

Galileo, i satelliti medicei e la misura della longitudine

“..il giorno 7 gennaio del corrente anno 161., all’una di notte , mentre osservavo gli astri celesti con il cannocchiale, mi si presentò Giove, e dato che mi ero allestito uno strumento davvero eccellente, mi avvidi che gli stavano vicino tre Stelline invero piccole , ma assai luminose...e mi destarono una certa meraviglia perché, per il fatto che sembravano disposte secondo una precisa linea retta e parallela all’Eclittica e più luminosa di altre di pari grandezza.”

Con queste parole Galileo Galilei descrisse nel *Sidereus Nuncius* la scoperta dei pianetini di Giove. Meticolosamente da quel momento iniziò a registrare ogni giorno, disegnandole, le posizioni reciproche dei satelliti con Giove, giungendo alla conclusione che *“essi orbitano in modi differenti; quando l’allontanamento da Giove è più grande non è mai possibile vedere due pianeti congiunti; mentre in vicinanza di Giove se ne trovano riuniti due,tre, e talvolta tutti insieme.”*(fig.1)

Diede ad essi il nome di **Medicei** per accattivarsi il favore del suo mecenate, Cosimo de’ Medici. Ma si rese subito conto che essi potevano essere utili per risolvere il problema della misura della longitudine, tanto necessaria ai naviganti per trovare le rotte in mare.

Per tutto il 1611 osservò le lune di Giove, ne calcolò le orbite e contò le volte che esse sparivano dietro l’ombra del pianeta; poiché queste eclissi avvenivano con grande frequenza, mille volte l’anno, ipotizzò che la loro regolarità poteva funzionare da orologio celeste per le misure di longitudine. Bisognava solo avere a disposizione delle tabelle con le previsioni precise dei fenomeni.

Tenace nelle sue idee scrisse una lettera, che illustrava il suo metodo, al re di Spagna Filippo II che aveva stanziato una lauta somma in ducati da dare in vitalizio allo “scopritore della longitudine”.

Purtroppo la proposta di Galilei non venne presa in considerazione dai consiglieri del re. Galilei disegnò anche un copricapo con incorporato un cannocchiale, il *celatone*, che poteva essere utilizzato in navigazione per osservare i satelliti medicei. Lo sperimentò sulla terraferma a Livorno e spedì un suo studente a sperimentarlo su una nave, ma come ammise lui stesso, lo strumento non era molto affidabile, “bastava un battito del cuore” per far uscire Giove dal campo visivo.

Provò a offrire il suo metodo ai granduchi di Toscana e agli olandesi ma non lo presero in considerazione; gli olandesi apprezzarono le sue scoperte, ritenendole comunque utili per la risoluzione del problema della longitudine, e per dimostrarli la loro stima gli fecero omaggio di una collana d’oro. L’interesse per il metodo di Galilei andò oltre la sua morte, avvenuta nel 1642, ed ebbe finalmente il giusto riconoscimento quando fu applicato sulla terraferma nel 1650 da cartografi e topografi per ridisegnare, in maniera molto più precisa che in passato, le mappe del mondo.

A quel punto si affermò l’esigenza di avere tabelle precise dei tempi delle eclissi dei satelliti medicei e molti si accinsero a prepararne, ma si deve al professore di astronomia dell’Università di Bologna, G.Domenico Cassini la prima elaborazione accurata e completa, pubblicata nel 1688.



fig.1 Io a sinistra, proietta la sua ombra sul Giove, mentre Europa è a destra. Il polo Sud di Giove in alto. Foto ottenuta con Newtoniano da 25 cm e una webcam (Cristian Fattinanzi)

Comunque il metodo di Galilei era destinato a non avere, e non ebbe, molta fortuna sulle navi, dove è difficile garantire stabilità ad un qualunque telescopio.

Il problema della determinazione della longitudine in mare si è trascinato per altri due secoli, dopo Galilei, tra stanziamento di ingenti somme per premi, commissioni istituite ad hoc e lotte per rubarsi le idee, fino alla messa a punto di un cronometro affidabile, che ebbe il suo genio creatore in John Harrison (1693-1776), *una vita spesa* a costruire cronometri e a difendersi dai suoi detrattori ed imitatori¹.

Fenomeni medicei

Le prime quattro “lune” di Giove, le più vicine al pianeta, Io, Europa, Ganimede e Callisto, sono osservabili dalla Terra anche con piccoli cannocchiali; nel loro moto di rivoluzione intorno al pianeta esse consentono l’osservazione di interessanti fenomeni, come Eclissi, Occultazioni e Transiti del satellite stesso o della sua ombra davanti al pianeta (fig. 2 e 3).

Nel caso di

- **Eclisse:** Giove proietta il suo cono d’ombra nello spazio e quando uno dei suoi pianetini entra in esso si ha la sua Eclisse. Alcune ore dopo ricompare dall’altro lato del cono d’ombra ed è di nuovo osservabile;
- **Occultazione:** può succedere che uno dei pianetini scompaia dietro il disco osservabile del pianeta, e viene da esso occultato per un po’, per poi ricomparire dall’altra parte del pianeta;
- **Transito del satellite:** è possibile che uno dei pianetini transiti davanti al pianeta e copra il disco di Giove, sia pure in piccolissima parte;
- **Transito dell’ombra del satellite:** può succedere che uno di pianetini proietti la sua ombra sul pianeta ed essa vi transiti davanti (fig.4).

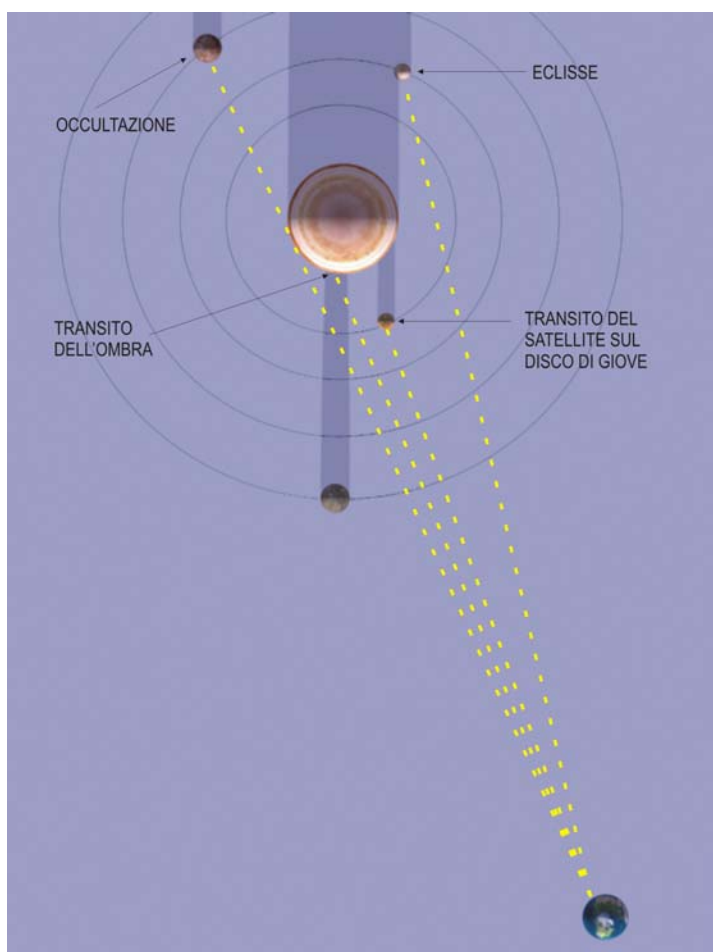


fig.2 Le diverse posizioni di Giove con le sue lune (N.Scarpel)

In una stessa sera o addirittura nell’arco di poche ore si possono verificare uno o più fenomeni di quelli sopra descritti.

Nel 2004 si sono verificati moltissimi fenomeni medicei nell’arco di quasi tutto l’anno, con esclusione del periodo 29 agosto-15 ottobre, quando Giove aveva una elongazione inferiore ai 18°, era cioè troppo vicino al Sole²; lo stesso si verificherà nel 2005, tranne il periodo dal 29 settembre al 15 novembre, per la stessa elongazione inferiore ai 18°.

I tempi in cui si verificano i fenomeni medicei sono riportati di solito negli almanacchi astronomici. Per l’attività che viene proposta in queste pagine si è utilizzato l’Almanacco 2004

¹ Dava Sobel, Longitudine, Ed. Rizzoli Bur Saggi

² vedi Scheda Didattica 6SD

dell'Unione Astrofili Italiani³ che riporta l'indicazione dell'ora in cui avvengono i fenomeni in Tempo Universale e tutti i tempi si riferiscono al passaggio del *centro del disco del satellite*, sia quando si parla di inizio del fenomeno che quando si parla di fine.

Pur sapendo che sono necessarie strumentazioni di un buon livello e che non è semplice individuare il momento esatto del fenomeno, si propongono due metodi di *misura della*

longitudine con le lune di Giove, per provare come, forse, avrebbe lavorato Galilei, se avesse avuto a disposizione un buon orologio e un buon telescopio per misurare i tempi solari in cui i fenomeni medicei si verificano.

Si consiglia l'uso di una webcam collegata al telescopio che consente di riprendere gli eventi a fotogrammi ravvicinati (fig.1).

Sapendo la difficoltà di osservare in diretta i fenomeni medicei, si suggerisce di utilizzare a scopo didattico anche la **simulazione al computer** con un Software di Astronomia che riproduce il cielo stellato di qualsiasi località. Allo scopo è molto utile Skymap, che ha una versione demo free scaricabile dal suo sito <http://skymap.com>; infatti una volta individuato il pianeta è possibile, ingrandendolo, simulare benissimo i fenomeni medicei e l'ora in cui si verificano.

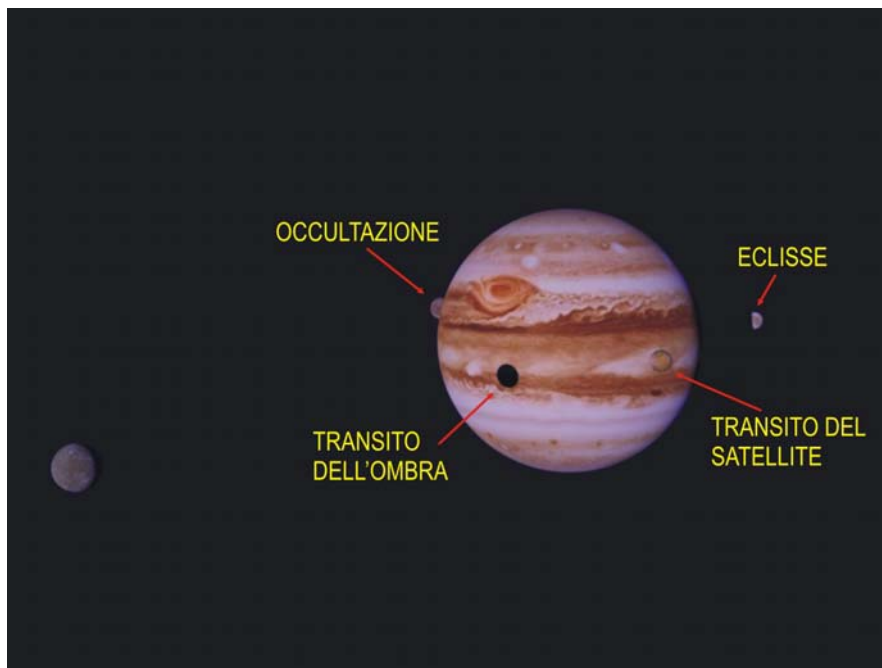


fig.3 Giove e diverse posizioni delle sue lune

(N.Scarpel)

Differenze di tempo solare del fenomeno mediceo e differenze di longitudine

I **fenomeni medicei** possono essere osservati **simultaneamente** da tutte le località della terra da cui è osservabile Giove.

Se si calcola il tempo solare in cui si verifica un fenomeno mediceo in differenti località è possibile verificare che lo stesso fenomeno ha tempi solari differenti; convertendo le differenze di tempo in gradi è possibile stabilire

- la misura di longitudine di una località rispetto a Greenwich, dove passa il meridiano fondamentale o 0°;
- la differenze di longitudine tra le diverse località.

Di solito l'ora dei fenomeni medicei negli almanacchi è **indicata in T.U.**, che corrisponde al *tempo medio di Greenwich*.

Il T.U. differisce di 1 ora dal tempo medio dell'Italia, infatti il meridiano centrale del suo fuso, che passa per Catania, ha longitudine -15°. Essendo l'Italia a Est di Greenwich l'ora corrispondente sarà uguale a quella del T.U.+1ora.

Si esemplificano di seguito due proposte di attività didattiche sulle misure di longitudine con i fenomeni medicei.

³ www.uai.it

1 Misura di longitudine con tempo solare del fenomeno mediceo

Individuazione del fenomeno mediceo

Nell'Almanacco 2004 dell'UAI 2 si sceglie un fenomeno mediceo di un dato giorno. Ad esempio il 6/3/2004 si individua il fenomeno riportato con questi dati, validi per tutte le località della Terra,

19 50,4 III. Tr.I in T.U. che secondo la relativa legenda stanno a indicare:

$19\ 50,4 \rightarrow 19^h\ 50,4^m \rightarrow 19^h\ 50^m\ 24^s$

III \rightarrow *Ganimede*

Tr.I \rightarrow *Inizio del Transito del centro del disco di Ganimede davanti al disco di Giove*

Osservazione del fenomeno e conversione del tempo medio in tempo solare

Per essere rigorosamente *galileiani*, bisognerebbe utilizzare un orologio solare perfettamente funzionante e procedere con le misurazioni del tempo solare del fenomeno a partire dal **mezzogiorno solare** della località in cui si opera, nel giorno in cui si verifica il fenomeno da osservare⁴; in alternativa si può utilizzare un cronometro, che si fa partire nell'istante del mezzogiorno solare e si ferma al momento in cui si verifica il fenomeno mediceo.

Se non si ha un orologio solare e non si intende usare il cronometro, si può individuare il mezzogiorno solare con i calcoli illustrati nel capitolo 3SD oppure utilizzare il modulo di calcolo on line della Rete di Eratostene all'indirizzo www.vialattea.net/eratostene/astrocalc/sole1.html

In questo caso, ovviamente forzato, si registra l'ora dell'orologio in cui si verifica il fenomeno mediceo; sia che esso si verifichi prima dell'alba sia dopo il tramonto, l'ora dell'orologio registrata va convertita in *ora solare vera*, utilizzando la differenza di minuti dalle ore 12 del mezzogiorno solare vero, che va *sottratta se è di valore positivo*, perché indica che il mezzogiorno solare è avvenuto dopo le ore 12, o, viceversa, *aggiunta se negativo*, poiché il mezzogiorno solare è avvenuto in anticipo rispetto a quello dell'orologio.

Infatti il Sole arriva al meridiano di ogni località in ore differenti dal **tempo medio del fuso**, indicato dall'orologio, a causa sia dell'Equazione del tempo (Et) che della **differenza di longitudine**.

Si ipotizzi che l'inizio del transito di Ganimede a Roma il 6/3/2004 avvenga all'ora dell'orologio $20^h\ 50^m\ 24^s$

*Il mezzogiorno solare si è verificato alle $12^h\ 21^m\ 21^s$ per cui, a partire da esso, si calcola il tempo solare (**tv**) che corrisponde a*

$$20^h\ 50^m\ 24^s - 21^m\ 21^s = 20^h\ 29^m\ 03^s$$

A Greenwich il T.U. indica il **Tempo solare medio**, non quello vero che va ottenuto anche qui tenendo conto della correzione dell'Equazione del Tempo (Et).

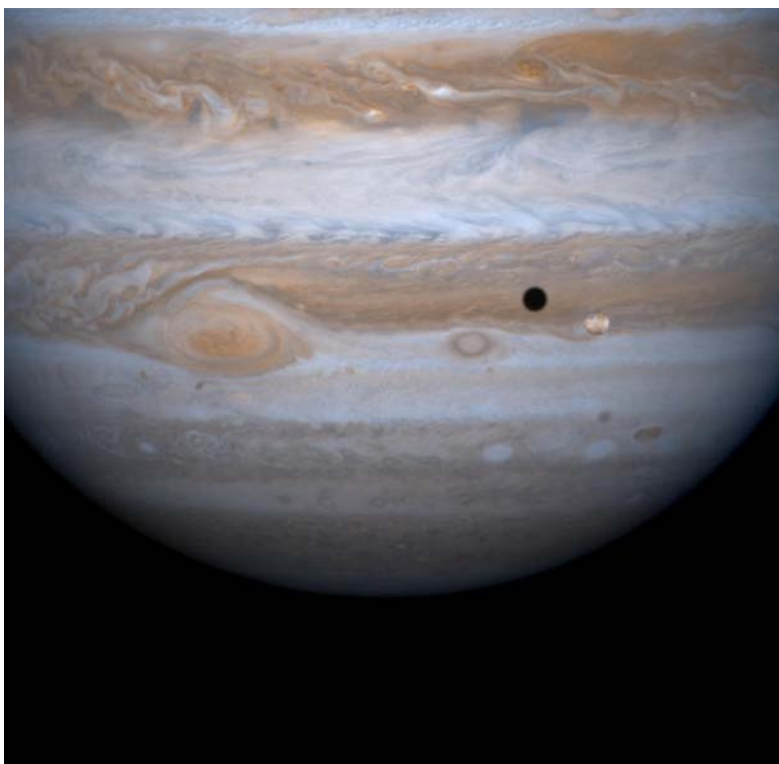


fig.4 Transito di Io e della sua ombra su Giove ripreso dalla Sonda Cassini in viaggio verso Saturno. Foto Nasa

⁴ vedi Scheda didattica 3SD

Schede didattiche ed esempi di misurazioni effettuate

Il 6 marzo l'Et risulta di $-11^m 21^s$, quindi il valore del fenomeno mediceo dell'almanacco va riportato in **Tempo solare vero di Greenwich (TvU)**. Perciò :

$$TvU = t_m + Et \quad \text{cioé} \quad TvU = 19^h 50^m 24^s + (-11^m 21^s) = 19^h 39^m 03^s$$

A questo punto si calcola la differenza Δt tra il tempo solare in cui si è verificato il fenomeno a Greenwich (TvU) e quello in cui si è verificato a Roma (tvI)

$$\Delta t = TvU - tvI \quad \text{per cui} \quad \Delta t = 19^h 39^m 03^s - 20^h 29^m 03^s = -50^m$$

Tale differenza di tempo si converte in gradi per ottenere la longitudine della città. La conversione in gradi di longitudine si effettua sapendo che ogni minuto di tempo corrisponde a $15'$ di angolo e ogni ora corrisponde a 15° di arco di longitudine⁵.

$$\text{long Roma} = -50^m \cdot 15' = -750' \text{ in gradi} \quad \text{long} = -12,5^\circ = -12^\circ 30'$$

La longitudine di Roma a Est di Greenwich è quindi $12^\circ 30'$ E, difatti il fenomeno si è verificato prima a Roma e poi a Greenwich.

2 Misura di differenze di longitudine con misura del tempo solare del fenomeno mediceo

Se si osserva il fenomeno mediceo da **due località diverse** e si calcolano i tempi solari dell'evento è possibile calcolare la **differenza di longitudine** tra di esse.

In questo caso si possono far partire due cronometri al momento del mezzogiorno solare in due diverse località, come ad esempio **Roma e Foggia**.

I due cronometri vanno fermati al momento in cui si verifica il fenomeno mediceo, si registra l'ora segnata, che corrisponde, con l'aggiunta di ore 12, all'ora solare vera del posto.

La località posta più a Est dovrà avere la registrazione del fenomeno con un tempo maggiore dell'altra.

Se non si possono usare i cronometri si può sempre calcolare l'ora solare del fenomeno registrando l'ora dell'orologio ed effettuando le correzioni dei minuti in più o in meno in cui si verifica il mezzogiorno solare (si veda il procedimento del Metodo n. 1).

La differenza di tempo tra le ore solari trovate nelle due località corrisponde alla differenza di longitudine tra esse, che si trova con la opportuna conversione in gradi.

I tempi indicati dagli Almanacchi possono essere utilizzati come indicazione dell'ora in cui l'evento si deve verificare.

Si ipotizzi lo stesso fenomeno del metodo precedente, per esempio il 6 marzo, riportato con questi dati: **19 50,4 III. Tr.I** che corrisponde all'inizio del transito di Ganimede davanti al disco di Giove.

A **Roma** il cronometro parte a mezzogiorno solare; il tempo solare (**tvR**) ottenuto aggiungendo ore 12 al tempo registrato al momento in cui avviene l'inizio del transito del centro del disco di Ganimede è: $20^h 29^m 03^s$

A **Foggia** il Tempo solare (**tvF**) ottenuto con lo stesso metodo è: $20^h 41^m 15^s$

La differenza di tempo del verificarsi del fenomeno tra le due località è

$$\Delta t = 20^h 41^m 15^s - 20^h 29^m 03^s = 12^m 12^s$$

Convertendo tale differenza in gradi si ha che la differenza di longitudine tra le due località è:

$$\Delta \lambda = 12^m 12^s \cdot 15 = 183' : 60 = 3^\circ 03'$$

Poiché la località dove il tempo registrato è maggiore si trova più a Est dell'altra, Foggia risulta essere più a Est di Roma di $3^\circ 3'$ di longitudine.

Infatti Roma ha longitudine $12^\circ 30'$ E mentre Foggia ha longitudine $15^\circ 33'$ E.

⁵ Vedi tab.1 Prerequisiti 5P