

G2. La Luna

Generalità

Il moto della Luna è assai complicato, ma diventa relativamente semplice se s'incomincia con una prima approssimazione molto grossolana. Possiamo allora dire che Luna si sposta sulla sfera celeste di moto diretto, come il Sole, percorrendo anch'essa un cerchio massimo prossimo all'eclittica. Se ci chiediamo quale sia il periodo del moto, possiamo rispondere definendo due diversi periodi:

- periodo siderale (riferito alle stelle fisse) $T_{\text{sid}} = 27^{\text{d}} 1/3$
- periodo sinodico (definito come per i pianeti, cioè rispetto al Sole) $T_{\text{sin}} = 29^{\text{d}} 1/2$.

Il calcolo per passare dall'uno all'altro è facile quando si pensi alle velocità angolari. Detta ω la velocità angolare della Luna (\odot) rispetto alla sfera celeste, Ω la velocità angolare del Sole, la velocità angolare del moto sinodico è $\omega_{\text{sin}} = \omega - \Omega$. Poiché $T = 2\pi/\omega$ si arriva alla relazione

$$\frac{1}{T_{\text{sin}}} = \frac{1}{T_{\text{sid}}} - \frac{1}{T_{\odot}}. \quad (\text{G2.1})$$

Allora sapendo $T_{\odot} \simeq 365^{\text{d}} \frac{1}{4}$ si ricava T_{sin} da T_{sid} o viceversa.

Nota: In astronomia si usano nomi e notazioni diverse da quelle della fisica, che sarà opportuno avere sempre presenti. Così la velocità angolare media finora considerata è detta *moto medio* e viene indicata col simbolo n anziché con ω (o Ω): queste lettere hanno altri significati. Inoltre invece degli indici si usano spesso i simboli antichi degli astri: così la relazione $\omega_{\text{sin}} = \omega - \Omega$ vista sopra si scriverà

$$n_{\odot}^{\text{sin}} = n_{\odot}^{\text{sid}} - n_{\odot}. \quad (\text{G2.2})$$

Si è detto che la Luna descrive sulla sfera celeste un cerchio massimo. Si nota poi che nei pleniluni d'inverno essa è assai più alta che in quelli estivi: questo si spiega facilmente, perché al plenilunio la Luna è all'incirca direttamente opposta al Sole (fase di *opposizione*); è chiaro quindi che essa sarà bassa quando il Sole è alto, e viceversa.

Ma è certo che la Luna non percorre esattamente l'eclittica, altrimenti a ogni plenilunio si dovrebbe verificare un'eclissi di Luna e ad ogni novilunio (fase di *congiunzione*) un'eclissi di Sole. In realtà l'eclittica e il cerchio della

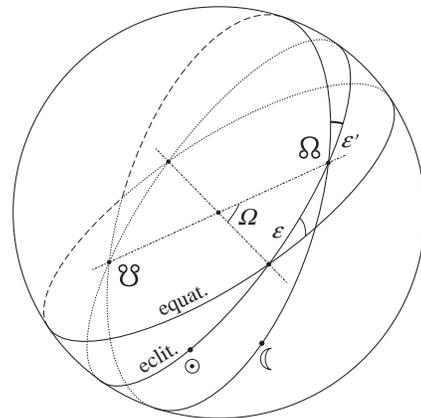


Fig. G2-1

Luna sono inclinati fra loro di un piccolo angolo $\varepsilon' \simeq 5^\circ$ (fig. G2-1) che per altro non resta esattamente costante. Come sappiamo però non basta questo angolo a definire la posizione del cerchio della Luna: occorre precisare ancora la posizione dei punti nodali. Il nodo ascendente Ω può essere localizzato a partire dal punto γ sull'eclittica, assegnandone la *longitudine eclittica* (Cap. G5).

La retrogradazione dei nodi

La prima complicazione che notiamo è che il punto Ω non è fisso: l'angolo Ω di longitudine varia lentamente nel senso negativo. Tale fenomeno è detto *retrogradazione del nodo della Luna* (fig. G2-2) e ha un periodo di poco più di 18 anni e mezzo. Il fenomeno macroscopico osservabile è allora il seguente: l'altezza massima della Luna è data dall'angolo $\pi/2 - \varphi + \varepsilon + \beta$ con $-\varepsilon' \leq \beta \leq \varepsilon'$; sarà $\beta = \varepsilon'$ quando $\Omega = 0$ ossia quando Ω coincide con Υ , mentre sarà $\beta = -\varepsilon'$ quando $\Omega = 180^\circ$ ossia quando Ω della Luna coincide con \simeq (equinozio d'autunno). Dunque la Luna in un ciclo di 18 anni e mezzo varia la sua altezza massima. Per Pisa ($\varphi \simeq 44^\circ$) essendo $\varepsilon \simeq 23^\circ \frac{1}{2}$, $\varepsilon' \simeq 5^\circ$, l'altezza massima della Luna sarà $69^\circ \frac{1}{2} \pm 5^\circ$.

Nota: Il 27 febbraio 1997 era $\Omega = 180^\circ$, per cui l'altezza della Luna alla culminazione, al plenilunio più vicino al solstizio d'inverno, è stata circa $64^\circ \frac{1}{2}$. Il 19 Giugno 2006 sarà invece $\Omega = 0$: in quell'estate la luna piena sarà la più bassa possibile, $17^\circ \frac{1}{2}$ circa. Nell'inverno l'altezza massima della luna piena sarà vicina a $74^\circ \frac{1}{2}$.

La causa della retrogradazione del nodo è nell'azione gravitazionale del Sole, come vedremo meglio in seguito: si tratta di un tipico problema di *perturbazioni*. A un campo di forze centrali (quello di gravità della Terra) si sommano i campi di attrazione del Sole e dei pianeti, tra cui il più importante è Giove.

Il moto della Luna come lo abbiamo presentato finora è ancora assai semplificato, in quanto si sono trascurati molti dettagli: intanto il moto non è uniforme, poi visto nello spazio non si svolge su un cerchio ma su un'ellisse (in fig. G2-3 molto esagerata). Poiché la Luna è vicina alla Terra, è facile osservare le conseguenti variazioni del suo diametro angolare. C'è di più: l'ellisse ruota in senso diretto con un periodo di circa 9 an-

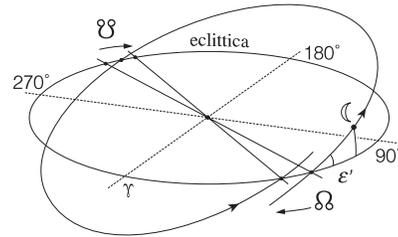


Fig. G2-2

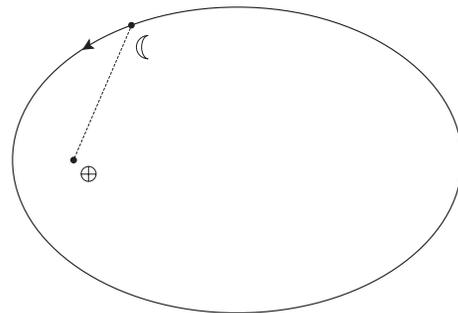


Fig. G2-3

ni. Ne segue che la traiettoria reale si avvicina a quella di fig. G2-4, dove si è indicata con R la distanza dell'*apogeo* e con r quella di *perigeo*.

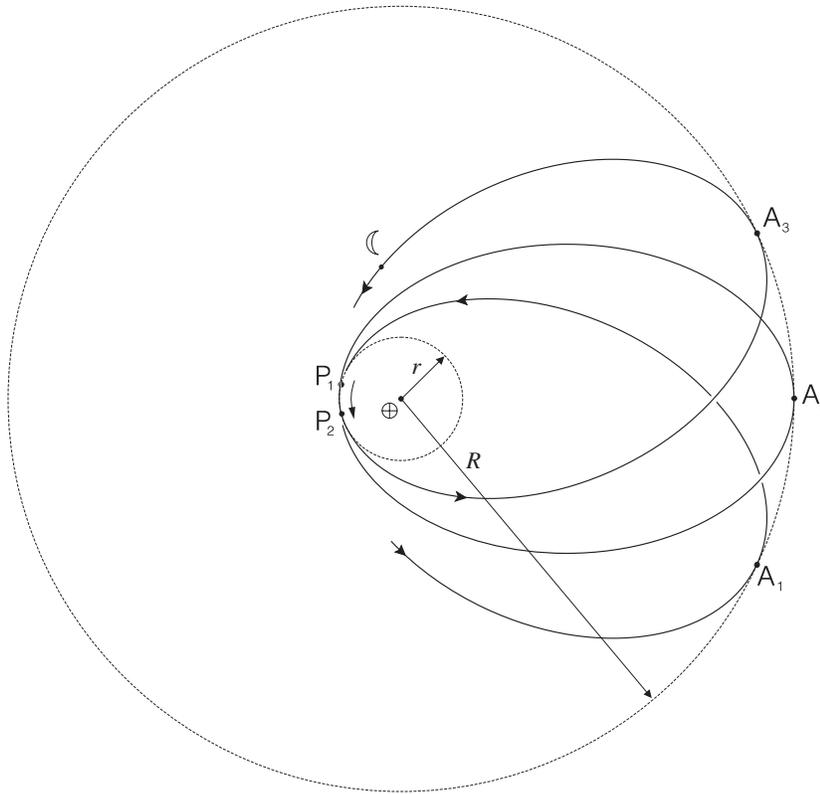


Fig. G2-4

Le eclissi

Le due perturbazioni principali (retrogradazione dei nodi e avanzamento del perigeo) erano ben note dalla remota antichità (Babilonesi) a causa della loro importanza riguardo alle eclissi. Se non si avesse retrogradazione dei nodi le eclissi accadrebbero sempre a data fissa, e cioè quando il Sole passa per uno dei nodi (naturalmente occorre che anche la Luna ci si trovi). A causa della retrogradazione, l'incontro del Sole con un nodo avviene a intervalli più brevi di un anno siderale: questo intervallo, di circa 346 giorni e mezzo, si chiama *anno delle eclissi*. Analogamente possiamo vedere la cosa rispetto alla Luna: l'intervallo tra due passaggi al Ω è più breve del mese siderale e si chiama *mese draconitico* (il nome proviene dalla leggenda che attribuiva le eclissi a un serpente disteso lungo il cerchio della Luna, con la testa nel Ω , che inghiottiva il Sole al suo passaggio).

Anche la posizione del perigeo è importante per le modalità di un'eclisse. Dato che i diametri angolari del Sole e della Luna, visti dal centro della Terra, sono quasi uguali, la piccola differenza prodotta dal trovarsi la Luna all'apogeo

o al perigeo può decidere se un'eclisse sarà totale o anulare. Il moto del perigeo altera progressivamente questa situazione. Per questo è importante anche il periodo da un perigeo all'altro, detto *mese anomalistico*.

I mesi e il Saros

Ricapitolando abbiamo i seguenti periodi, importanti tutti — tranne il primo — per la previsione delle eclissi (i valori sono riferiti alla data standard J2000.0 = 1° Gennaio 2000, ore 12 di Greenwich):

mese siderale	27.321662 d
mese draconitico	27.212220 d
mese anomalistico	27.554550 d
mese sinodico	29.530588 d
anno delle eclissi	346.62006 d.

Si noti che mese sinodico, mese draconitico e anno delle eclissi non sono indipendenti: si lascia al lettore di trovare e verificare la relazione.

Se i tre mesi sinodico, draconitico e anomalistico avessero un semplice multiplo comune le eclissi si riprodurrebbero identiche dopo un tale intervallo. In pratica ciò non accade esattamente; tuttavia si trova la seguente situazione:

223 mesi sinodici	=	6585.32 d
242 mesi draconitici	=	6585.36 d
239 mesi anomalistici	=	6585.54 d.

Questo periodo, di poco più di 18 anni (detto *Saros*) fu scoperto dai Babilonesi e consentì accurate previsioni in base alla semplice regola che un'eclisse già avvenuta doveva ripresentarsi dopo un Saros.

Altre perturbazioni

Oltre a tutto quanto già detto, va notato che anche il moto della Luna lungo l'orbita non segue che assai grossolanamente le leggi di Keplero: la perturbazione solare produce irregolarità anche notevoli, alcune delle quali già note agli astronomi greci. Infine in una trattazione rigorosa non si può trascurare che la Luna va trattata non come corpo puntiforme ma come corpo esteso (approssimativamente rigido), con tutte le complicazioni connesse: moti attorno al baricentro (rotazioni, librazioni, ecc.), ulteriormente complicate dal fatto che la forma della Luna non è sferica, ma allungata verso la Terra.

Per questo si può dire che il moto della Luna mette alla prova ancor oggi ogni teoria cosmologica e meccanica; lo studio di tale moto è enormemente complicato, se si vuole che la teoria possa fornire risultati di precisione paragonabile a quella delle osservazioni.