

## La candela

A dire il vero, questa volta in epigrafe non dovrebbe starci Lao-Tsu. Dato il soggetto della puntata, ci starebbe meglio — se non fosse fin troppo scontato — l'*incipit* del *Canto notturno* di Leopardi... Ma posso contare che tutti lo conosciate a memoria, e abbiate quindi capito che dedicherò la nostra conversazione alla Luna.

Mi sembra già di sentirvi: ancora? Infatti ben quattro puntate di questa “Candela” hanno parlato della Luna, ma in prevalenza ci siamo occupati della Luna come causa di maree. Ora mi propongo invece di trattare degli aspetti osservativi più immediati, per i quali non occorrono strumenti, o bastano quelli che sono oggi alla portata di chiunque. Voglio mostrare quante cose, con che varietà di forme e di andamenti, si possono scoprire guardando la Luna, e poi anche accennare quanto sia complicato uno studio completo e accurato.

Cominciamo dalle fasi: luna nuova, primo quarto, luna piena, ultimo quarto... Tutti sanno (o credono di sapere) che le fasi sono legate alle posizioni relative di Sole e Luna, e si susseguono regolarmente, con un ciclo (il *mese sinodico*) di quasi 30 giorni: per maggior esattezza, 29 giorni e mezzo. E sappiamo anche che dal ciclo delle fasi lunari prende origine il mese del nostro calendario, e anche la settimana.

Ma è davvero così regolare questo ciclo? Se per esempio guardiamo le lune piene del 2006 troviamo che gli intervalli variano tra un minimo di 29 giorni e 8 ore e un massimo di 29 giorni e 11 ore. Se invece prendiamo in esame un periodo più lungo, scopriamo un minimo inferiore a 29 giorni e 7 ore, e un massimo di quasi 29 giorni e 20 ore.

Come mai questo succeda, lo vedremo poi. Ma ci possiamo già rendere conto che una variazione così sensibile (13 ore) non poteva sfuggire agli astronomi fin dall'antichità.

Visto che sono in vena di numeri, vi fornisco un valore più accurato del mese sinodico *medio* come lo conosciamo oggi:

29 d, 12 h, 44 m, 2.9 s.

E come curiosità storica, aggiungo il valore usato dagli astronomi babilonesi, almeno 2000 anni fa:

29 d, 12 h, 44 m, 3.3 s.

Come vedete, la differenza è incredibilmente piccola: 4 decimi di secondo su un mese!

È naturale chiedersi come abbiano fatto, ma la risposta è piuttosto semplice: si tratta solo di avere tempo e pazienza. Dato che 0.4 secondi su 30 giorni è un errore relativo di una parte su sei milioni e mezzo (circa), se assumiamo che gli astronomi babilonesi fossero in grado di stabilire la fase della Luna (per es. il primo quarto) con l'approssimazione di un'ora, cioè  $1/720$  di mese sinodico, si trova che bastava prolungare le osservazioni su  $6\,500\,000 \div 720 = 9000$  lunazioni, pari a un po' più di 700 anni, per ottenere l'approssimazione richiesta.

Da cui si vede una caratteristica dell'astronomia, che vale ancor oggi: nessuno può fare tutto da solo, nel senso che in certi casi oltre a disporre di buoni strumenti, è necessario avere dati relativi a un intervallo di tempo abbastanza lungo. E quindi il lavoro di astronomi vissuti secoli o millenni addietro non è solo importante in senso storico, perché costituisce la base per le idee, le conoscenze, i concetti di oggi (com'è vero in qualsiasi campo della scienza); qui si tratta proprio del valore diretto dei dati raccolti in tempi lontani.

\* \* \*

Ma veniamo a qualcosa di molto più facile da osservare: il sorgere e il tramontare della Luna. In realtà si tratta di fenomeni legati alle fasi, dal momento che le fasi dipendono dalla posizione relativa di Sole e Luna: quindi la successione delle fasi (la cosiddetta "età della Luna") implica anche il ritardo (o l'anticipo) con cui la Luna sorge e tramonta rispetto al Sole. Sorgono e tramontano insieme quando la Luna è nuova, anche se la Luna esattamente nuova non è visibile, appunto per la vicinanza al Sole; poi la Luna ritarda, in media 49 minuti al giorno, sì da ritardare 6 ore quando è al primo quarto, 12 ore quando è piena, ecc.

Mi direte: sono cose risapute... Sarebbe però interessante, se qualcuno volesse provarci, verificare quanti sono i ragazzi che ne hanno anche solo una vaga nozione. Da qualche frammentaria notizia che ne ho, sono portato a dire che siano molto molto pochi. Questo per due ragioni: da un lato, anche se sulla carta si tratta di cose che si dovrebbero imparare — credo — fin dalle elementari, penso che nella realtà della scuola ci si dedichi scarsissima attenzione. Dall'altro, è un fatto che oggi, specialmente in città, la presenza della Luna in cielo ha ben poca importanza pratica, quando non è addirittura difficile vederla.

Dunque mi sono contraddetto poco sopra, parlando di cose facili da osservare? Non proprio, nel senso che non occorrono strumenti, e anche nelle condizioni più sfavorevoli basta un minimo d'impegno. Anche in una grande città un luogo con un panorama aperto e con una buona parte di cielo visibile è possibile trovarlo; solo che bisogna volerlo: non basta alzare gli occhi, come accade in campagna.

Ma per riflettere su queste cose e magari essere indotti a fare qualche osservazione, ci sono molte strade; anche la poesia può servire.

*Che fai tu, luna, in ciel? dimmi, che fai,  
silenziosa luna?  
Sorgi la sera, e vai  
contemplando i deserti; indi ti posi.*

Così alla fine ve l'ho riproposto, il famoso *incipit*. . . Ma c'è una ragione: Leopardi scrive "sorgi la sera." Preso alla lettera, è un errore, visto che la Luna non sorge sempre la sera; questo succede solo quando è piena o in una fase prossima. Possibile che Leopardi non lo sapesse? Davvero incredibile, visto che a Recanati, due secoli fa, dalla sua casa sul colle non aveva i nostri problemi cittadini. E del resto:

*Vaghe stelle dell'Orsa, io non credea  
tornare ancor per uso a contemplarvi  
sul paterno giardino scintillanti  
e ragionar con voi dalle finestre  
di questo albergo ove abitai fanciullo,  
e delle gioie mie vidi la fine.*

[. . .]

*allora*

*che, tacito, seduto in verde zolla,  
delle sere io solea passar gran parte  
mirando il cielo [. . .]*

(Le ricordanze)

Ma poi, per trovare in Leopardi riferimenti alla Luna c'è solo l'imbarazzo della scelta:

*Quale in notte solinga,  
sovra campagne inargentate ed acque,  
[. . .]  
giunta al confin del cielo,  
dietro Appennino od Alpe, o del Tirreno  
nell'infinito seno  
scende la luna; e si scolora il mondo;  
spariscon l'ombre, ed una  
oscurità la valle e il monte imbruna;  
orba la notte resta [. . .]*

(Il tramonto della luna)

Qui come si vede la Luna tramonta in piena notte, che resta "orba," ossia priva di luce e perciò di vista.

Dunque Leopardi sapeva; e come dubitarne? Siamo noi, civilissimi e moderni, che abbiamo perso nozione di queste e di chissà quante altre cose. . .

\* \* \*

Ho parlato poco sopra della posizione relativa tra Luna e Sole in quanto legata alle fasi; vediamo ora di approfondire un po'. In primo luogo, c'è il termine *elongazione*, che sta a indicare l'angolo, visto dalla Terra, fra la direzione del Sole e quella della Luna. Angolo che è minimo alla luna nuova, cresce progressivamente, raggiunge (circa)  $180^\circ$  alla luna piena, poi decresce di nuovo fino alla successiva luna nuova.

Perché ho detto che è *minimo* e non nullo, alla luna nuova? E perché ho scritto “circa”  $180^\circ$ ? Beh, anche questo lo sanno tutti: quando è nuova, la Luna non sta proprio davanti al Sole; altrimenti a ogni luna nuova avremmo un'eclissi di Sole... E quando è piena non sta esattamente dalla parte opposta, altrimenti cadrebbe nell'ombra della Terra, e avremmo un'eclissi di Luna a ogni luna piena. Questo lo sanno tutti, dicevo, e sanno anche perché: tutto dipende dal fatto che le orbite della Luna attorno alla Terra e della Terra attorno al Sole *non stanno nello stesso piano*. In effetti, formano un angolo di circa  $5^\circ$ .

E come mai ogni tanto abbiamo davvero un'eclisse? La ragione è che i due periodi — quello della Terra e quello della Luna — non sono in un rapporto semplice, per cui solo di tanto in tanto si può produrre l'allineamento che causa l'eclisse.

Preveggo una vostra impazienza: “va bene, sono cose note, l'hai anche detto; allora perché ci stai sprestando tempo e spazio?” Perché per quanto note non sono tanto semplici, e soprattutto sono la necessaria premessa per scoprire cose assai meno note...

Intanto voglio far notare che quando si trattano questo genere di problemi è di gran lunga più conveniente il punto di vista *geocentrico*. Ciò non ha niente a che vedere con la controversia su chi si muove e chi sta fermo, che sarebbe pure interessante discutere, ma ora non è il mio tema; conta solo che *dal puro punto di vista geometrico-cinematico* non c'è nessuna differenza tra uno schema eliocentrico e uno geocentrico: si tratta solo di cambiare *sistema di riferimento*. E può benissimo accadere che un sistema di riferimento sia più semplice quando si deve studiare la *dinamica* (le forze, le “cause” del moto e relative equazioni) mentre l'altro risulti più semplice per la pura descrizione di ciò che si vede dalla Terra. Tanto è vero, che in realtà in astronomia il punto di vista geocentrico è correntemente in uso tuttora.

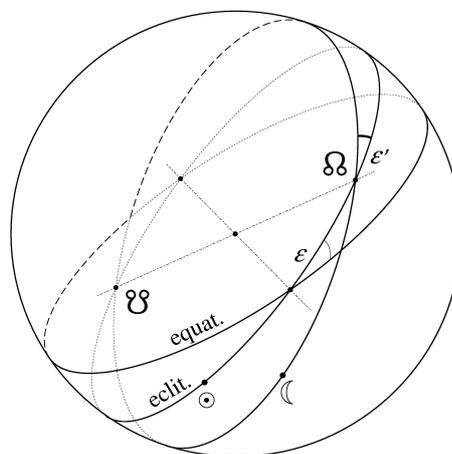
Mettiamoci dunque dal punto di vista geocentrico, e vediamo come si descrivono i fenomeni relativi alla Luna. Credo sia noto che un ingrediente fondamentale è la *sfera celeste*: una sfera di raggio indefinito, centrata sull'osservatore, e sulla quale si proiettano tutti i corpi celesti. Non ha importanza che un tempo alla sfera celeste si potesse attribuire una realtà materiale, mentre oggi è soltanto un espediente geometrico: ciò che conta è la sua utilità pratica per ragionare sul nostro problema.

La sfera celeste si considera in prima approssimazione solidale alle *stelle fisse*, che come sappiamo davvero fisse non sono; ma questa è una raffinatezza di

cui ora non dobbiamo preoccuparci. Importa invece che la sfera celeste, insieme alle stelle fisse, ruota attorno all'asse polare, facendo un giro in un *giorno siderale*. Per i nostri scopi è utile seguire il *moto diurno*, ossia guardare la sfera celeste come fissa, e studiare il moto di Sole e Luna su di essa.

Le osservazioni mostrano che il Sole percorre, nel corso di un anno, un cerchio massimo: l'*eclittica*. Qui è opportuna una nota: mi capita spesso di vedere usato il termine "eclittica" in modo errato, come sinonimo di "orbita della Terra," mentre invece il suo significato corretto è quello che ho detto. Probabilmente la ragione dell'equivoco sta nell'espressione "piano dell'eclittica," che può venire usata in senso geocentrico (e allora sta a significare il piano passante per l'osservatore che taglia la sfera celeste secondo il cerchio massimo che è appunto l'eclittica) ma può anche venir usata in senso eliocentrico, significando il piano dell'orbita della Terra. Ovviamente se li guardiamo nello spazio si tratta dello stesso piano, e da qui la confusione...

La figura qui accanto mostra la sfera celeste "vista dal di fuori" (il che è un non senso, per com'è definita, ma riesce comodo per rappresentare i vari cerchi e punti notevoli su di essa). È indicato l'*equatore*, che è il cerchio perpendicolare all'asse polare; e l'*eclittica*, di cui ho già detto, che forma con l'equatore un angolo  $\varepsilon$ , detto *obliquità dell'eclittica* e pari a circa  $23^{\circ}26'$ , su cui torneremo. I due punti in cui eclittica ed equatore s'intersecano sono gli *equinozi*; quello che nella figura sta in primo piano è l'*equinozio di primavera*, o *primo punto di Ariete*, o *punto  $\gamma$* . Com'è ovvio, è la posizione che il Sole occupa appunto all'equinozio di primavera.



Nella figura è anche indicato il cerchio massimo percorso dalla Luna, che non coincide con l'eclittica: forma con questa l'angolo  $\varepsilon'$  di circa  $5^{\circ}$ . Anche l'eclittica e il cerchio della Luna s'intersecano in due punti, indicati nella figura coi simboli tradizionali  $\Omega$  e  $\Upsilon$ : prendono rispettivamente il nome di *nodo ascendente* e *nodo discendente*.

E torniamo alle eclissi: dovrebbe essere chiaro che queste sono possibili solo allorché Sole e Luna si trovano simultaneamente in uno dei due nodi. Occorre però considerare due cose. La prima è che Sole e Luna non sono punti, ma oggetti estesi; la seconda, che l'osservazione di un'eclisse si può fare da un punto qualunque della Terra. Le due cose insieme fanno sì che per avere un'eclisse la coincidenza di Sole e Luna in uno stesso nodo non debba proprio essere esatta. Però il Sole percorre l'intera eclittica in un anno, ed è quindi comprensibile che non ci possano essere più di due eclissi di Sole per anno.

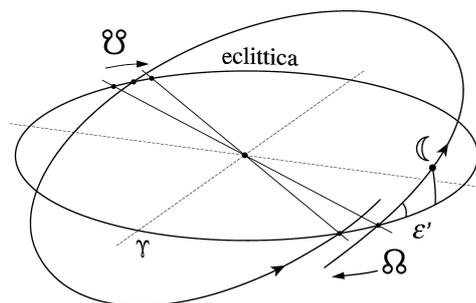
A titolo di esempio, riporto qui sotto le date delle eclissi dal 2001 al 2008:

2001:	Giu 21,	Dic 14
2002:	Giu 10,	Dic 4
2003:	Mag 31,	Nov 23
2004:	Apr 19,	Ott 14
2005:	Apr 8,	Ott 3
2006:	Mar 29,	Set 22
2007:	Mar 19,	Set 11
2008:	Feb 7,	Ago 1.

Si vede bene che le date non sono affatto fisse: da un anno all'altro c'è sempre un anticipo, a volte di 10–11 giorni, altre volte di 40–41. Come si spiega questo?

Senza entrare in troppi dettagli (altrimenti non finiamo più ...) i fatti ci dicono che il Sole arriva in anticipo all'appuntamento. E dato che non ci sono dubbi sulla regolarità del moto del Sole sulla sfera celeste, l'unica spiegazione possibile è che i nodi della Luna *non siano fissi*, ma si spostino sull'eclittica *incontro al Sole*. In altre parole, è il piano dell'orbita della Luna che ruota in senso *retrogrado* (cioè opposto al moto del Sole) al ritmo di quasi  $20^\circ$  all'anno, come mostra la figura.

Quanto abbiamo appena visto dice già che le leggi di Keplero (almeno la prima) valgono solo molto grossolanamente per la Luna: infatti non è vero che la sua orbita attorno alla Terra stia in un piano fisso. Se poi sia almeno un'ellisse, dovremo esaminarlo più avanti.



Ho detto sopra che questo moto dei nodi della Luna era ben noto, appunto grazie all'anticipo delle eclissi, fin dalla remota antichità. Tutt'altra cosa è darne una spiegazione; che del resto, nel senso che noi oggi diamo a questa parola, non poteva neppure porsi come problema agli astronomi babilonesi o greci. Il problema nasce solo quando Newton costruisce una teoria della gravitazione e formula le leggi della meccanica, dalle quali le tre leggi di Keplero per un corpo in orbita attorno a uno maggiore seguono direttamente. Se è così, come mai la Luna “disobbedisce” a quelle leggi?

Lo stesso Newton ne comprende la causa: Terra e Luna non sono sole nello spazio. È l'attrazione solare sul sistema dei due corpi che produce questa e altre irregolarità, di cui non abbiamo ancora parlato. Arriva anche a calcolare quantitativamente il conseguente moto dei nodi, con un'approssimazione del 5%.

\* \* \*

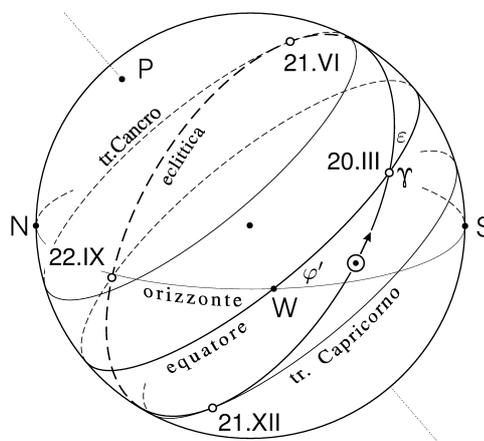
Chi ha letto fin qui penserà che se il moto dei nodi si può ricavare solo dalle date delle eclissi, è vero che non richiede strumenti particolari, ma richiede però informazioni su ciò che si vede da vari luoghi, e di prender nota di tutti questi dati per un periodo abbastanza lungo: un'impresa che non è alla portata di tutti. . .

Voglio quindi mostrare che in realtà il moto dei nodi ha degli effetti osservabili assai più immediati, anche se poco noti. Ma prima dobbiamo chiederci: da che dipende l'altezza della Luna sull'orizzonte? A prima vista la risposta sarà: dipende più o meno dalle stesse cause valide per il Sole; rivediamo quindi che cosa capita al Sole.

Il primo fatto ovvio è che il Sole (e anche la Luna) sorge più o meno a Est e tramonta a Ovest; raggiunge la massima altezza a metà percorso (al *mezzogiorno locale vero*, che non capita di regola alle 12 dell'orologio, ma questo sarebbe un altro lungo discorso . . .). Si capisce quindi che la cosa interessante è proprio l'altezza *massima*, e tutti sanno che questa è maggiore d'estate che d'inverno; più esattamente, che il massimo dell'altezza a mezzogiorno si raggiunge al *solstizio* d'estate, e il minimo a quello d'inverno.

Ma quanto valgono le altezze, e da che cosa dipendono? Per vederlo vi propongo un'altra figura, che riproduce ancora la sfera celeste, con l'equatore, l'eclittica, il punto  $\gamma$ , ma con alcuni nuovi elementi: l'orizzonte e le date in cui il Sole si trova agli equinozi e ai solstizi.

Dalla figura si vede che il piano dell'equatore forma un certo angolo con l'orizzonte: è la *colatitudine*  $\varphi'$  (complemento della latitudine) relativa al luogo di osservazione. Per Pisa  $\varphi'$  vale circa  $46^{\circ}17'$ . Ne consegue che quando il Sole sta sull'equatore celeste (il che accade agli equinozi) la sua altezza a mezzogiorno è appunto pari alla colatitudine. Ma dato che il Sole percorre l'eclittica, che è a sua volta inclinata rispetto all'equatore, esso si trova più in alto nel semestre tra gli equinozi di primavera e d'autunno, e più in basso nell'altro semestre. Il massimo della distanza angolare dall'equatore (che si chiama *declinazione*) lo raggiunge ai solstizi, ed è pari all'obliquità  $\varepsilon$  dell'eclittica.



Conclusione: al solstizio d'estate l'altezza del Sole a mezzogiorno è  $\varphi' + \varepsilon$ , mentre al solstizio d'inverno è  $\varphi' - \varepsilon$ : rispettivamente  $69^{\circ}43'$  e  $22^{\circ}41'$ . L'altezza massima del Sole d'estate a Pisa è più che tripla che in inverno! Chi viva in un altro luogo non ha che da usare la sua colatitudine per avere i risultati che si applicano al suo caso.

Detto (molto sbrigativamente) del Sole, passiamo alla Luna, e chiediamoci: quale sarà nelle varie stagioni l'altezza della luna piena? Una prima risposta grossolana si basa sul fatto che quando è piena la Luna è opposta al Sole: quindi al solstizio d'estate la Luna si trova nel punto opposto dell'eclittica, cioè il solstizio d'inverno, e viceversa. Risultato: la luna piena è alla massima altezza d'inverno, e alla minima d'estate; l'opposto del Sole. Ci avevate mai fatto caso?

Però le cose non stanno proprio così, per una ragione che ho già ricordato più di una volta: la famosa inclinazione di 5 gradi... Se tornate alla prima figura, potete vedere che in quella situazione quando la Luna sta nei pressi del solstizio d'estate è in realtà più alta, e quindi la luna piena d'inverno arriverà a qualcosa di più dei  $69^{\circ}43'$  a cui arriva il Sole in estate. Quanto di più? Se il nodo ascendente della Luna coincidesse col punto  $\gamma$ , basterebbe aggiungere appunto quei  $5^{\circ}$ ; ma nella figura  $\Omega$  e  $\gamma$  non coincidono, e quindi l'altezza della Luna sarà un po' minore.

Mi sembra il caso di aprire una parentesi per spiegare un dettaglio che forse nessuno avrà notato. Quando ho fornito il valore dell'obliquità  $\varepsilon$  dell'eclittica, l'ho scritto con gradi e primi; invece dell'inclinazione  $\varepsilon'$  della Luna ho solo detto che è "circa" 5 gradi (e niente primi). Come mai? La ragione è che  $\varepsilon'$  *non è costante*, ma varia periodicamente, oscillando per diversi primi in più o in meno attorno a un valore medio. Una delle tante complicazioni del moto della Luna... Perciò qui dobbiamo accontentarci di ragionare col valore medio, che è circa  $5^{\circ}9'$ , sapendo che non possiamo arrivare a un risultato esatto neppure entro  $1'$ .

Chiusa la parentesi, è il momento di fare entrare in ballo il moto del nodo. La situazione rappresentata nella prima figura non resta stabile nel tempo, come mostra la seconda figura: abbiamo già detto che i nodi si spostano di quasi  $20^{\circ}$  ogni anno. Perciò capiterà l'anno in cui il nodo ascendente coincide o quasi col punto  $\gamma$ , e allora la massima altezza della luna piena d'inverno è  $\varphi' + \varepsilon + \varepsilon' = 78^{\circ}52'$ . Dato che  $20 \times 18 = 360$ , la stessa situazione si ripeterà a intervalli di 18 anni (per maggiore esattezza, 18 anni e mezzo).

Ed ecco il bello, ossia una buona ragione per parlarvi ora di questo fatto: ci troviamo proprio nel periodo buono, perché la coincidenza tra  $\gamma$  e  $\Omega$  ha avuto luogo lo scorso 19 Giugno. Perciò nell'inverno passato la luna piena era altissima, e lo stesso sarà nel prossimo. Per la stessa ragione, in questa estate, che quando mi leggerete sarà finita, la luna piena era invece bassissima, fino al minimo di  $\varphi' - \varepsilon - \varepsilon' = 17^{\circ}32'$ . Fra poco più di 9 anni si produrrà la situazione opposta: luna piena d'inverno più bassa della media, e d'estate più alta.

Ora queste configurazioni di Sole e Luna sono facilissime da osservare, e non occorre neppure fare misure: può anche darsi che qualcuno di voi se ne sia accorto, se solo gli è capitato di guardare la luna piena in una notte serena dello scorso inverno. Magari si sarà detto: "ma guarda com'è alta la Luna: non mi

sembra che sia stata sempre così alta...”. E magari gli sarà anche venuta in mente la famosa ballata jazz: *How high is the moon*.

\* \* \*

Come potete intuire, l'argomento è ben lontano dall'essere concluso, ma la puntata è stata fin troppo lunga; quindi chiudiamo qui. O meglio, chiudiamo dando di nuovo la parola a Leopardi. Dovremo infatti tornare ancora sul levare e sul cadere della Luna:

*Già tutta l'aria imbruna,  
torna azzurro il sereno, e tornan l'ombre  
giù da' colli e da' tetti,  
al biancheggiar della recente luna.  
(Il sabato del villaggio)*

*Dolce e chiara è la notte e senza vento,  
e queta sovra i tetti e in mezzo agli orti  
posa la luna, e di lontan rivela  
serena ogni montagna.  
(La sera del dì di festa)*

*Placida notte, e verecondo raggio  
della cadente luna; [...]  
(Ultimo canto di Saffo)*

\* \* \*

*Nota:* Se per caso qualcuno fosse interessato ad approfondire ciò che qui sto trattando in modo sommario e poco accurato, potrebbe consultare i primi due capitoli delle *Lezioni di Astronomia* (E. Fabri, U. Penco) che si trovano liberamente disponibili in

<http://www.df.unipi.it/~penco/Astronomia>

Da quegli appunti sono tratte, con qualche adattamento, le figure che avete visto.