

## CAPITOLO 4

### LA LUNA

E' più utile il Sole o la Luna? Senza dubbio la Luna, dal momento che ci dà luce durante la notte, quando è buio, mentre il Sole splende soltanto di giorno, quando di luce ce n'è comunque in abbondanza.

[George Gamow, *The Moon*]

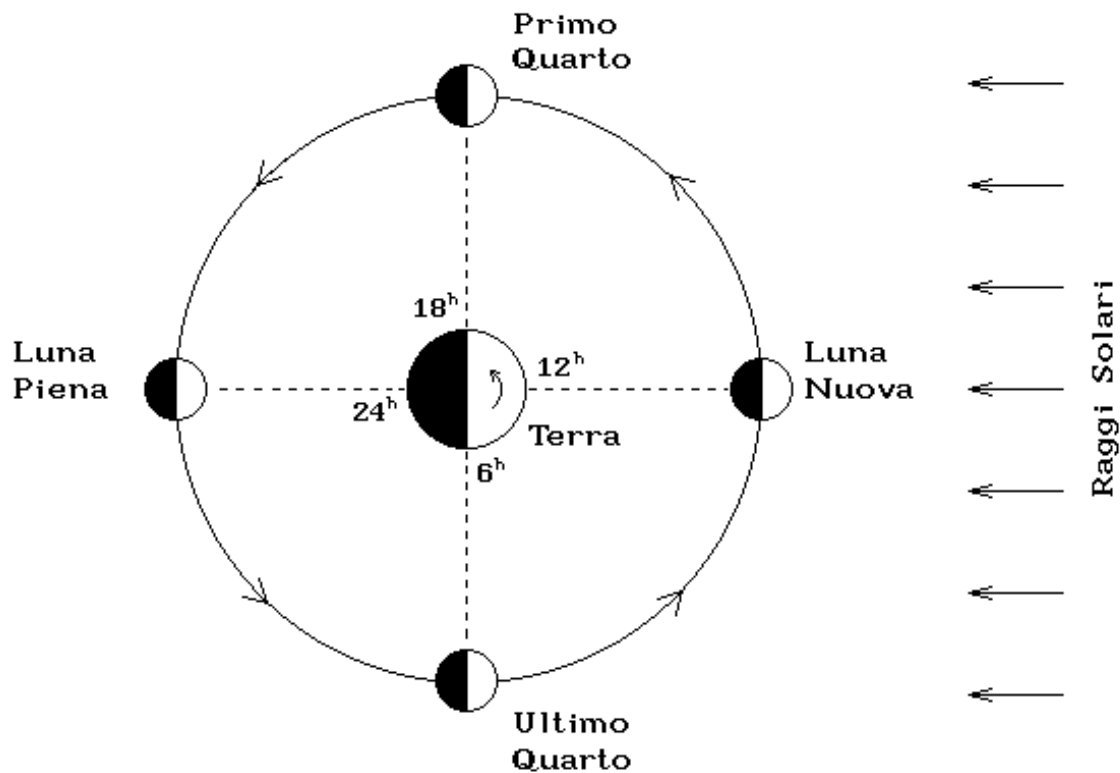
#### 4.1 Moti e Aspetti della Luna

Il sistema Terra-Luna è unico nel sistema solare. In effetti, dei nove pianeti, sessanta satelliti naturali, seicento comete e tremila asteroidi maggiori (a cui si aggiungono un migliaio di comete osservate ma di orbita incerta, circa quarantamila altri asteroidi del diametro superiore al chilometro e una miriade di “sassi” vaganti di dimensioni inferiori), ognuno presenta qualche particolarità che lo rende, per un motivo o per l'altro, unico nel suo genere.

Descrivere tutti questi mondi esula largamente dallo scopo delle presenti dispense. Dei più interessanti per l'astrofilo parleremo ancora, brevemente, nella sezione dedicata all'osservazione del cielo. Però, sul sistema Terra-Luna ci dilungheremo un po', in quanto il nostro satellite determina fenomeni molto interessanti, notevolmente importanti e, soprattutto, facilmente osservabili.

Dal punto di vista della meccanica celeste, dire che la Luna è semplicemente il satellite naturale della Terra è riduttivo. Con i suoi 3476 km di diametro, la Luna è il quinto satellite del sistema solare (viene “battuta” solo da tre dei satelliti di Giove – Ganimede, Callisto ed Io – e da uno di quelli di Saturno – Titano), ed è persino più grande del pianeta Plutone. Tuttavia, mentre Ganimede, Callisto, Io e Titano non rappresentano che un decimillesimo circa della massa dei pianeti a cui girano intorno, la Luna ha una massa di circa un centesimo di quella terrestre ed è, in proporzione, molto più vicina alla Terra di quanto non lo siano i suddetti satelliti ai loro “padroni”. Pertanto, le azioni gravitazionali che si scambiano la Luna e la Terra sono notevoli, tanto che spesso si considera la Luna come un vero e proprio pia-

meta del sistema solare la cui vicinanza alla Terra genera ampie perturbazioni del suo moto di rivoluzione<sup>1</sup>.



**Figura 4.1**

A seconda della sua posizione rispetto al Sole e alla Terra, la Luna presenta una superficie illuminata più o meno vasta. Quando si trova dalla parte del Sole, la Luna non è visibile in quanto l'emisfero che mostra alla Terra non è illuminato (*Luna nuova* o *novilunio*). Quando si trova dalla parte opposta, l'emisfero visibile è completamente illuminato dal Sole (*Luna piena* o *plenilunio*). Quando l'angolo Luna-Terra-Sole è retto, esattamente metà del disco lunare appare illuminata (*primo* e *ultimo quarto*). In ogni altra posizione risulterà illuminata una porzione più o meno ampia del disco lunare (fig. 4.1).

Si dice *età della Luna* l'intervallo di tempo, in giorni, trascorso dal novilunio precedente.

**Problema 4.1.** Dove si trova la Luna in cielo al novilunio, al plenilunio, al primo e all'ultimo quarto?

<sup>1</sup> Più propriamente, bisognerebbe parlare di un unico sistema a tre corpi composto da Terra, Luna e Sole.

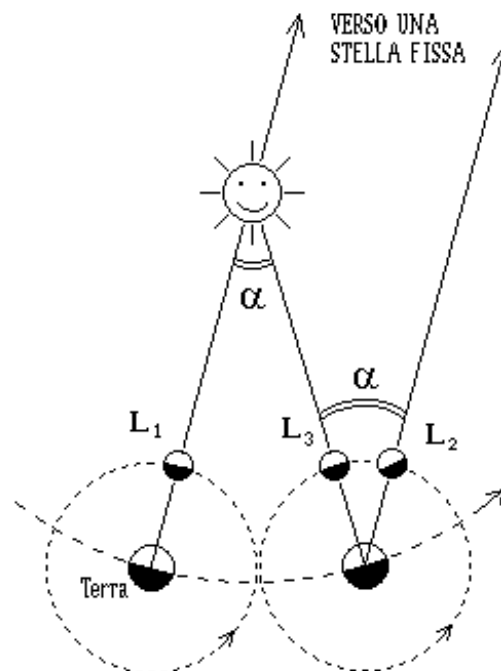
La Luna descrive un'orbita ellittica intorno alla Terra. Il tempo da essa impiegato per compiere una rivoluzione completa intorno alla Terra rispetto alle stelle fisse è detto *mese siderale*, ed ha la durata di  $27^{\text{d}} 7^{\text{h}} 43^{\text{m}}$ .

Ogni giorno, quindi, la Luna si sposta sulla sfera celeste di

$$360^{\circ} / 27^{\text{d}},3216 = 13^{\circ}11' = 0^{\text{h}} 53^{\text{m}}$$

in senso antiorario (o diretto), cioè da Ovest verso Est. Poiché il Sole, per effetto del moto di rivoluzione terrestre, si muove nella stessa direzione di circa  $1^{\circ} = 4^{\text{m}}$  al giorno, la Luna si muove rispetto al Sole di circa  $(53^{\text{m}} - 4^{\text{m}}) = 49^{\text{m}}$  al giorno verso Est. Perciò, ogni giorno vedremo sorgere la Luna circa 49 minuti prima del giorno precedente.

La Terra si muove sulla sua orbita alla velocità di circa  $1^{\circ}$  al giorno. Così, dopo un mese siderale la Luna non presenterà ancora la stessa fase. Ciò avverrà invece dopo una *lunazione*, o *mese sinodico*.



**Figura 4.2**

Quando la Luna ha compiuto una rivoluzione completa rispetto alle stelle fisse (posizione  $L_2$  nella fig. 4.2) dall'ultimo novilunio (posizione  $L_1$ ), la Terra ha percorso l'arco di orbita  $\alpha$ . La Luna non si trova quindi al novilunio, dovendo ancora percorrere l'arco  $\alpha$  per arrivarci. Perciò, in un mese sinodico,  $S$ , la Luna compie un arco di  $360^\circ + \alpha$ , la Terra soltanto l'arco  $\alpha$ . In formule, si ha:

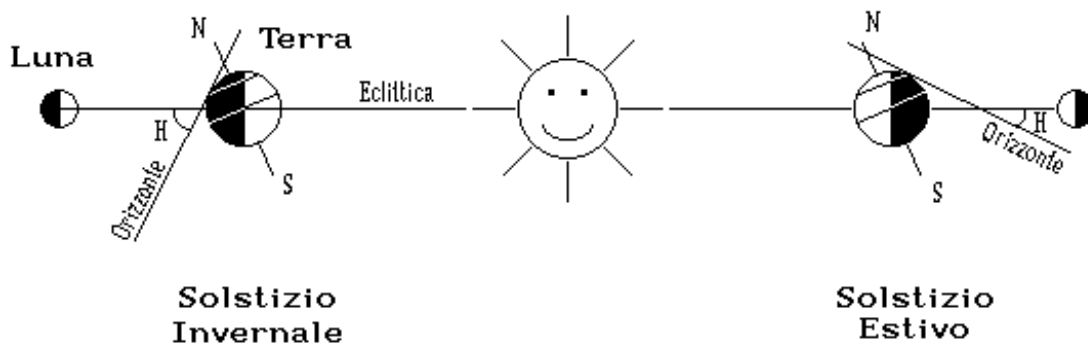
$$\begin{aligned}(360^\circ / M) \times S &= 360^\circ + \alpha \\ (360^\circ / A) \times S &= \alpha\end{aligned}$$

essendo  $M$  la durata del mese siderale lunare ed  $A$  quella dell'anno siderale terrestre. Eliminando  $\alpha$  dalle due relazioni precedenti risulta

$$1 / S = 1 / M - 1 / A$$

e sostituendo  $A = 365^d,256$  ed  $M = 27^d 7^h 43^m$ , si ottiene per la lunazione la durata di  $S = 29^d 12^h 44^m$ .

Il piano dell'orbita lunare è inclinato di circa  $5^\circ 9'$  rispetto all'eclittica. Come si ricorderà (cfr. § 2.3), l'altezza dell'eclittica sull'orizzonte dipende dal periodo dell'anno e dall'ora della giornata: in estate, l'eclittica è più alta sull'orizzonte di giorno che di notte, mentre in inverno è il contrario. Così, il Sole (che, inutile ricordarlo, si trova sull'eclittica!), è più alto sull'orizzonte in estate che in inverno; la Luna, invece, essendo maggiormente visibile di notte, appare più alta in inverno che in estate (fig. 4.3).



**Figura 4.3**

Anche sull'orbita lunare si possono individuare due *nodi* in corrispondenza dell'intersezione tra orbita ed eclittica. La linea dei nodi dell'orbita

lunare, per effetto delle perturbazioni indotte sulla sua orbita dalla Terra e dal Sole, ruota in senso retrogrado (cioè opposto al moto orbitale della Luna) di circa  $3'11''$  al giorno, e perciò l'intervallo tra due successivi passaggi della Luna allo stesso nodo, detto *mese draconico*, è più breve del mese siderale. Il nome draconico deriva dal fatto che nell'antichità si pensava che un drago disteso lungo l'eclittica divorasse il Sole durante le eclissi le quali, come vedremo, si verificano proprio quando la Luna si trova in prossimità di uno dei nodi.

**Problema 4.2.** Calcolare la lunghezza del mese draconico.

**Problema 4.3.** Determinare il periodo del moto di retrogradazione della linea dei nodi dell'orbita lunare.

Lo spostamento della linea dei nodi determina una notevole variazione della posizione della Luna in cielo.

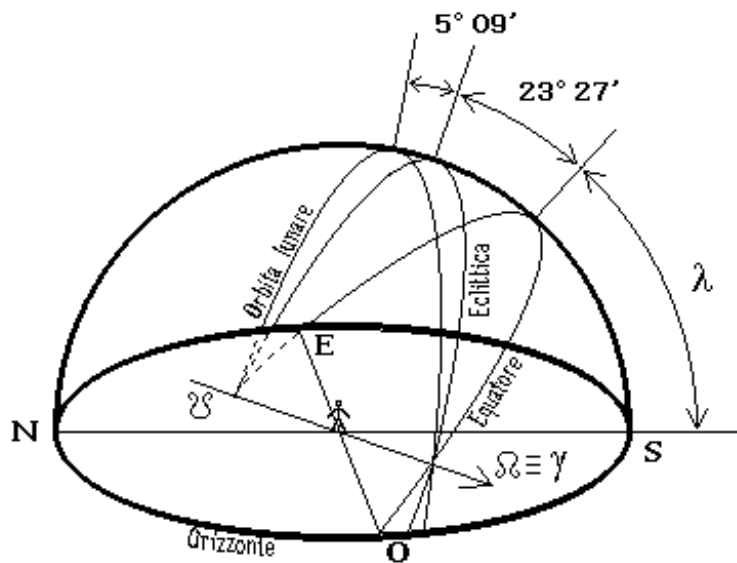


Figura 4.4a

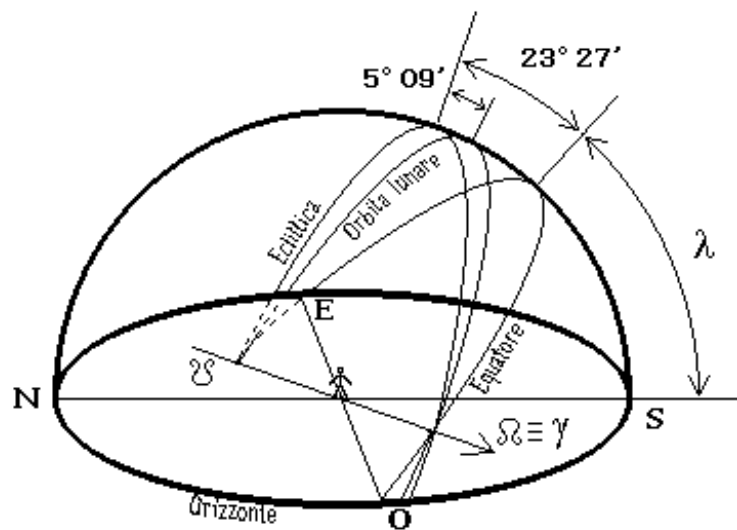


Figura 4.4b

Quando il nodo ascendente coincide con il punto d'Ariete (fig. 4.4a), la declinazione della Luna varia durante il mese tra  $(23^{\circ}27' + 5^{\circ}09')$  e  $(-23^{\circ}27' - 5^{\circ}09')$ , ossia tra  $+28^{\circ}36'$  e  $-28^{\circ}36'$ . Circa nove anni dopo (avete risolto il problema 4.3? Se la risposta è negativa, questo è il momento più opportuno per farlo!) sarà il nodo ascendente a coincidere con il punto d'Ariete (fig. 4.4b), e quindi la declinazione della Luna varierà durante il mese tra  $(23^{\circ}27' - 5^{\circ}09')$  e  $(-23^{\circ}27' + 5^{\circ}09')$ , ossia tra  $+18^{\circ}36'$  e  $-18^{\circ}36'$ .

**Problema 4.4.** Calcolare la massima e la minima altezza raggiunta dalla Luna a Roma (latitudine  $42^{\circ}$ ) in corrispondenza delle due situazioni suddette.

L'orbita lunare è un'ellisse con un semiasse maggiore di  $384'400$  km ed un'eccentricità  $e = 0,0549$  – ossia è quasi una circonferenza. Essa presenta quindi un *apogeo* ed un *perigeo*, che sono rispettivamente i punti dell'orbita lunare più distanti dal centro della medesima.

**Problema 4.5.** Calcolare le distanze massima e minima tra Terra e Luna.

La *linea absidale*, congiungente apogeo e perigeo, non è fissa nello spazio ma ruota in senso concorde al moto lunare completando un giro in 8,85 anni circa. Il *mese anomalistico*, cioè l'intervallo di tempo tra due successivi

passaggi della Luna al perigeo è quindi più lungo del mese siderale (circa  $27^d 13^h 18^m$ ).

Oltre al moto di rivoluzione intorno alla Terra, la Luna ruota su sé stessa ed il “giorno” lunare dura esattamente una lunazione. Questo fenomeno, detto *risonanza*, è solo apparentemente singolare, essendo stato riscontrato in parecchi altri corpi del sistema solare (tra i quali i quattro satelliti galileiani di Giove). I motivi che hanno portato a questa situazione sono da ricercarsi nella forza d’attrazione che la Terra esercita sulla Luna. Essa ha determinato delle forti deformazioni quando la Luna era ancora allo stato fluido, generando attriti che ne hanno rallentato la rotazione fino a “bloccarla” al valore attuale, che si dimostra essere di equilibrio stabile e destinato quindi a durare a lungo.

Così, la Luna mostra all’osservatore sulla Terra sempre lo stesso emisfero. Tuttavia, l’orbita della Luna è ellittica e quindi la sua velocità orbitale non è costante, mentre quella di rotazione sì; pertanto, da Terra riusciamo a vedere una porzione della superficie lunare leggermente maggiore del 50%. Inoltre, data la vicinanza della Luna alla Terra, l’effetto prospettico ci consente di scorgere un’altro piccolo lembo di superficie in prossimità dei bordi. Questi due fenomeni vengono indicati con il nome di *librazione*.

Esistono poi altri moti secondari della Luna, dovuti alla vicinanza della Terra (ricordiamo che l’azione è reciproca: i moti terrestri di precessione e di nutazione sono dovuti all’attrazione lunare), che determinano minori irregolarità nel suo moto.

## 4.2 Le Eclissi

Un’*eclissi di Sole* avviene quando la Luna, nella sua traiettoria, passa davanti al Sole, occultandolo completamente o in parte. Un’*eclissi di Luna* si verifica invece quando la Luna attraversa l’ombra della Terra.

Se l’orbita lunare giacesse sul piano dell’eclittica avremmo un’eclissi di Sole ad ogni novilunio ed un’eclissi di Luna ad ogni plenilunio. Poiché, invece, il piano dell’orbita lunare è inclinato di  $5^{\circ}09'$  rispetto al piano dell’eclittica, le eclissi si possono verificare soltanto quando sia la Luna che il Sole si trovano in vicinanza dei nodi dell’orbita lunare.

Se Sole e Luna si trovano in corrispondenza dello stesso nodo si può avere un’eclissi di Sole; se si trovano in corrispondenza di nodi opposti si può avere un’eclissi di Luna. L’effettivo verificarsi dell’una e dell’altra dipende poi dalla distanza della Luna dal nodo al novilunio e al plenilunio. Si può dimostrare, con calcoli trigonometrici, che il numero minimo di eclissi

in un anno è due (ed in tal caso sono entrambe solari), mentre il numero massimo è sette (quattro solari e tre lunari o cinque solari e due lunari).

I due fenomeni che determinano il verificarsi di un'eclissi (plenilunio o novilunio e passaggio della Luna per il nodo) avvengono in tempi diversi: il mese sinodico e il mese draconico. È facile verificare che 242 mesi draconici durano quasi esattamente quanto 223 mesi sinodici (la differenza è di circa  $50^m$ ), ed in particolare circa  $6585^d 8^h$ , ossia 18 anni e 10 o 11 giorni.

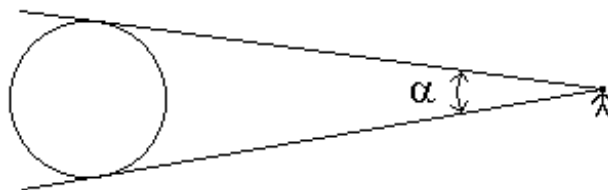
**Problema 4.6.** Perché “10 o 11 giorni”?

Si dà il caso, inoltre, che 239 mesi anomalistici corrispondano a  $6585^d 13^h$  e quindi, ogni 18 anni e  $10 \div 11$  giorni, la Luna, oltre che alla stessa fase e alla stessa distanza dai nodi, torna anche quasi alla stessa distanza dalla Terra. Infine, poiché il multiplo comune di questi 3 tipi di mese è di poco differente da un numero intero di anni (solo  $10 \div 11$  giorni di differenza), anche la distanza Terra-Sole torna ad essere quasi la stessa, e perciò si ripete pressoché identica la configurazione Luna-Terra-Sole. Pertanto un'eclissi si ripete quasi identica ogni  $6585^d$ . Questo intervallo di tempo è chiamato *saros* ed è noto sin dall'antichità.

La non perfetta coincidenza tra 223 mesi sinodici e 242 mesi draconici determina una leggera differenza tra le caratteristiche di due eclissi corrispondenti. Inoltre, poiché un saros non conta un numero intero di giorni (ci sono 8 ore in più), nel saros successivo un'eclissi si verifica con 8 ore di ritardo. Dopo 3 saros (poco più di 54 anni, periodo chiamato *exeligmos*), le 8 ore accumulate si sommano per dare un giorno, e quindi l'eclissi si ripete con caratteristiche simili nello stesso luogo e alla stessa ora della giornata.

**Problema 4.7.** Se un'eclissi è visibile in una certa località, dove sarà visibile l'eclissi corrispondente nel saros successivo?

Si definisce diametro apparente di un oggetto l'angolo sotto cui viene visto da un osservatore posto ad una certa distanza (fig. 4.5).



**Figura 4.5**

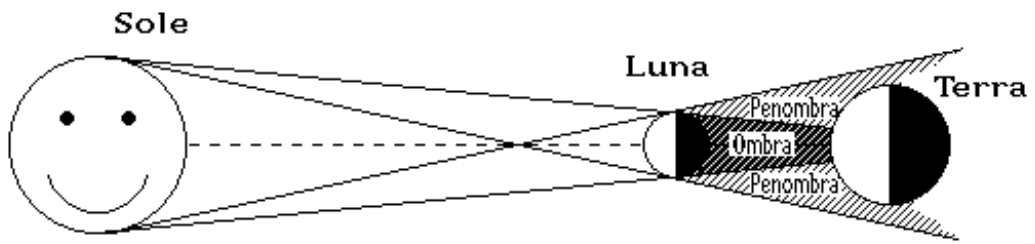


Il diametro apparente del Sole, il cui diametro è di  $1'392'000$  km, varia con la distanza dalla Terra. Quando la Terra ( $R_{\oplus} = 6'378$  km) è al perielio ( $D = 147'000'000$  km), il diametro apparente del Sole è circa  $d / (D - R_{\oplus}) = 32'33''$ , mentre all'afelio ( $D = 152'000'000$  km) è circa  $31'29''$ . Il diametro apparente della Luna ( $d = 3'476$  km,  $D = \dots$  v. problema 4.5) varia invece tra un minimo di  $29'56''$  all'apogeo e un massimo di  $33'29''$  al perigeo.

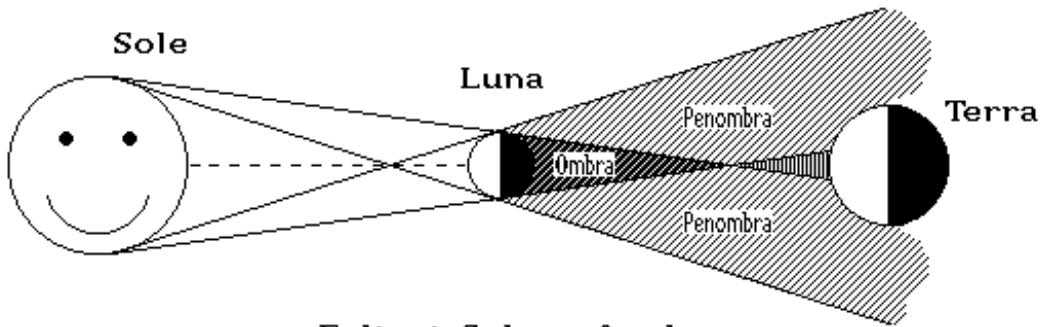
Se il diametro apparente della Luna è maggiore di quello del Sole l'eclissi di Sole è *totale*, mentre se è minore l'eclissi è solo *anulare* (ossia rimane visibile il bordo esterno del Sole); questo sempre che la Luna e il Sole siano abbastanza vicini al nodo, altrimenti l'eclissi sarà soltanto *parziale* (fig. 4.6).

Per quel che riguarda le eclissi di Luna, quello che conta è il diametro apparente della Terra vista dalla Luna. Esso, come è facile verificare, varia tra  $1^{\circ}48'$  e  $2^{\circ}01'$ , ed è quindi sempre maggiore del diametro apparente del Sole. Pertanto, un'eclissi di Luna può essere totale o parziale ma mai anulare (fig. 4.6).

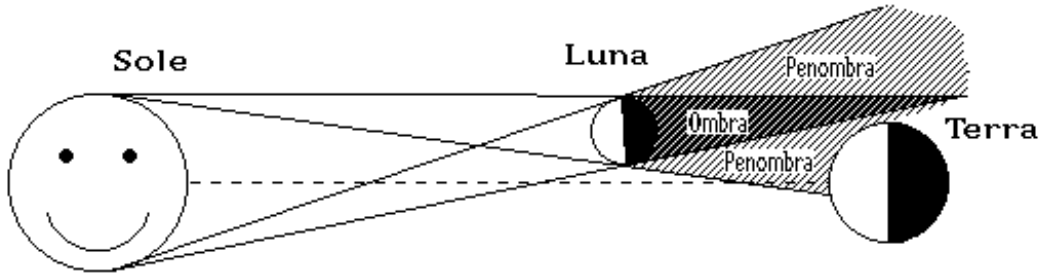
Le eclissi di Sole non sono visibili da tutto il globo, a causa delle piccole dimensioni della zona d'ombra che la Luna proietta sulla Terra (circa 150 km). Tale zona si sposta sulla superficie terrestre alla ragguardevole velocità di circa 3000 km/h, delimitando una fascia di totalità estremamente piccola.



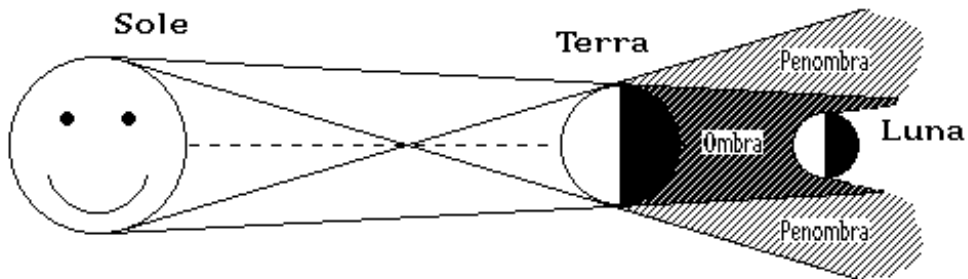
Eclissi Solare Totale



Eclissi Solare Anulare



Eclissi Solare Parziale



Eclissi Lunare Totale

Figura 4.6

Le eclissi di Luna, invece, sono visibili da tutte le località aventi la Luna sopra l'orizzonte nell'intervallo di durata dell'eclissi. Questo è il motivo per cui le eclissi lunari sembrano avvenire più frequentemente di quelle solari mentre invece, come detto prima, è il contrario.

La previsione delle eclissi ha tenuto impegnate schiere di astronomi di ogni epoca. Nell'antico Egitto, se il Sommo Sacerdote era in grado di annunciare in anticipo al Faraone la data di un'eclissi veniva ricoperto d'oro; se non ci riusciva veniva ricoperto di... pelle di cocodrillo!

La soluzione del problema è tutt'altro che semplice, tanto che nell'antichità i cocodrilli (o le tigri, o altro a seconda della zona geografica e delle usanze di quei popoli) venivano evitati soltanto da chi, esaminando gli annali compilati dai propri sfortunati predecessori, riusciva a scoprire il segreto del saros.

Scherzi a parte, il problema geometrico-matematico richiede una gran mole di calcoli e, soprattutto, un'accurata conoscenza delle orbite della Terra e della Luna; ed infatti, si è riusciti a venirne a capo soltanto alla fine del secolo scorso. Nel 1887, l'astronomo austriaco Theodor Ritter von Oppolzer (1841-1886) pubblicò la monumentale opera *Canon der Finsternisse* ("Regola delle eclissi") in cui erano riportati i calcoli delle date di tutte le eclissi solari e lunari che si sono verificate e che si verificheranno dal 1208 a.C. al 2161 d.C.: circa 8000 eclissi di Sole e più di 5000 eclissi di Luna!

Oggi, grazie ai calcolatori, il lavoro che occupò von Oppolzer per anni può essere fatto in poche ore, e i dati di un'eclissi possono essere ricavati anche con un modesto personal computer nel giro di qualche secondo... ma non ditelo al povero von Oppolzer!

### 4.3 Le Occultazioni

Quando la Luna, muovendosi sulla sfera celeste, eclissa una stella che viene a trovarsi sulla sua traiettoria, si parla di *occultazione*. Il fenomeno è molto suggestivo, specie quando la Luna non ha ancora superato il plenilunio e quindi l'occultazione inizia con la sparizione della stella dietro il bordo oscuro del nostro satellite (si ricordi che la Luna si muove tra le stelle da Ovest verso Est). A causa della mancanza di atmosfera sulla Luna, ciò avviene istantaneamente, ed è come se qualcuno "spegnesse" la stella all'improvviso.

Dal punto di vista teorico le occultazioni sono molto importanti. Misurare, tramite osservazione, gli istanti di inizio e fine occultazione (anche

detti di *immersione* e di *emersione*) è fondamentale per poter verificare l'effettivo movimento della Luna che, per le numerose perturbazioni che subisce dalla Terra e dagli altri corpi del sistema solare, è estremamente complicato ed ancora non perfettamente noto.

Inoltre, se la stella occultata è doppia oppure è abbastanza vicina, lo studio *fotometrico* dell'immersione e dell'emersione può fornire informazioni sulla distanza tra le componenti la coppia o sul diametro apparente della stella.

Importanti sono anche le occultazioni degli asteroidi, grazie alle quali si possono ricavare informazioni sulle loro dimensioni e sulla loro orbita.

**Problema 4.8.** Determinare le durate massima e minima dell'occultazione di una stella fissa.