

**Claudio Lopresti**

Responsabile Sezione Pianeti
Extrasolari
pianetiextrasolari@uai.it

Nel numero scorso ci siamo occupati del fenomeno dei pianeti extrasolari "retrogradi", cioè quelli il cui verso di rivoluzione è nel senso inverso a quello di rotazione della stella centrale. In questa seconda parte cercheremo di rispondere alla domanda che ci eravamo posti alla fine della scorsa puntata della rubrica.

Pianeti extrasolari "retrogradi" (II parte)

La domanda

Come si fa ad affermare che un pianeta e una stella, distanti centinaia o migliaia di anni luce hanno fra loro un verso opposto di movimento?

Sappiamo che per rivelare la rotazione di un astro, se riusciamo ad apprezzarne i bordi come ad esempio il disco del Sole (prescindendo dai particolari visibili direttamente e otticamente in superficie) o le galassie, possiamo misurare in più zone l'effetto Doppler-Fizeau e capire, dal fatto che le zone che presentano uno spostamento delle righe spettrali più o meno accentuato, se esiste una rotazione dell'oggetto e in quale verso sia questa rotazione, determinandone anche gli assi e tutti i parametri connessi.

Ma nel caso di stelle lontane, che sono oggetti puntiformi, il discorso cambia. Possiamo al massimo dedurre che esiste una rotazione e quanto sia veloce dalle considerazioni che seguono.

È vero che le stelle lontane, viste da Terra, sono dei punti, come il fascio luminoso che arriva qui. Ma in questo fascio luminoso c'è la somma della luce di tutto il disco stellare, ed esso contiene tutte le informazioni di questa somma. In sostanza, la luce delle stelle lontane arriva da un corpo che ruota e possiamo dire che (esaminiamo il ca-

so migliore e più semplice, ai fini del nostro ragionamento), supponendo che l'asse di rotazione della stella sia perfettamente perpendicolare alla retta che congiunge il nostro punto di osservazione con il centro della stella, metà stella, per effetto della sua rotazione, si avvicina a noi e l'altra metà si allontana (figura 1).

Questo provoca un allargamento delle righe spettrali, poiché esse tenderanno ad presentare un contemporaneo *blueshift* e *redshift*, e le velocità di segno opposto che provengono dai bordi andranno ad occupare le estremità di queste "bande allargate" spettrali. È anche ovvio che l'entità di questo allargamento dipenderà proprio dalla *velocità di rotazione* della stella.

Una cosa da capire, altrimenti non si va da nessuna parte è questa: non si deve confondere la rotazione e la velocità di rotazione con il "verso" di rotazione rispetto all'osservatore.

Riassumendo, sulle stelle, genericamente, è possibile calcolare la velocità di rotazione (e quindi, implicitamente, l'esistenza stessa della rotazione) attraverso misurazioni spettrali. Per completezza, occorre dire che vi sono diversi motivi perché le righe spettrali possono allargarsi, ma, nel nostro caso, ce ne interessa uno: quello prodotto dalla rotazione stellare (figura 1).

Il problema è che non si può capire da questa informazione il "verso" di rotazione, cioè quale parte della stella sia responsabile dell'allargamento verso le parte blu dello spettro e quale verso il rosso.

Veniamo al punto: com'è possibile allora affermare che alcuni pianeti sono retrogradi? Bene, questo è possibile capirlo solo sui pianeti transittanti, cioè quelli che periodicamente transitano davanti al disco stellare.

Per capire questo occorre innanzitutto ricordare ciò che si è già detto più volte in questa rubrica, quando si è parlato di fotometria dei transiti di pianeti extrasolari. Sappiamo che la curva di luce di un transito ha una forma trapezoidale.

Nell'asse x mettiamo il tempo e nell'asse y la

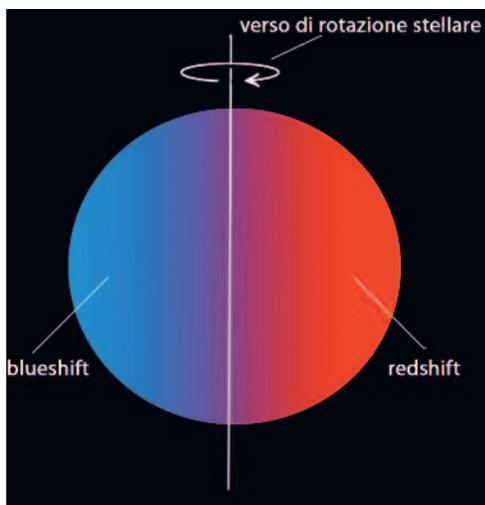


Figura 1. Se la linea nord-sud della stella è perpendicolare alla nostra direzione di vista, metà stella, per effetto della rotazione, si avvicina a noi e metà si allontana. Possiamo misurarne l'effetto doppler, che appare però soltanto come un allargamento delle righe spettrali. Non possiamo in nessun modo osservare il "verso di rotazione" (ossia, da quale parte si trovi, rispetto a noi, la metà stella in avvicinamento e la metà in allontanamento).

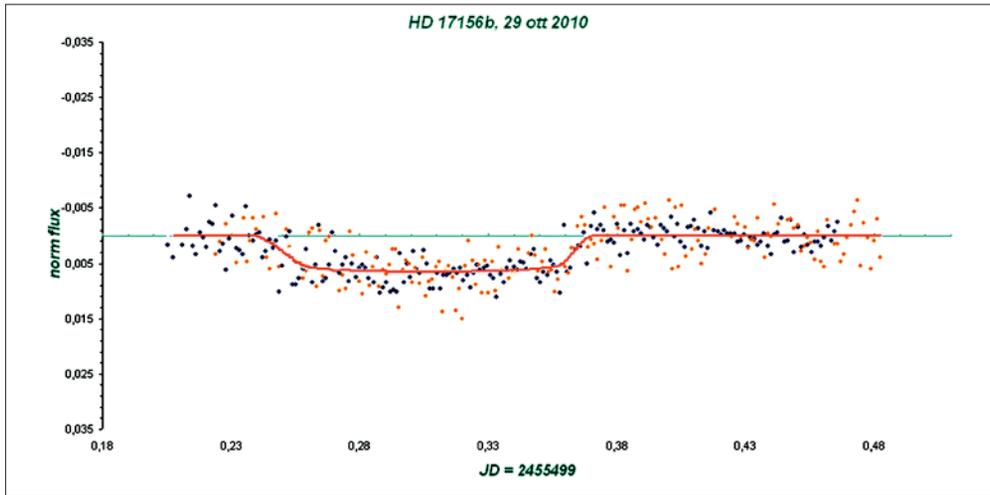


Figura 2. Qui vediamo quello che possiamo chiamare “transito fotometrico” di un pianeta extrasolare. Come si vede nell’asse x è indicato il tempo (in frazioni di giorni giuliani) mentre nell’asse y c’è il flusso di luce della stella, che mostra un abbassamento e un innalzamento simmetrico, dovuto al passaggio del disco del pianeta sul disco stellare (osservazione di Claudio Lopresti e Alessandro Marchini del pianeta extrasolare HD 17156-b – transito del 29 ottobre 2010).

magnitudine della stella (figura 2).

Nella figura 2 vediamo come si comporta la luce della stella quando un pianeta transita davanti ad essa. Si tratta in questo caso di un transito registrato per via fotometrica.

Transito spettroscopico e velocità radiali

Veniamo al dunque e cerchiamo di spiegare come si può vedere se un pianeta è retrogrado oppure no. Nell’approssimarsi della fase di transito di un pianeta extrasolare, se studiamo le velocità radiali della stella, accade che essa è sempre in allontanamento. Questo si può capire se pensiamo che, proprio durante i transiti, il pianeta si avvi-

cina a noi, poiché si dispone fra noi e la stella. Dato che la stella deve necessariamente ruotare attorno al centro di massa (baricentro del sistema) avremo che necessariamente, durante un transito, la stella si trova nella fase di allontanamento da noi. A questo punto, se misuriamo la velocità radiale della stella, durante tutta l’orbita del pianeta, noteremo che risulterà un blueshift della stella quanto più il pianeta si allontana dalla Terra e un redshift stellare quanto più il pianeta si avvicina alla Terra (figura 3).

In presenza di avvicinamento del pianeta, quindi (condizione che si verifica sicuramente nei transiti) la stella presenta un redshift, come si vede nel grafico di figura 3.

Figura 4. Transito fotometrico e transito spettroscopico: nel primo vediamo la luce della stella che nel tempo si attenua e poi risale. Nel secondo, vediamo che la stella presenta un eccesso di redshift, poi un eccesso di blueshift, infine la stella riprende la tendenza complessiva verso il redshift medio del periodo (nel punto dell’orbita considerato).

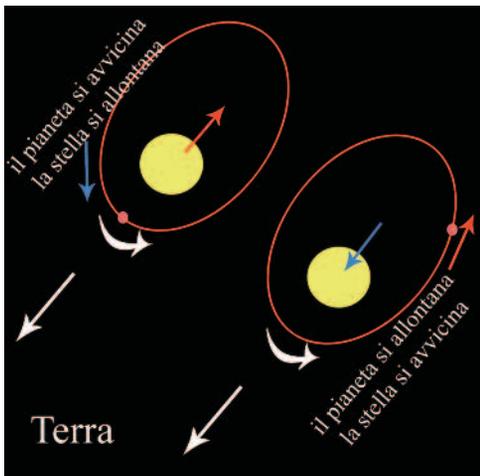
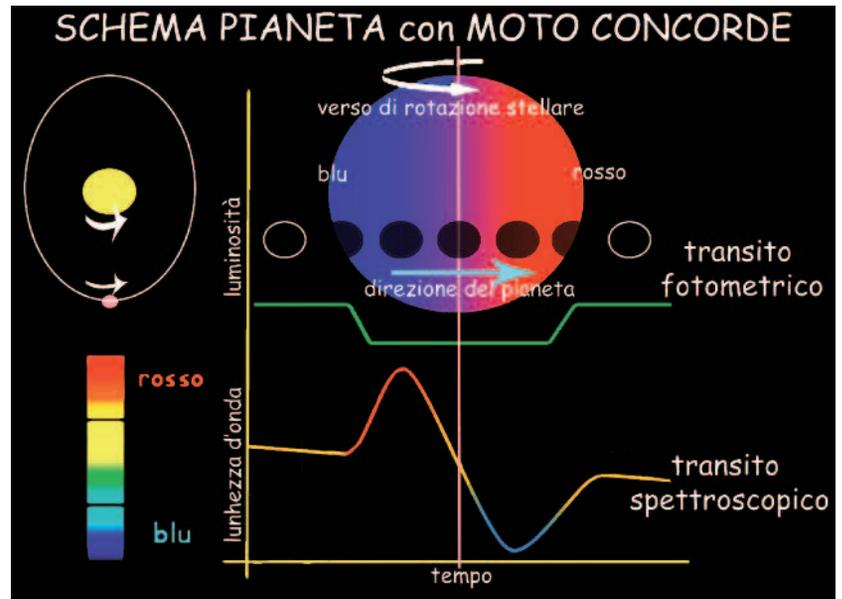


Figura 3. Le velocità radiali delle stelle variano se c’è la presenza di un pianeta. Come spiegato nel testo, quando il pianeta si avvicina alla Terra, la stella si allontana, e viceversa.



Il caso appena visto è il più comune, poiché considera un pianeta il cui verso di rivoluzione è concorde con il verso di rotazione della stella che non a caso è rappresentata con la parte blu a sinistra nel grafico. In questo caso, nel grafico di figura 4, il pianeta “arriva da sinistra” e inizia a oscurare parzialmente la parte di stella che si avvicina. Il risultato, in velocità radiale, è che la curva spettroscopica della velocità radiale presenta un’impennata verso l’alto, mostrando un “falso” *redshift* (eccesso di rosso dovuto alla sottrazione di un’area blu pari al disco planetario). In questo caso l’eccesso di *redshift* non è dovuto ad un reale maggiore allontanamento della stella, ma fittizio, perché provocato dal transito del pianeta mentre oscura una parte di stella. Dopo metà transito la situazione si inverte: il pianeta oscura la parte di stella che si allontana e la velocità radiale, di conseguenza, mostrerà un “falso” avvicinamento (*blueshift*). In questo caso si parla di pianeta con moto di rivoluzione concorde con la rotazione stellare (come fanno i pianeti del sistema solare).

A questo punto chiediamoci cosa potrebbe accadere al nostro grafico se il pianeta che transita davanti alla stella ha un moto retrogrado rispetto alla rotazione della stella. Anche in questo caso è alterata la velocità radiale, ma il pianeta incontra (e quindi occulta) prima la metà della stella che si allontana e dopo la parte che si avvicina. Questo fa sì che la velocità radiale, nella prima parte del transito, presenterà l’effetto fittizio di

diminuzione dell’allontanamento stellare poiché una parte di quella luce viene occultata. Di conseguenza si osserva un falso effetto di *blueshift* nella prima parte del transito e di *redshift* nella seconda. E’ quando si verifica questo caso che abbiamo la prova che il pianeta è retrogrado!

Ecco come appare, in figura 5, il transito di un pianeta retrogrado.

Possiamo confrontare il grafico con la figura 4 e vederne l’evidente differenza: mentre il transito fotometrico è identico nei due casi, il transito spettroscopico è l’uno il contrario dell’altro.

Nel primo caso possiamo concludere che il “verso” di rivoluzione del pianeta è concorde con il verso di rotazione della stella. Nel secondo caso concludiamo che il verso del pianeta è retrogrado rispetto alle rotazione stellare.

Tutto questo mentre continuiamo, e continueremo, a non sapere come sia orientato l’asse di rotazione della stella né da quale parte del cielo arrivi il pianeta ad occultare parte del disco stellare.

Tutto ciò era stato previsto teoricamente molti anni fa ed ha un nome: si chiama “*effetto Rossiter-McLaughlin*”, ed era stato teorizzato per i transiti di stelle doppie del tipo binarie a eclisse. Oggi questa tecnica si applica anche ai pianeti extrasolari. Naturalmente però è da sottolineare che la difficoltà di rivelare l’effetto Rossiter sui pianeti extrasolari, date le dimensioni in gioco, e la sproporzione dei dischi stella-pianeta, non è per nulla facile.

In questo articolo il discorso è stato limitato al caso più semplice, ma in realtà ci sarebbero molte altre considerazioni da fare, che omettiamo per ragioni di spazio, su tutti i casi possibili di inclinazione dell’asse di rotazione stellare rispetto alla corda sottesa dalla traiettoria di incidenza del pianeta in transito. Anche questi parametri sono tutti determinati soltanto durante i transiti, se esistono, dei pianeti extrasolari.

Figura 5. Come spiegato nel testo, ecco come abbiamo la prova che un pianeta extrasolare si muove con moto retrogrado rispetto al verso di rotazione stellare. Durante un transito si misura la velocità radiale della stella. Se abbiamo prima un *blueshift* seguita da un *red-shift* il pianeta è retrogrado.

