

## Cosa vedrebbe un astronauta sbarcato su un pianeta di un sistema binario? (Come realizzare un ottimo film di fantascienza).

Si stima che almeno un terzo di tutte le stelle esistenti possa far parte di un sistema binario. I restanti due terzi - afferma Philip Plait, astronomo e divulgatore e autore del saggio "**Sotto cieli alieni**" - fanno parte o di sistemi ancora più complessi **(1)** oppure sono stelle singole come il nostro Sole **(2)**.

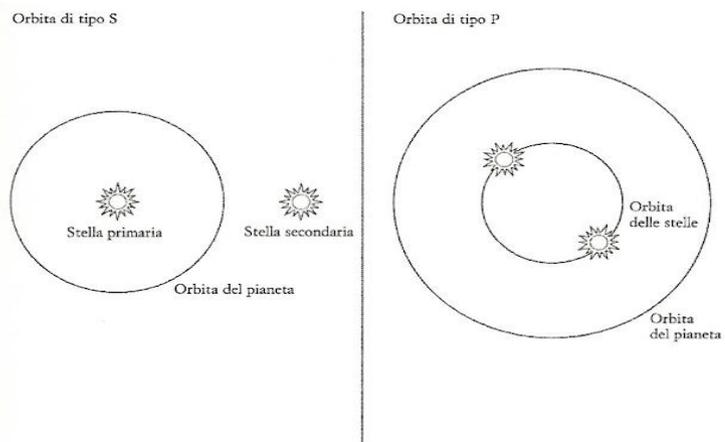


Fino a non molto tempo fa riusciva difficile credere potessero esistere pianeti intorno a sistemi binari (figuriamoci a sistemi multipli!): oggi sappiamo invece che non è così.

Il primo pianeta "**circumbinario**", che cioè orbita intorno al centro di gravità di un sistema binario, è stato identificato già nel 1993: non è un posto adatto alla vita come la conosciamo, infatti una delle due stelle è una nana bianca, mentre l'altra è una stella di neutroni.

A seguire sono stati identificati oltre 20 **esopianeti** dotati di orbita circumbinaria che circonda coppie di stelle simili al nostro Sole.

Le orbite di pianeti che ruotano simultaneamente intorno a due stelle sono chiamate "**orbite di tipo P**" (dove **P** sta per pianeti), mentre le orbite di pianeti che, pur trovandosi all'interno di un sistema binario, ruotano intorno ad una sola stella sono chiamate "**orbite di tipo S**" (dove **S** sta per satellite).



In un sistema stellare binario, un pianeta può avere due tipi di orbita stabile: un'orbita di tipo S, in cui ruota intorno a una sola delle due stelle (*a sinistra*), e un'orbita di tipo P, in cui ruota simultaneamente intorno alle due stelle (*a destra*).

Potremmo pertanto porci le seguenti domande:

- *Quale esperienza potrebbe vivere un astronauta che si trovasse a calpestare il suolo di un pianeta appartenente ad un sistema binario?*
- *Molti film di fantascienza hanno riproposto un tale scenario, ma quanto accurata può essere la loro rappresentazione?*
- *Quali effetti creerebbe sul paesaggio una luce diffusa da due soli?*
- *Quale potrebbe essere il ciclo buio/luce?*
- *Una eventuale civiltà aliena che dimori su uno di questi pianeti, nel corso della sua storia potrebbe aver sviluppato una tecnologia di misurazione del tempo quale la nostra meridiana?*

Per cercare di rispondere a questa batteria di domande proviamo ad **immaginare di trovarci su un pianeta simile alla Terra in un'orbita di tipo P intorno a due soli di massa simile a quella del nostro**.

Fissiamo per ora la distanza tra le due stelle pari a circa 10 milioni di km.

La Terra si trova ad 1 UA di distanza dalla sua stella (pari a 150 milioni di km): un pianeta come il nostro posto a tale distanza dal centro di massa dei due soli si troverebbe investito dal doppio di radiazione solare, quindi sarebbe estremamente caldo.

Per trovare le **stesse condizioni di temperatura**, il nostro esopianeta dovrebbe trovarsi su un'orbita tipo quella di Marte (circa 230 milioni di km dal centro di massa).

Il suo periodo orbitale risulterebbe pari a circa 460 giorni (terrestri), quindi un anno durerebbe all'incirca il 26% di tempo in più.

Se tale pianeta avesse un tempo di rotazione simile a quello della Terra (24 h) ed il suo piano orbitale coincidesse con quello delle due stelle, la loro grandezza apparirebbe pari a 2/3 di quella del Sole visto dalla Terra.

Come abbiamo detto, pur essendo la distanza dai due soli maggiore rispetto a quella della Terra dalla nostra stella, l'azione combinata dei due soli fornirebbe la stessa quantità di calore che riceviamo noi.

Le due stelle impiegherebbero circa 38 ore per fare un giro completo intorno al proprio baricentro (centro di massa che si troverebbe esattamente a metà della distanza che le separa): un tempo breve che farebbe sì che nel giro di un paio di ore cambi sensibilmente la loro posizione relativa.

Questo significa che la loro separazione angolare massima (vista dal pianeta) risulti pari ad un paio di gradi, circa 6 volte il diametro apparente di una delle due stelle; abbastanza perché un'asta sufficientemente alta e piantata verticalmente nel terreno (uno *gnomone*) produca due ombre distinte.

Per sapere l'ora del giorno (che abbiamo ipotizzato essere di 24 ore come il nostro) dovremmo misurare la lunghezza e la direzione dell'ombra (ed otterremmo la distanza di tempo mancante all'eclissi successiva). L'angolo tra le due ombre è destinato a variare continuamente, in quanto ogni circa 19 ore (38/2) una stella occulterebbe l'altra **(3)**; basterebbe tuttavia la presenza di una nuvola che copra uno dei due soli per vedere una sola ombra proiettata.

Per la maggior parte del tempo vedremmo le due stelle vicine, ma separate da una certa distanza. Ogni 18 ore circa le vedremmo "fondersi" per una cinquantina di minuti, e dovremmo aspettare altre 10 ore per vederle alla massima distanza.

Essendo di egual massa, non potremmo distinguere quale occulto quale: l'effetto complessivo dell'eclissi sarebbe - dal punto di vista della luminosità - simile a quello che proviamo quando una nuvola nera passa davanti al Sole.

Gli effetti relativi all'**irradiazione** (e quindi sulla temperatura) sarebbero invece ben più drammatici: durante l'eclissi verrebbe a mancare il 50% del flusso di calore ricevuto dal pianeta.

La diminuzione di temperatura potrebbe aggirarsi intorno ai 21 gradi: dalla gradevole temperatura di una giornata primaverile al punto di congelamento dell'acqua **(4)**.

Si alzerebbero poi venti furiosi: ad esempio l'aria calda sopra uno specchio d'acqua si sposterebbe violentemente verso zone vicine.

Forme di vita su un pianeta simile dovrebbero essersi evolute per sopportare importanti oscillazioni di temperature nel giro di poche ore.

Gli alberi potrebbero aver sviluppato tronchi più spessi migliorando così l'isolamento termico, e le foglie potrebbero reagire arrotolandosi e srotolandosi, oppure dotandosi di sostanze meno soggette al congelamento **(5)**

Si assisterebbe ogni giorno ad una doppia alba ed un doppio tramonto.

A latitudini elevate, l'effetto su un pianeta con un asse inclinato come quello terrestre risulterebbe assai diverso: a seconda del periodo dell'anno potremmo veder sorgere e tramontare un solo sole, mentre durante l'estate polare si assisterebbe ad una lunghissima serie di eclissi consecutive che renderebbero il clima ancor più estremo.

Abbiamo ipotizzato una distanza del pianeta dal centro di massa pari a circa 230 milioni di km, ma quale sarebbe la **distanza minima per un'orbita stabile?**

Le leggi della fisica stabiliscono che tale orbita debba esser almeno 2 volte più grande di quella delle due stelle qualora essa sia circolare (ma potrebbe arrivare anche a 4 volte qualora l'orbita delle due stelle fosse ellittica).

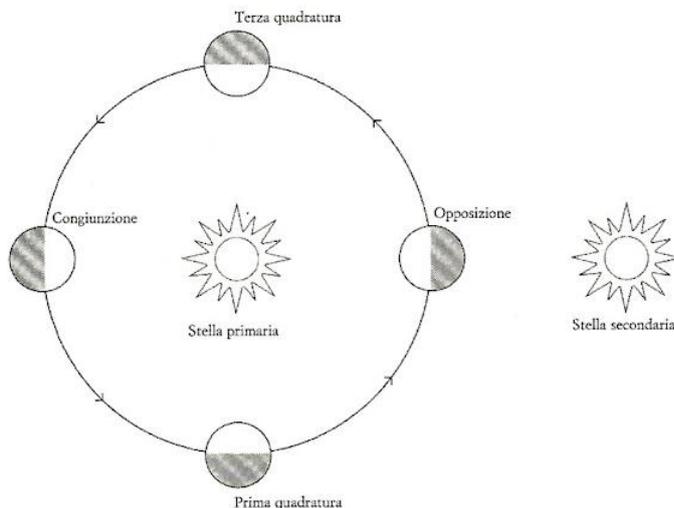
Se invece una delle due stelle fosse una nana rossa, i transiti davanti alla compagna ci mostrerebbero una macchia scura su un fondo brillante con un bordo frastagliato da filamenti e pennacchi.

L'ipotesi di poter assistere ad **eclissi o transiti** vale naturalmente **se il piano orbitale del pianeta coincide con quello delle due stelle** (la maggioranza di quelli sinora identificati soddisfa questa condizione); tuttavia basterebbe una diversità anche di un solo grado per vedere i due soli avvicinarsi senza mai sovrapporsi.

In questo caso l'irradiazione non subirebbe diminuzioni e la temperatura eviterebbe sbalzi nel giro di pochi minuti).

### ... e se il pianeta orbitasse intorno ad uno solo dei due soli? L'orbita di tipo "S".

La stabilità di un'orbita planetaria dipende dalle masse delle due stelle, da quanto sia grande ed ellittica la loro orbita reciproca e dalla vicinanza del pianeta alla "stella ospite".



In un sistema di tipo S il pianeta orbita intorno alla stella primaria, e la posizione relativa della stella secondaria cambia nel corso dell'anno. Quando le due stelle appaiono allineate nel cielo si parla di congiunzione; quando sono separate di  $90^\circ$  sono in prima quadratura. Continuando nell'orbita si arriva all'opposizione (la separazione tra le due stelle è di  $180^\circ$ ) e alla terza quadratura (di nuovo  $90^\circ$ ), per finire con una nuova congiunzione dopo un anno.

Il caso più semplice che abbiamo esaminato per l'orbita "di tipo P", cioè la presenza di due stelle di egual massa in orbita circolare l'una intorno all'altra, prevede che la distanza massima del pianeta dalla sua stella primaria sia pari ad  $1/4$  della distanza che separa tra loro le due stelle.

Nel caso precedente avevamo posto pari a 10 milioni di km la distanza tra le due stelle: mantenendo questa misura anche per il caso di un pianeta con orbita di tipo "S", la distanza massima del pianeta dalla sua stella (non più dal centro di massa!) sarebbe 2.5 milioni di km.

La temperatura superficiale di un pianeta così vicino alla propria stella "primaria"

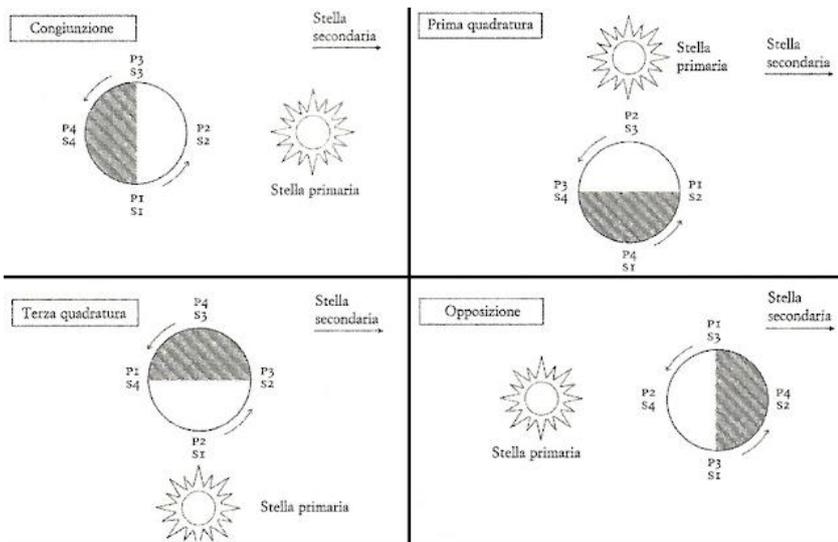
raggiungerebbe i 1400 gradi (quasi il punto di fusione del ferro).

Sono già stati identificati esopianeti con orbite simili, tuttavia è improbabile possa esistervi qualche forma

di vita **(6)** o che un futuro astronauta possa decidere di farci una passeggiata.

Per trovare un pianeta con una temperatura simile a quella terrestre dobbiamo spostarci a 150 milioni di km dalla stella primaria: ne consegue che, perché risulti dotato di un'orbita stabile, le due stelle devono essere separate da una distanza non inferiore a 650 milioni di km (all'incirca quella a cui si trova Giove rispetto al Sole).

Per il nostro esempio poniamo che le due stelle siano separate da 800 milioni di km.



Per un pianeta di tipo S, l'ora a cui sorgono e tramontano le stelle dipende dal periodo dell'anno. Nella figura, P indica la stella primaria, S quella secondaria, 1 l'alba, 2 il mezzogiorno, 3 il tramonto e 4 la mezzanotte. Perciò alla congiunzione (in alto a sinistra) le stelle sorgono insieme (P1 e S1) e tramontano insieme (P3 e S3).

La presenza in cielo della seconda stella aggiungerebbe circa 2 gradi alla temperatura media del pianeta e brillerebbe con una luminosità pari a decine di migliaia di volte quella della nostra Luna piena.

Se rimanesse poi visibile dopo il tramonto della stella primaria, la sua luminosità risulterebbe pari a quella di una giornata terrestre molto nuvolosa.

I tempi dell'alternanza buio/luce dipenderebbero dal periodo dell'anno, e cioè dalla posizione del pianeta sull'orbita rispetto ai due soli:

**a) Nel cielo del pianeta, le due stelle sono nella stessa direzione e formano un angolo prossimo a 0°.**

Quando il pianeta si trova sul lato opposto della stella primaria (la stella intorno a cui orbita) rispetto alla posizione della stella secondaria, avremo un occultamento (una eclissi del sole secondario), ma questo solo se il piano orbitale del pianeta risulta lo stesso di quello del sistema binario **(7)**.

E' una condizione del tutto simile a quella che sperimentiamo noi sul nostro pianeta: un solo sole in cielo, la meridiana proietta una sola ombra, alternanza notte/giorno, cielo notturno stellato.

Anche qualora i piani orbitali del pianeta e del sistema binario fossero leggermente sfalsati, i due soli apparirebbero nel cielo molto vicini e quindi quasi indistinguibili.

La luminosità diurna risulterebbe aumentata di un poco.

Adottando una protezione (come facciamo qui sulla Terra quando osserviamo una eclissi solare), guardando in direzione della stella primaria potremmo distinguervi accanto il piccolo disco della stella secondaria, sei volte più piccolo di quello della stella primaria e 40 volte meno luminoso.

Per un breve periodo i due soli si vedono sorgere e tramontare insieme; poi, mano a mano che il pianeta procede sulla sua orbita intorno alla stella primaria, esso si avvicina a quella secondaria che così appare nel cielo diurno del pianeta sempre più grande e luminosa **(8)**

***b) Nel cielo del pianeta, le due stelle si distanziano progressivamente sino a formare un angolo di 90° una volta che questo ha completato 1/4 della sua orbita.***

In questo periodo dell'anno sul pianeta si assiste a due albe e due tramonti per ogni giorno.

Il buio della notte stellata si squarcia al salire dall'orizzonte della stella secondaria, in grado di diffondere una luminosità pari a quella di un giorno nuvoloso sulla Terra.

Poco dopo anche la stella primaria si affaccia all'orizzonte e la luminosità del giorno aumenta sino a raggiungere il suo culmine.

I due astri sono allora entrambi visibili in cielo, l'uno a poca distanza dall'altro, sino a che la stella secondaria si avvia al tramonto poco prima di quella primaria.

Col passare dei giorni la distanza temporale tra le due albe (e di conseguenza quella tra i due tramonti) incrementa, e così le ore di buio si riducono.

Quando la separazione nel cielo tra stella primaria e secondaria raggiunge i 90° (guardando dall'alto l'orbita del pianeta quest'ultimo forma, con la posizione dei due soli, un angolo retto) otteniamo una configurazione definita "**quadratura**".

Il sole secondario sorge "a mezzanotte" (cioè quando quello primario si trova esattamente dalla parte opposta del pianeta), e quindi le ore di buio sono pochissime.

Il sole primario sorge invece quando il secondario è allo zenith **(9)** e l'ombra della meridiana risulta doppia. Interessante notare come l'ombra proiettata da un qualsiasi oggetto si sdoppi in un'ombra più scura e più lunga (causata dai raggi incidenti del sole primario) mentre la seconda ombra risulta più corta e debole: la ragione sta sia nel fatto che la luminosità del sole secondario è inferiore perché più distante, sia perché la luce del primario si spande anche nell'ombra del secondario **(10)**

Il sole secondario tramonta quando il sole primario è allo zenith.

Il periodo di maggior luminosità risulta quindi compreso tra il momento in cui il secondario è allo zenith (e sorge contestualmente il primario) e quello in cui tramonta (che è il momento in cui il primario raggiunge lo zenith).

***c) Nel cielo del pianeta, le due stelle si trovano in "opposizione" (formano cioè col pianeta un angolo di 180°) una volta che questo ha completato metà della sua orbita.***

Il sole primario tramonta quando il secondario sorge e viceversa: la notte non esiste più (condizione di luce un poco simile ai mesi estivi per chi si trovasse ai poli terrestri).

Il sole secondario è alla sua distanza minima dal pianeta e la sua luminosità è al massimo, pari a 1/20 di quella del sole primario, con un diametro apparente vicino ad 1/4 di quest'ultimo **(11)**; l'aumento di temperatura media è pari a circa 3°.

Nei giorni successivi all'opposizione il sole secondario inizia a tramontare un poco prima del primario, e si presenta un periodo di buio, la cui durata è destinata progressivamente ad aumentare, appena prima dell'alba primaria.

**d) Nel cielo del pianeta, le due stelle si avvicinano progressivamente sino a formare un angolo di 90° una volta che questo ha completato 3/4 della sua orbita.**

Si tratta di una nuova quadratura in cui il sole secondario è una presenza "serale": si leva quando il primario è nel punto più alto e tramonta alla mezzanotte primaria.

Le notti si allungano progressivamente sino a che le due stelle nel cielo del pianeta raggiungono la posizione di massima vicinanza (il pianeta ha completato la sua orbita).

In realtà le cose non sono così semplici come in questa descrizione perché il sole secondario impiega, per completare un'orbita intorno a quello primario, un tempo pari a 4,3 orbite complete del pianeta intorno al suo sole primario.

Il pianeta deve quindi inseguirlo, e le stagioni diventano più lunghe: il tempo effettivo tra una congiunzione e l'altra (anno sinodico) è pari a quello impiegato dal pianeta per completare 1,3 orbite intorno al sole primario, e di conseguenza si allungano i tempi per le quadrature e l'opposizione.

Introducendo l'ipotesi di un asse del pianeta inclinato, le cose si complicano enormemente, e lo stesso succede se ipotizziamo che le stelle abbiano massa diversa.

L'universo è molto più complicato di come lo si potrebbe pensare, e la fantascienza fatica a tenere il passo con le scoperte scientifiche.

#### **Note:**

**(1)** Abbiamo di recente identificato sistemi con tre, quattro o ancora più stelle legate tra di loro gravitazionalmente, cosa che comunque non significa orbitino tutte quante intorno ad un centro di massa comune.

Ad esempio un **sistema quaternario** potrebbe esser costituito da un sistema binario dove due stelle di grandi dimensioni in orbita intorno ad un centro di massa comune, presentano ciascuna una stella più piccola che le orbita intorno (è il caso di Mizar).

**(2)** Oggi si ritiene che la maggior parte delle stelle esistenti sia singola.

Il motivo è da ricercarsi nel fatto che la categoria di astri più diffusa nell'universo siano le **nane rosse**, che sono in grandissima maggioranza stelle singole.

Stelle dotate di massa comparabile a quella del nostro Sole hanno invece solo il 50% di probabilità di esser singole.

**(3)** L'esatta durata dell'orbita delle 2 stelle intorno al baricentro comune è 38.4 ore, dunque si avrebbe un occultamento ogni  $38.4/2=19.2$  ore.

**(4)** In realtà non sarebbe un effetto così drammatico per il fatto che aria, terreno ed acqua non si raffreddano/riscaldano con la stessa velocità.

In zone in cui l'aria è umida (tropicali), vicino a specchi d'acqua i cambiamenti risulterebbero meno bruschi.

**(5)** Sulla Terra la vita nei deserti si è evoluta per affrontare bruschi cambiamenti di temperatura.

**(6)** Naturalmente questo vale per quanto oggi sappiamo circa il fenomeno "vita", avendone sinora a

disposizione un solo esempio, quella di tipo terrestre.

Per "allargare l'orizzonte oltre il cerchio di luce del lampione" vedi i miei due post sull'argomento: 

- "LAWDKY, la ricerca di forme di vita aliena condotta adottando un nuovo paradigma ..." del 29 maggio 2023
- "La vita al di fuori della Terra: cosa cercare e dove ..." del 20 gennaio 2023

**(7)** Altrimenti vedremmo un "**appluso**", un termine che descrive la situazione che si viene a creare quando due corpi si sono avvicinati alla distanza minima.

Spesso si usa (impropriamente) il termine "**congiunzione**", che invece denoterebbe la situazione in cui i due oggetti in movimento, oltre a trovarsi alla distanza minima, siano esattamente sullo stesso meridiano.

**(8)** Mano a mano che aumenta l'angolo che il pianeta forma con la secondaria rispetto alla primaria, la distanza tra i due astri nel cielo del pianeta incrementa.

**(9)** L'alba primaria coincide col mezzogiorno secondario.

**(10)** Comunque nessuna delle due ombre risulta netta e scura come lo sarebbe un'ombra sulla Terra.

**(11)** Orbitando le due stelle a 800 milioni di km l'una dall'altra, e orbitando il pianeta a 150 milioni di km dalla propria stella primaria, esso si trova a 650 milioni di km dalla stella secondaria.

