

**Publicato nel Giornale di Astronomia-Marzo 2001-Volume 27 – n.2 (suppl.)
da pagina 83 a pagina 89**

I pianeti extrasolari

R. Bedogni, - Osservatorio Astronomico di Bologna

Introduzione

Il nostro Sistema Solare esiste! Da questo semplice ed irrefutabile fatto si può partire per chiedersi se nell'Universo, od almeno nella Galassia, esistano altri sistemi planetari. Fino a pochi anni fa, con la notevole eccezione della stella di Barnard, a cui accenneremo nel paragrafo seguente, l'esistenza dei pianeti extrasolari era relegata al regno della fantasia. Nonostante la mancanza di un'evidenza diretta, ci si può chiedere per quali motivi era ed è ragionevole ipotizzare l'esistenza di sistemi planetari esterni al nostro. Due sono le considerazioni alla base di quest'ipotesi e che fanno da premessa alla loro ricerca: la prima è puramente statistica la seconda invece è operativa.

La motivazione statistica, si basa sullo straordinario numero di possibilità che il nostro Universo offre per la nascita e lo sviluppo di sistemi planetari intorno a stelle singole o multiple. L'Universo contiene almeno cento miliardi di galassie ognuna delle quali possiede miliardi di stelle che, non è affatto improbabile, conterranno sistemi solari simili al nostro. Combinando i fattori di questo calcolo statistico si arriva alla straordinaria cifra di 10^{20} sistemi solari nell'intero Universo. Non solo ne possono esistere in un numero così grande ma, supponendo che il ritmo di formazione delle stelle ed, attorno ad esse, dei pianeti sia uniforme nel tempo, avendo l'Universo un'età di 15 miliardi d'anni ecco che, con un calcolo un po' ardito ma tutto sommato non troppo fantastico, si può giungere alla conclusione che ogni ora nascano un milione di sistemi solari.

Ma torniamo con "i piedi per terra" (l'affermazione può anche essere presa nel suo significato letterale) e chiediamoci se è effettivamente possibile osservare dei pianeti extrasolari. L'astronomo rivolge la sua attenzione solo a ciò che è in grado di osservare per cui, essendo irraggiungibili i sistemi solari delle galassie esterne, si limita ad una ricerca nei "dintorni del Sole": una regione della Via Lattea compresa in un raggio, al più, di 100 parsec. La possibilità d'osservazione di pianeti extrasolari, dopo un'attesa di circa 50 anni, ha avuto nel 1995 un nuovo straordinario impulso diventando uno dei più promettenti settori della ricerca astronomica.

La stella di Barnard



Figura 1

Ma prima di descrivere gli straordinari risultati di questi ultimi anni, dedichiamo un po' di attenzione al "caso" della Stella di Barnard. Nel settembre del 1916 apparve, dapprima sull'Astronomical Journal e, poco dopo, su Nature, un articolo riguardante la scoperta di una stella, apparentemente insignificante, che però mostrava un grande "moto proprio". Lo notò l'astronomo E.E. Barnard da cui la stella prese il nome. La stella di Barnard ha un moto proprio di 10.29" secondi d'arco per anno (cioè un moto angolare apparente sulla sfera celeste) e, come si vede nella **figura 1**, la stella in 47 anni si è spostata in modo significativo sullo sfondo della sfera celeste. Dal momento che è la stella più vicina a noi dopo Alpha centauri, solo 5.97 anni luce, questa stella ricevette le attenzioni di Peter van de Kamp un astronomo dello Sproul Observatory dello Swarthmore College. Iniziò un lunghissimo lavoro, con una serie di migliaia di lastre fotografiche prese in un arco di tempo di oltre 40 anni, dedicate alla ricerca di possibili variazioni nella sua traiettoria. Infatti, ed in questo consiste il "metodo astrometrico", la presenza di ipotetici pianeti extrasolari ha un effetto indiretto sulla posizione apparente della stella attorno a cui orbitano. Dal "wobble" della stella, cioè da un leggero e minimo sfarfallio nella sua posizione apparente, è possibile dedurre la massa del pianeta o dei pianeti che orbitano attorno ad essa.

Van de Kamp, dopo decenni di osservazioni, giunse alla conclusione che due pianeti orbitavano attorno alla stella di Barnard, uno di 0.7 e l'altro di 0.5 masse di Giove (in questo articolo la unità di massa di riferimento per i pianeti è la massa di Giove $M_J = 1.90 \cdot 10^{30}$ gr = $317 M_T \sim 0.001 M_S$.) La scoperta di Van de Kamp servì a mantenere vivo il dibattito sull'esistenza dei Pianeti extrasolari, anche se le sue misure vennero ritenute viziate da errori sistematici e rigettate dalla maggior parte della comunità scientifica. Nonostante la continua diatriba con la comunità astronomica, la sua ostinazione è stata in parte premiata nel 1995 quando Gatewood, in base a misure indipendenti, suggerì che delle Nane Brune, stelle però non pianeti, potevano effettivamente orbitare attorno alla stella di Barnard.

Prima di passare alla rassegna dei risultati di questi ultimi anni, è necessario cercare di capire come si è formato il Sistema Solare e se gli stessi criteri fisico-chimici, che stanno alla base della sua formazione, si possono estendere anche alla formazione di ipotetici sistemi extrasolari. La prima domanda che ci si pone è come si distinguono i pianeti dalle stelle.

La distinzione tra stelle e pianeti

Fino a qualche decennio fa, un *pianeta* era inteso come un corpo celeste che non emette luce propria ma riflette quella della stella che lo illumina. In realtà questa distinzione si rivelò inadeguata per i pianeti giganti del Sistema Solare che emettono più radiazione di quanta ne ricevano dal Sole. Di conseguenza occorre trovare un nuovo criterio per definire un "pianeta" come tale, oppure di classificare i pianeti giganti come "stelle". Si ritenne opportuno cambiare la definizione di *stella* intendendola come un oggetto autogravitante che, durante la sua evoluzione, abbia prodotto la sua energia interna tramite le reazioni nucleari. Al contrario si definisce *pianeta* un corpo celeste che non sarà mai in grado di innescare le reazioni nucleari.

La teoria dell'evoluzione stellare mostra che la massa minima per produrre l'innesco delle reazioni nucleari dell'idrogeno è di circa $80 M_G$. Ulteriori studi però hanno ridotto questo valore in quanto si è dimostrato che un oggetto celeste, con una sufficiente quantità di Deuterio, può innescare, per reazione con l'Elio, il bruciamento dell'Idrogeno anche se la massa è di soltanto $10 M_G$; quest'ultimo valore viene quindi assunto come limite

superiore della massa di un pianeta. Secondo questo criterio, imponendo il confine tra stelle e pianeti all'1 % della massa del Sole, si possono considerare tali, cioè *pianeti*, anche i pianeti giganti del Sistema Solare, che pur mantengono una fonte (non termonucleare) di energia interna.

Un'ulteriore possibilità è collegata alla distinzione sulle orbite. Mentre le stelle hanno orbite circolari si ritiene che i pianeti abbiano orbite eccentriche. Il calcolo dell'eccentricità delle loro orbite è quindi fondamentale per effettuare una selezione tra stelle, con masse al limite delle $10 M_{\odot}$ ed i pianeti extrasolari. In particolare gli oggetti celesti sono ritenuti "pianeti" se hanno eccentricità maggiori di 0.1. Quest'ultimo criterio è molto delicato, infatti la maggior parte dei pianeti del Sistema Solare hanno orbite quasi circolari con eccentricità minori del limite precedentemente fissato, per cui mentre il limite sulla massa è certamente valido quello sulle eccentricità delle orbite presta il fianco a dubbi e discussioni.

La formazione dei sistemi planetari

E' importante, per capire la formazione dei sistemi planetari distinguere tra stelle singole e multiple, ad esempio binarie.

Nel caso di sistemi stellari singoli, per "*sistema planetario*" s'intende un sistema che è legato gravitazionalmente e che, oltre ad essere costituito da una stella centrale, presenta almeno due pianeti che le orbitano attorno. Il Sistema Solare presenta una *struttura non gerarchica* nella distribuzione dei suoi pianeti poiché tutti e nove ruotano su orbite quasi circolari attorno al Sole, una stella singola

Considerando invece sistemi stellari multipli (ad esempio binari) i pianeti potrebbero a loro volta ruotare attorno al comune centro di massa producendo una *struttura gerarchica* con una situazione molto più complessa e dovuta, probabilmente, ad un meccanismo di formazione planetaria completamente diverso. Di questa *struttura gerarchica* si ha un esempio anche nel nostro Sistema Solare in quanto il satellite di Plutone, Caronte, è di massa e dimensioni paragonabili a quelle del pianeta principale tale da costituire un sistema planetario doppio. Si ritiene però che tale configurazione non sia dovuta al meccanismo originario di formazione del Sistema Solare ma alla cattura di un asteroide esterno all'orbita di Plutone.

Ogni teoria di formazione planetaria deve essere in accordo con le osservazioni ed in particolare con la teoria della formazione del Sistema Solare. Secondo quanto si è valutato per il meccanismo di formazione del Sistema Solare possiamo ritenere che la formazione di una stella e del suo eventuale sistema planetario, si svolga in tre fasi principali. La prima consiste nel collasso di una nube molecolare, da cui si origina una *protostella*, circondata da un disco di gas e polveri che si estende fino a 100 U.A. (U.A.=Unità Astronomica), la cui durata è di circa 100000 anni. La seconda nell'aggregazione di gas e polveri sulla stella centrale, che porta alla formazione di una stella di sequenza principale che, a sua volta, *innesca le reazioni nucleari* e determina una redistribuzione del materiale in una struttura a forma di disco con tempi variano da 10 a 100 milioni di anni La terza è la formazione di una *nebulosa stellare* quiescente che poi, accumulandosi ulteriormente, darà luogo ai pianeti; il tempo per completare questo stadio finale è molto più lungo fino a 200 milioni di anni.

La scoperta dei pianeti extrasolari

Veniamo finalmente alla rassegna dei risultati e delle scoperte più recenti. Fino a pochi anni fa non c'erano prove dirette dell'esistenza di pianeti in orbita intorno a stelle che

assomigliano al Sole, salvo il dubbio caso della stella di Barnard.

Nell'ottobre del 1995 *M. Mayor e D. Queloz* dell'Osservatorio di Ginevra annunciarono la scoperta di un pianeta di grande massa attorno alla stella, di tipo solare, 51 Pegasi. Pochi mesi dopo anche *G. W. Marcy e R.P. Butler* della S. Francisco State University e della University of California, Berkley, riferirono dell'individuazione di altri due corpi in orbita intorno a stelle dello stesso tipo: 47 Ursae Majoris e 70 Virginis. Da allora sino ad oggi il numero di Pianeti extrasolari ha raggiunto la ragguardevole cifra di cinquanta !

Le tecniche di osservazione dei pianeti extrasolari

Ma prima di entrare nella descrizione del "bestiario" dei pianeti extrasolari noti vediamo quali sono i metodi per individuarli. Due sono le possibilità principali: o rilevare i pianeti indirettamente, tramite effetti fisici che ne provino l'esistenza, oppure osservarli direttamente con le immagini astronomiche

La rilevazione indiretta. La stella principale di un sistema extrasolare è certamente visibile, e l'ipotetico pianeta si può individuare in base agli effetti che provoca sulla stella principale. Due sono i principali metodi indiretti: quello *astrometrico* e quello *spettroscopico* a questi due va aggiunta la *fotometria a terra*, che sta rivelandosi sempre più interessante in questi ultimi anni. Tutte queste tecniche rivelano gli effetti *gravitazionali* che la presenza del compagno planetario determina sulla stella, in conseguenza del loro moto attorno al comune centro di massa.

La rilevazione diretta non serve, se non in alcuni casi particolari, per la scoperta dei pianeti extrasolari ma, una volta scoperti con metodi indiretti, permette di studiarne alcune caratteristiche peculiari, ad esempio la presenza della materia diffusa intorno alle stelle.

Entrambi questi dei due metodi hanno, almeno per ora, un grande limite: non sono in grado di individuare pianeti extrasolari di tipo terrestre.

Il metodo astrometrico

Questa tecnica, a cui abbiamo già accennato precedentemente, si basa sullo studio del moto apparente delle stelle proiettato sulla volta celeste. Le stelle più vicine al Sole mostrano, in un dato periodo, un *moto proprio* maggiore delle stelle lontane, che invece appaiono immobili nel cielo. La ricerca dei pianeti extrasolari, effettuata mediante l'astrometria, richiede una *misura accurata* della posizione della stella per un lungo periodo di tempo così da verificare se il suo *moto proprio* è lineare o se invece presenta delle oscillazioni provocate dalla presenza di eventuali compagni. Questa tecnica fornisce risultati ottimali nel caso di sistemi planetari in stelle vicine e con pianeti massicci orbitanti lontano dalla stella principale e con orbite di lungo periodo. L'estrema difficoltà di queste misure è messa in evidenza ricordando che un pianeta di "tipo terrestre" in orbita attorno ad un altro sole richiederebbe, per essere rilevato, misurazioni di moto proprio con una precisione di un milionesimo di secondo d'arco: ben al di là delle possibilità osservative attuali.

Il metodo spettroscopico

Le tecniche spettroscopiche sono basate sulle misure degli spostamenti verso il blu o verso il rosso, per effetto Doppler, delle linee spettrali, particolarmente intense, osservate nello spettro della stella principale, e sono quelle che hanno dato i risultati più interessanti.

La stella, a causa del moto orbitale dell'eventuale pianeta, presenta una variazione di velocità radiale con ampiezza data dalla seguente formula:

$$V_r \sim (m_p \sin i) / (M_*^{2/3} P^{1/3}) \quad \text{Formula 1}$$

dove : V_r = variazione della velocità radiale in m/sec , M_* = massa della stella (in unità di Masse Solari), m_p = massa del pianeta (in unità di Masse Solari) P = periodo dell'orbita del pianeta in anni ed i = inclinazione dell'orbita del pianeta rispetto al piano del cielo. Si tenga presente la differenza nella misura delle velocità radiali per i pianeti extrasolari. Infatti mentre per lo spostamento verso il rosso delle galassie lontane il valore di V_r è osservato in km/sec nel caso di oggetti planetari la misura è molto più difficile in quanto limitata a poche decine di m/sec!

La spettroscopia delle righe delle stelle fornisce, tramite l'effetto Doppler, il valore della velocità radiale secondo la seguente formula:

$$V_r/c = \Delta\lambda/\lambda \quad \text{Formula 2}$$

Dove $\Delta\lambda$ è il valore dello spostamento delle righe dello spettro causato dal moto del pianeta (rispetto alla lunghezza di onda a riposo λ_0), e c la velocità della luce. Lo spostamento Doppler lo si ricava dalle osservazioni, anche se è necessario "ripulirlo" dagli effetti di turbolenza dell'atmosfera della stella. Questo richiede un buon modello delle atmosfere stellari in modo da calcolare, e poi sottrarre, questa componente dall'effetto totale. Il periodo dell'orbita P lo si ricava dall'andamento della curva di variazione della velocità radiale nel tempo, per cui il valore che si ricava dalla formula 1, è il prodotto tra la massa del pianeta ed il seno dell'inclinazione $m_p \sin i$. Attenzione si ricava direttamente la massa del pianeta, solo nel fortunato caso in cui il piano dell'orbita del pianeta attorno alla stella è perpendicolare al piano del cielo! Da qui l'incertezza sui valori della massa del candidato pianeta.

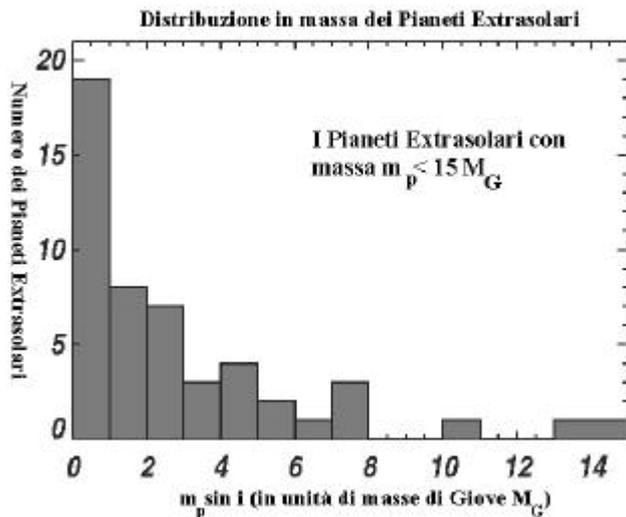


Figura 2

Quanto è difficile osservare un pianeta extrasolare? Dipende dalla distanza della stella e dalla massa del pianeta. Ad esempio se il Sole fosse osservato da una distanza di 10 parsec, un pianeta della massa di Giove mostrerebbe una variazione sinusoidale nell'ampiezza di: 13 m/sec in un periodo orbitale uguale a 12 anni. Nel caso di Urano risulterebbe di 0,3 m/sec in un periodo di 84 anni, mentre per un pianeta della massa della Terra sarebbe di 0,09 m/sec per un periodo orbitale di 1 anno.

Si tratta di piccole variazioni che rendono quasi proibitiva la ricerca di pianeti lontani e

soprattutto di tipo terrestre!

I limiti di questi due metodi, astrometrico e spettroscopico, sono riassunti nella **figura 3**. In sostanza non si possono rivelare pianeti con: *raggio orbitale maggiore di 10 unità astronomiche* (come Urano e Nettuno del nostro Sistema Solare) in quanto richiedono periodi di osservazione troppo lunghi, con *raggio orbitale minore di 0.03 unità astronomiche*, sia perché le maree della stella centrale distruggerebbero i pianeti sia perché essi potrebbero essere inglobati nella atmosfera della stella principale. Ricordiamo inoltre che per *masse superiore alle 10 Masse di Giove* probabilmente non si tratta di pianeti ma di Nane Brune

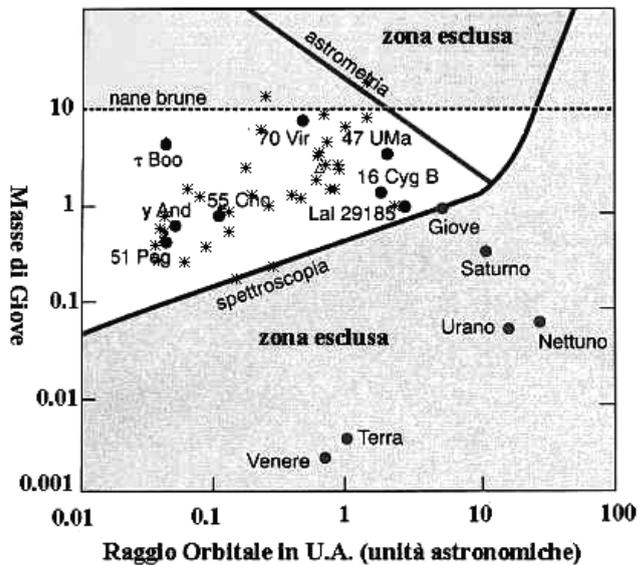


figura 3 (adattata da F. Marzari -L'Astronomia nr 175 pag. 35)-

Le "Nane Brune"

Un accordo preciso sulla natura di pianeta extrasolare non è ancora stato raggiunto anche a causa dell'esistenza delle "Nane Brune". Le "Nane Brune", si originano allo stesso modo delle stelle ma non accumulano abbastanza massa da generare le alte temperature capaci di innescare la fusione nucleare nel loro nucleo. *Oggetti con massa compresa tra le 0.01 e 0.08 Masse Solari vengono dette "Nane Brune"*. Fino al 1995 si trattava di una classe d'oggetti alquanto "misteriosi". Le prime prove inconfutabili della loro esistenza si sono avute in seguito alla scoperta di una di esse (Gliese 229 B) trovata vicino ad una Nana Rossa Gliese 229.

Classificazione dei Pianeti extrasolari

Non possiamo, in questo breve articolo, riferire di tutti i pianeti extrasolari sino ad oggi osservati, sia perché sono ormai in gran numero (oltre cinquanta) perché per alcuni, manca ancora la conferma da parte di più osservatori. Lasciamo al lettore interessato l'indicazione delle pagine Web a cui accedere per ottenere informazioni sempre più aggiornate con la raccomandazione di distinguere i dati astronomici da speculazioni che, per quanto suggestive, sono sempre del tutto ipotetiche.

E' possibile catalogare i pianeti extrasolari finora scoperti in tre classi principali.

Pianeti di "tipo 51 Pegasi". A questa categoria appartengono 51 Pegasi b, 55 Cancri b, tau Boo ed ups And . Si tratta di pianeti che ruotano attorno alla stella principale molto velocemente (con periodi di pochi giorni) e con orbite quasi circolari. Il semiasse maggiore è compreso tra 0.05 ed 0.1 U.A., cioè a meno di 1/3 dell'orbita di Mercurio dal Sole.

Pianeti di "tipo 70 Virginis". A questa classe appartengono 70 Virginis B ed HD 114762 che ruotano a distanze tra le 0.4 e 0.5 U.A. con orbite molto ellittiche. Avendo una massa maggiore di 10 volte quella di Giove potrebbero anche essere delle "Nane Brune".

Pianeti di "tipo 47 Ursae Majoris". Questa classe comprende oltre a 47 Ursae Majoris B anche Lalande 21885 b e 16 Cygni B b. Si tratta di pianeti con semiasse maggiori superiori alle 1.5 U.A. con un ampio spettro di eccentricità orbitali.

Beta Pictoris un esempio di disco protoplanetario

L'interessere nella ricerca di pianeti esterni al Sistema Solare non si limita alla scoperta di pianeti, ma va anche nella direzione dell'individuazione di dischi protoplanetari da cui si possono formare i pianeti stessi. Beta Pictoris è una stella un po' più calda del nostro Sole, dista circa *60 anni luce* e presenta un disco circumstellare attorno ad essa. Il satellite artificiale IRAS (Infrared Astronomic Telescope) ha rivelato attorno a questa stella un eccesso di radiazione infrarossa tipica della emissione di nubi fredde di polveri. Ad un esame più accurato è risultato che tale nube altro non è che un disco di materia che si distende lungo il piano equatoriale della stella e che viene osservato quasi di taglio. Le prime immagini di Beta Pictoris sono state prese dai telescopi dall'Osservatorio Europeo dell'emisfero sud (ESO) utilizzando un telescopio di 2.5 metri, tramite una videocamera CCD attrezzata con un coronografo in modo da bloccare la maggior parte della luce stellare e così mettere in evidenza il disco circumstellare

Il Telescopio Spaziale (HST) ha permesso, per la prima volta, di osservare la regione interna al disco che circonda la stella evidenziando per la prima volta, la struttura delle regioni *interne*. Queste mostrano un disco di *200 miliardi di km* di estensione, costituito principalmente da polvere ghiaccio e silicati e non troppo dissimile da quello da cui ha tratto origine il nostro Sistema Solare.

Conclusioni

Per quale motivo è così importante la ricerca dei pianeti extrasolari ? Per tanti motivi: per capire come si forma un sistema planetario, per avere indicazioni sull'evoluzione stellare di stelle di piccola massa, per cercare di porre le basi per la ricerca di pianeti terrestri. Quest'ultimo obiettivo è lungi dall'essere raggiunto. Infatti non è ancora possibile riuscire non solo ad individuare pianeti di "taglia" terrestre ma siamo ancora lontani dalla possibilità di distinguere la luce della stella da quello dell'ipotetico pianeta e quindi fare la spettroscopia delle atmosfere dei pianeti. Sarà questo il prossimo passo! Individuare mediante tecniche "coronografiche" pianeti con atmosfere "terrestri" riuscendo a risolvere l'atmosfera di pianeti a massa sempre più piccola. Lasciamo alla fantasia degli appassionati fantasticare su possibili missioni interstellari verso i pianeti extrasolari; per ora si può solo pensare di individuarli.

Alcuni indirizzi Web

I pianeti extrasolari: la pagina dell'autore di quest'articolo dedicata all'argomento.

<http://naomi.bo.astro.it/~bedogni/extra1/intpla.html>

Planetologia Italiana con pagine interessanti in lingua italiana.
<http://tycho.dm.unipi.it/~planet/welcome.html>

The Extrasolar Planets Enciclopedia contiene le pagine web più complete relative alla ricerca dei pianeti extrasolari ed è ricca di informazioni e cataloghi, (in inglese e francese). <http://www.obspm.fr/encycl/encycl>

The Extrasolar Planetary Foundations con pagine web interessanti rivolte anche alla problematica della ricerca della vita extraterrestre (in inglese).
<http://www.planetarysystems.org/overview.html>

Extrasolar Visions è ricco di splendide figure ma con troppe speculazioni che vanno ben oltre la corretta esposizione scientifica (in inglese).
http://www.empire.net/~whatmoug/Extrasolar/extrasolar_visions.html

Cataloghi sui Pianeti extrasolari si trovano (in inglese) anche nelle pagine
http://www.princeton.edu/~willman/planetary_systems/

La ricerca dei pianeti extrasolari (in inglese) <http://exoplanets.org/index.html>

Didascalia della figura 1

Nella foto a sinistra la posizione della stella di Barnard (indicata dalla freccia) nel 1950; a destra la posizione nel 1997 in conseguenza di un moto proprio annuo di $10.29''$ (secondi d'arco per anno).

Didascalia della figura 2

La figura 2 è un istogramma della distribuzione di massa per i pianeti extrasolari osservati. Sull'asse delle ordinate si trova il numero di pianeti, mentre su quello delle ascisse il prodotto $m_p \sin i$ che è il valore calcolato in base all'effetto Doppler con il metodo spettroscopico. Si può notare come la definizione dell'inclinazione i tra il piano dell'orbita ed il piano del cielo può influire in modo determinante il calcolo del valore reale della massa del pianeta.

Didascalia della figura 3

Le masse ed i raggi nella figura 3 sono in scala logaritmica. I pianeti extrasolari che possono essere osservati, con le attuali tecnologie, sono nella zona in bianco del grafico. In questa zona i pallini neri si riferiscono ai pianeti extrasolari scoperti prima del 1997, mentre gli asterischi sono nuovi candidati a tutto il 2000. La riga orizzontale a tratteggio delimita la regione, sopra le 10 masse di Giove, dove finiscono i pianeti veri e propri ed iniziano le "Nane Brune". La linea trasversale in basso indica il limite di visibilità nelle misure spettroscopiche di velocità radiale delle stelle. La regione sottostante in grigio, dove si trovano per confronto alcuni pianeti del Sistema Solare, non è accessibile con la tecnologia attuale. La linea trasversale in alto indica gli attuali limiti del metodo astrometrico. Con tale metodo attualmente sarebbe possibile solo l'identificazione di un compagno sub-stellare attorno ad una stella lontana non più di 30 anni luce. Questo limite potrà essere migliorato solo aumentando la precisione nella determinazione della posizione delle stelle sino ad $1/100000$ di secondo d'arco. Si vede da questo grafico che attualmente i pianeti extrasolari di taglia gioviana o più piccola sono fuori delle possibilità

osservative attuali.

Catalogo dei pianeti extrasolari confermati

Il catalogo è aggiornato al 28 ottobre 2000 e fornisce i principali parametri fisici ed orbitali dei pianeti extrasolari confermati. E' ordinato per semiasse maggiore dell'orbita in U.A. crescente, ed è ricavato Dai dati per le masse stellari, la metallicità e l'evoluzione stellare di Hipparcos

Stella	M sin i M _G	Periodo (giorni)	Semiasse Maggiore U.A.	Eccentricità	Vr (m/sec)	Inclinazione (gradi)
HD83443	0.35	2.986	0.038	0.08	56.0	-
HD46375	0.25	3.024	0.041	0.02	35.2	-
HD187123	0.54	3.097	0.042	0.01	72.0	-
HD179949	0.86	3.092	0.043	0.0	112	-
Tau Boo	4.14	3.313	0.047	0.02	474.0	-
BD-103166	0.48	3.487	0.046	0.05	60.6	< 84.3 ⁰
HD75289	0.46	3.508	0.048	0.00	54.0	-
HD209458	0.63	3.524	0.046	0.02	82.0	85.3 ⁰
51Peg	0.46	4.231	0.052	0.01	55.2	-
UpsAndb	0.68	4.617	0.059	0.02	70.2	-
HD168746	0.24	6.400	0.066	0.00	28.0	-
HD 217107	1.29	7.130	0.072	0.14	139.7	-
HD162020	13.73	8.420	0.072	0.28	1813.0	-
HD130322	1.15	10.72	0.092	0.05	115.0	-
HD108147	0.35	10.88	0.098	0.56	37.0	-
HD28529	0.77	14.31	0.129	0.27	53.6	-
55Cnc	0.93	14.66	0.118	0.03	75.8	25 ⁰
GJ86	4.23	15.80	0.117	0.04	379.0	-
HD195019	3.55	18.20	0.136	0.01	271.0	-
HD 6434	0.48	22.0	0.15	0.3	37.0	-
HD192263	0.81	24.35	0.152	0.22	68.2	-
HD 83443c	0.16	29.83	0.17	0.42	14.0	-
RhoCrB	0.99	39.81	0.224	0.07	61.3	-
HD168443	7.18	58.10	0.29	0.53	470.0	-
GJ876	2.07	60.90	0.207	0.24	235.0	-
HD 121504	0.89	64	0.32	0.13	45.0	-
HD16141	0.22	75.80	0.351	0.28	10.8	-
HD114762	10.96	84.03	0.351	0.33	615.0	-
70Vir	7.42	116.7	0.482	0.40	316.2	-
HD52265	1.14	119.0	0.493	0.29	45.4	-
HD1237	3.45	133.8	0.505	0.51	164.0	-
HD37124	1.13	154.8	0.547	0.31	48.0	-
HD169830	2.95	230.4	0.823	0.34	83.0	-
UpsAndc	2.05	241.3	0.828	0.24	58.0	-
HD12661	2.83	250.2	0.799	0.20	89.3	-

HD89744	7.17	256.0	0.883	0.70	257.0	-
HD202206	14.68	258.9	0.768	0.42	554.0	-
HD134987	1.58	260.0	0.810	0.24	50.2	-
IotaHor	2.98	320.0	0.970	0.16	80.0	-
HD92788	3.86	337.7	0.97	0.27	113.1	-
HD177830	1.24	391.0	1.10	0.40	34.0	-
HD27442	1.13	426	1.15	0.02	34	-
HD210277	1.29	436.6	1.12	0.45	39.1	-
HD82943	2.3	442.6	1.2	0.60	73	-
HD222582	5.18	576.0	1.35	0.71	179.6	-
HD160191	1.87	743	1.6	0.62	54.	-
16CygB	1.68	796.7	1.69	0.68	50.0	-
HD10697	6.08	1074.0	2.12	0.11	114.0	-
47Uma	2.60	1084.0	2.09	0.13	50.9	-
HD 190228	5.0	1127	2.3	0.43	91.0	-
UpsAndd	4.29	1308.5	2.56	0.31	70.4	-
14Her	5.55	2380.0	3.5	0.45	98.5	-
Epsilon Eridani	0.8	2518.	3.4	0.6	19.0	46 ±.17 ⁰