

LA MECCANICA CELESTE E IL SISTEMA SOLARE

La **meccanica celeste** è una disciplina che studia il moto dei corpi celesti, in particolare pianeti, satelliti naturali ed artificiali, asteroidi e comete da un punto di vista fisico-matematico. Il problema principale della meccanica celeste riguarda la stabilità del Sistema Solare. Tale problema si può affrontare attraverso tecniche matematiche, note con il nome di "teoria delle perturbazioni", oppure tramite integrazioni delle equazioni del moto effettuate al computer. Le equazioni del moto planetario vennero ricavate da Johannes Kepler a partire dalla legge di gravitazione universale che Isaac Newton pubblicò nel 1687 nel libro "*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*".

Legge di gravitazione universale

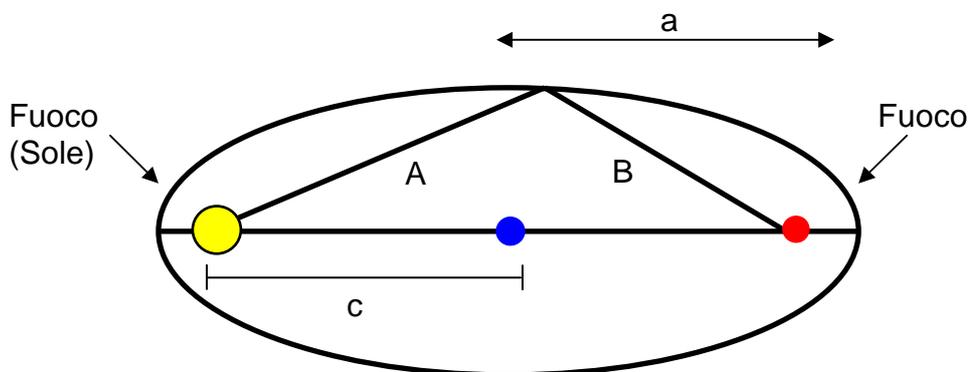
"Qualsiasi oggetto dell'Universo attrae ogni altro oggetto con una forza diretta lungo la linea che congiunge i baricentri dei due oggetti, di intensità direttamente proporzionale al prodotto delle loro masse ed inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza".

Ciò equivale alla seguente formulazione algebrica:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Prima legge di Keplero (1608)

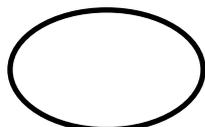
L'orbita descritta da un pianeta è un'ellisse, di cui il Sole occupa uno dei due fuochi.



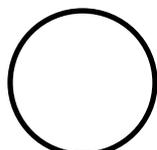
Per un'ellisse, $A+B=\text{costante}$. a è detto semiasse maggiore. Un'ellisse può essere più o meno "schiacciata" in base alla sua eccentricità e . L'eccentricità è il rapporto tra c e a ($e=c/a$). Quindi:



alta eccentricità ($e=0,7$)



eccentricità media ($e=0,3$)

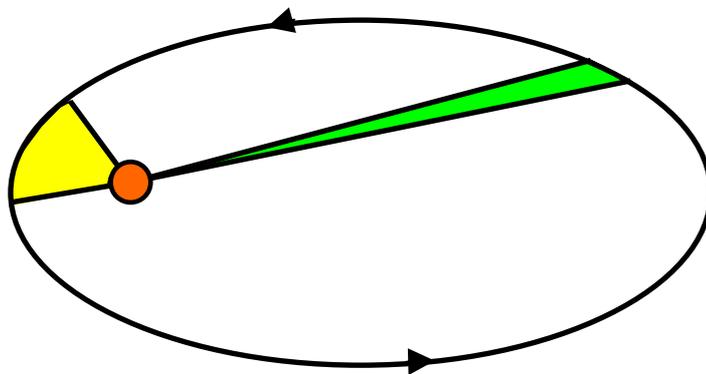


circonferenza, eccentricità=0

I pianeti hanno, solitamente, eccentricità abbastanza piccole (0.0934 per Marte, ad esempio). La distanza dei pianeti dal Sole non è costante, ma varia da un massimo (afelio) ad un minimo (perielio). L'eccentricità dell'orbita della Terra è 0,0167. Questo implica che la distanza della Terra dal Sole, quando siamo più vicini al Sole, è pari a $(1-0,017)$ U.A. = 0,983U.A. Mentre all'afelio, la Terra dista dal Sole $(1+0,017)$ U.A. = 1,017 U.A. In astronomia, l'Unità Astronomica (U.A.) è un'unità di misura circa pari alla distanza media tra il pianeta Terra e il Sole. In realtà il valore dell'unità astronomica è minore di circa 34 km rispetto alla distanza media Terra-Sole. Per le sue dimensioni, l'U.A. viene utilizzata soprattutto per misurare distanze all'interno del Sistema Solare; per misure superiori, intra o extra-galattiche, gli astronomi preferiscono utilizzare l'anno luce o il parsec.

Seconda legge di Keplero (1609) o legge delle aree

Il raggio vettore che unisce il centro del Sole con il centro del pianeta descrive aree uguali in tempi uguali.



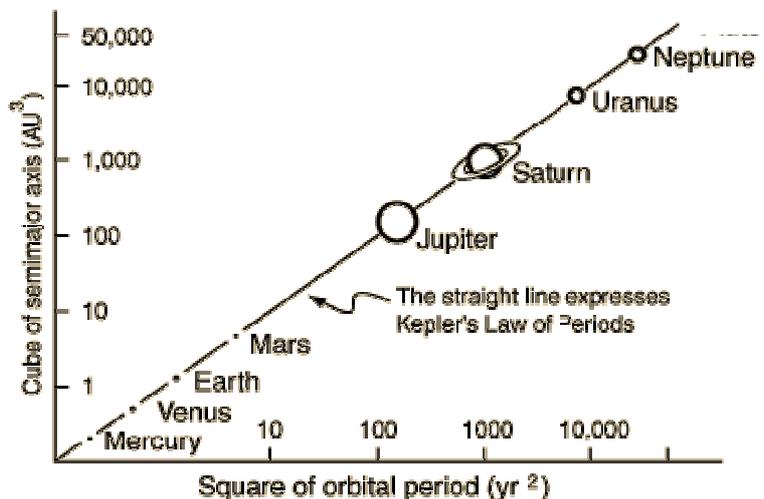
La seconda legge di Keplero implica che un pianeta si muove più velocemente quando si trova vicino al Sole, più lentamente quando si trova lontano da esso.

Terza legge di Keplero (1619)

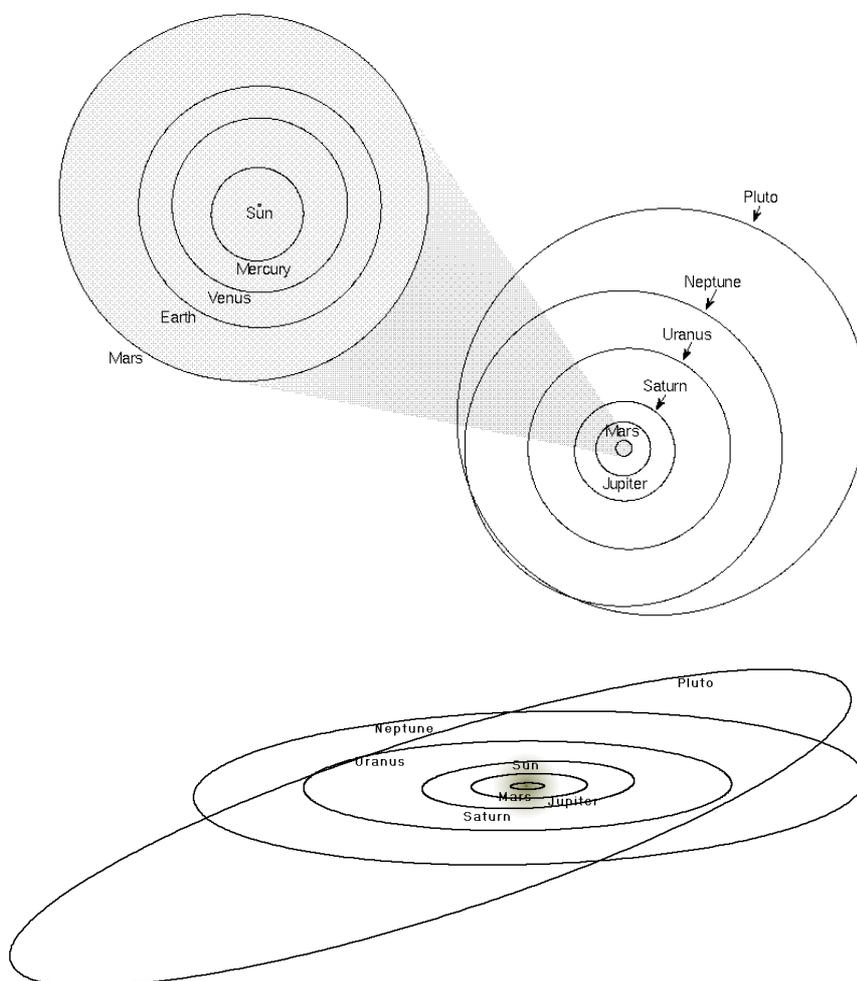
I quadrati dei tempi di rivoluzione attorno al Sole sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori delle orbite.

Questa legge è valida anche per i satelliti che orbitano intorno ai pianeti e può essere espressa in forma matematica nel modo sottostante. Nell'immagine a destra una rappresentazione grafica della legge.

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} a^3$$



I pianeti hanno orbite pressoché circolari, fatta eccezione per Mercurio, che ha un'eccentricità maggiore (0,21).



L'orbita di un pianeta, in realtà, non è definita solo dall'eccentricità e dal semiasse maggiore, perché bisogna conoscere anche il suo orientamento nello spazio (vedi immagine soprastante. Plutone è stato declassato a pianeta nano il 24 Agosto 2006 dall'Unione Astronomica Internazionale). Approssimativamente tutte le orbite giacciono sul piano detto dell'eclittica; l'unico pianeta la cui orbita è inclinata in modo evidente è Mercurio.

Nome	Distanza	Periodo	Inclinazione	Eccentricità	Scopritore	Data
Mercurio	57.910.000 km	87.97 g	7.00 deg	0.21	-	-
Venere	108.200.000 km	224.70 g	3.39 deg	0.01	-	-
Terra	149.600.000 km	365.26 g	0.00 deg	0.02	-	-
Marte	27.940.000 km	686.98 g	1.85 deg	0.09	-	-
Giove	778.330.000 km	11.86 a	1.31 deg	0.05	-	-
Saturno	1.429.400.000 km	29.46 a	2.49 deg	0.06	-	-
Urano	2.870.990.000 km	84.00 a	0.77 deg	0.05	Herschel	1781
Nettuno	4.504.300.000 km	164.80 a	1.77 deg	0.01	Adams	1846

Le leggi di Keplero, in realtà, sono approssimate, perché sono calcolate come se i pianeti non si influenzassero gravitazionalmente l'uno con l'altro. Questi effetti, chiamati **perturbazioni**, sono difficili da calcolare, ma oggi, con l'aiuto del computer, si possono prevedere i moti dei pianeti con un errore di pochi metri. Nettuno, ad esempio, è stato scoperto solo attraverso l'analisi accurata delle sue perturbazioni sul moto orbitale di Urano.

Altri corpi del Sistema Solare seguono orbite di diverso tipo. Gli **asteroidi** sono corpi di dimensioni variabili (da qualche metro fino a 1000 km di diametro) che si trovano ovunque, ma principalmente nella zona tra Marte e Giove, detta *Fascia Principale*. Un'altra zona ricca di questi corpi si trova oltre Nettuno, e si chiama *Fascia di Kuiper*. Gli asteroidi della Fascia Principale hanno orbite generalmente quasi circolari, mentre quelli della Fascia di Kuiper hanno orbite di tutti i tipi. Gli asteroidi che si trovano al di fuori di queste zone hanno spesso orbite molto eccentriche e instabili, a causa dell'attrazione dei pianeti. Un gruppo molto importante di asteroidi sono quelli che si avvicinano alla Terra, tanto da arrivare a distanze simili a quelle della Luna o anche inferiori. Questi sono detti *NEO* (Near Earth Objects).

Le **comete** sono corpi provenienti dalle zone oltre Nettuno, che sono stati immessi in orbite che li portano vicini al Sole. Quando si avvicinano al Sole, il calore fa sublimare gli strati esterni di ghiaccio, formando dei gas che si allontanano formando così la *chioma*. La pressione del vento solare e della radiazione fa allontanare i gas, che formano così la *coda*, che si trova sempre in direzione opposta al Sole. Nel processo vengono espulse anche delle particelle solide, che formano la *coda di polveri*. A causa di questo fenomeno, le comete hanno vita relativamente breve. Ogni volta che si avvicinano al Sole perdono parte della loro riserva di elementi volatili fino ad esaurirla completamente, diventando alla fine asteroidi. Le orbite delle comete sono, in genere, molto eccentriche e, dunque, con periodi orbitali di molte migliaia di anni. In alcuni casi, le perturbazioni gravitazionali sono sufficienti a immettere una cometa su un'orbita iperbolica, che la espelle definitivamente dal Sistema Solare.

