del passaggio al periastro permetterebbero di ottenere l'incremento di flusso ricevuto dalla propria stella e calcolare quindi la costante di tempo radiativa dell'atmosfera planetaria.

I periodi orbitali dei pianeti transitanti noti sono tutti minori di 6 giorni, questo limite è dovuto all'intrinseca bassa probabilità di osservare transiti all'aumentare del periodo orbitale, e al fatto che le campagne di ricerca fotometriche da Terra diventano fortemente incomplete quando si cercano periodi orbitali maggiori di 5 giorni. Per cercare pianeti transitanti di periodo orbitale maggiore di 5 giorni la strategia migliore è di osservare stelle già note per ospitare dei pianeti (noti a partire dalle misure di velocità radiale) e osservarle fotometricamente nel momento che la soluzione orbitale dalle velocità radiali suggerisce che vi possa essere un transito. Questa strategia inoltre ha il vantaggio che le stelle tendono ad essere brillanti, cioè facilmente osservabili per ulteriori osservazioni di caratterizzazione. I pianeti transitanti che hanno fornito maggiori informazioni (HD209458b, HD149026b, HD189733b, e GJ436b) sono tutti stati scoperti tramite misurazioni di velocità radiali prima della scoperta fotometrica del loro transito.

I pianeti transitanti di lungo periodo sono un'opportunità ideale per osservatori dotati di piccoli telescopi, [29] ha recentemente suggerito che una rete di telescopi tutti in grado di ottenere fotometria a livello di circa 1%, può facilmente superare in termini di efficienza di recupero dei transiti, un singolo telescopio di grande diametro. Negli ultimi 5 anni la collaborazione [Transitsearch.org](http://Transitsearch.org) ha condotto numerose campagne di osservazione di pianeti transitanti e ha escluso (o reso altamente improbabile) i transiti di HD80606b, GJ876b, e GJ876c [30].

In questo articolo riporto un successo, la storica scoperta del primo transito di un pianeta extrasolare effettuata da astrofili.

La scoperta di HD 17156b è stata recentemente pubblicata dal consorzio N2K sulla base delle misure di velocità radiali ottenute con i telescopi Keck e Subaru [15]. La soluzione orbitale indica che la massa è  $M_{sin i} = 3.12 M_{Jup}$ , il periodo è 21.22 giorni, e l'eccentricità orbitale  $e = 0.67$ . Fischer e colleghi riportano inoltre che la stella è una G0V di magnitudine  $V = 8.17$ , massa  $1.2 M_{sun}$  e raggio  $1.47 R_{sun}$ . Il semiasse maggiore orbitale del pianeta è  $a = 0.15$  AU che combinato con l'eccen-

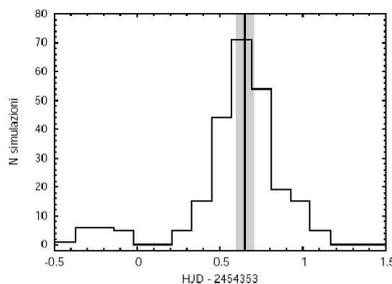


tricità fornisce una distanza di periastro  $a_{\text{per}} = a(1-e) = 0.0495 \text{ AU} = 7.2 R_{\text{star}}$ . La longitudine del periastro risulta essere  $\omega = 121 \pm 11$ . In questo modo la geometria orbitale si presenta molto favorevole per l'osservazione di un transito con una probabilità a priori pari a:

$$Prob = 0.0045 \left( \frac{1 \text{ AU}}{a} \right) \left( \frac{R_* + R_p}{R_{\odot}} \right) \left[ \frac{1 + e \cos(\frac{\pi}{2} - \omega)}{1 - e^2} \right] = 11.9\%$$

Nell'articolo di scoperta, gli autori indicano di avere ottenuto 241 misurazioni fotometriche della stella con il telescopio robotico T12 APT a Patagonia (Arizona), su di un periodo di 179 giorni e con una dispersione delle misure pari a 0.0024 mag. Non è stata osservata nessuna periodicità legata al periodo di rotazione stellare e le osservazioni hanno campionato circa il 25% della finestra osservativa del transito non evidenziando nessuna variazione.

Dopo che l'articolo è stato reso pubblico, la stella è stata aggiunta alla lista dei candidati di [Transitsearch.org](http://Transitsearch.org) e gli osservatori dell'emisfero nord sono stati ripetutamente incoraggiati ad ottenere la fotometria della stella. La prima finestra utile si è presentata il 9/10 settembre 2007, con la centralità del transito predetta per  $\text{HJD} = 2454353.65 \pm 0.30$  (figura 1). La determinazione dell'errore sul momento della centralità è avvenuto utilizzando un ricampionamento *bootstrap*.



**Figura 1.** Distribuzione del tempo della centralità del transito di HD 17156b per l'evento del 9/10 settembre 2007. La fascia grigia rappresenta la durata del transito attorno alla centralità prevista per  $\text{HJD} = 2454353.65$ .

### Osservazioni

L'evento del 9/10 settembre è stato osservato in maniera indipendente da differenti astrofili in Europa e negli Stati Uniti. Alcuni giorni precedenti al transito ho contattato alcuni astrofili: Daniele Gasparri, Claudio Lopresti, Federico Manzini e Giovanni Sostero, chiedendo la loro disponibilità ad effettuare le osservazioni di questa stella durante tutta la notte. La risposta è stata favorevole da parte di tutti e dopo qualche giorno di febbrili contatti per la pianificazione delle osservazioni e del *setup* strumentale, la notte del 9/10 settembre sono state condotte le osservazioni. Sfortunatamente le condizioni meteorologiche non

hanno permesso di ottenere una copertura dell'evento da parte di tutti gli osservatori coinvolti. Una piccola perturbazione proveniente da Est ha nel corso della notte impedito le osservazioni a tutti gli osservatori, permettendo solo ad uno (Lopresti) di ottenere dati fotometrici per tutta la notte.

La strumentazione utilizzata dagli osservatori durante la notte del 9/10 settembre 2007 è elencata in tabella 2.

### Analisi dei dati

L'analisi preliminare dei dati di Gasparri e Lopresti mostrava chiaramente la presenza di una variazione della curva di luce della stella, molto simile alla forma di un transito. La successiva acquisizione delle immagini ottenute da Almenara ha permesso di studiare approfonditamente la natura di questa variazione e di inferire in modo univoco la natura planetaria della variazione nella curva di luce.

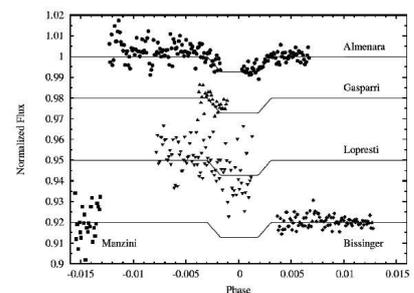
Le immagini grezze sono state ridotte utilizzando le immagini di calibrazioni (*flat field, dark e bias*) riprese da ogni osservatore. Dei sei *set* di dati solo tre (come già accennato) coprivano la finestra centrale del transito ed erano quelli di Almenara, Gasparri e Lopresti, sfortunatamente i tre *set* non erano uniformi in copertura temporale e accuratezza fotometrica.

I tre *set* di dati sono stati analizzati con delle *routine* in linguaggio IDL per ottenere fotometria d'apertura. Il centro dell'apertura è stato calcolato tramite un *fit* gaussiano e il raggio dell'apertura è stato fissato a 15-20 pixel in funzione del *set* di dati usato, il fondo cielo è stato rimosso stimando il suo valore in un anello attorno all'apertura. HD17156 e le altre stelle brillanti nel campo di vista sono state analizzate nello stesso modo ed è stata costruita una curva di luce di riferimento sommando i flussi delle stelle di riferimento. Per ottenere la curva di luce normalizzata, il flusso di HD17156 è stato diviso per quello della curva di riferimento. Brevemente vengono descritti i dati utilizzati:

- Almenara (A): Da 6 ore prima della fase di centralità del transito a 3.4 ore dopo. La dispersione delle misure è grande all'inizio e migliora verso la fine passando da 0.5% a 0.4%, i dati sono stati ottenuti filtrando la curva di luce originale con un filtro k-sigma [28]. Per costruire la curva di luce di riferimento sono state utilizzate due stelle. La notte estremamente ventosa ha condizionato la qualità delle immagini rendendo sovente le immagini delle stelle doppie o anche triple, la mancanza di dati durante la fase cen-

trale è dovuto alla perdita della guida del telescopio a causa del forte vento.

- Gasparri (G): Da 2 ore prima della fase di centralità del transito a 1.1 ore dopo. Per la costruzione della curva di luce di riferimento sono state usate 3 stelle, la dispersione dei residui è  $\sim 0.4\%$ . Poco dopo la fase di centralità del transito vi è stato un aumento della curva di luce che non è stato possibile correggere e dovuto sostanzialmente alla presenza di veli e nuvole che coprivano in maniera differente HD17156 e ciascuna delle stelle di riferimento.
- Lopresti (L): Da 4 ore prima della fase di centralità del transito a 1.5 ore dopo, gli ultimi 45 minuti sono stati ripresi ruotando di 180 gradi il CCD (a causa della montatura utilizzata). Non è stato possibile correggere l'effetto della rotazione a causa di effetti di *flat field*. Per evitare l'introduzione di spostamenti arbitrari nelle curve di luce abbiamo ignorato questi ultimi dati. Per la costruzione della curva di luce di riferimento sono state usate 3 stelle, la dispersione dei residui è  $\sim 0.9\%$ .



**Figura 2.** Curva di luce normalizzata di HD17156 al momento del transito e la curva di luce del trapezoide di best fit con i dati di Almenara (linea continua). Per una migliore visualizzazione, i *set* di dati dei differenti osservatori sono stati spostati di una quantità arbitraria. La centralità del transito è a  $\text{HJD} 2454353.61$

I *set* di dati finali sono rappresentati in figura 2. I tre *set* di dati sono stati analizzati cercando la curva di luce trapezoidale che meglio li riproducesse (*best fit*), questa analisi è stata effettuata lasciando quattro parametri liberi: la fase  $\phi$  della centralità, la durata del transito, la profondità del transito e durata delle fasi ingresso e uscita (ovvero la durata dei tempi tra primo e secondo contatto e tra terzo e quarto contatto). La significatività del rivelamento del transito è espresso come il valore della profondità del trapezoide divisa per la dispersione del *fit*. Per il *set* (A) è stato ottenuto un valore di significatività di 5.6  $\sigma$  che sale a 7.9  $\sigma$  una volta che i dati in

**Tabella 2.** Strumentazione utilizzata dagli osservatori.

nome osservatore	luogo	diametro cm	rappr.foc.	CCD	F.o.V.	scala "/ppx	filtro	tempo esp s	data
Almenara	Canarie	30	#10	SBIG STL-1001E	29' x 29'	1.7	Rc	7	9/10 settembre
Bissinger	California	40	#6	SBIG ST1000ME	21' x 14'	0.9	I	3	9/10 settembre
Gasparri	Perugia	25	#4.8	SBIG ST7-XME	20' x 13'	1.6	I	20	9/10 settembre
Lopresti	La Spezia	18	#4	SBIG ST1000ME	20' x 47'	1.7	R	5	9/10 settembre
Manzini	Sozago(VA)	40	#6.7	HISIS43ME	18' x 11'	0.7	R	3	9/10 settembre
Guido e Sostero	New Mexico	25	#3.4	SBIG ST8XE	37' x 56'	2.2	V	25	30 sett / 1 ott

