



Claudio Lopresti

Responsabile Sezione Pianeti
Extrasolari

planetiextrasolari@uai.it

Nella fotometria d'apertura tutto il lavoro è finalizzato alla costruzione della cosiddetta "curva di luce", cioè il grafico che ci dà, a colpo d'occhio, l'andamento delle variazioni che ha un oggetto luminoso, che, per svariati motivi, non ci trasmette un flusso costante nel tempo. Parlerò quindi della costruzione delle curva di luce.

Costruiamo una curva di luce di un transito extrasolare

(I parte)

Raccolta dei dati

Prima di tutto, come si è detto più volte in queste pagine, occorre riprendere una sequenza di immagini della zona di cielo in cui si trova la stella da analizzare, assieme alle stelle (non variabili) che le stanno intorno, che serviranno da termine di paragone. Molte delle cose che dirò, andranno bene per tutti i tipi di variabilità, oltre che quella dovuta al transito di un pianeta extrasolare (stelle variabili intrinseche, ad eclisse, rotazione degli asteroidi, occultazioni phemu, ecc...). Insomma tutto quello che varia nel cielo può essere misurato. Naturalmente però la variazione dovuta ad un transito di un pianeta extrasolare è talmente piccola che, se si riesce ad assimilare bene le modalità di questa, sarà molto più facile costruire e capire tutte le altre curve di luce.

Prendiamo in esame il pianeta extrasolare HD 189733 b, che si trova nella costellazione della Vulpecula, angularmente molto vicino alla famosa nebulosa Dumbell. La posizione della stella è visibile in figura 1.

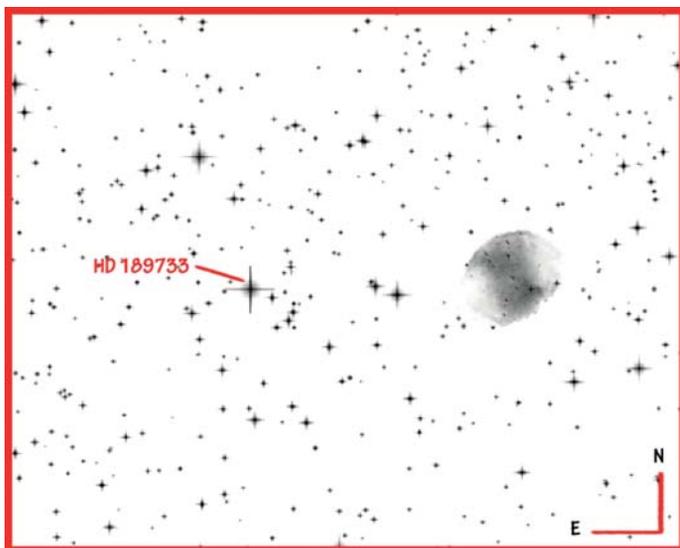


Figura 1. Cartina stellare del campo di HD 189733. Come si vede, è molto vicina alla nebulosa Dumbell (M 27), nella Vulpecula: $16^{\circ} 13''$, per la precisione. Le coordinate della stella sono: AR = $20^{\text{h}} 00^{\text{m}} 43.708^{\text{s}}$ - DEC = $+22^{\circ} 42' 35.90''$.



Figura 2. Una delle immagini della sequenza di HD 189733. Possiamo vedere l'entità della sfocatura usata. Le immagini sono state riprese con un telescopio Mak-Newton da 180 mm, F/4, focale 720 mm e una CCD Sbig St10-XME.

Il 7 luglio del 2012 avevo ripreso una sequenza di un transito di questo pianeta. La sequenza si compone di circa 150 immagini, della durata di 90 secondi ciascuna. Il tutto per una durata complessiva di quasi 5 ore, che comprendono due tratti fuori transito (prima e dopo) e il transito vero e proprio, che ha una durata di un'ora e cinquanta minuti.

Le stelle sono state sfuocate poiché, essendo la stella relativamente brillante (mag. 7,67) era necessario avere un tempo di integrazione sufficientemente lungo, superiore al minuto, tale da abbattere la scintillazione atmosferica. Vediamo in figura 2 l'entità di questa sfocatura.

Trattamento delle immagini

Ora è necessario normalizzare tutte le immagini (con *dark frame* e *flat field*). Fatto questo, controlliamo che non vi siano immagini disallineate per perdita di stella guida, incidenti vari e, soprattutto, negli strumenti non ben stazionati (anche se la guida è perfetta) la rotazione del campo. Se questi problemi saranno presenti, sarà ne-

cessario riallineare tutte le immagini. Per far questo ci possiamo servire del comando "Animate" su MaxIm DL, che serve sia per controllare, sia per riallineare le immagini; oppure analoghi comandi se usiamo AstroArt o Iris. A questo punto le immagini sono pronte per essere analizzate fotometricamente.

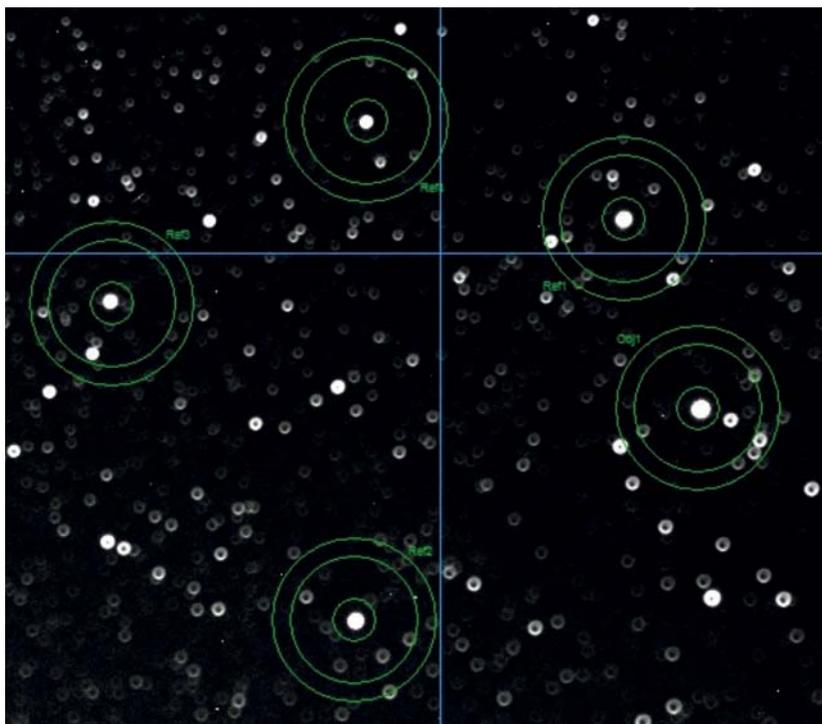
Analisi fotometrica

Scegliamo le stelle da analizzare, cioè HD 189733 e alcune stelle di riferimento non variabili vicine; scegliamo l'ampiezza dei cerchi di apertura, ad esempio come nella figura 3.

Il telescopio usato è un Mak-Newton da 180 mm, F/4, focale 720 mm e la CCD è una Sbig St10-XME.

Come si vede, qui siamo su un campo affollato di stelle (siamo nella Vulpecula). L'ideale sarebbe racchiudere le stelle da analizzare nel cerchio più piccolo e fare in modo che la corona circolare esterna, destinata al calcolo del fondo cielo medio del campo attorno alla stella centrale sia privo di stelle. Ma non sempre è possibile, e questo è uno di quei casi. L'importante è limitare i danni. Anche la sfocatura contribuisce a peggiorare questo aspetto, ma operare in questo modo è il male minore.

Il programma di elaborazione fotometrica a questo punto estrae il segnale nei cerchi più piccoli (flusso luminoso delle stelle) e sottrae il valore me-



dio del fondo cielo letto nella corona circolare esterna, e restituisce, per ogni stella un numero, che rappresenta la saturazione raggiunta da ogni stella. E questo lo fa per tutte le immagini della sequenza, fino a produrre quello che vediamo nella tabella di figura 4 (esclusa l'ultima colonna a destra).

Figura 3. Il campo stellare, in piena Via Lattea, non consente di determinare, in questo caso, in modo perfetto il corretto valore del fondo cielo, poiché non c'è uno spazio vuoto di stelle per tale operazione.

JD	star	ref # 1	ref # 2	ref # 3	ref # 4	rapporto ADU
2456116.3489815000	3671614	968706	548512	349560	2551471	0.831011109
2456116.3502431000	3687330	978674	548402	351767	2559414	0.830805877
2456116.3515046000	3683280	981099	552793	352095	2552741	0.829805296
2456116.3565625000	3735266	980851	554076	355195	2602607	0.831402473
2456116.3578241000	3727162	982172	561372	356133	2597600	0.828759714
2456116.3603472000	3719077	985223	557391	356837	2590253	0.828356836
2456116.3616319000	3722027	989133	560273	357762	2583690	0.828800866
2456116.3628935000	3739717	992568	557611	357206	2611299	0.827611977
2456116.3641551000	3738726	996435	563519	356282	2606724	0.82661045
2456116.3654167000	3748704	993626	560112	356794	2611536	0.828980015
2456116.3679514000	3772116	994991	565584	361439	2620674	0.830370917
2456116.3692014000	3782243	996388	563194	361340	2641764	0.828950973
2456116.3704630000	3791184	1002429	567409	362576	2625865	0.831713899
2456116.3729861000	3801142	1001565	566661	363946	2637160	0.831881334
2456116.3742477000	3805313	1007684	572714	361437	2633590	0.831685144
2456116.3755324000	3798150	1006328	568867	364396	2642409	0.828928416
2456116.3767940000	3803570	1004967	567940	362718	2658174	0.827979195
2456116.3780556000	3797469	1009259	569182	360821	2648053	0.827819541
2456116.3793056000	3802840	1009787	570165	365674	2645187	0.828358724
2456116.3805671000	3788694	1013454	570493	364638	2655451	0.822907119
2456116.3818287000	3790787	1009685	571759	365652	2665698	0.821798459
2456116.3830903000	3787814	1011480	571495	365090	2654057	0.823058146
2456116.3843750000	3777526	1018305	574564	364246	2664024	0.81744479

Figura 4. Le prime sei colonne della tabella rappresentano, a partire da sinistra, il tempo (data, ora, minuti, secondi in JD (giorni giuliani), il flusso di HD 189733, il flusso delle 4 stelle di confronto. La colonna a destra è il risultato della formula [1].

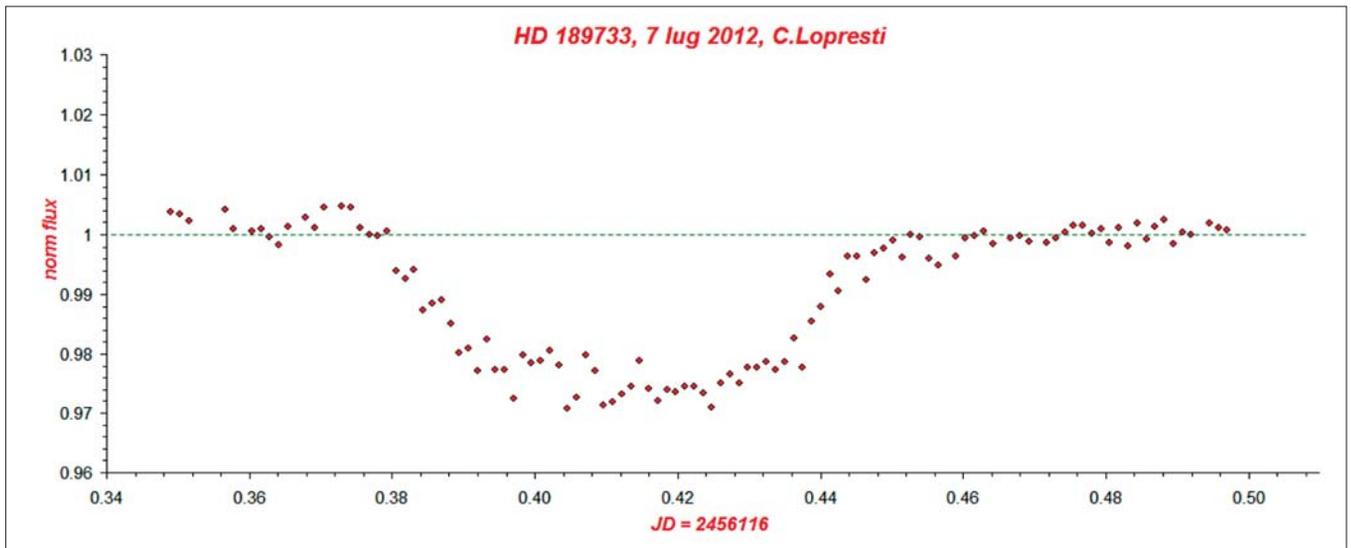


Figura 5. Il grafico rappresenta l'andamento della luce di HD 189733. In asse x c'è il tempo in frazioni di giorni giuliani (colonna 1 della tabella di figura 4), in asse y la luminosità della stella (colonna 7 della tabella), che, per effetto del transito del pianeta extrasolare, cala di quasi 3 centesimi di magnitudine, per poi ritornare al valore normale, a transito terminato.

Se si dà un'occhiata alla tabella di figura 4, piena di numeri, vediamo che si compone di 7 colonne. Per ragioni di spazio non sono state messe tutte le 150 righe di cui si compone la tabella (una per ogni immagine ripresa). La prima colonna è il tempo, espresso in giorni giuliani e rappresenta la data e l'ora di metà posa di ogni nostra singola immagine. Ad esempio, colonna 1 (JD = Julian Day) il primo dato è 2456116.3489815. La parte intera rappresenta il giorno 2456116, che è proprio il 7 luglio 2012. La parte decimale rappresenta ore, minuti e secondi e significa ore 20:21:26.817 di quella data. Non dobbiamo preoccuparci di calcolare il giorno giuliano, in quanto è lo stesso programma di acquisizione che lo fa. Però è necessario sapere cosa rappresenta quel numero: il tempo, che andrà a costituire, in un asse cartesiano, il punto dove posizionare la misura fotometrica nell'asse delle x. Ogni riga di quella tabella ci indica il tempo nella prima colonna.

Bene, le altre colonne, escluso l'ultima a destra, sono i dati fotometrici delle stelle, estratti dal programma, letti dalle nostre immagini. Guardiamo solo la prima riga. Ecco come funziona: nella colonna "star" il numero 3671614 è il valore in adu del flusso dato dalla stella HD189733. Gli altri numeri delle colonne ref#1, ref#2, ref#3, ref#4, sono i flussi di quattro stelle di riferimento (quelle visibili nella figura). Ed eccoci arrivati all'ultima colonna a destra. Qui mettiamo, calcolandolo, il dato fotometrico, che ci servirà per l'asse delle y nel nostro grafico cartesiano. Si

calcola applicando questa formula:

$$[1] R_{(flux)} = F_{(star)} / (F_{(Ref\#1)} + F_{(Ref\#2)} + F_{(Ref\#3)} + F_{(Ref\#4)})$$

Detto in parole povere, il valore fotometrico differenziale di HD 189733, rispetto alle stelle di riferimento, al tempo 2456116.3489815 (7 luglio 2012 alle ore 20:21:26.817) era 0.831011109, ed è stato ricavato dal flusso della stella diviso la somma dei flussi delle stelle di confronto.

Ripetiamo questa formula per tutte le righe (immagini), aiutandoci con un foglio di calcolo (tipo excel, per esempio, e mettiamo su un grafico nell'asse x il tempo e nell'asse y il dato fotometrico, e avremo costruito la curva di luce della stella la sera del 7 luglio 2012, nell'arco di tempo che va dalle ore 20:22:32 alle ore 01:18:19, come vediamo nella figura 5:

Nell'asse x ci sono i dati della prima colonna a sinistra della tabella di figura 4; nell'asse y i dati dell'ultima colonna a destra (il dato fotometrico). Ecco costruito quindi il grafico del transito di HD 189733 b alla data considerata.

Conclusioni

Abbiamo visto come costruire, in modo molto essenziale, una curva di luce di un transito di pianeta extrasolare, ma soprattutto abbiamo visto il significato del valore fotometrico, come si estrae, come si calcola. Questo è però solo l'inizio del nostro discorso sulle curve di luce. Vedremo in seguito altri aspetti importanti che riguardano i grafici delle curve di luce, come ottimizzarli e come normalizzarli.