



# Tycho Brahe e Johannes Kepler

## Storia di una grande avventura scientifica

Stefano Covino

INAF / Osservatorio Astronomico di Brera



Istituto Nazionale di Astrofisica

Osservatorio Astronomico di Brera



Planetario di Lecco, venerdì 27 novembre 2009

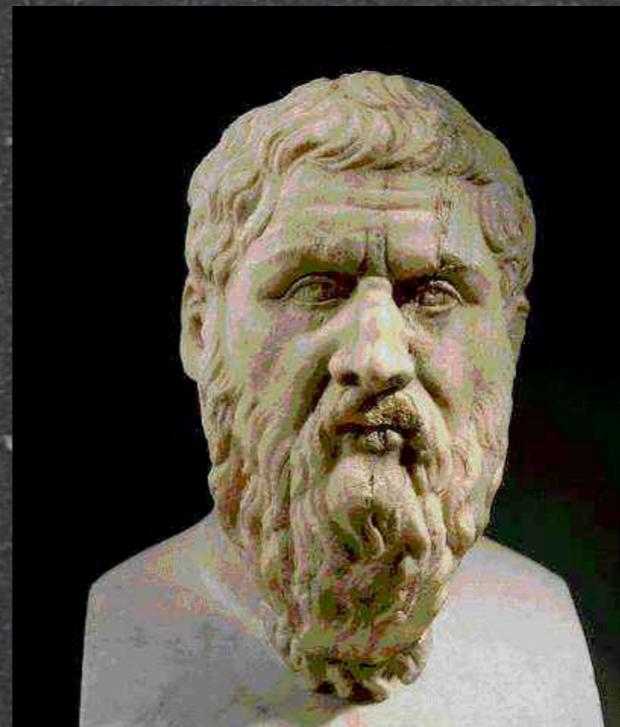
# Antefatto

👁️ I moti dei pianeti hanno sempre affascinato, ed il tentativo di trovare leggi che li regolano ha sempre accompagnato l'umanità.

👁️ Platone (427 a.c. - 347 a.c.), per esempio, pensava che tutti i moti celesti dovessero essere combinazione di cerchi, in quanto il cerchio rappresentava un ideale di purezza e perfezione tipico della sfera celeste.



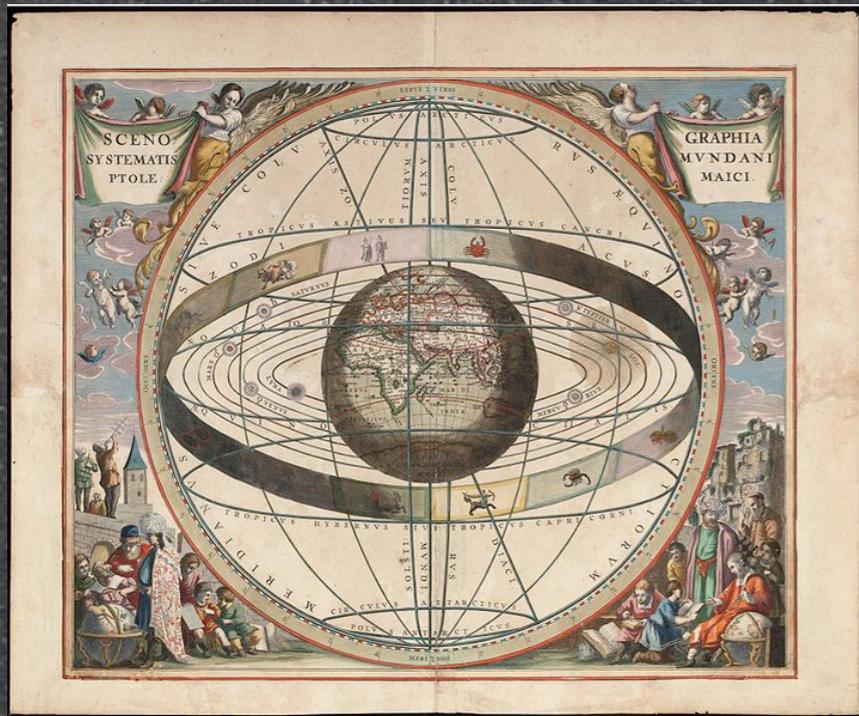
Particolare della "Scuola di Atene", di Raffaello



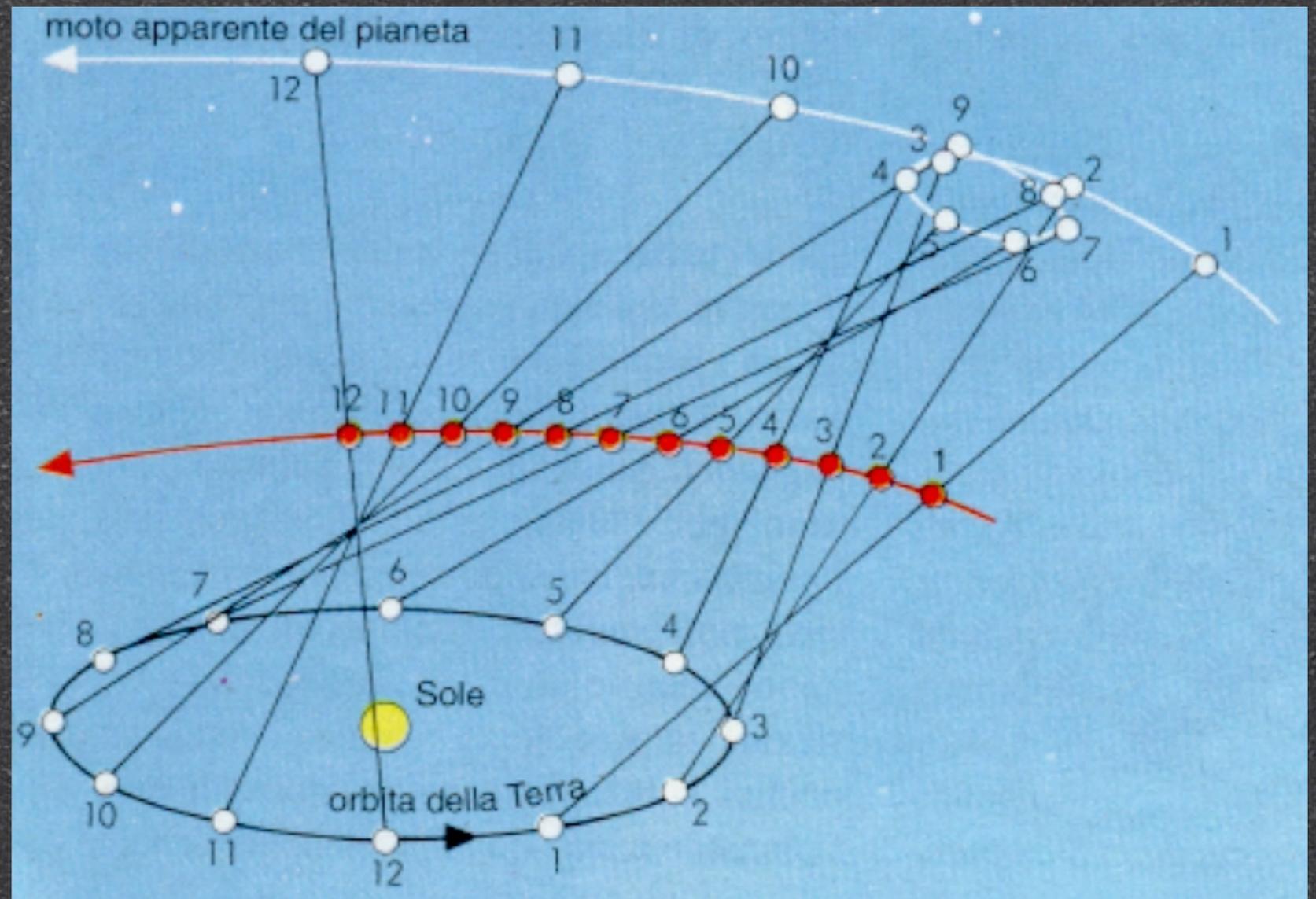
Busto di Platone

🌀 Il problema sorgeva dal fatto che i moti dei pianeti potevansi essere anche molto complicati, retrogradi persino.

🌀 Nasce così, con il tempo, il modello di Tolomeo (100 - 175) che, a differenza di quello che spesso si pensa, non era ne ingenuo ne rozzo.



Il sistema geocentrico

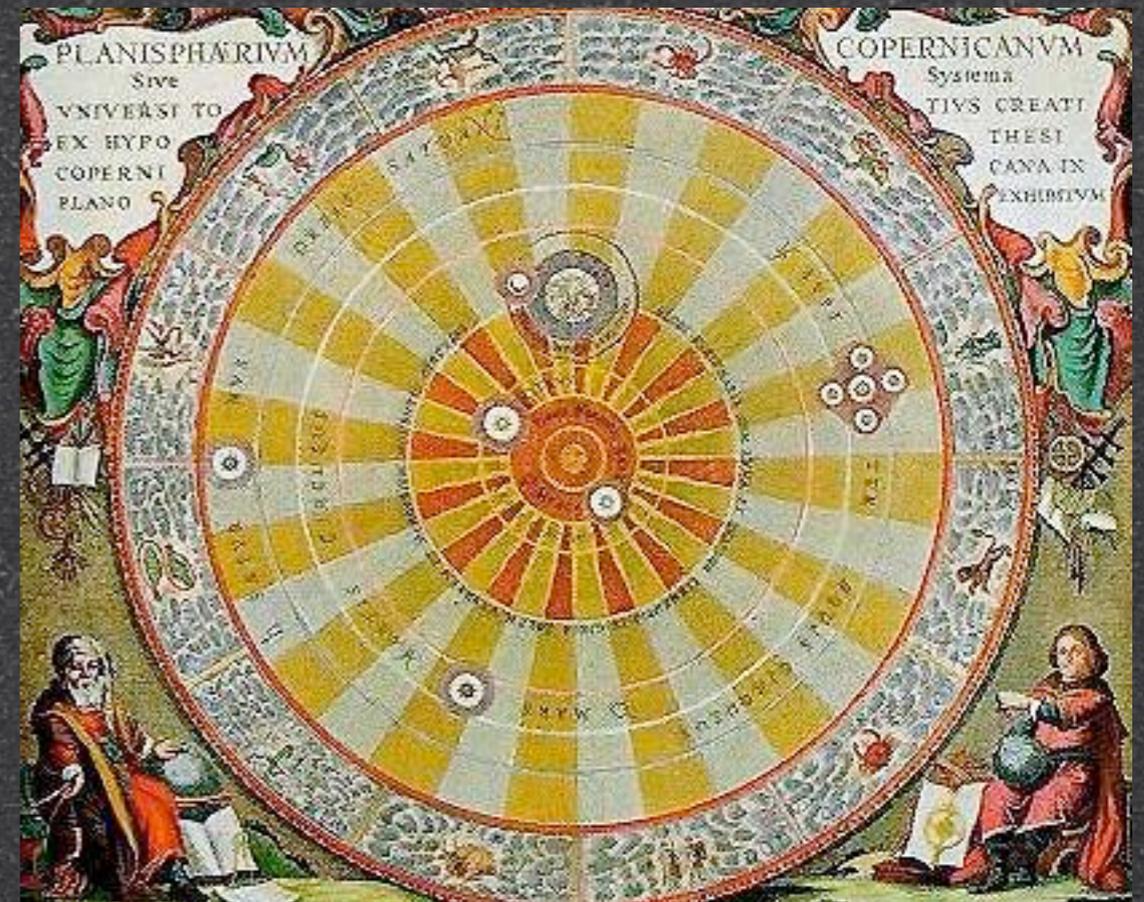


Il moto retrogrado

🌀 Molti secoli dopo, come sappiamo, Copernico (1473 - 1543) propone il suo modello eliocentrico che, ancora a differenza di quanto spesso si crede, era senz'altro più semplice ed esteticamente "elegante" di quello geocentrico. Non era affatto, però, all'inizio, più preciso nelle predizioni.



Copernico, di J. Matejko



Il sistema eliocentrico

Cominciamo la nostra storia con i due grandi protagonisti!



Castello di Knutstorp 14/12/1546  
Praga 24/10/1601

Tycho Brahe

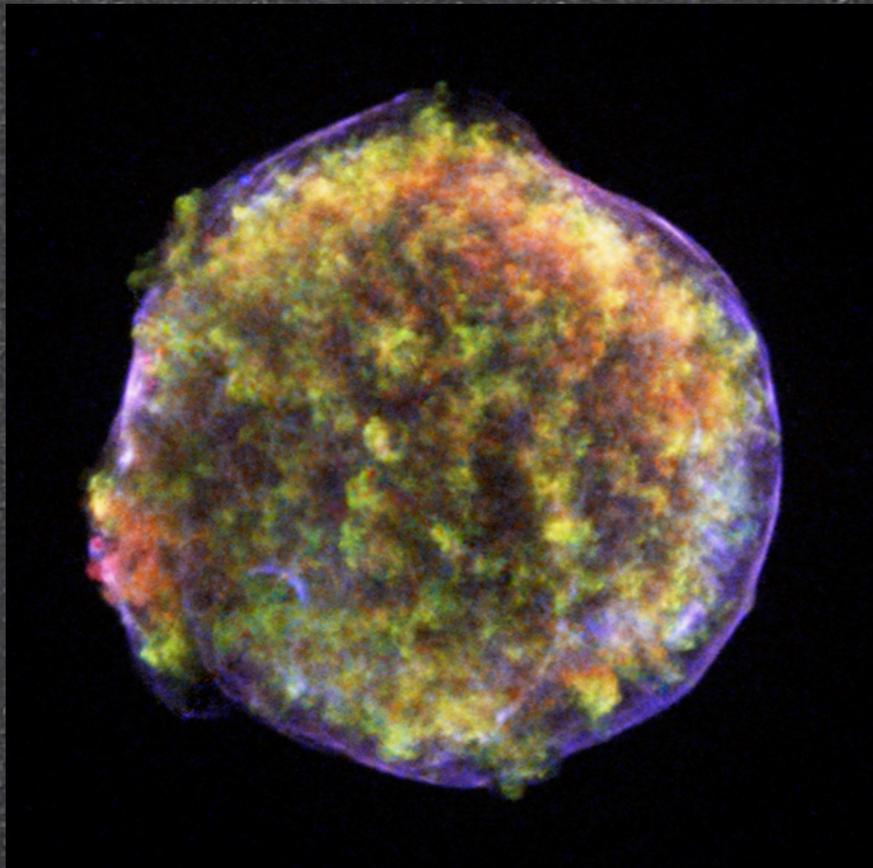


Weil der Statd 27/12/1571  
Ratisbona 15/11/1630

Johannes Kepler

- 👁️ Brahe nasce da una famiglia molto ricca e studia a Copenhagen, Wittenberg e Basilea;
- 👁️ Costruisce il primo osservatorio astronomico europeo nel senso moderno del termine (una struttura finanziata dallo Stato): il magnifico palazzo/osservatorio di Uraniborg.
- 👁️ L'osservatorio fu costruito sull'isola di Hven donata dal re Federico II.
- 👁️ Osserva, nel 1572, una supernova!

La SN del  
1572 in  
Cassiopea

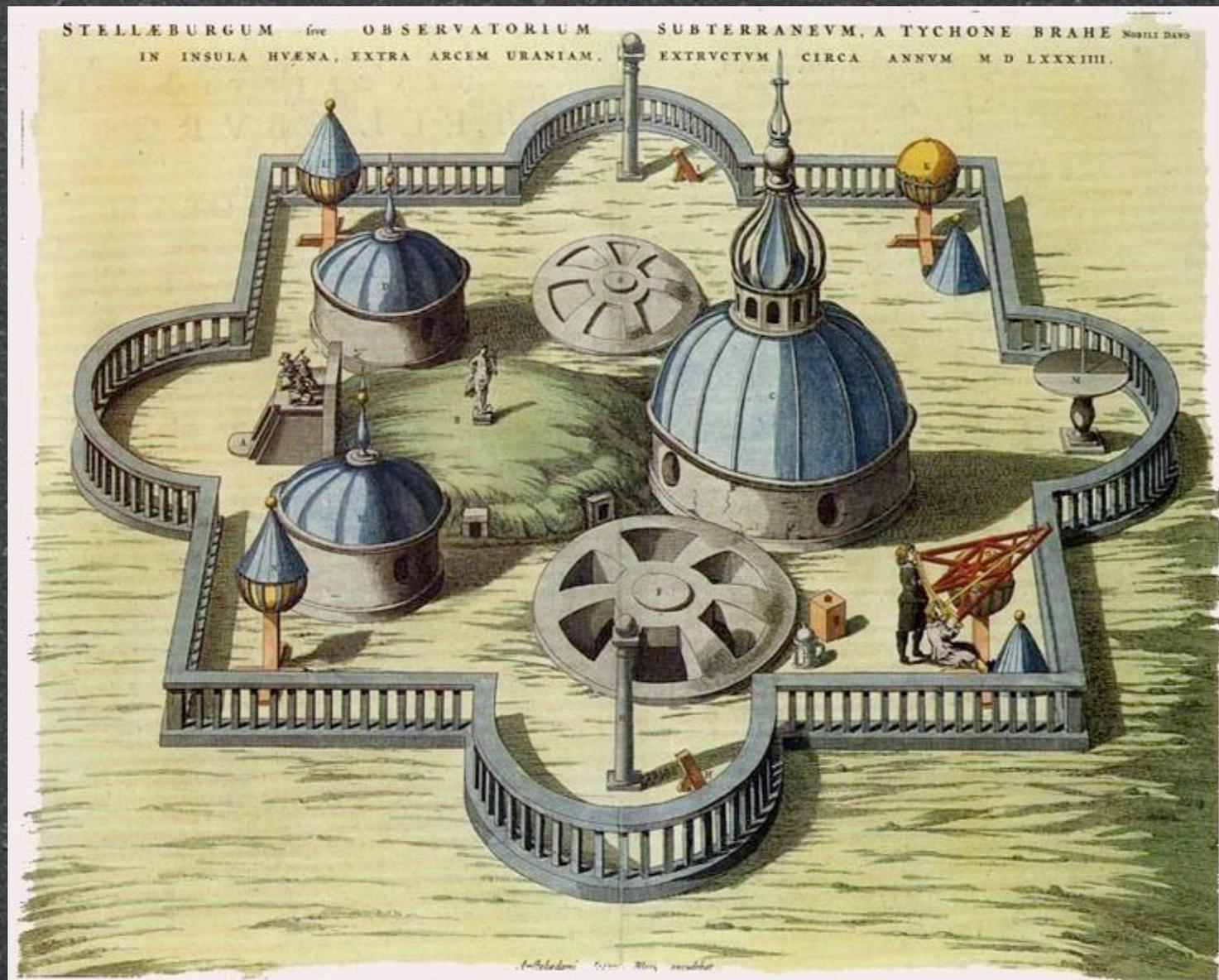


Ticone



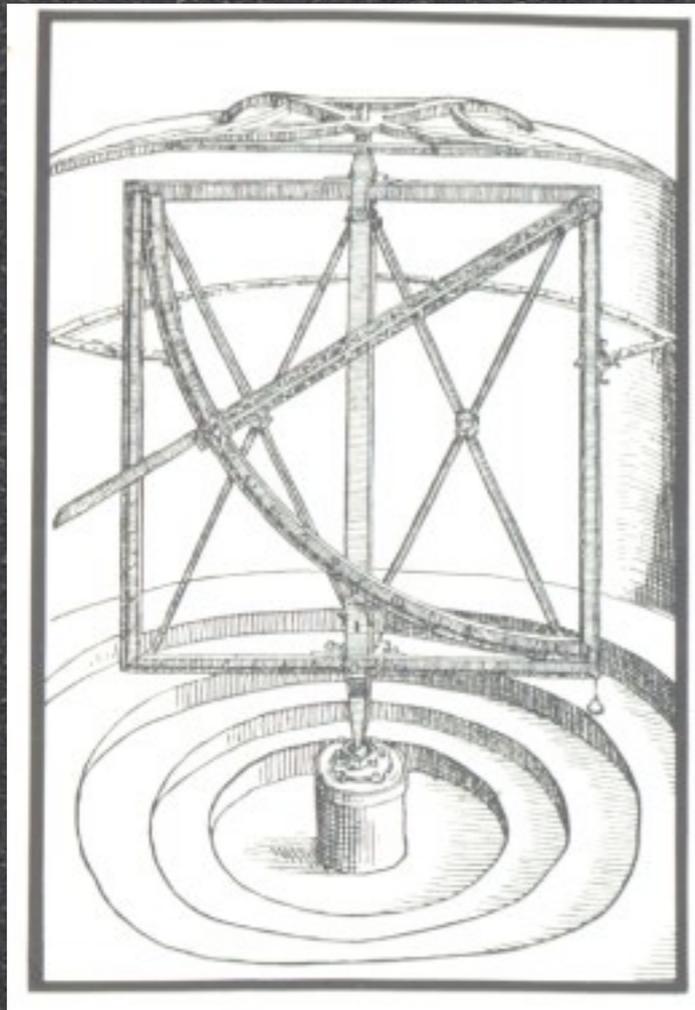
👁️ Alla morte del sovrano, 1588, la struttura cadde in disgrazia dal momento che il sovrano successivo, Cristiano IV, rifiutò di sostenerne ulteriormente le spese.

👁️ Fra gli assistenti di Ticone a Uraniborg abbiamo anche il giovane Keplero.

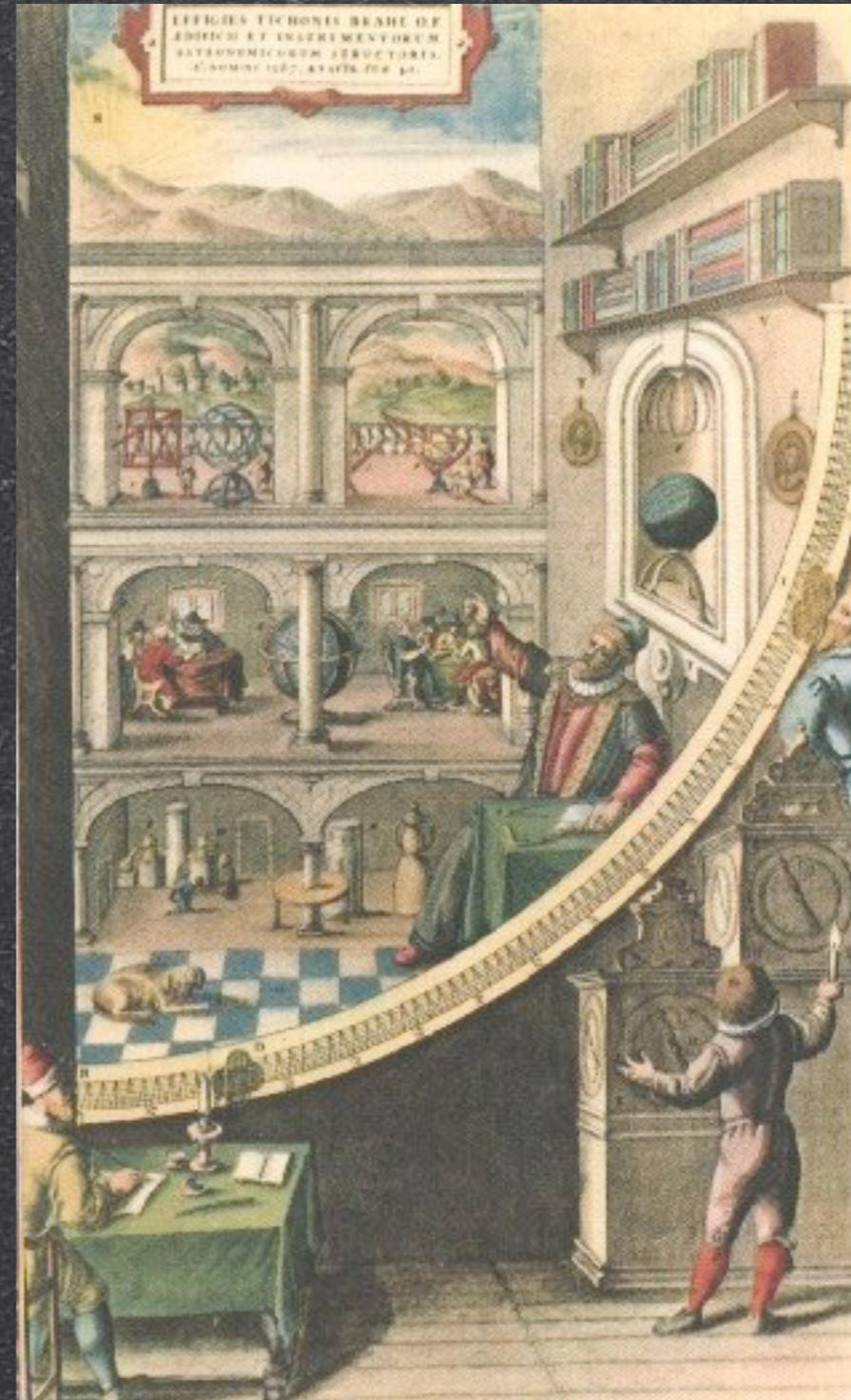


Due vedute di Uraniborg

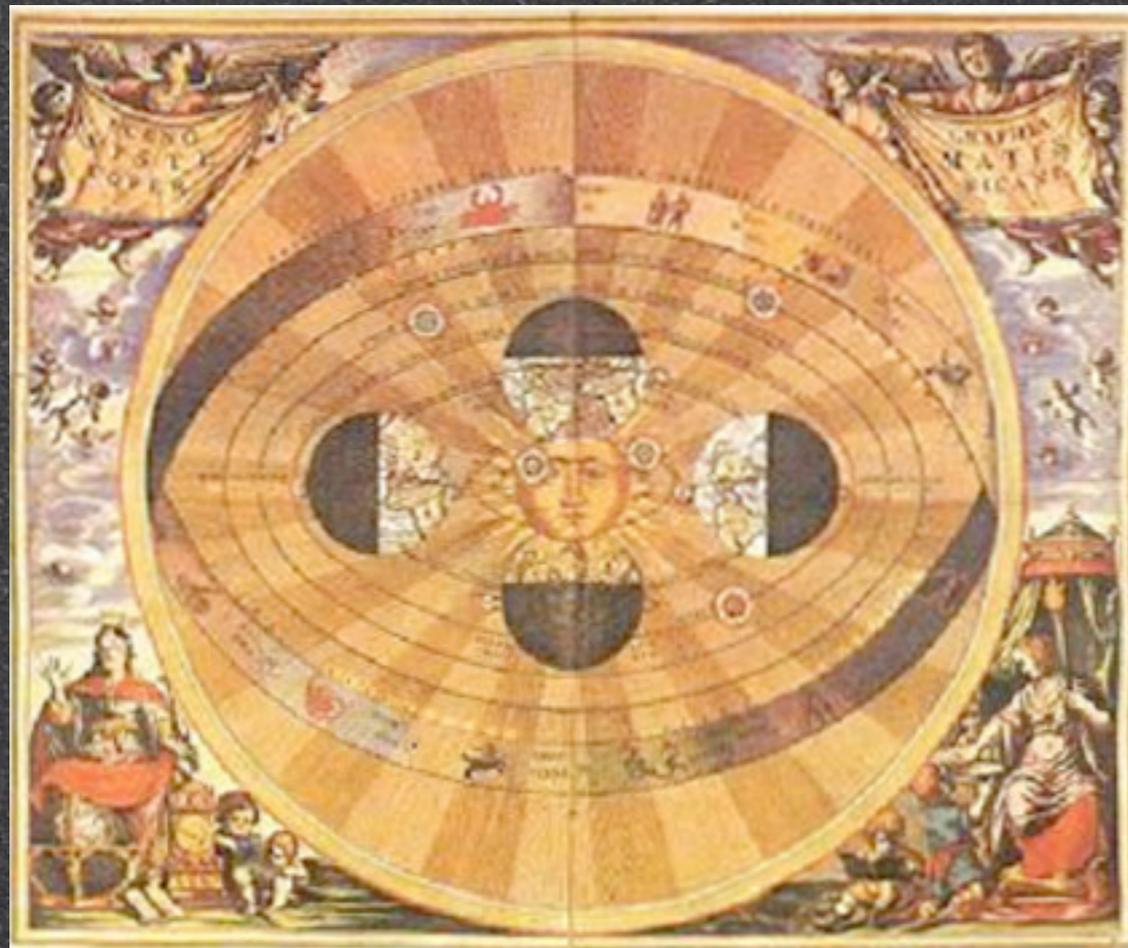
Ticone fu uno straordinario costruttore di strumenti per l'astronomia pre-telescopica, fornendo uno straordinario "database" di osservazioni che contribuirono all'avvento della rivoluzione astronomica di quegli anni.



Quadranti per osservazioni



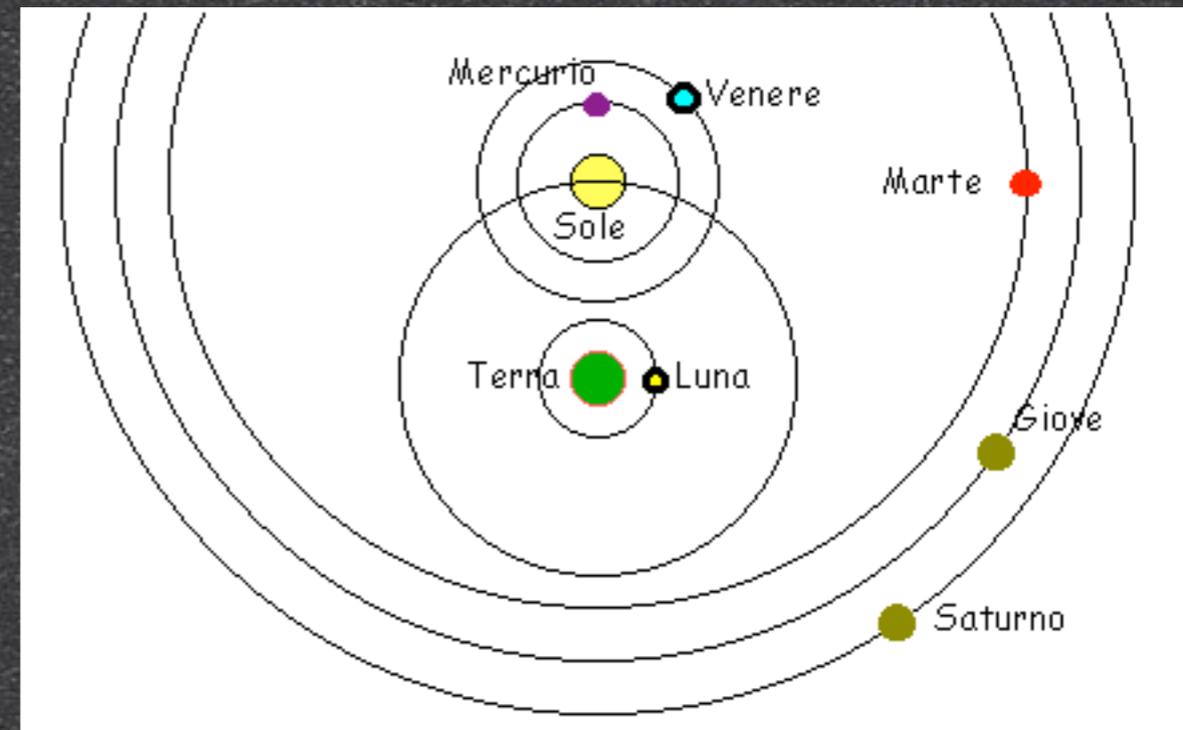
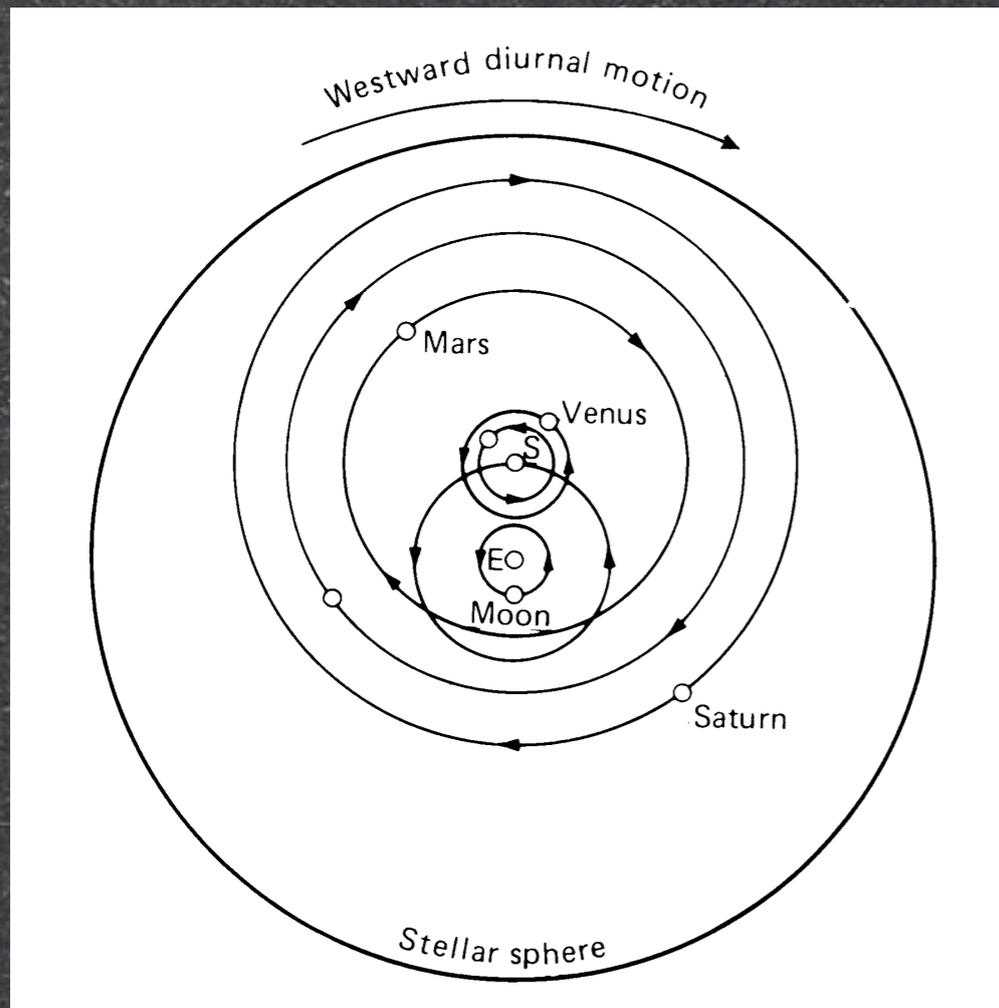
- 👁️ Ticone lascia quindi Uraniborg e diventa Matematico Imperiale presso l'Imperatore del Sacro Romano Impero a Praga.
- 👁️ Ai tempi di Ticone la discussione scientifica verteva sul sistema copernicano o tolemaico.
- 👁️ Ticone aveva un'idea personale della faccenda. Accettava che i pianeti girassero intorno al Sole, ma non che la Terra non fosse al centro dell'universo.



Il sistema copernicano  
Andrea Cellario - 1660

👁 Il sistema di Ticone aveva però diversi problemi.

👁 Soprattutto il moto di Marte non era ben descritto dal modello.

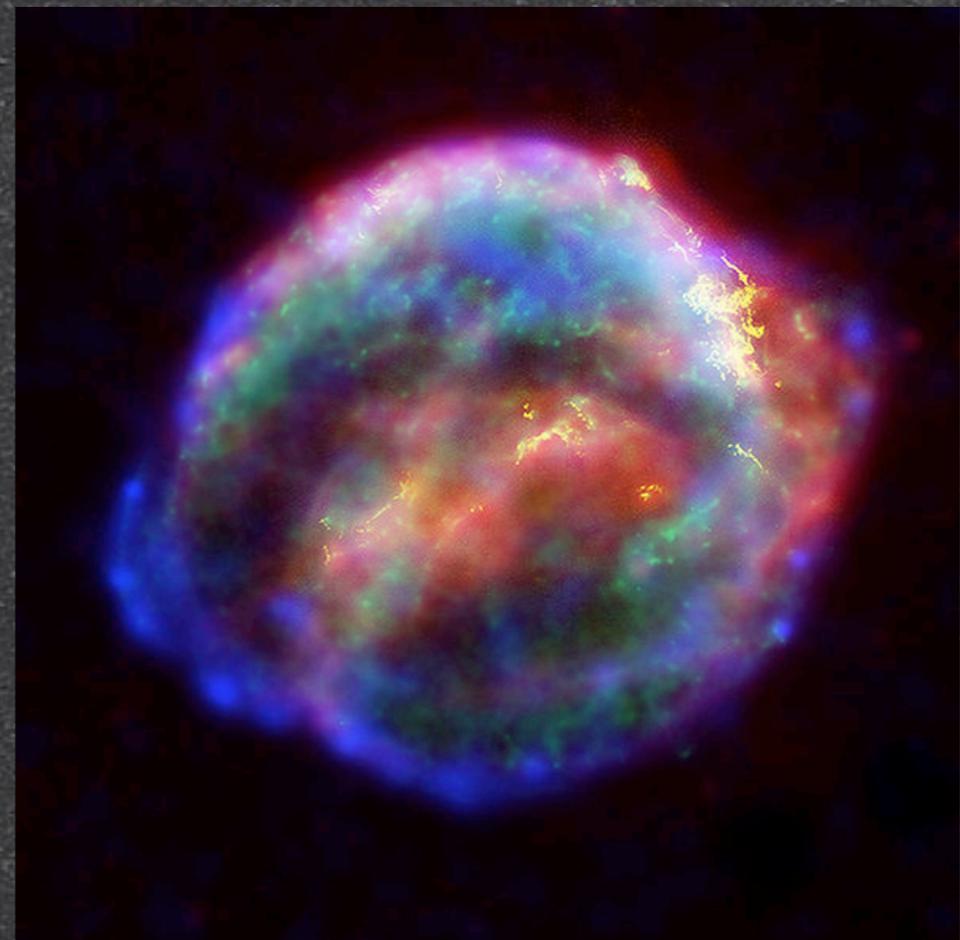


Il sistema ticoniano

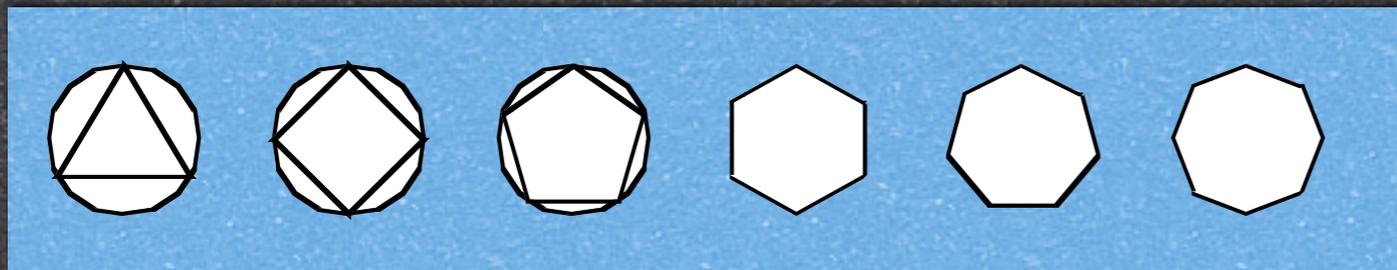
- 👁️ Keplero nasce in una famiglia luterana e cominciò gli studi in teologia a Tubinga;
- 👁️ Quindi diventa insegnante di matematica a Graz e fra le sue mansioni c'era anche quella di compilare oroscopi...
- 👁️ Nel 1599, finalmente, Ticone lo chiama a come suo assistente per poi diventarne successore.
- 👁️ Nel 1604 osserva una supernova e negli anni successivi descrive le sue famosissime tre leggi.



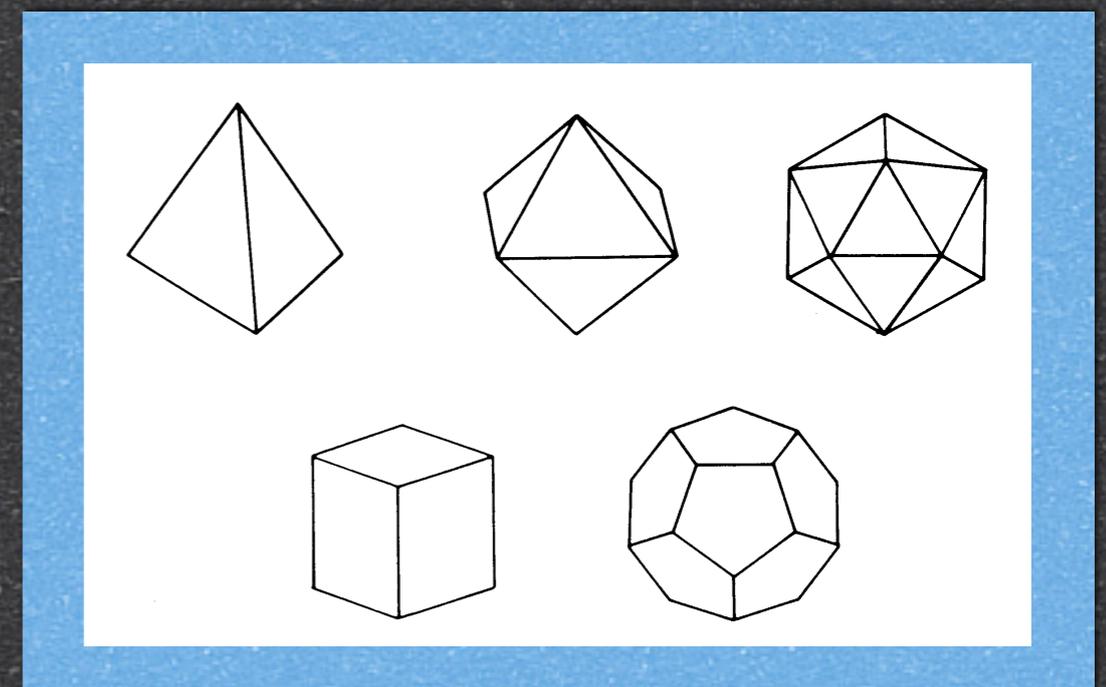
La SN  
del 1604



- 👁️ Keplero credeva fermamente nell'esistenza di una specie di "armonia celeste".
- 👁️ In questo denunciava chiaramente il suo pensiero che potremmo definire neo-pitagorico.
- 👁️ Era comunque un copernicano convinto, e cercava una ragione "ultima" per l'esistenza di esattamente 6 pianeti (Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove e Saturno).
- 👁️ Trovò una spiegazione di tipo geometrico fatta risalire a Euclide (300 a.c. - ...) e Platone (427 a.c. - 327 a.c.).



Le figure regolari di Euclide



👁️ A differenza delle figure in un cerchio, le figure inscrivibili in una sfera non sono infinite.

👁️ Ce ne sono, in effetti, solo 5: i solidi platonici (Tetraedro, Cubo, Ottaedro, Dodecaedro, Icoesaedro).

👁️ La prova che ce ne potessero essere solo 5 fu data da Euclide nei suoi "Elementi".

👁️ Keplero pensava che i pianeti fossero dei punti "luminosi" su delle sfere concentriche con la Terra.

👁️ C'erano 6 pianeti perchè ci volevano 6 sfere per inscrivere e circoscrivere tutti i 5 solidi platonici.

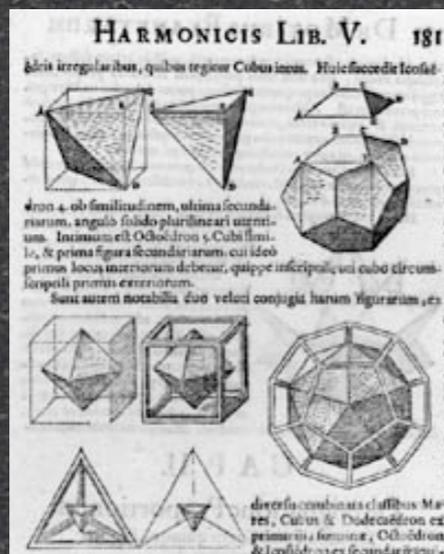


👁️ A dire il vero, la soluzione di Keplero non è che funzionasse poi tanto bene... tuttavia non era chiaro se la discrepanza fosse dovuta alla qualità non sufficiente dei dati osservativi disponibili.

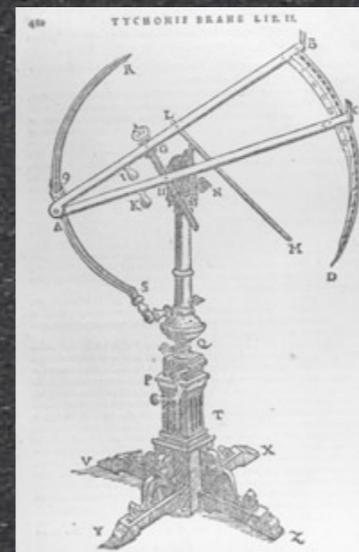
👁️ Ticone era, all'epoca, il miglior osservatore e, comunque, lo scienziato con i dati migliori.

👁️ Quindi apparve naturale a Ticone offrire il posto di assistente a Keplero nel 1600!

👁️ Inoltre, come detto, Ticone morì l'anno successivo lasciando posto e titolo, Matematico Imperiale, a Keplero che, quindi, ereditò anche i preziosissimi dati.



Strumenti  
vari

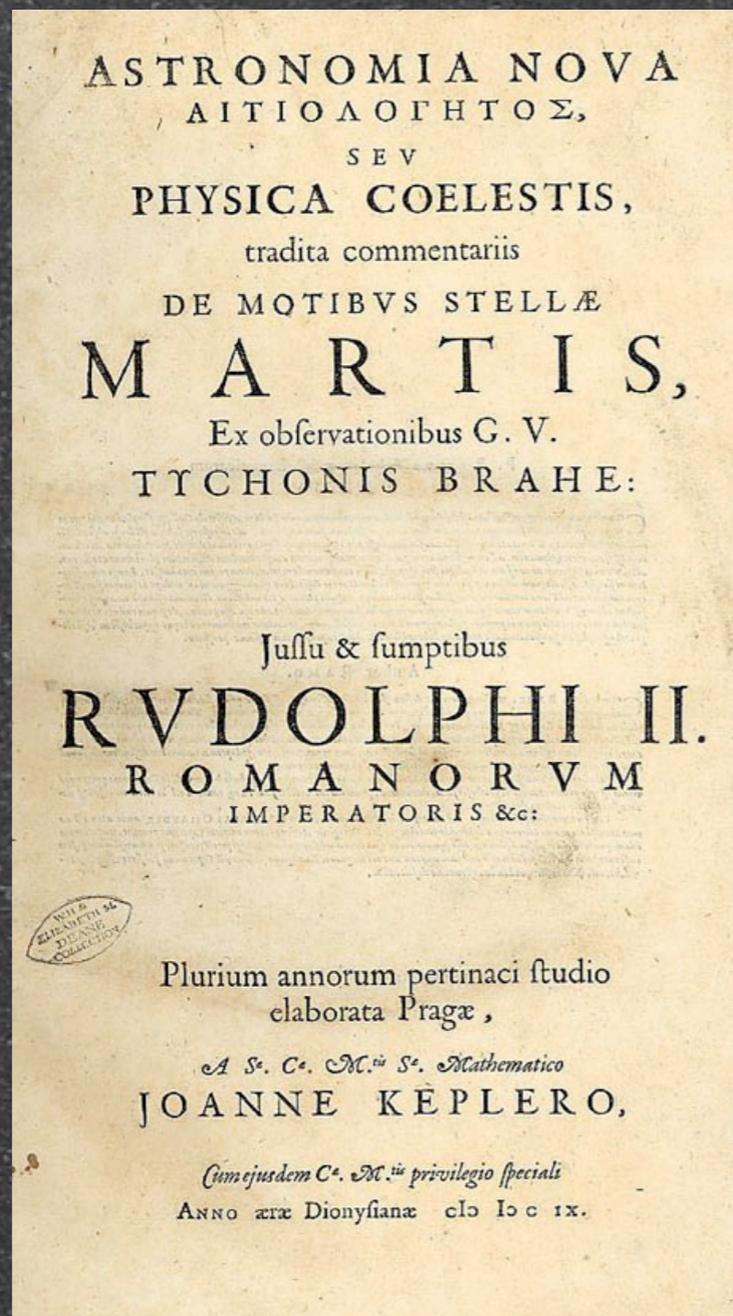


Ticone e  
Keplero

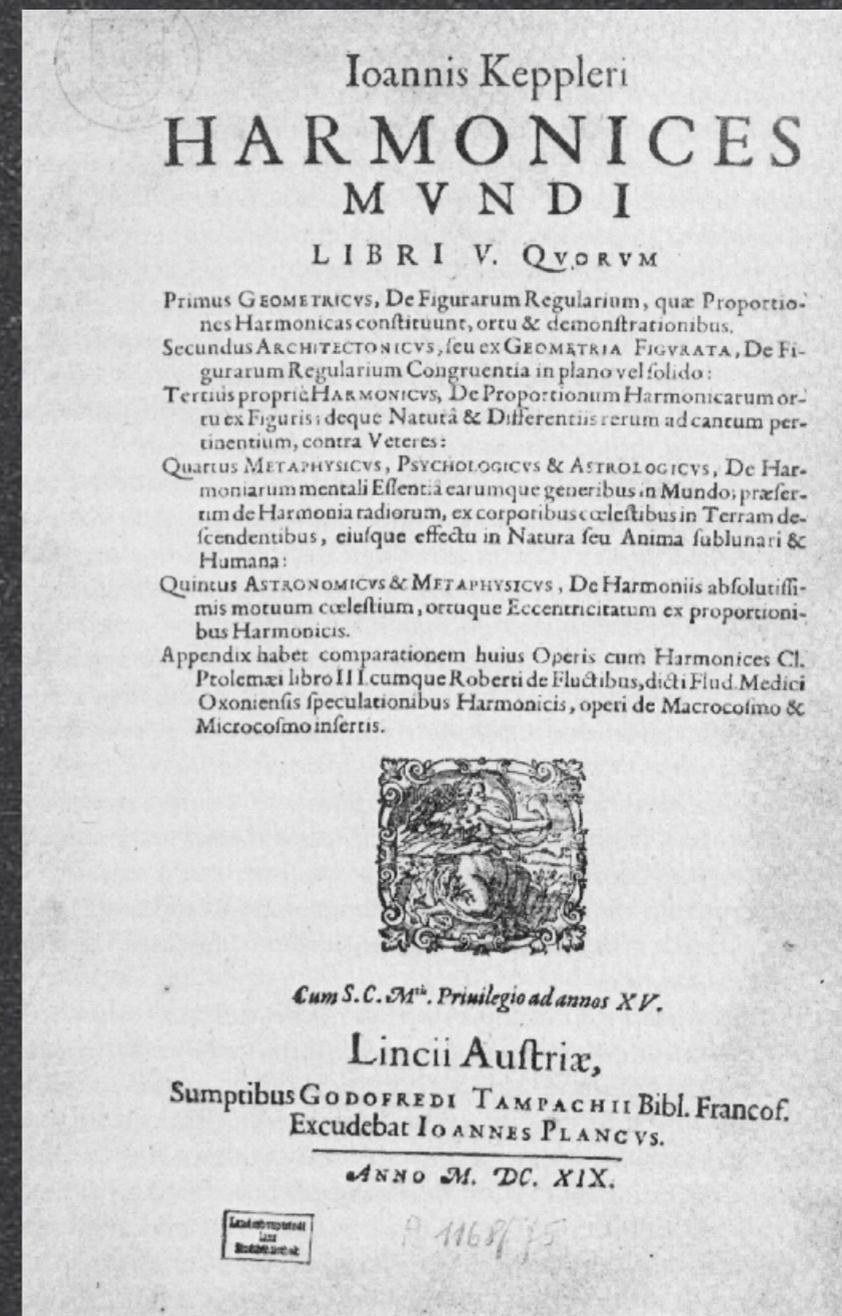


👁️ Ed ecco, quindi, la genesi delle tre leggi di Keplero, una ricerca di “armonie” celesti nella grande mole di numeri che Ticone aveva lasciato in eredità a Keplero.

👁️ Keplero pubblicò le sue scoperte in diversi volumi. Fra i più famosi la “Astronomia Nova” (1609) e la “Harmonices Mundi” (1619).



Astronomia  
Nova



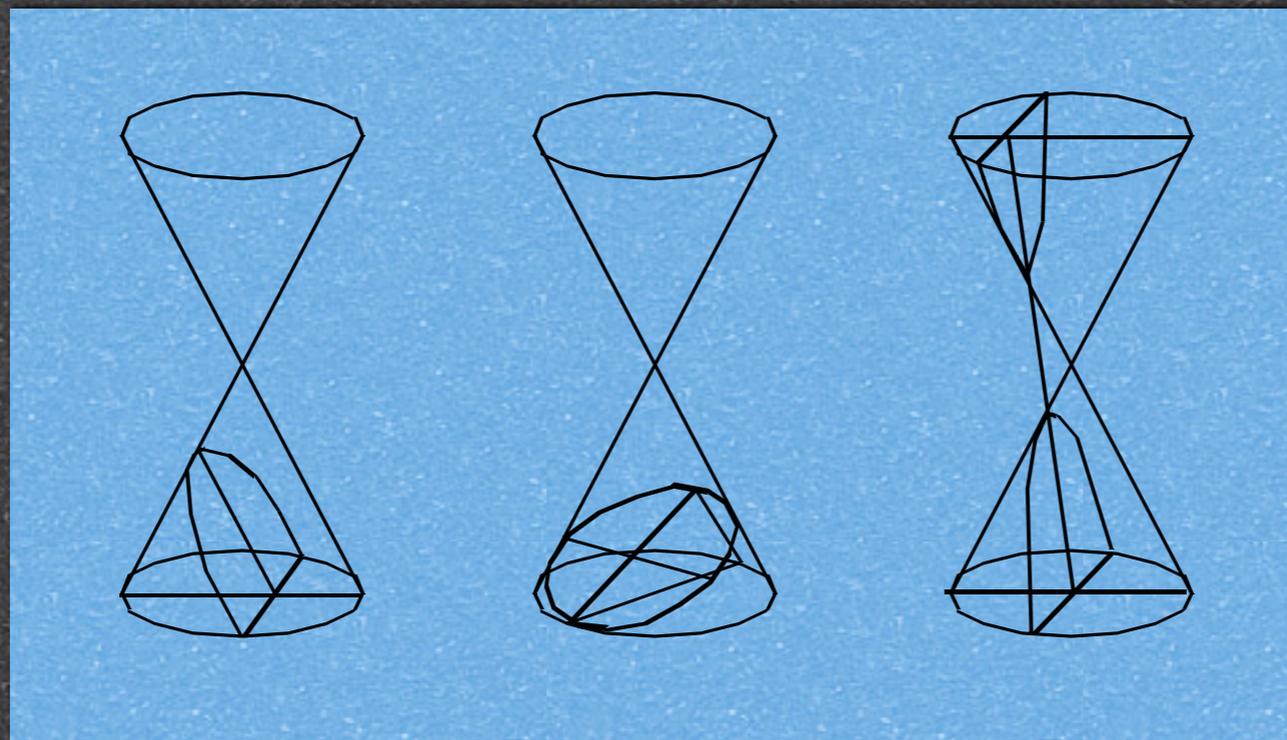
Harmonices  
Mundi

👁️ Arriviamo, quindi, alle famose tre leggi di Keplero!

👁️ Le prime due, come è noto, coinvolgono figure geometriche chiamate ellissi.

Ellisse

Parabola

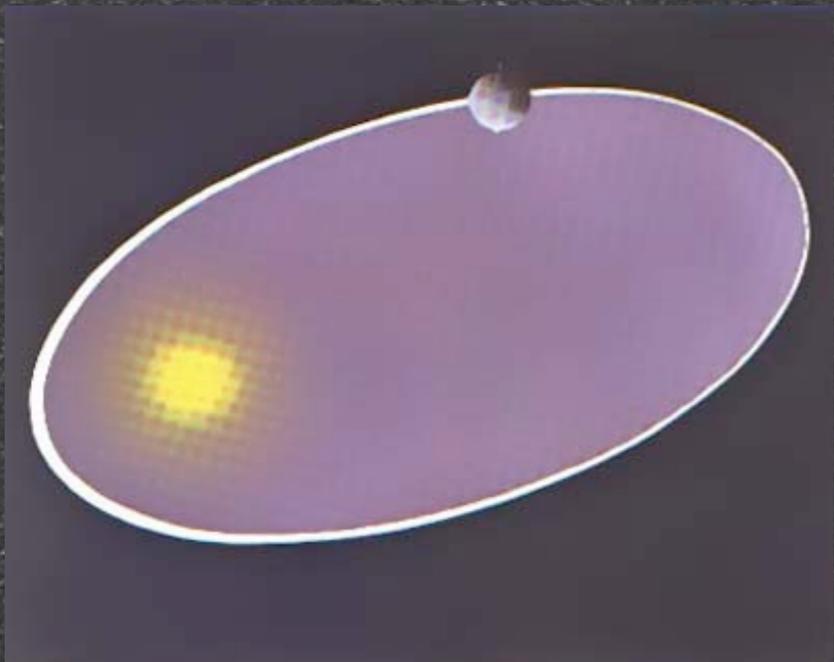


Iperbole

Le sezioni coniche (Apollonio da Perga, 262 a.c. - 190 a.c.)

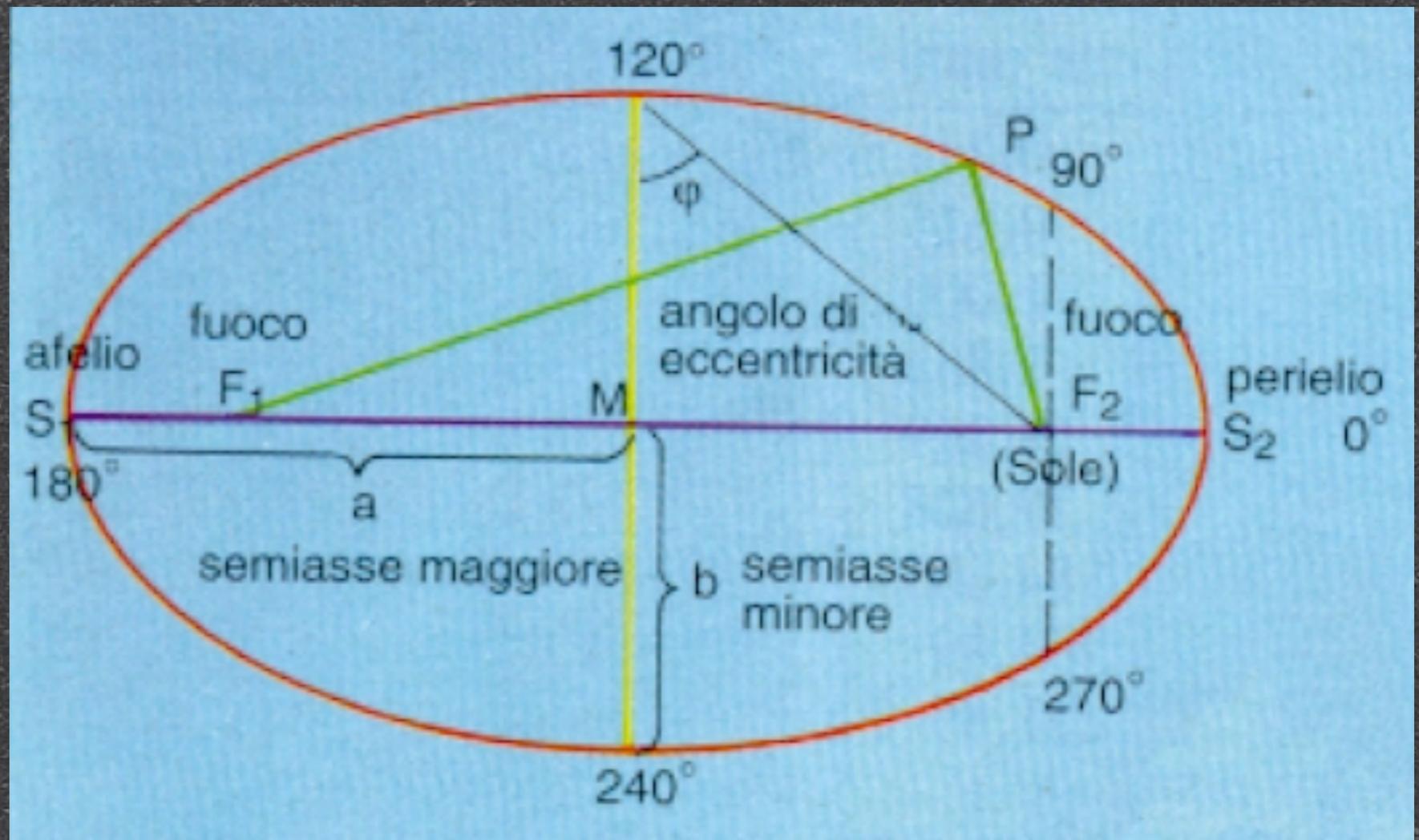
# La Prima Legge di Keplero

I pianeti si muovono lungo orbite ellittiche con il Sole in uno dei fuochi.



- 👁️ In effetti era noto da tempo che i pianeti non si muovevano in orbite perfettamente circolari.
- 👁️ Questo era noto, per esempio, sia a Tolomeo che a Copernico.
- 👁️ Il merito di Keplero è comunque quello di avere trovato una figura geometrica semplice per descrivere le orbite.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

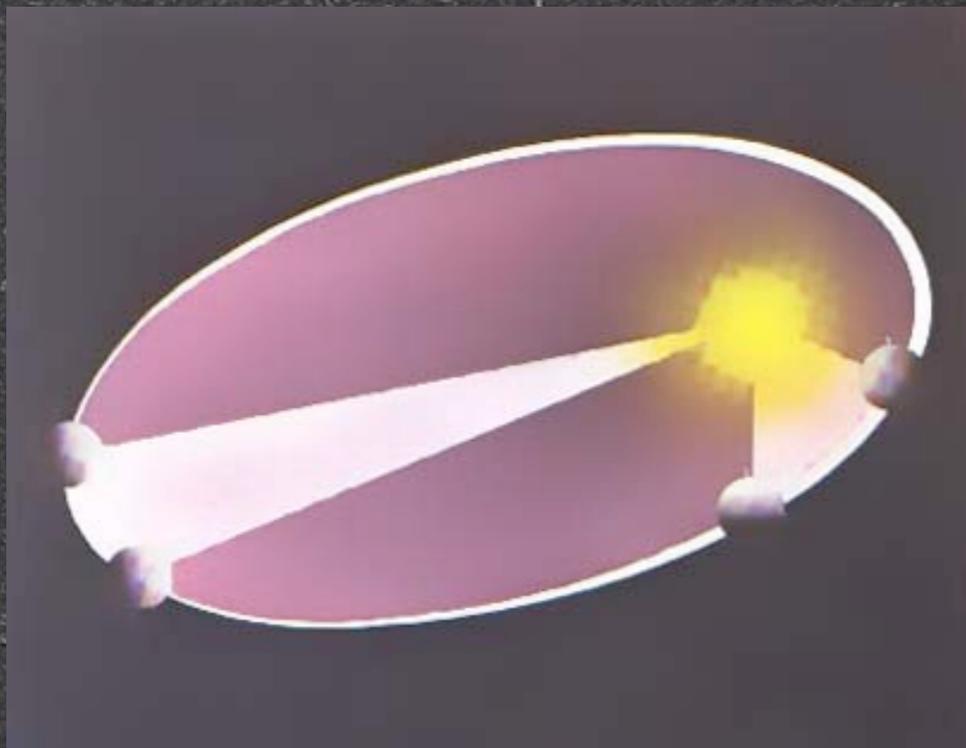


👁️ Oggi sappiamo che l'orbita è ellittica solo in caso la forza di attrazione segua una legge del tipo:  $f \propto d^{-2}$ .

👁️ La legge delle aree (vedi dopo!) vale invece per tutte le forze "centrali".

# La Seconda Legge di Keplero

Il raggio vettore  
descrive aree uguali  
in tempi uguali.



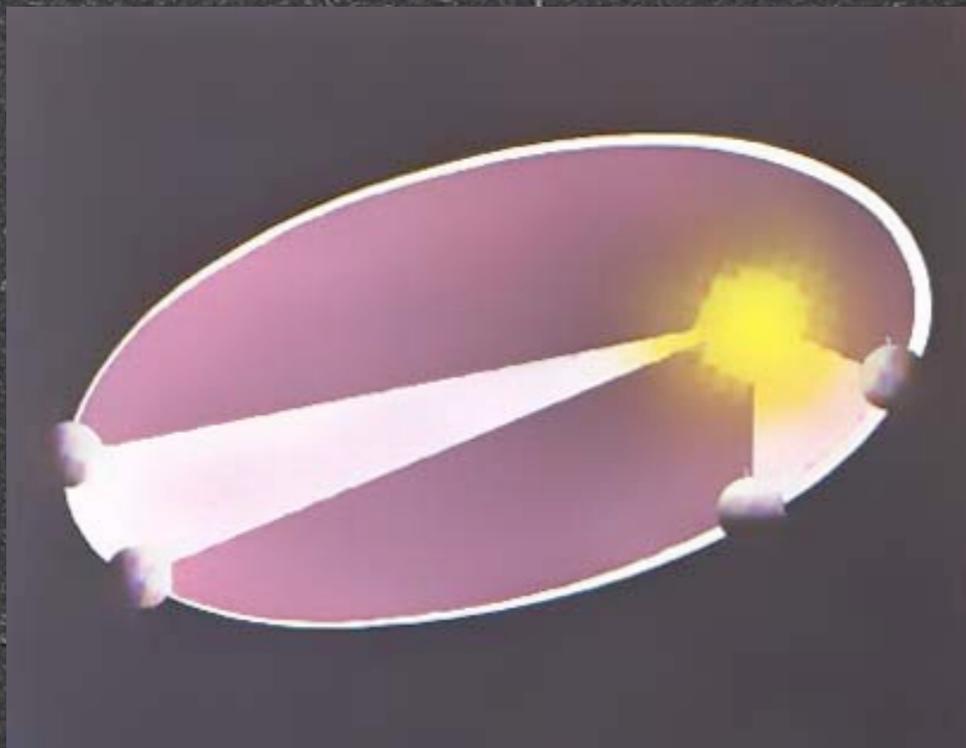
🌀 La seconda legge implica che vicino al Sole il pianeta deve muoversi più velocemente, anche se non ci da informazioni sul perchè.

🌀 Keplero, per la verityà, propose anche che il Sole, in qualche modo, incoraggiasse i pianeti a muoversi!

# La Terza Legge di Keplero

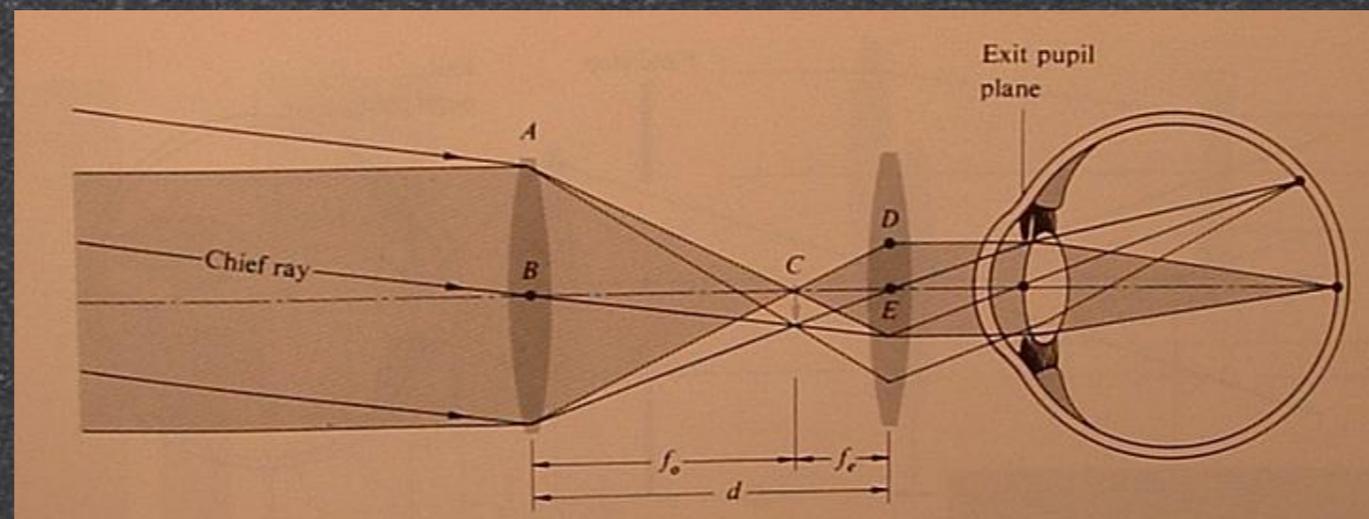
La legge armonica:

$$d^3/t^2 = k$$



- 👁️ Un'altra regolarità, o armonia, nel sistema solare.
- 👁️ Vale sia se indichiamo con "d" la distanza media o il semiasse maggiore dell'orbita.
- 👁️ In effetti la legge vale precisamente solo se la massa del pianeta è trascurabile rispetto a quella del Sole.

- 👁️ Keplero non parlò mai, però, di “leggi” nelle sue opere.
- 👁️ Fu Newton (1643 - 1727) che trovò queste relazioni studiando i lavori di Keplero e che diede a lui il credito.
- 👁️ In effetti Keplero trovò molte altre “regolarità” che oggi però sono cadute nel dimenticatoio in quanto semplici coincidenze o anche errori.
- 👁️ Rimane comunque vero che Keplero diede un grandissimo contributo scientifico con lavori di ottica (fu il primo a proporre una spiegazione corretta per il funzionamento dell'occhio umano).



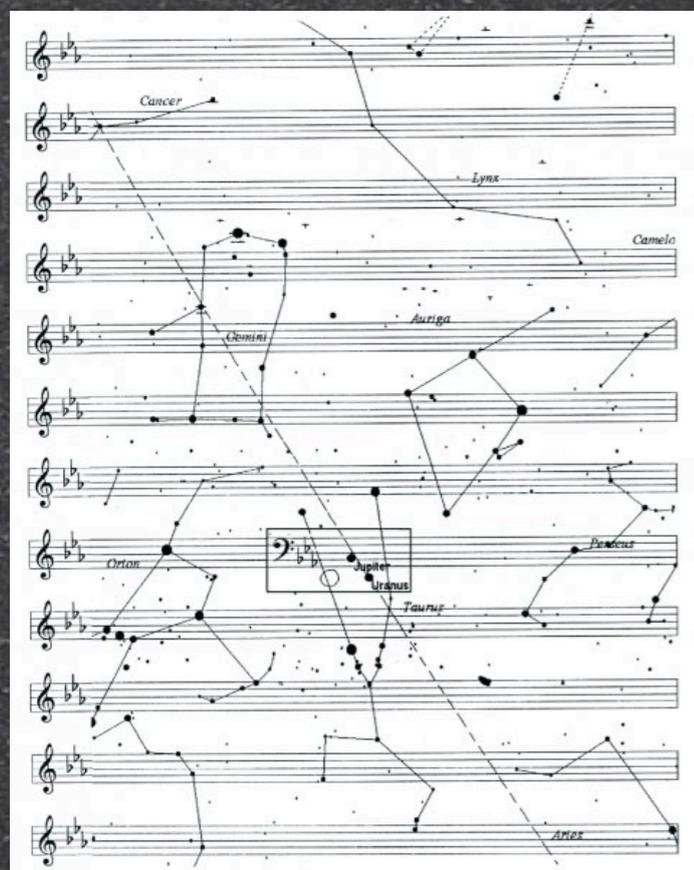
Schema  
ottico

👁️ C'è qualcosa di affascinante, comunque, nella visione di Keplero di un armonia del mondo.

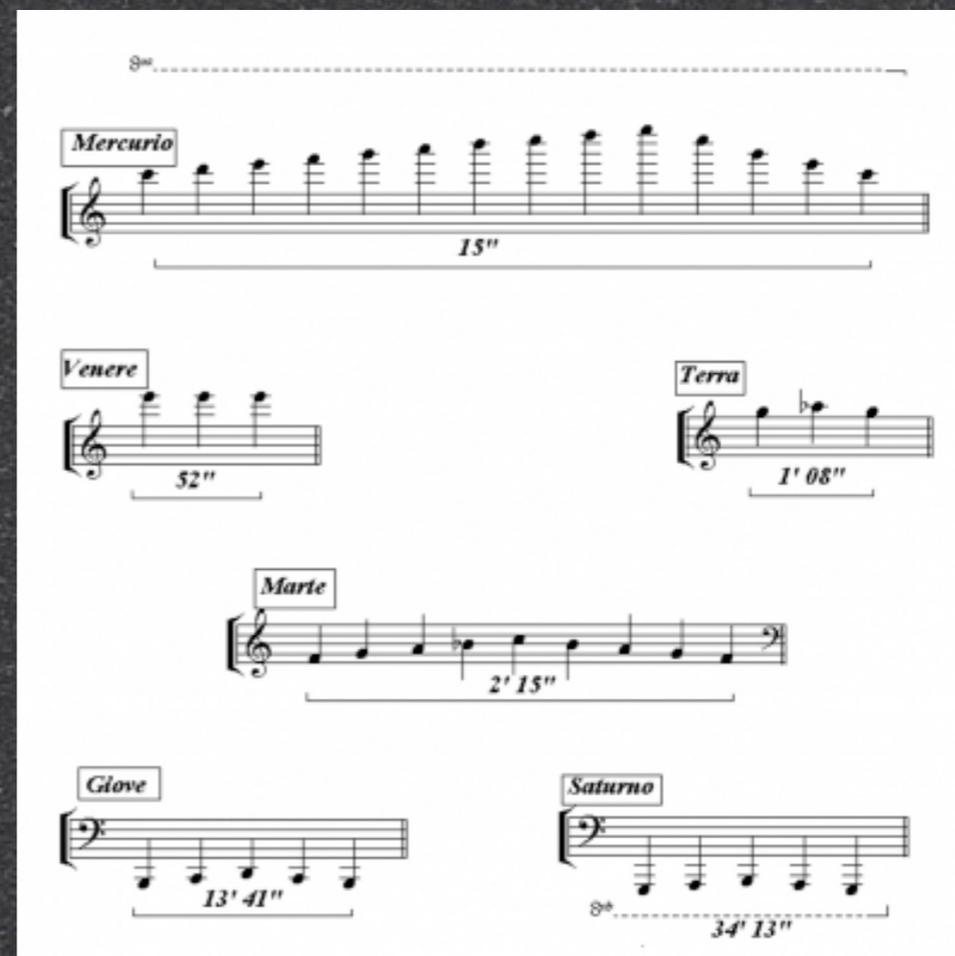
👁️ Una volta che i moti dei pianeti sono descritti tramite precise relazioni matematiche, possiamo avere similitudini con la musica.

👁️ Le orbite planetarie rappresentano note musicali e mentre la velocità di percorrenza il tono che può aumentare o diminuire.

👁️ Ecco la musica celeste, con ogni pianeta a suonare una parte della composizione complessiva!



Sinfonie celestiali





Grazie per  
l'attenzione a tutti  
i lecchesi!