

## Pianeti Extrasolari

Dal 1930, anno della scoperta dell'ultimo (?) pianeta del sistema solare, Plutone, abbiamo avuto un quadro più o meno preciso del nostro sistema planetario ed è stato il risultato di almeno 3-4mila anni di osservazioni via via sempre più raffinate, partite da civiltà antiche quanto quella degli egizi e conclusesi grazie a conquiste della tecnica quali la fotografia.

Sappiamo dunque dell'esistenza di 9 pianeti, le cui orbite sono fortemente circolari e giacciono all'incirca sul medesimo piano (tranne nel caso di Plutone, la cui inclinazione è di circa  $18^\circ$ ); i pianeti si dispongono nello spazio a distanze sempre più grandi dal Sole, approssimabili secondo la legge *empirica* (per la quale cioè non si conosce una ragione vera e propria) di Titius-Bode:

$$\text{distanza dal Sole in Unità Astronomiche } 0,4+0,3 \times 2^n,$$

dove  $n$  vale meno infinito per Mercurio (cioè  $2^n \cong 0$ ), 0 per Venere (cioè  $2^n=1$ ), 1 per la Terra e così via (ricordandosi di assegnare  $n=3$  alla fascia degli asteroidi). E' anche da osservare che a partire da Nettuno le distanze osservate non coincidono più con quelle teoriche.

Non sono invece empiriche, ma rientrano all'interno di una precisa trattazione matematica le 3 leggi di Keplero, scoperte agli inizi del '600:

- 1) le orbite dei pianeti sono delle ellissi, ed il sole occupa uno dei due fuochi;
- 2) il raggio congiungente il pianeta al Sole copre aree uguali in tempi uguali;
- 3) il semiasse maggiore del pianeta (distanza tra fuoco e punto più lontano dell'orbita) e il periodo di rivoluzione sono legati dalla relazione  $T^2/a^3=k$ , dove  $k$  è un parametro dipendente dalla massa del Sole.

Nel complesso è facile osservare che i pianeti più interni sono quelli più piccoli di massa minore, e composti esclusivamente da materiale roccioso; mano a mano che la distanza dal Sole aumenta anche la proporzione dell'atmosfera e da Giove in poi i composti gassosi o liquidi prevalgono nettamente su quelli solidi (tant'è vero che per Giove e Saturno si ipotizzano solamente dei piccolissimi nuclei rocciosi). Da sempre si è preso (ovviamente) il nostro sistema come modello di riferimento per tutti gli ipotetici sistemi extrasolari: si prevedeva dunque che dappertutto si sarebbero trovati pianeti compatti e di piccola massa nelle orbite più interne, gli unici compatibili con il fortissimo vento stellare che dovrebbe aver spazzato il sistema alla sua nascita, mentre i pianeti "giganti" sembravano essere relegati alle orbite più esterne, in quelle in cui la relativa tranquillità delle turbolenze all'epoca della formazione poteva assicurare la stabilità dei leggeri composti gassosi.

Tutte queste previsioni si sono rivelate apparentemente sbagliate da quando, nel '95, gli astronomi Mayor e Queloz dell'osservatorio di Ginevra hanno annunciato la scoperta di un pianeta orbitante attorno alla stella 51 Pegasi, distante 50 anni luce dal Sole. Questa si è rivelata la prima di lunga serie di scoperte in successione sempre più rapida, la maggior parte effettuate dallo staff della San Francisco State University (dislocato all'osservatorio Keck1 nelle Hawaii), che ha portato alla conoscenza di almeno una dozzina di pianeti extrasolari, ed il numero è in perenne crescita (prima dell'uscita di questo bimestrale potrebbero venire identificati altri).

**Il metodo.** Estremamente utilizzata è stata la spettroscopia, con lo scopo di identificare eventuali oscillazioni nelle righe di emissione di una stella (dovute all'effetto Doppler) in seguito alla perturbazione periodica da parte di un corpo pesante ed oscuro (un pianeta, dunque). In base alla periodicità delle oscillazioni spettrali è possibile ricavare il

semiasse del pianeta (grazie alla III legge di Keplero) e fornire una stima superiore della massa del corpo oscuro.

L'ampiezza delle variazioni Doppler dello spettro sono collegate alla massa del pianeta, ma la misurazione di questa dipende dalla inclinazione del piano orbitale rispetto alla nostra linea di vista. Non potendo conoscerlo con metodi ottici, si può ricavare la quantità  $M \sin(i)$ , dove  $i$  è l'inclinazione e  $M$  è la massa effettiva.

Gli astronomi del Keck1 hanno migliorato l'efficienza di questo metodo utilizzando le righe di assorbimento del Sodio, numerosissime e molto sottili, e le hanno di volta in volta usate come scala di misurazione delle oscillazioni osservate; in questo modo hanno ottenuto risoluzioni di 3m/s nelle velocità dei pianeti (12m/s è l'oscillazione della velocità radiale del Sole, dovuta a Giove).

Un altro metodo, che ha avuto recentemente successo nella identificazione di nuovi candidati esopianeti, è quello che sfrutta l'effetto della microlente gravitazionale. Quando due stelle di un ammasso si allineano lungo la direzione di vista di un osservatore, capita che il campo gravitazionale della più vicina faccia convergere i raggi della seconda focalizzandoli verso l'osservatore, che nota quindi un picco nella curva di luce misurabile (eventi di questo tipo si osservano 40-50 volte all'anno). Questo effetto è simmetrico nel tempo, cioè il grafico ottenuto da questo fenomeno ha la forma di una campana simmetrica rispetto alla metà; tuttavia se una delle stelle ha un pianeta che si viene ad interporre alla linea di vista dell'osservatore, questo registrerà un improvviso picco nel suo grafico, in genere non simmetrico al resto della campana. Quando questo avviene, si può essere ragionevolmente sicuri di essersi imbattuti in un pianeta extrasolare; però il metodo necessita di una precisione assoluta, e gli errori di sensibilità degli strumenti costituiscono un fattore di incertezza notevole. Tuttavia si pensa che questa tecnica sarà la migliore nel rivelare pianeti molto distanti dal Sole.

**I risultati.** Tutti i pianeti scoperti finora hanno massa simile a quella di Giove, ma con grande sorpresa degli astronomi sono tutti collocati in orbite vicine alla rispettiva stella: praticamente in tutti i casi hanno orbite più piccole di quella di Marte, ed in metà dei casi addirittura più piccola dell'orbita di Mercurio. Queste osservazioni sono inspiegabili secondo le teorie tradizionali.

La teorica "classica" della formazione di un sistema solare contempla l'esistenza di una nube di gas e polveri, che per l'azione della propria gravità finisce per collassare verso il proprio centro, dando origine (per ragioni di tipo energetico) ad una struttura discoidale estesa per quasi 200 U.A. in raggio; la fase iniziale è la fase più turbolenta, quella in cui s'innescano le reazioni nucleari della stella ed essa emette intensissimi getti di gas dai poli (oggetti di questo tipo vengono chiamati di Herbig-Haro). Lentamente nel disco si sviluppano dei nuclei di accrescimento, presso i quali la materia si raccoglie con composizione dipendente da parametri quali temperatura e intensità del vento solare generato dalla stella. Secondo questo modello, è pressoché impossibile che nelle zone centrali del disco possano formarsi giganti gassosi, sia a causa del vento solare, inizialmente fortissimo ed in grado di spazzare completamente i gas, sia a causa della elevata temperatura, che conferendo alle particelle gassose una grande agitazione termica vincerebbe la forza di gravità esercitata dal protopianeta, e tenderebbe piuttosto a disperderle. All'epoca di un miliardo di anni il sistema planetario dovrebbe essersi quasi completamente formato, e la stella entrerebbe nella fase della sequenza principale nel diagramma H-R.

Le soluzioni proposte per le osservazioni ottenute sono di due tipi.

La prima propone di identificare nella dinamica interna del disco il principale responsabile delle orbite osservate. Il forte vento solare generato nelle fasi iniziali arriverebbe a

generare un anello vuoto nella zona prossima alla stella, relegando la materia densa all'esterno; l'interazione reciproca tra polveri e pianeta finirebbe per spingere quest'ultimo in una zona più interna, facendogli raggiungere una orbita stabile solo a brevi distanze dalla stella.

Più precisamente, nella zona immediatamente successiva all'"anello vuoto" si assisterebbe ad un trasferimento di momento angolare tra il pianeta e il disco di polveri, dovuto all'interazione gravitazionale reciproca. A quel punto il pianeta, privato di parte della componente radiale del suo moto decadrebbe in orbite più interne spiralandolo, finché l'intensa interazione mareale tra pianeta e stella diventerebbe sufficiente a frenare la caduta e ad invertire, in tempi però lunghissimi, il moto del pianeta, facendolo lentamente allontanare. E' un fenomeno identico all'interazione Terra-Luna, grazie al quale la Luna è arrivata a volgere praticamente sempre la stessa metà alla superficie della Terra (sincronizzando il periodo di rotazione a quello di rivoluzione) e si sta lentamente allontanando dal baricentro del sistema.

La seconda contempla il fenomeno dei cosiddetti "Giovi Saltellanti". In pratica da considerazioni matematiche si evince che è impossibile la convivenza di pianeti giganti collocati a distanze ravvicinate (2-3 U.A.): l'instabilità dinamica derivante finirebbe per espellerne uno dal sistema planetario, farne decadere uno in un'orbita interna e lasciare l'ultimo a grande distanza dalla stella.

Entrambe le teorie presentano dei punti deboli: la prima non spiega l'esistenza di pianeti giganti in orbite esterne, impone la formazione dei pianeti contemporaneamente alla nascita della stella (che invece avviene molto prima) e pone delle restrizioni sul numero dei protopianeti possibili; la seconda non spiega con precisione l'esistenza di pianeti giganti *molto* vicini alla stella, ma è nel complesso la più promettente.

Stando così le cose, bisogna concludere che Giove e Saturno rappresentano soltanto un caso particolare, e che il fatto che nel nostro sistema i pianeti interni non siano gassosi è un'eccezione. Però sembra a tutti gli effetti un'eccezione fondamentale per la vita. Ovviamente non sappiamo che qualche forma di vita esiste negli esopianeti scoperti, ma stando alle moderne conoscenze di esobiologia è particolarmente difficile che si sviluppi la vita in pianeti non forniti di distese acquose o di bacini liquidi in genere. Un pianeta gigante immesso nelle orbite interne catturerebbe rapidamente gli altri pianeti di tipo terrestre o più piccoli, o finirebbe per disgregarli per l'azione delle forze mareali. Dunque l'eccezione del nostro sistema solare potrebbe essere l'unica compatibile col fenomeno della vita come la conosciamo, ma si resta ovviamente nel campo delle ipotesi (e ci rimarremo a lungo).

Franco Vazza

### Pianeti solari

| pianeta  | per.orbitale<br>(giorni) | eccentricità | massa<br>(in gioviani) | semiasse<br>(in U.A.) |
|----------|--------------------------|--------------|------------------------|-----------------------|
| Mercurio | 88,02                    | 0,21         | 0,0002                 | 0,39                  |
| Venere   | 224,62                   | 0,01         | 0,0026                 | 0,72                  |
| Terra    | 365,25                   | 0,02         | 0,0031                 | 1,00                  |
| Marte    | 687,03                   | 0,09         | 0,0003                 | 1,52                  |
| Giove    | 4335,15                  | 0,05         | 1,0000                 | 5,20                  |
| Saturno  | 10821,63                 | 0,06         | 0,2993                 | 9,57                  |
| Urano    | 30923,89                 | 0,05         | 0,0458                 | 19,28                 |
| Nettuno  | 60079,97                 | 0,01         | 0,0541                 | 30,14                 |

|         |          |      |          |       |
|---------|----------|------|----------|-------|
| Plutone | 91991,86 | 0,26 | 0,000003 | 39,88 |
|---------|----------|------|----------|-------|

### Pianeti extrasolari

| stella     | distanza<br>(anni-luce) | massa stella<br>(in soli) | periodo orbitale<br>(in giorni) | eccentricità | massa pianeta<br>(in Giovi) | semiasse maggiore<br>(in U.A.) |
|------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 47 UMa     | 46                      | 1,1                       | 1,10                            | 0,03         | 2,4                         | 2,1                            |
| 16 Cyg B   | 72                      | 1,0                       | 802,00                          | 0,57         | 1,7                         | 1,7                            |
| 70 Vir     | 59                      | 0,9                       | 116,60                          | 0,40         | 6,8                         | 0,5                            |
| HD 114762  | 90                      | 1,1                       | 83,93                           | 0,34         | 11,6                        | 0,4                            |
| Rho CrB    | 57                      | 1,0                       | 39,65                           | 0,04         | 1,1                         | 0,2                            |
| Rho Cnc    | 44                      | 0,8                       | 14,64                           | 0,03         | 0,9                         | 0,1                            |
| Ups. And*  | 44                      | 1,2                       | 4,61                            | 0,10         | 0,7                         | 0,1                            |
| 51 Peg     | 50                      | 1,0                       | 4,23                            | 0,01         | 0,4                         | 0,1                            |
| Tau Boo    | 49                      | 1,2                       | 3,31                            | 0,01         | 3,7                         | 0,1                            |
| 14 Her     | 55                      | 0,8                       | 1619,00                         | 0,35         | 2,5                         | 3,3                            |
| Gliese 876 | 15                      | 0,3                       | 60,54                           | 0,27         | 2,1                         | 0,2                            |

\*= per la Upsilon Andromedae sono state trovate recentemente delle evidenze che sembrerebbero rivelare l'esistenza di altri due pianeti, di taglia minore (0,7 e 0,4 masse gioviane), con due orbite lontane ed estremamente eccentriche. Si attendono ancora conferme in merito.