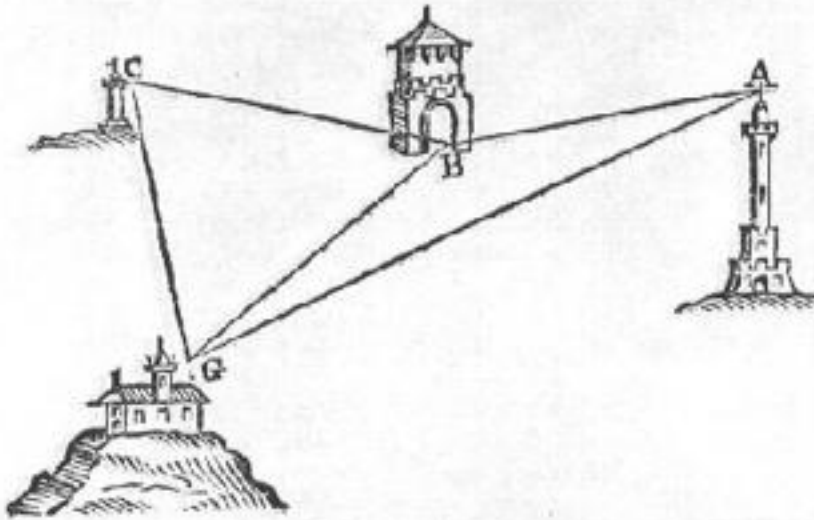


III. Sit *Asinella* Turris summa coronis propè apicem A, & meditullium portæ S. Felicis sit B, & *Columina quadrata* portæ secus viam ad pontem Rheni sit C, & campanile Montis *Guardia* sit G, quæ loca connectantur rectis lineis visualibus, vt constituentur duo Triang.



gula ABC, & BCG, in diuersis tamen planis, cum termini linearum visualium vnus alio altior esset, nempe A, altior quam B, & B, quam C, & G, omnium altissimus. *Primo* autem in Triangulo BGC, angulus CBG, obseruatus fuit Graduum 70.45'.26". & BCG, grad. 71. 17'. 4". vnde per 32. primi Elementorum, Angulus BGC, est Grad. 37. 57'. 30". Latus autem BC, est pedum Bononienfium 5472'. Ergo latus BG, Pedum Bonon. 8426. seu passuum 1685. cum passus constet quinis pedibus. Nam sic se habet Calculus Logarithmicus.

# La Misura del Mondo

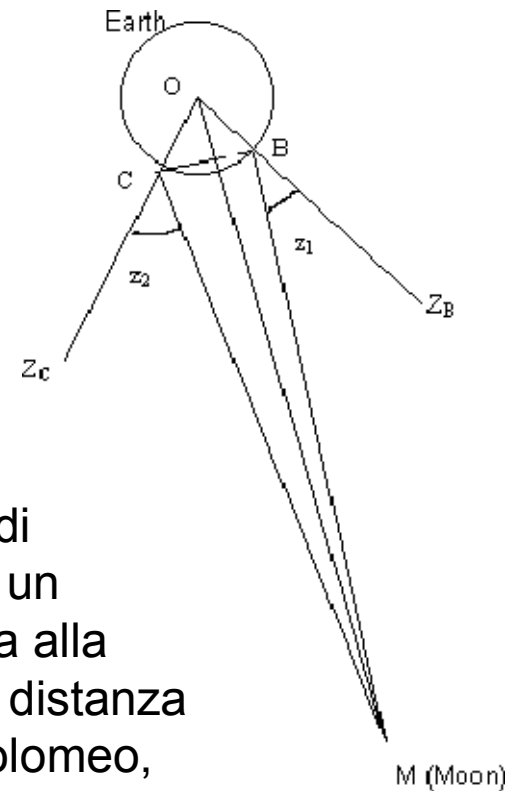
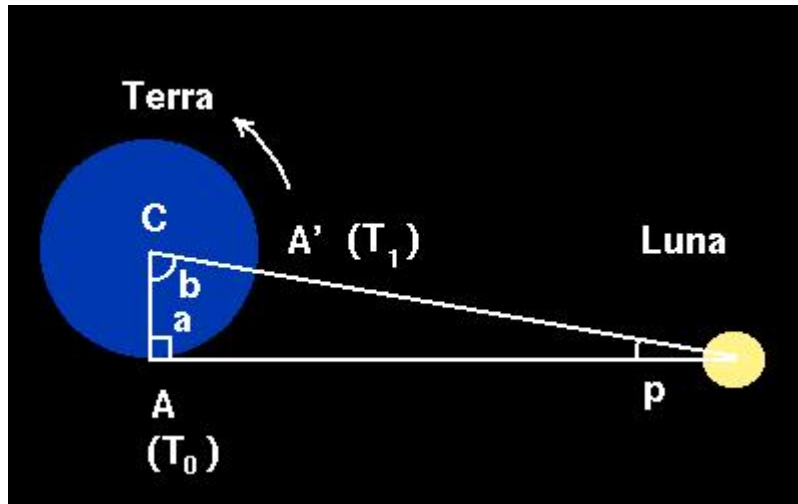
## 4 - Le distanze nel sistema solare

Bruno Marano  
Dipartimento di Astronomia  
Università di Bologna

La triangolazione tra la Torre degli Asinelli, Porta S.Felice, il ponte sul Reno e il Colle della Guardia (S.Luca); G.B.Riccioli, 1672

# Ipparco (II sec. a.C.), Parallasse della luna: $p = 57'$

Distanza TL = 60 Raggi terrestri = 380.000 km



Ipparco usò la rotazione terrestre per creare una base di triangolazione (A-A' o B,C) e determinare  $p$ , ottenendo un valore decisamente accurato. Associando la sua misura alla precedente determinazione di Aristarco si ottenne una distanza Terra-Sole di circa 1200 Raggi terrestri, adottata da Tolomeo, da Copernico e rimasta per 1400 anni, fino al XVII secolo (Cassini). Il valore era 20 volte inferiore al valore reale. Il modello copernicano determinava le proporzioni tra le distanze, ma il valore assoluto di queste era lontano dal reale.

# Le parallassi planetarie

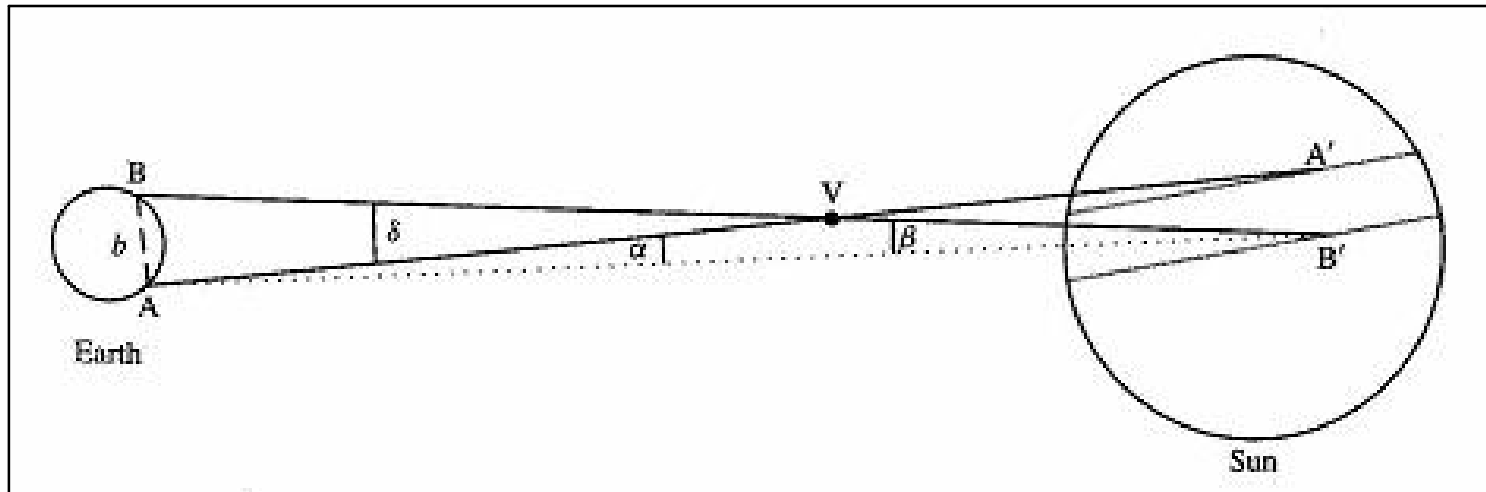
La parallasse del Sole non è misurabile direttamente per la mancanza di punti di riferimento adeguati. Marte, in opposizione, è ad una distanza che è 0.37 volte la distanza Terra-Sole. E' una situazione molto più favorevole ad una misura precisa.

Nel 1672, in occasione di una opposizione di Marte, Cassini organizzò una spedizione in Cayenna per effettuare misure contemporanee.

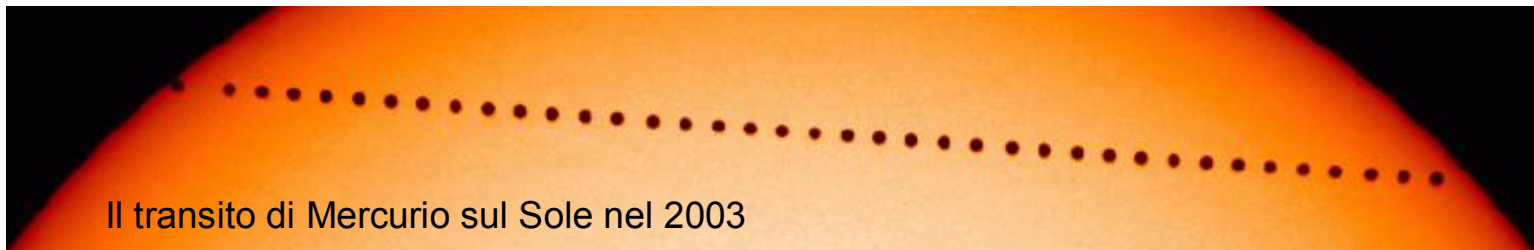
Misure di parallasse *diurna* (basata sulla rotazione della terra) a Parigi e Londra, diedero 25". Lo stesso risultato fu ottenuto quando, un anno dopo, furono disponibili le misure effettuate in Cayenna. Ne risultava una parallasse solare di 8".5, e una distanza del Sole di 21600 Raggi Terrestri.

L'*Universo* era 20 volte più grande di quanto si era ritenuto in passato. Cassini, costruttore della Meridiana di San Petronio a Bologna, era il primo a disporre di una misura realistica delle dimensioni del sistema solare.

# Il metodo del transito di Venere sul disco solare



Halley propose, nel 1679, di utilizzare il transito di Venere sul disco solare, previsto nel 1761 e 1769 (!), come condizione favorevole ad una misura più precisa.

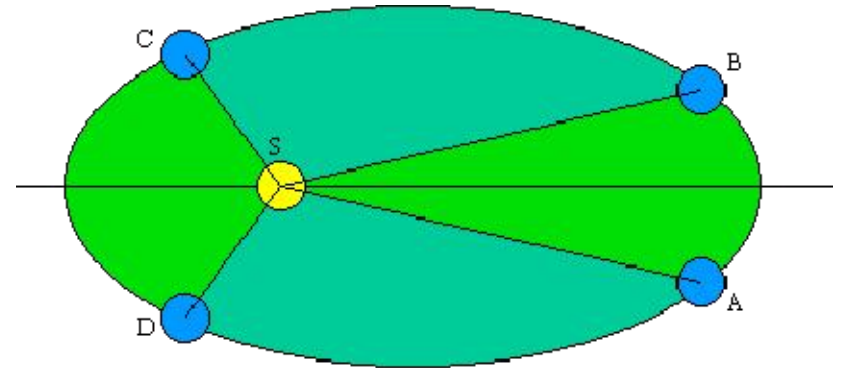


# La parallasse solare

- Le misure sono state progressivamente rese più precise, ma restano vicine al valore trovato da Cassini nel 1673.
- Sono stati usati corpi che si avvicinano alla terra fino a 0.1 unità astronomiche (planetini come Eros)
- Dagli anni '60 si usano tecniche di eco radar
- La distanza Terra-Sole è 150 milioni di Km
- Ricordare: nota una sola di esse, tutte le distanze dei corpi orbitanti attorno al Sole sono determinate da pure misure di periodo di rivoluzione attraverso le leggi di Keplero.

# Leggi di Keplero

- 1) I pianeti si muovono lungo orbite ellittiche di cui il Sole occupa uno dei fuochi;
- 2) I raggi vettori congiungenti i pianeti al centro del Sole descrivono aree uguali in tempi uguali;
- 3) I quadrati dei tempi di rivoluzione sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori dell'orbita



(1), (2)

$$\frac{p^2}{a^3} = \frac{1}{k} \quad (3)$$

# Le leggi di Keplero sono “contenute” nella meccanica della gravitazione di Newton

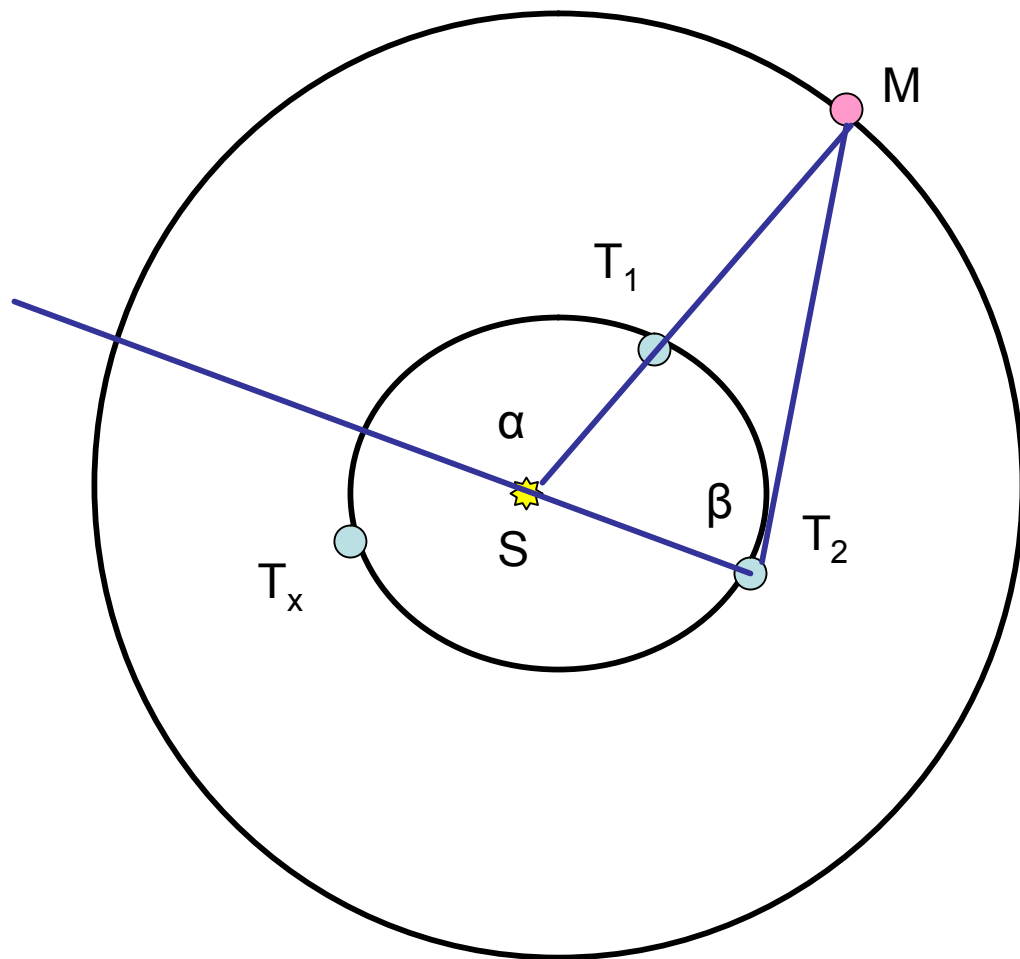
Limitiamoci alla terza legge, assumendo il caso più semplice di orbite circolari:

- 1) un corpo si muove su un'orbita circolare perchè soggetto a un'accelerazione centripeta  $a = V^2/R$ ;
- 2) questa accelerazione è dovuta alla gravità del sole: secondo la formulazione di Newton  $a = G M/R^2$
- 3) segue, uguagliando,  $V^2/R = G M/R^2$
- 4) da  $V = 2\pi R/T$
- 5) segue  $4\pi^2 R/T^2 = G M/R^2$ , semplificando
- 6)  $R^3/T^2 = GM/ 4\pi^2$  che è la terza legge di Keplero

$R^3/T^2$  misura la massa del Sole!

$M$  = massa del Sole,  $V$  = velocità,  $R$  raggio orbita,  $T$  tempo di percorrenza dell'orbita,  $G$  costante di gravità.

## Il metodo di Keplero per determinare la forma delle orbite planetarie



In una opposizione di Marte la Terra è in posizione  $T_1$ ... Dopo una rivoluzione completa di Marte la Terra sarà in  $T_2$ . L'angolo  $\beta$  è misurabile direttamente; l'angolo  $\alpha$  è dato dalla posizione del Sole vista da  $T_2$  e dalla posizione di Marte (nota dalla opposizione osservata da  $T_1$ ). Il rapporto  $ST_2/SM$  è noto. Ripetendo la procedura ogni volta che M è nella stessa posizione si ottengono vari rapporti  $ST_x/SM$ , con SM non noto ma costante. La forma dell'orbita terrestre può essere conosciuta con precisione. Rovesciando poi la procedura, si ottiene la forma dell'orbita degli altri pianeti.



# Pianeti nel Sistema Solare

Nome	Distanza U.A.	Massa (Terra=1)	Periodo	Scopritore	Data
<a href="#"><u>Mercurio</u></a>	<b>0.39</b>	0.06	87,97d		
<a href="#"><u>Venere</u></a>	<b>0.7</b>	<b>0.80</b>	224,70		
<a href="#"><u>Terra</u></a>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	365,36		
<a href="#"><u>Marte</u></a>	<b>1.52</b>	<b>0.10</b>	686,98		
<a href="#"><u>Giove</u></a>	<b>5.20</b>	<b>317.80</b>	4332,71		
<a href="#"><u>Saturno</u></a>	<b>9.54</b>	<b>95.10</b>	10759,50		
<a href="#"><u>Urano</u></a>	<b>19.19</b>	<b>14.60</b>	30685,00	<a href="#"><u>Herschel</u></a>	1781
<a href="#"><u>Nettuno</u></a>	<b>30.06</b>	<b>17.20</b>	60190,00	<a href="#"><u>Adams</u></a>	1846
<a href="#"><u>Plutone</u></a> *	<b>39.53</b>	<b>0.021</b>	90800,00	<a href="#"><u>Tombaugh</u></a>	1930

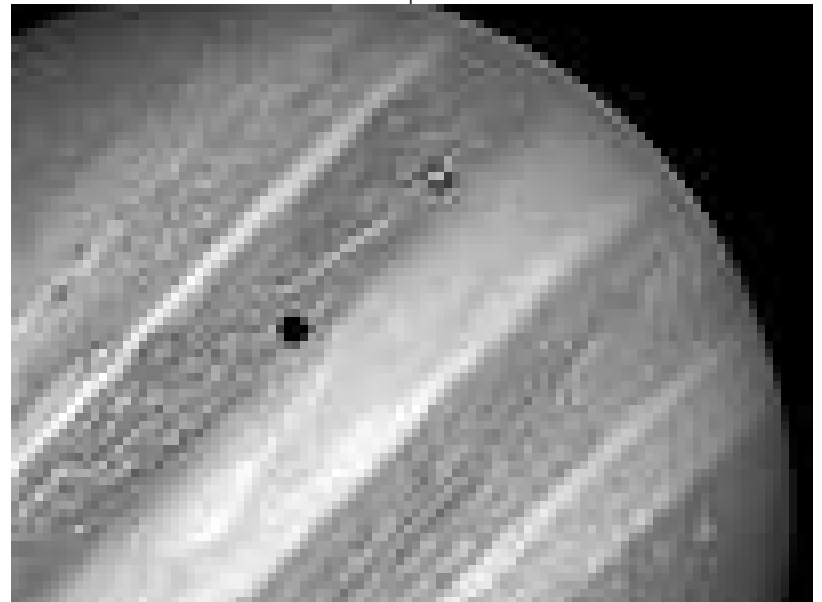
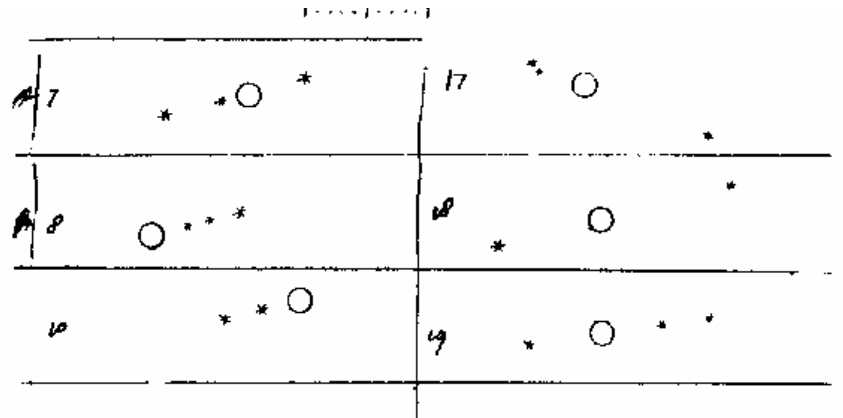
**inoltre corpi minori: pianetini, asteroidi, comete, polvere zodiacale**

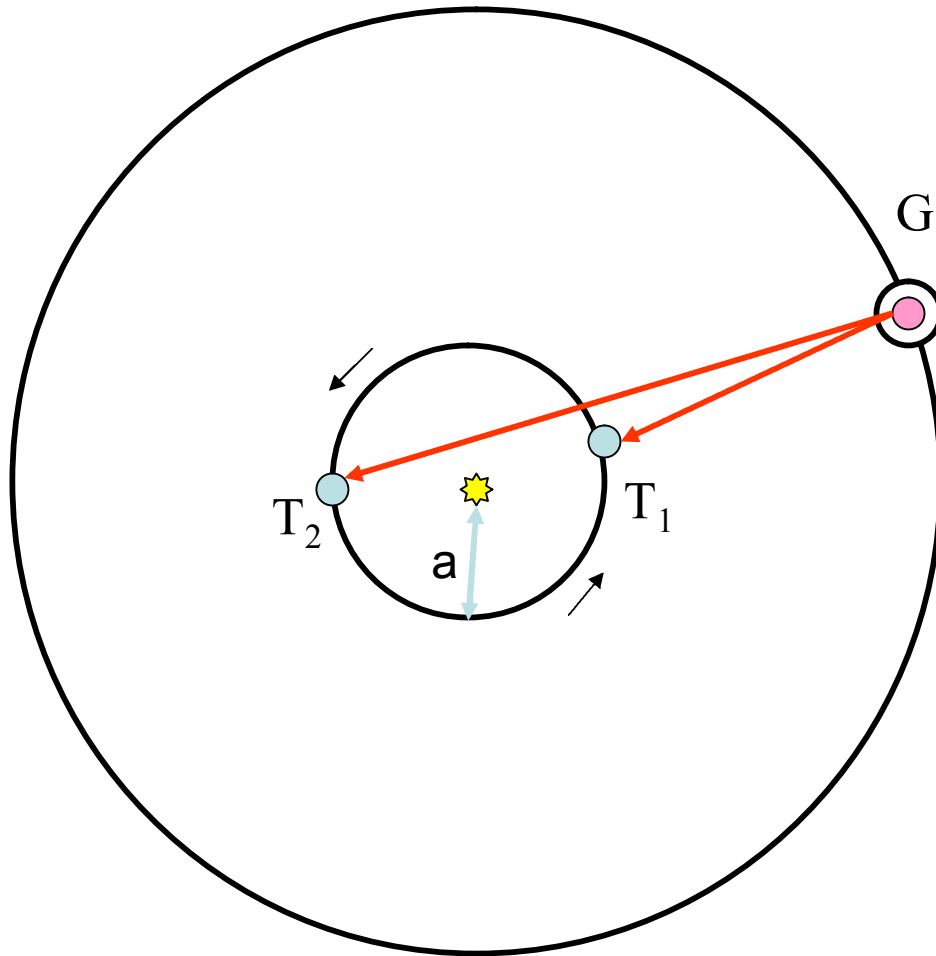
(\*) La scoperta recente di corpi in orbite transuraniche, di massa maggiore di Plutone, ha richiesto una revisione del senso del termine “pianeta”. Ora è definito pianeta una corpo diforma sferica, la cui struttura è determinata dalla gravità e che ha un’orbita di forma regolare. Nel 2006 Plutone è stato così “declassato” a “pianeta nano”.

# Una parentesi: la misura della velocità della luce nel XVII secolo

- Lo studio dei satelliti di Giove (a ds gli schizzi di Galileo) era fondamentale per la misura delle longitudini, in quanto costituiva un orologio universale
- Era necessario stabilire le loro effemeridi (tavole di posizione) con precisione, per potere con esse “accordare gli orologi”
- Io, la più vicina delle lune di Giove (a ds, NASA), si prestava particolarmente, a causa del suo breve periodo

*(Parentesi nella parentesi: sapreste trovare la massa di Giove, sapendo che lo ne dista 420.000 Km e ha un periodo orbitale di 1.769 d?)*





Roemer studiò le effemeridi di Io ( $P=1.77$  d), uno dei satelliti di Giove scoperti da Galileo. Scopri che l'eclisse, avvicinandosi alla congiunzione (2), ritardava fino a  $\Delta t=16$  min rispetto alla previsione, basata sulle osservazioni in opposizione (1), per poi ritardare e riportarsi in fase man mano che la Terra si riavvicinava a Giove. Spiegò il fatto assumendo che la luce si propagasse a velocità finita  $c$ :

$$c = (\overline{GT_2} - \overline{GT_1}) / \Delta t = 2a / \Delta t$$

Ottenne  $c = 200.000$  Km/sec  
(valore attuale  $c = 300.000$  Km/s).

Roemer e la prima misura della  
velocità della luce (1676)