

---

# La legge di Gravitazione universale

---

Galileo - Keplero - Newton

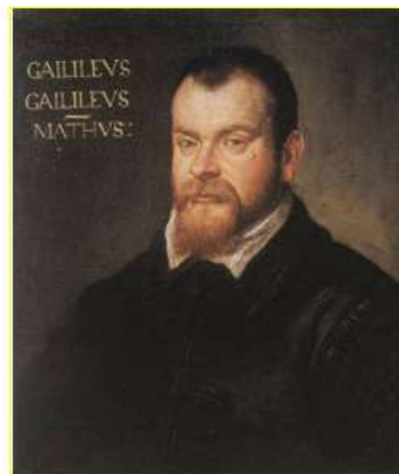
prof.ssa Di Vito

1

---

**«SCIENZA è il distinguere  
quello che si sa da quello che  
non si sa»**

**Galileo Galilei**



---

prof.ssa Di Vito

2

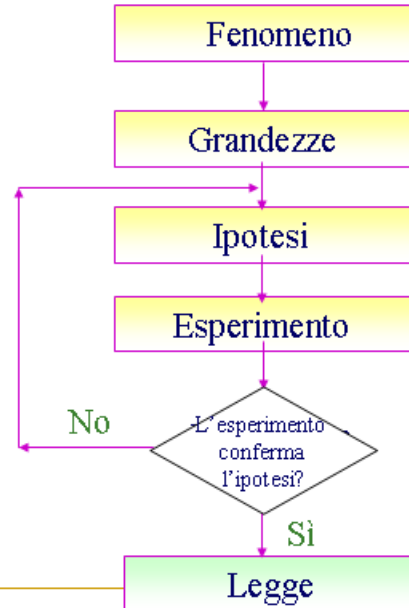
## Metodo sperimentale

Osservare un fenomeno

Fare delle ipotesi che spieghino ciò che si è osservato e le relazioni tra le grandezze in gioco

Eeguire un esperimento controllato per verificare la bontà delle ipotesi

Formulare la legge fisica solo se l'esperimento ha confermato le ipotesi



prof.ssa Di Vito

3

**25 agosto 1609**

**Galileo presenta al Doge di Venezia un nuovo strumento**



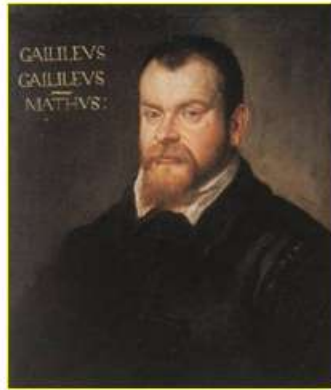
**« perspicillum exactissimum » il cannocchiale**

prof.ssa Di Vito

4

Galileo Galilei 1564 -1642

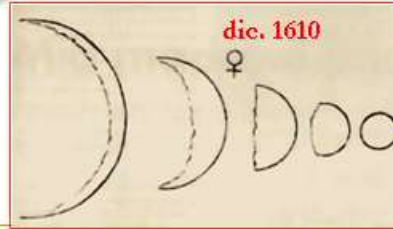
2 ott. 1609



25 agosto 1609



lug. 1610



dic. 1610

prof.ssa Di Vito

5



1610

1633 ???

«... questo di 22 giugno 1633

... sententiamo che tu Galileo ti sei reso vehementemente sospetto d'heresia, cioè d'aver creduto dottrina contraria alle Sacre Scritture, ch' il Sole sia centro del Mondo e che non si muova e che la Terra si muova e non sia centro del Mondo ... »

**i Cardinali del Sant'Offizio**



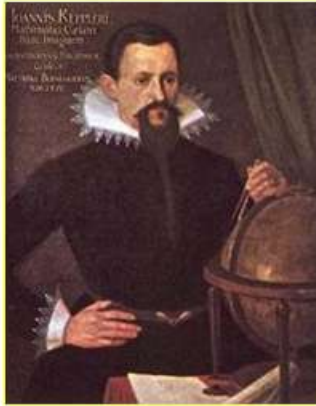
1623



1632

prof.ssa Di Vito

6



## J. Kepler 1571-1630

Astronomia Nova  
pubblicato a Praga nel 1609

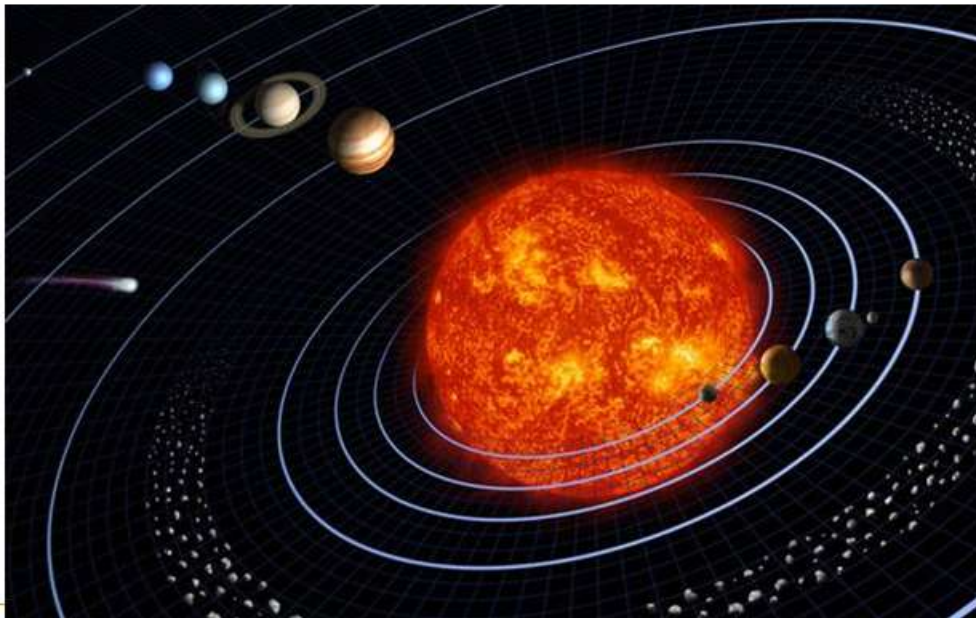
Harmonices Mundi  
pubblicato a Linz nel 1619

All'inizio del seicento Keplero, studiando i dati sperimentali rilevati in 20 anni dall'astronomo danese Tycho Brahe, in particolare i dati relativi all'orbita di Marte, scoprì alcune importanti regolarità nel moto dei pianeti.

Le tre leggi sperimentali note come leggi di Keplero espongono le regolarità che egli ha rilevato e sono frutto di oltre 10 anni di studi. Tali leggi sono esposte nei trattati Astronomia Nova, dedicata all'imperatore Rodolfo II, e Harmonices Mundi.

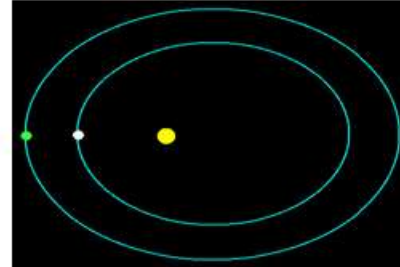
Con queste opere Keplero fu il primo astronomo che dimostrò la validità del sistema copernicano.

## Il sistema solare

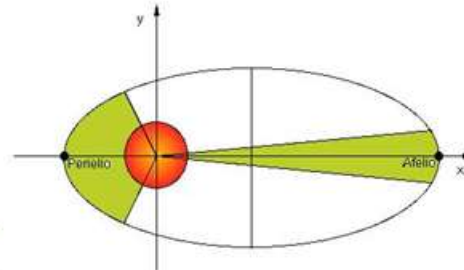


## Le prime due leggi di Keplero Astronomia nova, Praga, 1609

Prima legge o legge delle orbite  
le orbite di rivoluzione dei pianeti sono ellissi e il Sole è in uno dei due fuochi



Seconda legge o legge delle aree  
Il raggio vettore che va dal Sole al pianeta spazza aree uguali in tempi uguali



prof.ssa Di

## La terza legge di Keplero Harmonices Mundi, Linz, 1619

Keplero cercò di trovare una regolarità tra le distanze dei pianeti dal Sole e i tempi che essi impiegano per compiere un'orbita completa, cioè i periodi delle loro orbite.

Terza legge o legge dell'armonia

**I quadrati dei periodi di rivoluzione sono direttamente proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori delle orbite.**

	Mercurio	Venere	Terra	Marte	Giove	Saturno
periodo $T$ anni	0,24	0,615	1,00	1,88	11,68	29,457
distanza media dal Sole (UA)	0,387	0,723	1,00	1,524	5,203	9,539
$T^2$	0,058	0,38	1,00	3,54	140	868
$D^3$	0,147	0,528	1,00	2,323	27,071	90,792
$T^2$	0,014	0,233	1,00	6,645	1593,417	25560,276
$D^3$	0,058	0,38	1,00	3,54	140	868

«se dal Sole emana una "anima motrix" o "vis", questa si indebolisce con la distanza: è quindi qualcosa di corporeo»

---

## Perché Keplero scelse le orbite ellittiche

Keplero trascorse 10 anni studiando matematicamente, con i dati di Tycho Brahe, l'orbita di Marte, che non sembrava essere una circonferenza.

Alcuni punti della circonferenza non collimavano con i dati misurati da Tycho Brahe in 20 anni di osservazioni astronomiche

Keplero rilevò uno scostamento di 8' di arco dalle osservazioni di Brahe.

Keplero sapeva che Brahe era stato un osservatore troppo accurato per poter commettere un errore di 8'. Quindi ... abbandonò le orbite circolari e provò con le orbite ellittiche

---

## Anche la seconda e la terza legge sono rivoluzionarie

la legge delle aree implica che la velocità del pianeta sulla sua orbita non è costante ma è maggiore al perielio (punto di massima vicinanza al Sole) e minore all'afelio (punto di minima vicinanza al Sole)

la legge armonica implica che quanto più il pianeta è distante dal Sole tanto più lungo è il suo anno

Spesso le distanze nel sistema solare sono espresse in Unità Astronomiche (UA). Per definizione 1 UA vale 150 milioni di km, cioè la distanza media Terra-Sole

$$1 \text{ UA} = 1,50 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

## Esercizio

### calcolare il periodo di rivoluzione di Giove

Il semiasse maggiore dell'orbita di Giove intorno al Sole è 5,203 volte quello della Terra. Calcolare il periodo di rivoluzione di Giove.

Uso la terza legge di Keplero  $\frac{T^2}{a^3} = k$

$$\left(\frac{T_{Giove}}{T_{Terra}}\right)^2 = \left(\frac{a_{Giove}}{a_{Terra}}\right)^3 \quad T_{Giove} = \sqrt{\left(\frac{a_{Giove}}{a_{Terra}}\right)^3} \cdot T_{Terra} \quad T_{Giove} = \sqrt{(5,203)^3} \cdot 1 \text{ anno} = 11,86 \text{ anni}$$

pianeta	distanza media dal Sole	periodo di rivoluzione	quadrato del periodo	cubo della distanza media
Mercurio	0,387	0,241	0,058	0,058
Venere	0,723	0,615	0,378	0,378
Terra	1,000	1,000	1,000	1,000
Marte	1,524	1,881	3,538	3,540
Giove	5,203	11,860	140,700	140,800
Saturno	9,539	29,460	867,900	868,000

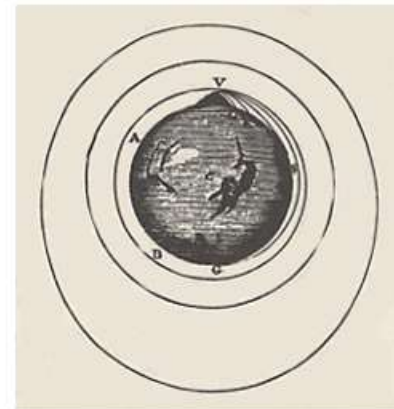


Isaac Newton, 1642-1727

**Philosophiae Naturalis Principia Mathematica**  
pubblicato a ... nel 1687

Le leggi di Keplero descrivono come avviene il moto dei pianeti (cinematica) ma non dicono nulla sul perché, cioè sulle cause del moto (dinamica)

La legge della gravitazione universale di Newton spiega le cause del moto dei pianeti e non solo ...



L'esperienza concettuale di Newton riportata nei Principia mostra come il moto dei proiettili e il moto dei satelliti siano regolati dalle stesse leggi

