



Claudio Lopresti

Responsabile Sezione Pianeti
Extrasolari

planetiextrasolari@uai.it

In precedenza su queste pagine si è parlato della costruzione essenziale di una curva di luce di un transito di pianeta extrasolare, e il suo significato fotometrico, e come si arriva al calcolo che permette di costruire il primo grafico. Ora vedremo altri importanti aspetti che caratterizzano questo lavoro.

Costruiamo una curva di luce di un transito extrasolare

(II parte)

Raccolta dei dati in flussi

Il cuore del problema quando si costruisce un grafico di una curva di luce in fotometria, come si è visto, è paragonare il flusso luminoso della stella variabile (e, nel caso di una curva di luce di un transito di pianeta extrasolare, la cui variabilità è determinata dal passaggio del pianeta davanti al disco stellare) rispetto alla somma dei flussi luminosi delle stelle scelte come confronto. E questo lo si ottiene con la già citata formula [1]:

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

dove $F_{\text{(star)}}$ è il valore del flusso della stella e $F_{\text{(Ref\#1)}}$... $F_{\text{(Ref\#4)}}$ il valore di ogni stella di confronto.

Il risultato di questo calcolo è il dato fotometrico che va a costituire, assieme al dato temporale, il punto sul grafico che ha per asse x il tempo e per asse y la luminosità della stella.

Questa formula si applica solo se se abbiamo raccolto i dati in flussi, e cioè il valore in ADU che il sistema raccoglie leggendo i valori all'interno del

cerchio fotometrico. Per la verità occorre aprire una parentesi su questo, poiché la cosa è un po' più complessa di quanto non appaia a prima vista. In realtà se guardiamo la figura 1, vediamo che i cerchi, in una lettura di dati fotometrici sono tre.

Il cerchio di apertura

Il cerchio più interno che vediamo in figura 1 si chiama "cerchio di apertura", ed esso racchiude il segnale luminoso proveniente dalla stella e, assieme ad essa, tutto il rumore che è ivi contenuto. Questo rumore è costituito, inizialmente, dalla temperatura del sensore e dalla durata della posa assieme alla disuniformità di illuminazione dei pixel dovuta alla configurazione ottica, alla diversa capacità di illuminazione dei *pixel* e alla polvere che si deposita nei pressi del piano focale. Tutte queste imperfezioni sono però state eliminate nella normalizzazione delle immagini (in sostanza attraverso la sottrazione del *dark* e l'applicazione del *flat*), quindi presupponiamo che ora le immagini siano normalizzate, prima di iniziare una elaborazione fotometrica.

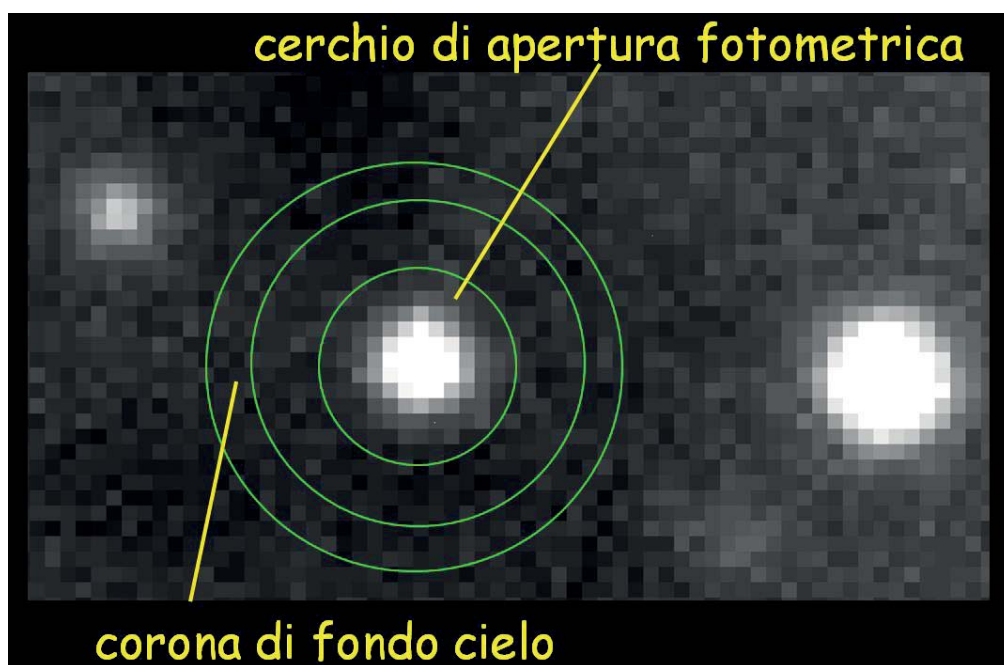
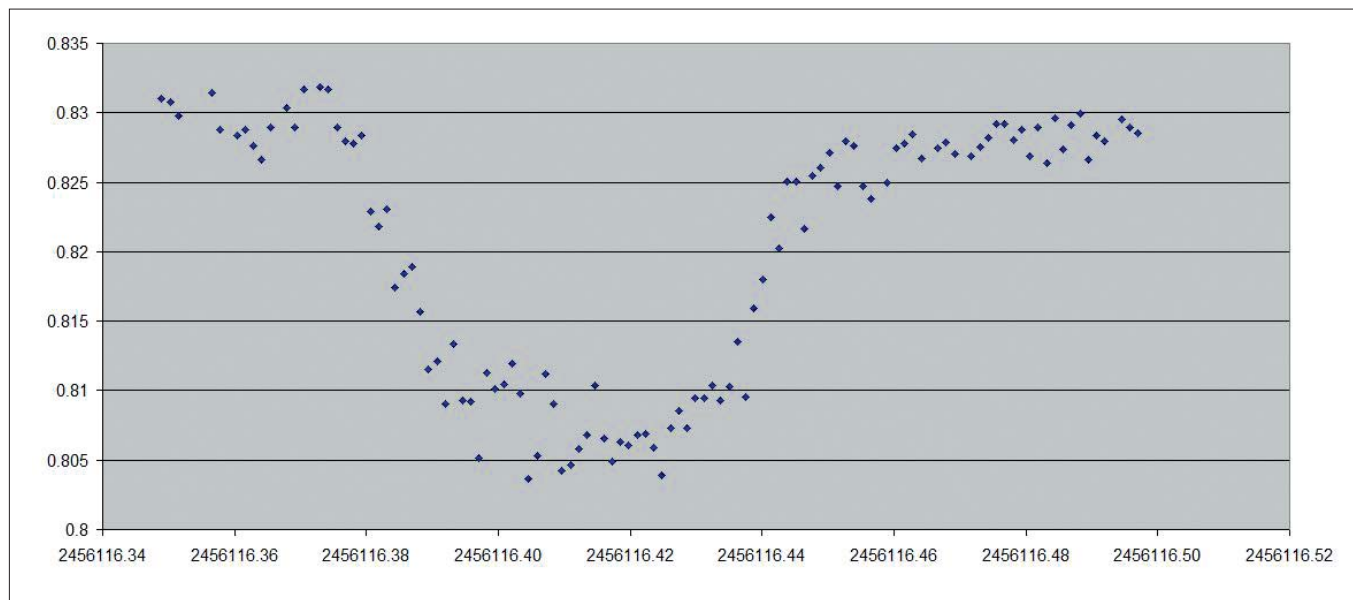


Figura 1. I cerchi fotometrici: all'interno il cerchio fotometrico della stella, all'esterno la corona circolare in cui viene letto il valore del fondo cielo.



La corona di fondo cielo

Per arrivare al valore corretto fotometrico, c'è ancora un "rumore" residuo da eliminare: il fondo cielo. Osserviamo la figura 1: i due cerchi più esterni racchiudono una corona circolare che ha lo scopo di indicare al programma la zona ove rilevare il valore del fondo cielo attorno alla stella, che si presuppone sia uguale a quello che c'è anche dentro al cerchio che racchiude la stella. Lo scopo è quello di sottrarlo poi al valore dei *pixel* del cerchio interno fotometrico, in modo tale che quest'ultimo sia epurato dal rumore di fondo del cielo.

La scelta delle aperture è molto importante, ai fini di una corretta elaborazione fotometrica. Il cerchio più interno, che contiene la stella, non deve essere né troppo grande né troppo piccolo, ma deve contenere il rapporto massimo fra segnale e rumore. Se l'apertura è troppo grande, nella parte periferica finiranno valori residui di fondo cielo, che quindi andranno a diminuire il rapporto fra segnale e rumore. Se, al contrario, è troppo piccolo, si genereranno curve non veritiere, strane pendenze, ed effetti artificiali.

Va da sé che in tutto questo conta anche il diametro delle stelle di confronto, che dovrebbero essere il più possibile simili alla stella che si vuole misurare, altrimenti gli effetti appena citati, che avevamo fatto uscire dalla porta, entreranno in qualche modo, per così dire, dalla finestra.

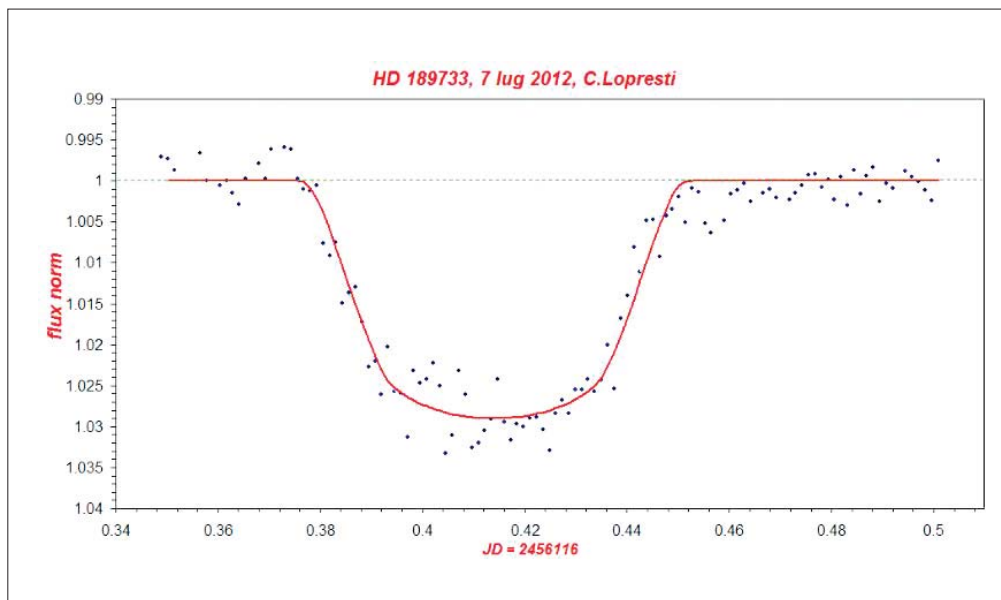
Per quanto riguarda la corona di fondo cielo, anche qui, essa non deve essere né troppo grande, né troppo piccola. Se è troppo piccola, il valore medio calcolato non avrà sufficiente attendibilità statistica, se i *pixel* interessati sono pochi; se è troppo grande si rischia di intercettare al suo interno qualche stella indesiderata. Essa va dimensionata, caso per caso, anche a seconda della densità stellare, per la stella in esame e per tutte le stelle di confronto, cercando di fare in modo che sia veramente una corona di fondo cielo, e quindi che non contenga stelline di fondo, che andranno a falsare questa misura.

Una volta ottenuto, con il programma di elaborazione fotometrica, ad esempio il programma Iris (che è *freeware*) il file dei flussi, come descritto nel numero precedente, il modo più immediato per arrivare a costruire un grafico è quello di copiare il contenuto del file dei flussi in un foglio elettronico (ad esempio Excel), che dà la possibilità di immettere le formule in modo semplice. Se infatti applichiamo la formula [1] a tutte le righe del file, otterremo la colonna della fotometria, che, assieme alla colonna dei tempi ci darà la possibilità di costruire il grafico.

Evidenziamo le due colonne e chiediamo al programma di inserire un grafico. Otterremo, in excel, automaticamente, quello che vediamo in figura 2.

Figura 2. Grafico grezzo costruito dal programma Excel di Windows, simile ad altri fogli elettronici.

Figura 3. Grafico normalizzato al valore 1 del transito di HD 189733 b. In ascissa il tempo, espresso in frazioni di giorno giuliano, in ordinata il valore del flusso normalizzato. I puntini blu sono i dati fotometrici, mentre la linea rossa è l'andamento medio dei punti della curva, che in questo caso coincide molto bene con la curva teorica del transito.



Nella figura vediamo il grafico “grezzo” come costruito in automatico da Excel sui nostri dati. Nell'asse x ci sono i tempi in giorni giuliani, mentre nell'asse y la luminosità della stella, relativa alle stelle di confronto.

Il transito è evidente, ma il grafico ha bisogno di qualche “aggiustamento”. Infatti, se vediamo l'asse y notiamo subito che le due parti di curva fuori transito si attestano, in questo caso, attorno a valori di poco superiori al valore di 0.8. Inoltre c'è un dislivello fra la prima parte fuori transito e la seconda: ma di questo abbiamo già parlato nei numeri precedenti di questa rubrica (vedi *Astronomia* n. 3, 2010), e quindi ora non ne ripareremo.

Normalizzazione del grafico

Nel caso di stelle eclissate da pianeti si assume la luminosità della stella pari al valore di 1 ed è chiaro che un eventuale transito farà diminuire questo valore di qualche centesimo, o millesimo. Occorre quindi aggiustare il grafico in modo che le parti fuori transito si attestino sul valore medio di 1; questo è quello che si definisce “normalizzare la curva al valore 1”. Per fare questo si opera in questo modo: si considerano tutti i punti che sono nelle parti fuori transito e se ne fa la media (o la mediana), quindi si divide ogni valore del dato fotometrico per la media ottenuta e si costruisce quindi la nuova colonna del dato fotometrico.

Sarà proprio quest'ultima, assieme alla colonna dei tempi, a costituire il grafico normalizzato per la curva di un transito extrasolare.

In figura 3 possiamo vedere il risultato di queste operazioni.

Ora possiamo vedere il grafico normalizzato a 1 e quindi apprezzare a colpo d'occhio tutti gli elementi necessari per capire tutto sul transito del pianeta extrasolare HD 189733 b. Infatti possiamo vedere subito che la profondità del transito ottenuta è 28 millesimi di magnitudine (il che coincide perfettamente con il dato della letteratura) e che la durata del transito è 109 minuti (il dato nel grafico appare espresso in frazioni di giorno giuliano). La deviazione standard media in questi dati è minore di due millesimi di magnitudine.

Conclusioni

Abbiamo messo un altro tassello alla costruzione delle curve di luce dei transiti dei pianeti extrasolari e, in particolare, come normalizzare una curva di luce al fine di rendere i dati più leggibili, ma soprattutto al fine di consentire l'accoppiamento dei nostri dati con quelli di altri osservatori, in modo tale che dal confronto possano essere estrapolate anche particolarità non immediatamente visibili, conferme ad ipotesi, miglioramento della risoluzione temporale e fotometrica.