

## Sezione

## Il Sistema Solare

## Testo Parte I

Argomenti trattati



- Introduzione al Sistema Solare
  - Origine del Sistema Solare
  - Un approccio storico ai pianeti del Sistema Solare
  - Il sistema geocentrico
  - Il sistema eliocentrico
  - I moti planetari
  - Le leggi del moto dei planetari (cinematica)
- Le leggi del moto dei pianeti (dinamica)
  - La meccanica celeste
  - Il moto dei pianeti-calcolo delle orbite
  - La legge di Titius-Bode
  - Una visita ai pianeti del Sistema Solare

## ***Introduzione al Sistema Solare***



Solo fino a pochi decenni fa i pianeti del Sistema Solare, e le loro lune, erano oggetti distanti e poco noti che erano osservati attraverso le lenti dei telescopi. Oggi invece gli altri "mondi" del Sistema Solare sono conosciuti quasi come il nostro pianeta ed il merito di tutto questo è della lunga serie di esplorazioni che le sonde spaziali hanno effettuato quasi interamente nel Sistema Solare. La grande quantità di dati e di immagini raccolte, unita al progredire della tecnologia impiegata nella costruzione delle sonde spaziali, ha allargato enormemente gli orizzonti della "Planetologia".

Innumerevoli sono state le informazioni raccolte sulla struttura, le caratteristiche fisiche ed orbitali dei pianeti e delle loro lune. In questa sezione cercheremo di riassumere il meglio delle conoscenze attuali sul Sistema Solare, dando anche un breve panorama introduttivo dello sviluppo storico di tali conoscenze astronomiche.

### **● *Immagini***

- Una vista della [Via Lattea](#), nella banda visibile, mostra l'intero cielo osservabile proiettato su di mappa bidimensionale. Il centro della Galassia è nel centro dell'immagine. Questa immagine mette in evidenza che la Galassia è un disco di forma appiattita. La presenza di polvere però ne impedisce la visione completa ed, in particolare, quella del centro galattico. *Cortesia dell'Osservatorio Lund.*
- [La nostra Galassia](#) cioè la "Via Lattea". Questa immagine è stata ricavata dalle composizioni di diverse osservazioni del COBE (Cosmic Background Explorer's) ottenute nell'infrarosso da 1,2 a 3,4 micron. Il polo nord galattico è in alto mentre il polo sud galattico sta in basso. Nell'immagine si può osservare anche il centro della Galassia che, pur coperto dalle polveri nella banda visibile, risulta ad esse trasparente nell'infrarosso. *Cortesia NASA.*
- [La galassia di Andromeda](#). La galassia M31 è lontana 2.3 milioni di anni luce ed è la più grande del "Gruppo Locale". Può essere vista anche ad occhio nudo ed ha le dimensioni apparenti dell'intero disco lunare ed è una galassia gigante di forma "a spirale". *Cortesia Jason Ware.*
- [Rappresentazione \(quasi in scala\) dei pianeti interni](#). *Copyright @ Calvin J. Hamilton.*
- [Rappresentazione \(quasi in scala\) dei pianeti esterni](#). *Copyright @ Calvin J. Hamilton.*
- [Le orbite dei pianeti interni](#) *Copyright @ Calvin J. Hamilton.*
- [Le orbite dei pianeti esterni](#) *Copyright @ Calvin J. Hamilton.*

## Iperastro- Il Sistema Solare-Parte I

- [I dintorni del Sistema Solare](#)
- [La "famiglia" dei pianeti](#) del Sistema Solare visti dal Voyager 2. *Cortesia NASA/JPL.*

## Origine del Sistema Solare

### • La Nube Proto-Planetaria

Il Sistema Solare nasce circa 4.6 miliardi di anni fa dalla contrazione di una nube molecolare di polvere e gas. Quando il nucleo di questa nube fu abbastanza denso la gravità causò il collasso delle sue parti più interne.

La rotazione della nube produsse il confinamento del materiale gassoso formando un disco nebulare mentre nell'interno di questo disco si produsse ulteriore accumulo di materiale andando ad aumentare la massa del *Protosole*. Il riscaldamento interno intrappolò i gas determinando la formazione di un *Protosole* ed innescando, nel suo interno, le reazioni termonucleari.

La parte più interna della nebulosa primordiale contribuì al riscaldamento del *Protosole* mentre in quella più esterna e distante si accumulava il materiale che andrà poi a formare il *Sistema Planetario*.

La *Nube Primordiale* era costituita da grani di polvere contenenti carbonio solido, silicati, metalli e materiale volatile come acqua, anidride carbonica, metano ed ammoniaca. Queste particelle si condensarono in formazioni rocciose od in nuclei di ghiaccio formando Asteroidi e Comete. Dal momento che questi aggregati planetesimali (*planetesimi*) si condensarono a distanze diverse dalla luce e dal calore del Sole ecco che ne risultò differente la composizione dei *pianeti*.

La formazione del Sistema Solare verrà approfondita in una pagina successiva.

## Un approccio storico ai pianeti del Sistema Solare



I pianeti propriamente detti sono facilmente riconoscibili sulla volta celeste in quanto sono tra i più brillanti dei corpi celesti e, cosa che ne facilita il riconoscimento, si trovano sempre in una delle costellazioni dello Zodiaco.

Già gli antichi osservarono come il moto di Mercurio e Venere, rispetto al Sole, avviene lungo una direzione comune, nella fascia dello Zodiaco, quella della Eclittica, ma ora con moto *diretto*, ora con moto *retrogrado*. Essi cercarono quindi di produrre un comune modello interpretativo così da ridurre la complessità dei moti apparenti ad uno schema il più semplice possibile.

Lo studio del cielo ad occhio nudo dei moti apparenti dei pianeti tra le stelle portò alla definizione di *modelli* riguardanti la interpretazione dei moti planetari. Più in generale si

## ***Iperastro- Il Sistema Solare-Parte I***

definirono, regole, principi e schemi mentali ben determinati per dare una spiegazione ai fenomeni osservati nell'Universo allora conosciuto; in questo consiste la costruzione di un *modello teorico* esemplificativo dei moti dei pianeti.

Per gli antichi Sole, Luna, Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno venivano accomunati sotto la denominazione di *pianeti* per il fatto che *errano* sulla sfera celeste tra le stelle *fisse*. Il fatto che rimangano sempre nella fascia dello Zodiaco è tutto ciò che questi sette corpi celesti hanno in comune; molteplici sono le caratteristiche che, invece, li differenziano.

Il Sole e la Luna si muovono sull'eclittica nel verso diretto con velocità non uniforme rispetto alle stelle, la Luna più velocemente e meno regolarmente del Sole. I pianeti propriamente detti, Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno si spostano tra le stelle ora in verso diretto, ora in verso retrogrado. I periodi per compiere un ciclo completo sono diversi per ciascuno dei cinque corpi celesti, così come differisce il numero delle *retrogradazioni*, o *retrocessioni*, che ciascun pianeta compie per ogni ciclo.

Le domande che nell'antichità ci si poneva erano: perché i "pianeti", con esclusione del Sole e della Luna, retrocedono ? Come si possono ridurre i moti planetari, così variabili e complessi, ad uno schema semplice e ricorrente ? Ossia qual è la macchina celeste che con il suo funzionamento fa sì che un osservatore al centro della sfera celeste osservi i moti planetari nel modo in cui appaiono ? Per rispondere a queste domande bisognava formulare delle ipotesi, costruire dei *modelli* del mondo che rendessero conto, per quanto possibile, di tutte le apparenze.



**Si formularono allora diversi schemi interpretativi:**

**Il sistema geocentrico (Tolemaico)**

**Il sistema eliocentrico (Copernicano)**

**Che trovarono il loro naturale ambito interpretativo nel contesto della meccanica celeste secondo :**

**lo studio del moto dei pianeti (cinematica) - le leggi di Keplero**

**e del moto dei pianeti (dinamica) - Newton e la gravitazione universale**

## Il sistema geocentrico



Tolomeo 85 D.C. 165 D.C.

### •L'ipotesi geocentrica ed il sistema tolemaico

Non era difficile spiegare il moto diurno della sfera celeste. Bastava supporre che tutto il firmamento: stelle, Sole, Luna e gli altri corpi celesti, fossero portati intorno alla Terra da una sfera cristallina, mobile di moto uniforme ed impernata ai poli celesti. Ciò era pienamente conforme a quanto si osservava. Per spiegare *il moto dei pianeti* Ipparco propose un sistema del mondo che venne completato ed esposto più tardi, nel secondo secolo d.C., dall'astronomo alessandrino Claudio Tolomeo nell'opera tradotta e tramandata dagli arabi col nome di *Almagesto*. Alla base di questo sistema sta il principio della circolarità ed uniformità dei moti celesti, uno dei cardini delle concezioni aristoteliche. Il modello mentale era quello, per dirla con Platone, di *subordinare le leggi fisiche a principi divini e trascendenti, salvando i fatti*, cioè di ricondurre le *apparenze*, costituite dalle vistose irregolarità dei moti planetari, alla *realtà* di un moto che si supponeva *dover essere* circolare ed uniforme, in quanto perfetto, senza inizio e senza fine. Nella concezione tolemaica la Terra sta al centro del mondo ed attorno ad essa ruota la sfera celeste con la Luna, il Sole e le stelle *fisse*.

Per spiegare il moto di Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno; le elongazioni massime e le retrogradazioni per i primi due; le stazioni e retrogradazioni per gli altri, si suppose che essi si muovessero di *moto uniforme* su circonferenze, dette **epicicli**, i cui centri si muovevano, sempre di *moto uniforme*, su altre circonferenze di diametro maggiore, chiamati **deferenti**. *La rappresentazione geometrica* che ne deriva è convincente. Nel momento in cui nuove osservazioni introducevano nuovi fatti da spiegare, l'aggiunta di uno o più epicicli sugli epicicli precedenti risolveva i problemi.

Anche la Luna ed il Sole si supponeva che si muovessero su circonferenze attorno alla Terra, ma senza epicicli mancando questi due corpi di stazioni e retrogradazioni; l'unico dato da spiegare era la non uniformità del moto sulla loro traiettoria apparente sulla sfera celeste. Anche questo fatto veniva spiegato con un'opportuna rappresentazione geometrica.

Anche se del tutto privo di senso fisico, il sistema tolemaico, *geocentrico*, costituiva una grandiosa costruzione geometrica, capace di rappresentare in modo completo, *particolareggiato ed anche quantitativo*, tutti gli aspetti del cielo e di prevedere il corso di quei corpi celesti denominati *pianeti*. Il metodo tolemaico era, comunque, estremamente complicato: erano necessari, in qualche caso, fino a 33 epicicli su epicicli per descrivere le più piccole *irregolarità* osservate nel moto dei *pianeti*.

## Iperastro- Il Sistema Solare-Parte I

### **Il sistema eliocentrico**



#### ● **L'ipotesi eliocentrica e la rivoluzione copernicana**

Nel contesto delle certezze assolute presenti nel sistema tolemaico ed in un clima culturale particolare, apparve nel 1543 il *De Revolutionibus Orbium Coelestium* di Nicolò Copernico (1473-1543), nel quale veniva introdotto **il sistema eliocentrico**. Tale ipotesi era stata, per la verità, già formulata nel passato da Aristarco di Samo, ma i tempi non erano ancora maturi per accoglierla.

Copernico pose il Sole al centro dell'Universo ed i pianeti Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove e Saturno, in ordine di distanza crescente, che compiono **rivoluzioni** intorno al Sole su orbite circolari. La Terra, inoltre, viene dotata di un movimento di **rotazione** su se stessa in senso antiorario, in modo da spiegare l'apparente rotazione diurna della sfera celeste nel verso orario. La Luna, infine, viene dotata di un moto di rivoluzione intorno alla Terra, il che spiega le fasi lunari.

Già dalla *descrizione qualitativa*, con il disegno, la concezione copernicana ha il grande vantaggio di una maggiore semplicità rispetto a quella tolemaica.

Da un punto di vista *quantitativo*, con l'ausilio di precisi calcoli matematici, la nuova ipotesi si concilia con le osservazioni e permette di rendere conto di tutte le *apparenze* meglio ancora del sistema tolemaico ed in maniera assai più semplice. In base alle schema copernicano è possibile separare i pianeti che orbitano tra la fascia degli Asteroidi ed Sole da quelli oltre la fascia degli Asteroidi. Si distinsero quindi i corpi del Sistema Solare in *pianeti inferiori* e *pianeti superiori*.

#### ● **I pianeti inferiori**

Vennero identificati in Mercurio, Venere, Terra e Marte che presentano, a parte Marte, fasi analoghe a quelle. Questa osservazione, delle fasi di Venere, effettuata da Galileo Galilei (1564-1642) nel XVII secolo, fu determinante per la verifica del sistema copernicano. In particolare Galileo scoprì non solo che Venere presentava delle fasi, ma anche che variava il suo diametro apparente (da 9.9" a 64.5") in funzione del passaggio dalla *coniunzione inferiore* (il punto di minima distanza dalla Terra) alla *coniunzione superiore* (il punto di massima distanza dalla Terra). Marte, incluso tra i pianeti interni, risulta più vicino a noi quando si trova in opposizione mentre in *coniunzione* si trova più vicino al Sole. Le fasi di Marte, a differenza della Luna e degli altri pianeti interni, non si estendono invece in tutto l'intervallo da "pieno" a "nuovo" il che dipende dal fatto che si trova oltre l'orbita terrestre.

#### ● **Pianeti superiori**

Sono invece quelli più esterni; Giove e Saturno a non presentare fasi. Fondamentale per la completa verifica della teoria eliocentrica fu la scoperta, sempre effettuata da Galileo con il cannocchiale da lui costruito, dei satelliti, detti appunto galileiani, di Giove. Il trovare attorno al pianeta più grande del Sistema Solare una serie di quattro pianetini che vi orbitavano intorno, poneva in evidenza la esistenza di un Sistema Solare in miniatura rendendo così inutile ed obsoleta la idea della "centralità" della Terra.

## Iperastro- Il Sistema Solare-Parte I

### *I moti planetari*



La concezione copernicana offre una più accettabile visione fisica ed abolisce il privilegio di centralità conferito alla Terra. Discriminare tra le due concezioni, quella geocentrica e quella eliocentrica, può essere fatto solo compiendo accurate osservazioni delle posizioni dei pianeti, del Sole e della Luna ed elaborando i risultati con animo scevro da pregiudizi; anche a costo di rivedere dalle fondamenta le idee correnti sulla fisica. In questo programma di lavoro spiccano i nomi di Giovanni Keplero (1571-1630), Galileo Galilei (1564-1642) e di Isacco Newton (1642-1727). Scrive Thomas Khun (*La Rivoluzione Copernicana*, Einaudi, 1972) che "il *De Revolutionibus* costituì la miccia di una rivoluzione che esso aveva a mala pena delineato. È un testo che provoca una rivoluzione più che un testo rivoluzionario".

#### ● *Le leggi di Keplero*

La prima ed importante verifica della validità dell'ipotesi copernicana venne da Keplero che poté utilizzare osservazioni di Marte molto precise fatte dal suo maestro Tycho Brahe (1546-1601). Dopo vari tentativi, fatti nel corso di dieci anni di lavoro, Keplero pervenne in modo empirico alla formulazione delle tre leggi che portano il suo nome:



#### **I legge di Keplero:**

*i pianeti descrivono intorno al Sole delle orbite ellittiche, di cui il Sole occupa uno dei fuochi.*



#### **II legge di Keplero:**

*le aree descritte dal raggio vettore di ciascun pianeta sono proporzionali ai tempi impiegati a descriverle; ossia, il raggio vettore di un pianeta descrive aree uguali in tempi uguali*



#### **III legge di Keplero:**

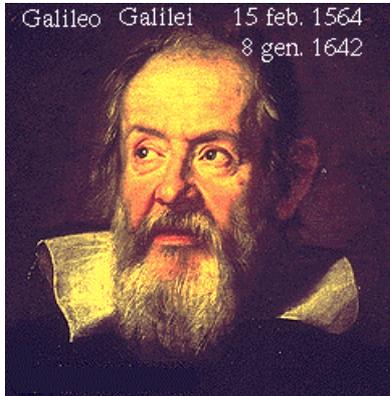
*i quadrati dei tempi di rivoluzione dei pianeti intorno al Sole sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori delle rispettive orbite.*

Analiticamente la terza legge di Keplero si scrive:  $P^2 = k a^3$  in cui  $P$  indica il periodo di rivoluzione del pianeta;  $a$  il semiasse maggiore della sua orbita intorno al Sole;  $k$  una costante di proporzionalità dipendente dalle unità di misura adottate. Se i periodi di rivoluzione si misurano in anni ed i semiassi maggiori delle orbite planetarie in unità del semiasse maggiore dell'orbita terrestre, si ha  $k = 1$ . Per una delle proprietà dell'ellisse, il semiasse maggiore è la media aritmetica delle distanze minima e massima, ossia la distanza media, di un punto dell'ellisse da uno dei fuochi. Nel caso dell'orbita terrestre, quindi, il semiasse maggiore è la

## Iperastro- Il Sistema Solare-Parte I

distanza media della Terra dal Sole e prende il nome di **Unità Astronomica** (U.A.).

### *Le leggi del moto dei pianeti- (Cinematica)*



Dalla terza legge di Keplero  $P^2 = k a^3$  (*approfondimento delle leggi di Keplero*), diventa allora possibile calcolare la distanza di un pianeta dal Sole, sconosciuta nell'astronomia tolemaica, prendendo come unità di misura l'Unità Astronomica determinato che sia il periodo di rivoluzione  $P$  in anni. La terza legge di Keplero disegna, per così dire, la "mappa" del Sistema Solare, la scala della quale diventa nota quando si determini in unità di lunghezza (ad esempio, chilometri) l'Unità Astronomica stessa.

In Unità Astronomiche (U.A.) le distanze medie dal Sole dei pianeti visibili ad occhio nudo risultano: Mercurio, **0.39 U.A.**; Venere, **0.72 U.A.**; Terra, **1 U.A.**; Marte, **1.52 U.A.**; Giove, **5.20 U.A.**; Saturno, **9.54 U.A.**

Galileo Galilei, copernicano convinto, stabilì i principi di due nuove scienze, la **cinematica** e la **dinamica**, enunciando tra l'altro il principio di inerzia e la relatività del moto e preparando il terreno su cui si sarebbe poi mosso il suo grande successore, Isacco Newton. Con l'uso del cannocchiale da poco inventato, il 7 gennaio 1610 Galileo poté constatare, con i suoi occhi, che Giove era accompagnato da quattro satelliti ( *i satelliti medicei* ) che gli giravano intorno come la Luna alla Terra ed i pianeti al Sole. Osservò inoltre per la prima volta che Venere, come la Luna, mostrava le fasi, dimostrando inequivocabilmente che Venere si trova tra la Terra ed il Sole. La Teoria Copernicana aveva così una clamorosa conferma: si dimostrava con l'osservazione che la Terra non era l'unico centro di ogni moto celeste. La pubblicazione del *Dialogo sopra i due Massimi Sistemi* in lingua italiana contribuì alla diffusione della concezione eliocentrica presso un pubblico sempre più vasto.

### **1<sup>a</sup> legge di Keplero**

Keplero, sicuro della precisione delle osservazioni di Marte ottenute da Tycho Brahe, fu in grado, all'inizio del 17<sup>mo</sup> secolo, di calcolare prima l'orbita della Terra e poi quella di Marte. L'analisi dei risultati gli permise di enunciare le tre leggi fondamentali che regolano il moto dei pianeti:

Le orbite descritte dai pianeti del Sistema Solare sono ellissi di piccola eccentricità, in prima approssimazione assimilabili a circonferenze.

*Con questa legge cade il principio della circolarità dei moti planetari. Inoltre le orbite descritte dai pianeti acquistano identità fisica rispetto alle circonferenze tolemaiche, enti puramente geometrici.*

## **Iperastro- Il Sistema Solare-Parte I**

### **2<sup>a</sup> legge di Keplero**

Il rapporto tra l'area coperta dal raggio vettore e tempo necessario a coprirlo viene detto **velocità areolare**. Come conseguenza un pianeta si muove più velocemente quando è più vicino al Sole ( **perielio** ) e più lentamente quando è più lontano ( **afelio** ).

*Questa legge segna la caduta del principio della uniformità dei moti planetari.*

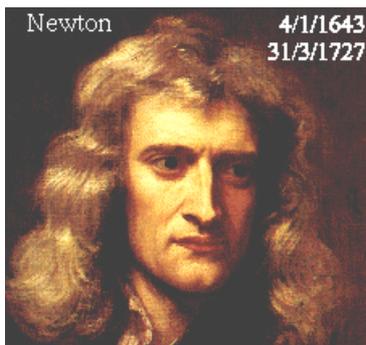
### **3<sup>a</sup> legge di Keplero**

Nella formula  $K$  è una costante di proporzionalità. Ne segue che la velocità media di un pianeta sulla propria orbita è tanto minore quanto più esso è lontano dal Sole. Questa formulazione della 3<sup>a</sup> legge non è del tutto esatta, ma è un'ottima approssimazione nel caso dei pianeti.

Prendendo come unità di misura l'Unità Astronomica, cioè la distanza media Terra-Sole (U.A. = 149,6 milioni di chilometri), la costante  $K$  diventa uguale a 1. Noto il periodo di rivoluzione  $P$  si può conoscere il semiasse maggiore dell'orbita e quindi disegnare in scala il Sistema Solare.

*La 3<sup>a</sup> legge permette di disegnare esattamente la pianta del Sistema Solare.*

## **Le leggi del moto dei pianeti- (Dinamica)**



Le leggi di Keplero descrivono compiutamente i moti dei pianeti, ma non ne risalgono alle cause. Perché i pianeti ruotano intorno al Sole, anziché allontanarsene in linea retta? Perché un corpo qualsiasi, lasciato cadere, precipita al suolo, ma questo non accade ai pianeti, Terra compresa, che non precipitano sul Sole?

I gravi in caduta libera con moto accelerato, i pianeti costretti a muoversi intorno al Sole e la Luna intorno alla Terra, provano l'esistenza di forze centrali che deviano i corpi materiali dalla condizione di moto rettilineo uniforme. Isacco Newton avanzò l'ipotesi che questa forza fosse unica, di **gravitazione universale**, ossia che la stessa forza che provoca la caduta dei gravi fosse quella che costringe la Luna a percorrere un'orbita chiusa intorno alla Terra ed i pianeti a descrivere le orbite ellittiche intorno al Sole.

### **● La legge di gravitazione universale**

Nel 1684 Newton fu in grado di enunciare la *legge di gravitazione universale* :

## Iperastro- Il Sistema Solare-Parte I



due punti materiali qualsiasi si attraggono lungo la loro congiungente con una forza direttamente proporzionale al prodotto delle loro masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza.

In formula, dette  $m_1$  ed  $m_2$  le masse dei due corpi,  $d$  la loro distanza ed  $F$  la forza agente, si ha:

$$F = G ( m_1 m_2 ) / d^2 ,$$

dove  $G$  è la costante di gravitazione ( $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{Kg}^2$ )

Con l'opera di Newton, i cui risultati furono pubblicati nel 1687 nell'opera *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* giunge a compimento, dopo circa 140 anni la revisione iniziata da Copernico dei modelli interpretativi delle osservazioni ad occhio nudo dei moti apparenti dei pianeti. Alla visione del mondo che salva la realtà metafisica, si sostituisce una visione del mondo che descrive la realtà attraverso leggi fisiche, di valore universale, che hanno come banco di prova l'esperimento. La storia ci dice che questo passaggio non fu indolore.



### *La meccanica celeste.*

Le leggi di Newton costituiscono la base su cui si fonda la **meccanica celeste**, la scienza che studia gli effetti delle interazioni gravitazionali tra corpi celesti. Con l'utilizzo della forza di gravitazione universale:

$$F = G(m_1 m_2) / d^2 ,$$

( $m_1$  ed  $m_2$  le masse dei due corpi,  $d$  la loro distanza ed  $F$  la forza agente) e della seconda legge della dinamica di Newton

$$F = m a$$

(attenzione qui  $a$  è l'accelerazione del corpo di massa  $m$  soggetto alla forza  $F$ ) si possono ritrovare ed estendere i risultati empirici di Keplero.

In particolare, la forma delle orbite di un corpo intorno ad un altro risulta essere più in generale una conica, cioè un'ellisse o una parabola o un ramo di iperbole a seconda delle condizioni iniziali per la posizione e la velocità. Più precisamente, i due corpi descrivono una conica intorno al baricentro comune; se tuttavia uno dei due corpi è molto più massiccio dell'altro, il baricentro coincide in pratica con esso e quindi si può parlare di moto di un corpo intorno all'altro. Questo è ciò che si verifica nel Sistema Solare, nel quale il Sole ha una massa migliaia di volte maggiore di quella dei pianeti. Viene quindi verificata la prima legge di Keplero.

La terza legge di Keplero viene precisata da Newton nella forma:

$$P^2 (m_1 + m_2) = K a^3$$

con  $a$  che rappresenta il **semiasse maggiore dell'orbita** e

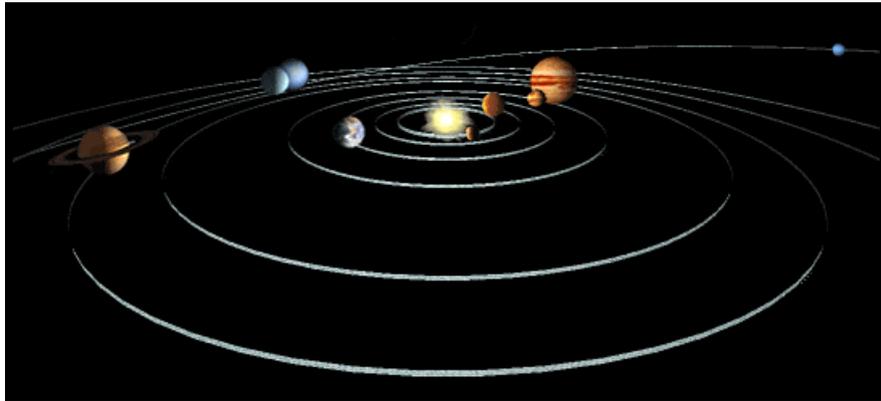
## ***Iperastro- Il Sistema Solare-Parte I***

$$K=4 \pi^2 /G$$

assumendo con  $m_1$  la massa di un pianeta e con  $m_2$  quella del Sole .

Nel Sistema Solare la somma delle due masse si considera praticamente uguale alla sola massa solare data la relativa piccola massa dei pianeti, quindi una costante. Nel caso di sistemi binari di stelle (stelle doppie ) nei quali le masse stellari possono essere dello stesso ordine di grandezza, la terza legge di Keplero va utilizzata nella forma generalizzata da Newton.

I pianeti compiono orbite ellittiche intorno al Sole, seguendo le tre leggi di Keplero. La causa è la forza di gravitazione universale scoperta da Newton.



### ***Il moto dei pianeti-calcolo delle orbite.***

Quando si studia la meccanica del Sistema Solare, i corpi che ruotano attorno al Sole sono considerati punti geometrici dotati di massa.

Le orbite sono definite quando siano noti parametri fondamentali:

1. il piano dell'orbita, rispetto ad un opportuno sistema di riferimento spaziale
2. l'orientazione dell'orbita su questo piano
3. la forma dell'orbita
4. i parametri del moto del pianeta (elementi orbitali)

I quattro punti elencati sopra possono essere descritti con maggiori dettagli.

Una delle più brillanti acquisizioni della meccanica celeste fu la scoperta del pianeta Nettuno, a partire dallo studio delle perturbazioni dell'orbita del pianeta Urano, scoperto per puro caso nel 1781 da [Herschel](#). Risalire dalle perturbazioni all'orbita del pianeta era un problema matematico molto difficile, che fu risolto simultaneamente dal francese [Le Verrier](#) e dall'inglese Adams. Il 23 settembre 1846 l'astronomo tedesco Galle ha trovato il nuovo pianeta, Nettuno appunto, a solo circa  $1^\circ$  di distanza dalla posizione indicatagli da Le Verrier. La scoperta di Nettuno è stata il trionfo della legge di gravitazione di Newton. Inoltre, proprio basandosi sulla legge di Newton, Halley poté predire il ritorno che avvenne nel 1758 della famosa cometa che reca il suo nome e dimostrare che il suo periodo orbitale era di 76 anni.

## Iperastro- Il Sistema Solare-Parte I

### **La legge di Titius - Bode.**

Il termine "legge di Titius - Bode" viene usato per indicare una relazione empirica che definisce in modo approssimato le distanze medie dei pianeti dal Sole espressa in Unità Astronomiche (U.A.).

La legge, benché fosse stata scoperta nel 1741 dall'astronomo tedesco Wolf e riscoperta dal compatriota Johann Titius nel 1772, è nota soprattutto per l'opera di divulgazione di Johann Bode, che, nel 1778, ne ha dato anche una formulazione matematica precisa.

Secondo questa legge, le distanze dei pianeti dal Sole, in U.A., si trovano dalla serie 0- 3- 6- 12- 24- 48- 96- ..., in cui ogni numero, a partire dal terzo, è il doppio del precedente; aggiungendo 4 ad ogni numero e dividendo il risultato per 10 si ottiene 0.4- 0.7- 1- 1.6- 2.8- 5.2- 10- 19.6- ... Matematicamente, la serie precedente si esprime con la relazione:

$$d = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n$$

dove n è un numero che vale meno infinito per Mercurio, 0 per Venere, 1 per la Terra, 2 per Marte e così via. Le distanze vere dei pianeti, sono ben approssimate fino ad Urano (la differenza tra la legge di Bode e la distanza reale non supera mai il 5 %). Nel caso di Nettuno la differenza supera il 22% e per Plutone è del 49%.

<b>TABELLA</b>			
<b>Pianeta</b>	<b>Distanza dal Sole (x1000 km)</b>	<b>AU</b>	<b>Legge di Titius-Bode</b>
Mercurio	57895	0.387	(0+4)/10=0.4
Venere	108160	0.723	(3+4)/10=0.7
Terra	149600	1	(6+4)/10=1.0
Marte	227990	1.524	(12+4)/10=1.6
Fascia Asteroidi	414392	2.77	(24+4)/10=2.8
Giove	778368	5.203	(48+4)/10=5.2
Saturno	1427034	9.539	(96+4)/10=10.0
Urano	2869328	19.18	(192+4)/10=19.6
Nettuno	4496976	30.06	(398+4)/10=40.2
Plutone	5900224	39.44	(796+4)/10=80.0

Malgrado questa sia una relazione empirica, e cioè senza alcuna base fisica, la legge ha avuto il

## ***Iperastro- Il Sistema Solare-Parte I***

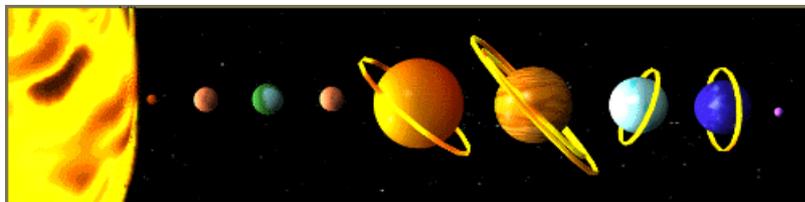
pregio di far sospettare, già nel '700, l'esistenza di un pianeta con  $n=3$  che doveva essere posto tra Marte e Giove. La scoperta di Cerere, un asteroide, da parte di Padre Piazzi, a Palermo, nel 1801, confermò la validità della legge, anche se negli anni successivi si verificò che gli asteroidi sono migliaia, la maggior parte dei quali ha orbite comprese tra quella di Marte e di Giove.

Rimase per molto tempo diffusa tra gli astronomi la convinzione che gli asteroidi siano il risultato della distruzione di un pianeta posto originariamente tra Marte e Giove. In realtà si è ora convinti che i pianetini siano materiale originario di accrescimento, cioè proveniente direttamente dalla nebulosa dalla quale è nato il Sistema Solare, in via (teorica) di accorpamento, che non riuscì mai a dare origine ad un pianeta, a causa della piccola massa complessiva.

Molti autori hanno tentato di spiegare questa relazione tramite dei modelli cosmogonici sperando di utilizzarla come un test di verifica degli stessi modelli. La scoperta di numerosi nuovi satelliti di Giove e Saturno ha permesso di comprendere come questa relazione non si applica a questi che si possono a tutti gli effetti intendere come dei Sistemi Solari su scala più piccola. Inoltre Henon nel 1969 e Lecar nel 1973 hanno mostrato che una distribuzione casuale di numeri potrebbe soddisfare una relazione come quella di Titius-Bode con il solo vincolo che siano abbastanza prossimi l'uno all'altro.

**Ne consegue che questa relazione e' del tutto casuale e non ha quindi nessun "status" di legge.**

## ***Una visita ai pianeti del Sistema Solare***



### **● I pianeti interni**



I **pianeti interni** più vicini al Sole (quelli "Terrestri") si formarono una struttura "rocciosa" mentre quelli più lontani, i pianeti esterni, dal Sole con una struttura maggiormente "gassosa". Mercurio, Venere, Terra e Marte sono costituiti infatti da un nucleo metallico circondato da uno strato di silicati. Nel passato tutti e

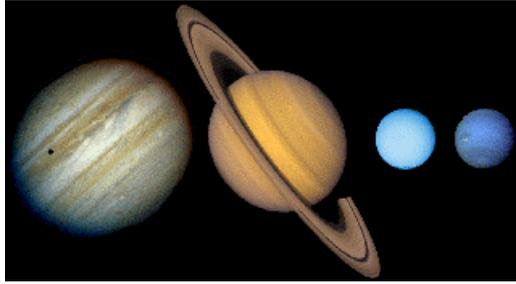
quattro furono modificati dall'attività vulcanica e tettonica mentre gli altri pianeti risentirono principalmente dell'impatto delle meteoriti. Oggi solo la Terra è tettonicamente attiva anche se gas prodotti dai vulcani formarono le atmosfere di Venere e di Marte.

### **● La fascia degli asteroidi**

I **pianeti esterni** sono separati, da quelli interni, dalla cintura degli Asteroidi. Questi frammenti di roccia hanno diametri che variano da alcune migliaia di km a pochi km.

## Iperastro- Il Sistema Solare-Parte I

### ●I pianeti esterni



I quattro pianeti Giganti (Giove, Saturno, Urano e Nettuno ) contengono il 99 % del materiale del Sistema Solare escluso il Sole. Sono degli sferoidi di gas di idrogeno ed elio con miscugli di metano, ammoniaca, ed acqua. Il gas di idrogeno nell'interno di Giove e Saturno condensò in idrogeno liquido alle maggiori profondità.

Tutti e quattro hanno, probabilmente, un nucleo costituito da metalli, silicati ed acqua. Tre dei pianeti Giganti irradiano più calore di quanto ne ricevano dal Sole. Curiosamente solo Urano non presenta questo eccesso di calore.

### ●La fascia esterna del Sistema Solare

Nella parte più esterna del Sistema Solare si trova Plutone con il suo satellite Caronte grande la metà del pianeta principale. Plutone ha una sottile atmosfera di gas metano e, come il suo satellite, è probabilmente costituito di ghiaccio e metano. Le Comete, composte anch'esse principalmente di ghiaccio, orbitano, intrappolate dal campo gravitazionale del Sole, ai limiti del Sistema Solare. Esse percorrono delle orbite "aperte" oppure "chiuse" ritornando periodicamente, in quest'ultimo caso, a passare in prossimità anche dei pianeti.

Sommario dati del Sistema Solare								
----	Dist. In (AU)	Raggio (Terra)	Massa (Terra)	Rotazione (Terra)	Lune	Inclinazione	Eccentricità	Densità (g/cm <sup>3</sup> )
Sole	0	109	332 800	25-36	9	---	---	1.410
Mercurio	0.39	0.38	0.05	58.8	0	7	0.2056	5.43
Venere	0.72	0.95	0.89	244	0	3.394	0.0068	5.25
Terra	1.0	1.00	1.00	1.00	1	0.000	0.0167	5.52
Marte	1.5	0.53	0.11	1.029	2	1.850	0.0934	3.95
Giove	5.2	11	318	0.411	16	1.308	0.0483	1.33
Saturno	9.5	9	95	0.428	18	2.488	0.0560	0.69
Urano	19.2	4	15	0.748	15	0.774	0.0461	1.29
Nettuno	30.1	4	17	0.802	8	1.774	0.0097	1.64
Plutone	39.5	0.18	0.002	0.267	1	17.15	0.2482	2.03