

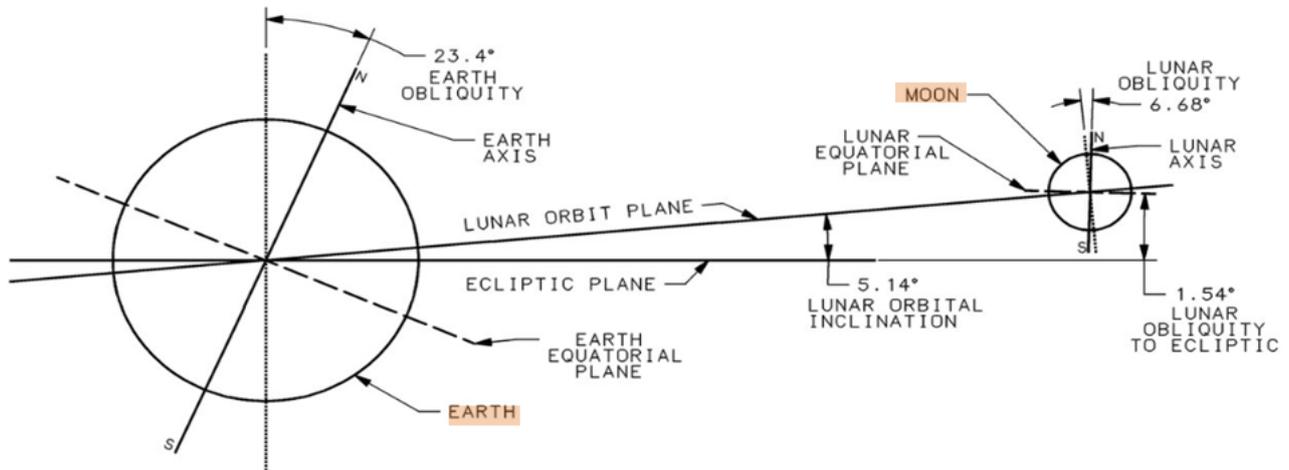
# IL SISTEMA TERRA-LUNA



Earthrise: immagine scattata dall'Apollo 8 il 24/12/1968.

*A cura di Fabio Balestra*

# 1. ORBITA DELLA LUNA



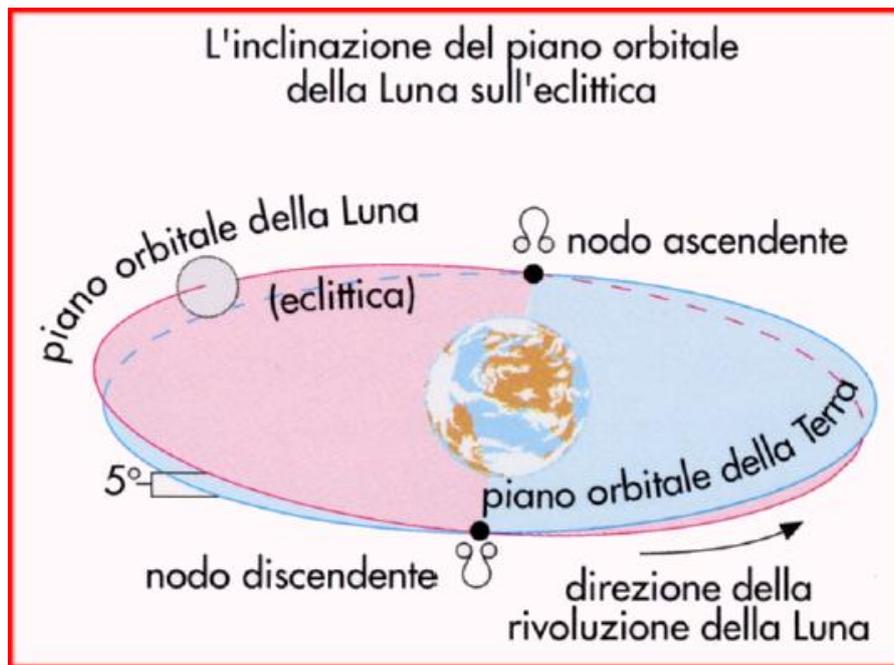
\*NOTE\* - EARTH AND MOON RELATIVE SIZES AND ANGLES ARE TO SCALE. EARTH AND MOON RELATIVE DISTANCE IS NOT TO SCALE.

Proprietà	Valore
Semiassse maggiore	384.748 km
Semiassse minore	383,800 km
Distanza media dalla Terra	385.000 km
Distanza al perigeo	~ 362.600 km (min 356.400 - max 370.400)
Distanza all'apogeo	~ 405.400 km (min 404.000 - max 406.700)
Eccentricità media	0,0549 (min 0,026 – max 0,077)
Inclinazione media dell'orbita rispetto all'eclittica	5,14° (min 4,99 - max 5,30)
Inclinazione assiale rispetto al piano orbitale (obliquità)	6,68°
Inclinazione media dell'equatore lunare rispetto all'eclittica	1,543°
Periodo di retrogradazione dei nodi	18,5996 anni
Periodo di recessione della linea degli apsidi (precessione anomalistica)	8,8504 anni
Velocità orbitale media	1,023 km/s (min 0,970 - max 1,082)

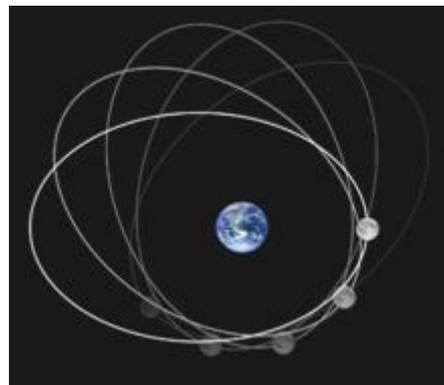
La Luna orbita intorno alla Terra in senso antiorario (moto **progrado**) lungo un'orbita ellittica quasi circolare, (**eccentricità** di 0,0549) in circa 27,32 giorni, che corrispondono al cosiddetto **mese siderale**. In realtà, per essere più precisi, la Terra e la Luna costituiscono un sistema binario e orbitano entrambe attorno al **baricentro** (centro di massa comune) del sistema, che si trova a circa 4.600 km dal centro della Terra o 3/4 del raggio terrestre.

Con una **velocità orbitale media** di 1,023 km/s, la Luna si muove in cielo ogni ora, rispetto alle stelle, di una distanza pari al suo diametro angolare, cioè 0,5° circa. A causa del suo moto di rivoluzione, la Luna osservata alla stessa ora appare ogni giorno spostata verso est, sorgendo e tramontando in media ogni giorno con 50 minuti di ritardo rispetto al giorno precedente.

Il piano sul quale orbita la Luna è inclinato di circa 5° rispetto all'eclittica. La linea di intersezione tra il piano orbitale della Luna e l'eclittica è detta **linea dei nodi** ed identifica sull'orbita lunare due punti chiamati **nodo ascendente** e **nodo discendente**. Il nodo ascendente è detto così perché è il punto in cui la Luna passa dalla parte della sua orbita che si trova sotto l'eclittica a quella sopra. Nel nodo discendente avviene il contrario.

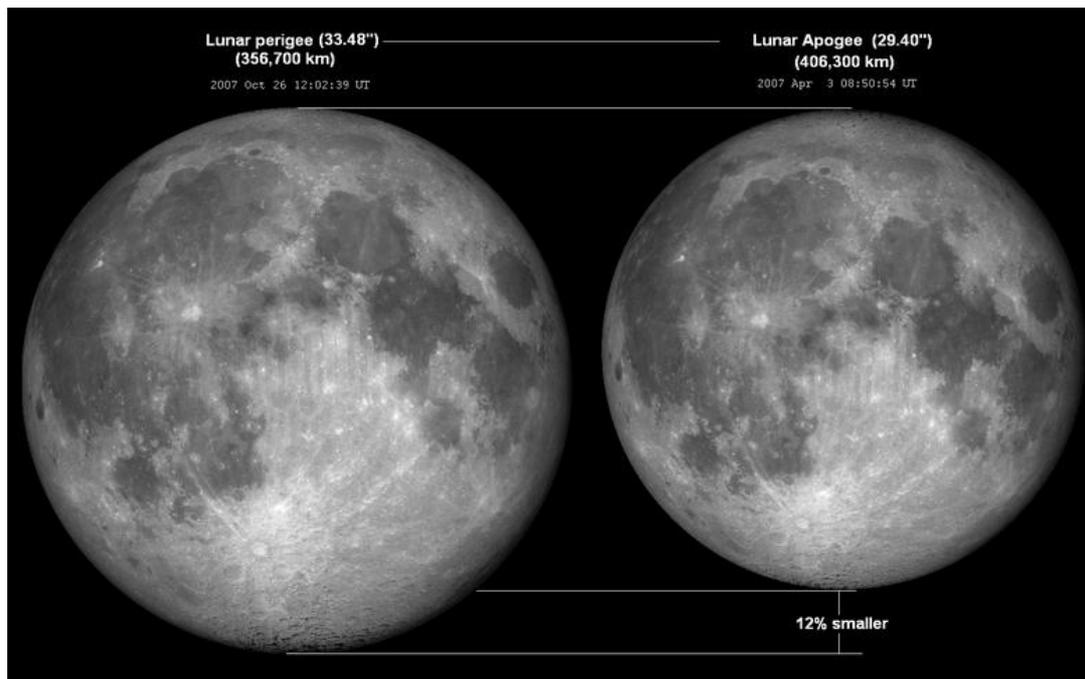


L'orientamento dell'orbita non è fisso nello spazio ma, col tempo, è soggetto a **precessione** a causa di diverse perturbazioni gravitazionali. Per questo motivo la linea dei nodi presenta un moto retrogrado e, per un osservatore sulla Terra, ruota verso ovest lungo l'eclittica. Il tempo impiegato perché essa compia una rotazione completa è chiamato **periodo di retrogradazione dei nodi** e coincide con il **ciclo Saros** (di cui parleremo in seguito) che corrisponde circa a 18 anni e 10 o 11 giorni. La linea che congiunge l'apogeo al perigeo dell'orbita lunare viene definita **linea degli apsidi** e ruota, così come la linea dei nodi, verso ovest con un periodo di 8,85 anni. La linea degli apsidi è in pratica il semiasse maggiore dell'orbita ellittica della Luna e il suo ruotare è noto come **precessione anomalistica**.



Nella figura si nota come il semiasse maggiore ruota modificando l'orientamento dell'orbita lunare. In questa immagine la forma ellittica dell'orbita è stata esagerata per meglio evidenziare la precessione.

La **distanza media** Terra-Luna è di 384.400 km. Nell'arco di una lunazione, questa distanza varia di circa 45.000 km. Inoltre, la distanza massima (**apogeo**) e minima (**perigeo**) non resta costante ma cambia da una rivoluzione all'altra a causa di perturbazioni gravitazionali. All'apogeo la distanza massima può raggiungere i 406.720 km, mentre mediamente misura 405.503 km. Al perigeo la distanza minima può raggiungere i 356.371 km, mentre mediamente misura 363.296 km. Visto dalla Terra, il disco lunare varia la sue dimensioni apparenti di circa il 12% passando fra questi due valori estremi.



Dimensioni apparenti del disco lunare in due immagini scattate in un perigeo e in un apogeo prossimi ai valori massimi.

L'**asse di rotazione** della Luna è inclinato di soli  $1,5^\circ$  rispetto all'eclittica e impiega circa 27,32 giorni per effettuare una rotazione intorno al suo asse. Il **periodo di rotazione** è quindi uguale a quello di rivoluzione (mese siderale) e per questo è soggetta alla cosiddetta **rotazione sincrona**. A causa di questo fenomeno, la Luna mostra sempre la stessa "faccia" alla Terra, che viene chiamata **nearside**, mentre l'altra parte, chiamata **farside**, non è mai visibile dalla Terra. La rotazione sincrona è una caratteristica tipica di quasi tutti i principali satelliti del sistema solare ed è causata dalle forze di marea esercitate fra il pianeta e il suo satellite. Queste forze allungano leggermente i corpi l'uno verso l'altro generando, in ciascuno di essi, una "protuberanza" che punta in direzione dell'altro corpo. Questa protuberanza risulta sempre spostata indietro rispetto alla direzione di rotazione, nel nostro caso, della Luna e viene attirata dalla gravità della Terra, rallentando la rotazione del satellite. La velocità di rotazione della Luna si è così ridotta fino a sincronizzarsi con la sua velocità di rivoluzione. Il rigonfiamento disallineato inoltre trascina la Luna facendola accelerare e allungando il semiasse maggiore della sua orbita di circa 3 cm all'anno. In pratica la Luna si sta lentamente allontanando dalla Terra.

## 2. LE FASI LUNARI

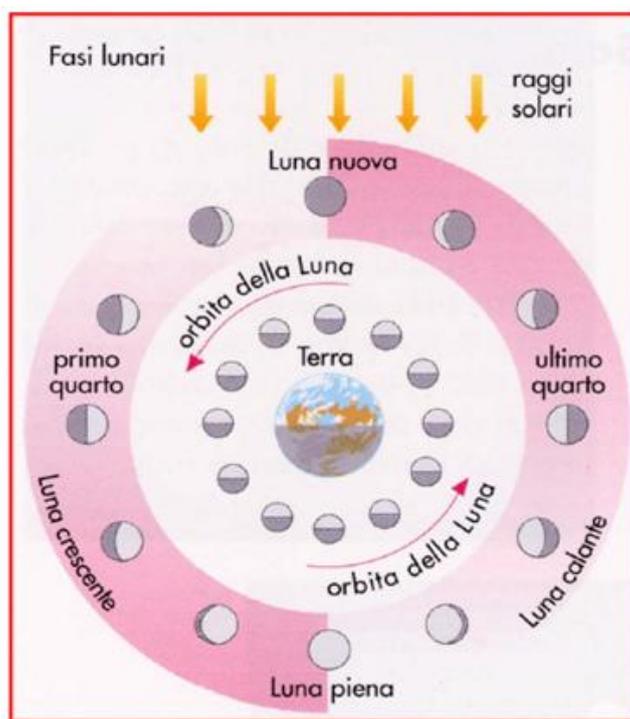
Per comprendere le dinamiche delle fasi lunari è necessario, per prima cosa, distinguere fra due diverse definizioni di mese. La rivoluzione della Luna intorno alla Terra infatti non coincide temporalmente con il ciclo delle sue fasi e questi due periodi sono definiti distintamente:

- **Mese siderale:** E' il tempo che la Luna impiega per compiere un'orbita attorno alla Terra. Viene calcolato in base alla posizione della Luna rispetto alle stelle. Un mese siderale dura **27g 7h 43m e 12s**.
- **Mese sinodico (mese lunare o lunazione):** E' il tempo che impiega la Luna per riallineare nuovamente la sua posizione rispetto al Sole e alla Terra. In pratica, è il tempo che intercorre fra un novilunio e quello successivo (o quello per ritornare ad una stessa fase). E' diverso dal mese siderale poiché si deve tener conto anche del movimento della Terra. Un mese sinodico dura **29g 12h 44m e 2,9s**.

Nell'arco di un mese sinodico, il Sole illumina la parte visibile della Luna da diverse angolazioni e questo ne altera l'aspetto giorno dopo giorno. I cambiamenti dell'aspetto del disco della Luna, percepiti dalla Terra, sono detti **fasi lunari** e sono le seguenti in ordine cronologico:

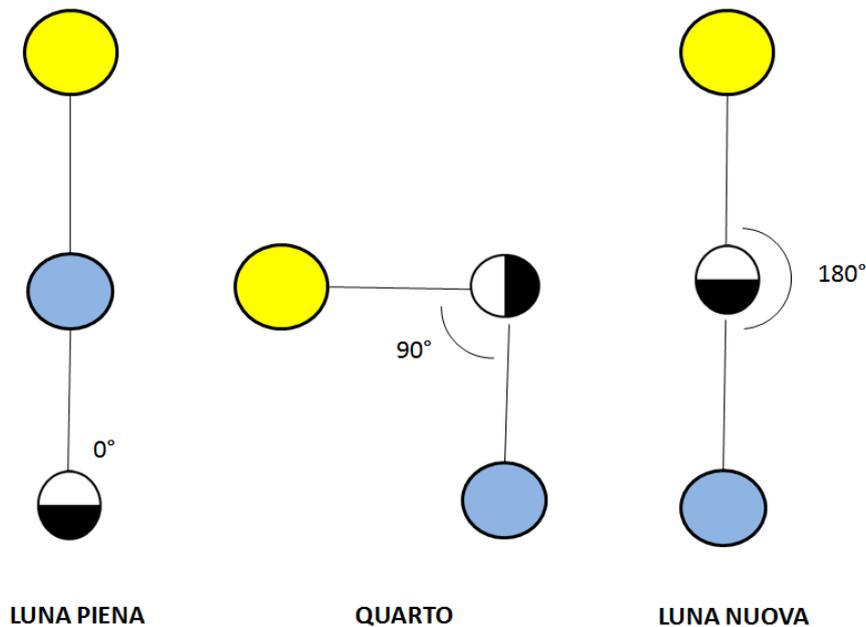
1. **Luna nuova (o novilunio)**: la Luna è invisibile. Essa si trova fra il Sole e la Terra, cioè in congiunzione con il Sole.
2. **Luna crescente**: la luminosità della Luna cresce ogni giorno fino a raggiungere metà del disco.
3. **Primo quarto**: la prima metà del disco lunare è illuminata. I tre corpi celesti formano un angolo di  $90^\circ$ .
4. **Gibbosa crescente**: il disco è illuminato oltre la metà e cresce ogni giorno fino a raggiungere l'intero disco.
5. **Luna piena (o plenilunio)**: il disco lunare è completamente illuminato. La Luna si trova dalla parte opposta rispetto al Sole, cioè in opposizione.
6. **Gibbosa calante**: la luminosità del disco decresce ogni giorno fino a raggiungere metà del disco.
7. **Ultimo quarto**: solo la seconda metà del disco lunare è illuminata. L'angolo fra i tre corpi celesti è nuovamente di  $90^\circ$ .
8. **Luna calante**: la luminosità della Luna decresce ogni giorno fino a scomparire.

Il ciclo delle fasi lunari inizia quando la Luna è nuova. Si parla di **età della Luna** per definire il tempo trascorso dall'ultima Luna nuova e si misura solitamente in giorni, ore, minuti e secondi.



Schema illustrativo delle fasi lunari

Da un punto di vista geometrico, la fase della Luna (così come quella di un pianeta) che osserviamo dalla Terra, è determinata dall'**angolo di fase**, cioè l'angolo formato dal Sole, il corpo illuminato e l'osservatore con al centro il corpo illuminato. Nel caso delle fasi lunari, l'angolo è formato da **Sole-Luna-Terra** con al centro la Luna. Questo valore può variare da  $0^\circ$  a  $180^\circ$ . Quando i tre corpi sono disposti in linea retta (Luna nuova o piena) si verifica la cosiddetta **sigizia**.



Si parla invece di **elongazione** per definire la distanza angolare verso est fra la Luna e il Sole visti dalla Terra. Quando questo valore è  $0^\circ$  la Luna si trova in congiunzione con il Sole e in fase di nuova. Quando questo valore è  $180^\circ$  si trova invece in opposizione e cioè in fase di piena. Infine, quando l'elongazione è di  $90^\circ$  o  $270^\circ$ , si dice che la Luna si trova in **quadratura**, cioè nella fase dei quarti.

In base alla fase della Luna, e quindi la sua posizione rispetto al Sole, possiamo sapere i momenti in cui essa sorge o tramonta, per esempio:

- La Luna nuova è in congiunzione con il Sole, quindi si muove in cielo assieme ad esso. Sorge all'alba e tramonta anch'essa al tramontare del Sole.
- Nelle quadrature o quarti, le semirette congiungenti la Terra con la Luna e il Sole formano un angolo di  $90^\circ$ , quindi al primo quarto la Luna sorge circa a mezzogiorno e tramonta circa a mezzanotte, invece all'ultimo quarto sorge a mezzanotte e tramonta a mezzogiorno.
- La Luna piena si trova dalla parte opposta al Sole, quindi sorge al tramontare del Sole e tramonta all'alba.



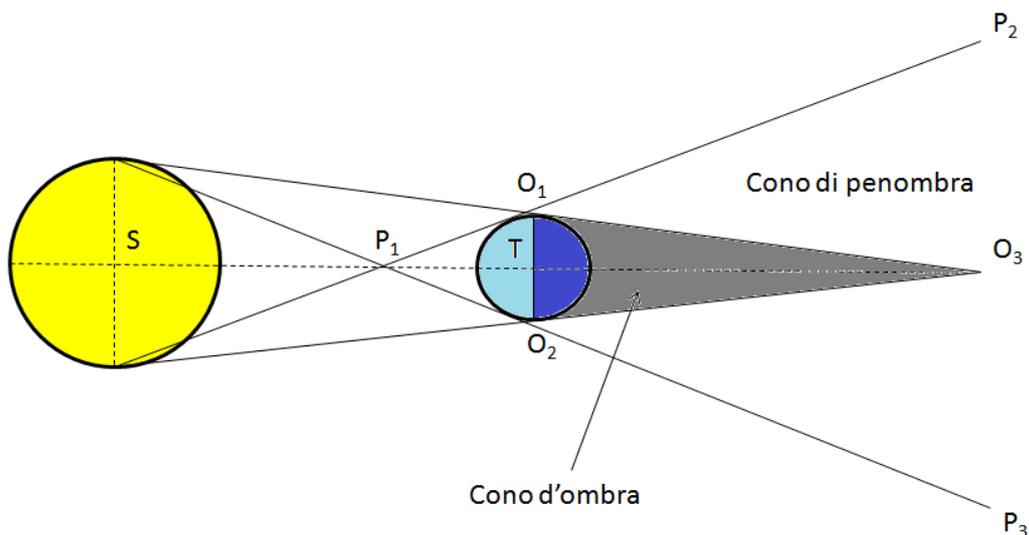
**Elongazione della Luna di 1g 14h. La distanza angolare verso est dal Sole è circa  $17^\circ$ . Essendo la Luna da poco uscita dalla fase di nuova si trova in cielo ancora molto vicina al Sole e tramonterà poco dopo di esso.**

### 3. LE ECLISSI

La Terra e la Luna possono essere considerati come corpi opachi di forma quasi sferica. Soltanto l'emisfero rivolto verso il Sole viene illuminato, mentre dalla parte opposta essi proiettano un **cono d'ombra** la cui ampiezza dipende dalle loro dimensioni e dalla distanza alla quale si trovano in quel momento rispetto al Sole.

Il cono d'ombra della Terra presenta una lunghezza di circa 1.4 milioni di km, con oscillazioni dovute al variare della distanza Terra-Sole. Il cono d'ombra della Luna ha invece una lunghezza media di 373.500 km.

La formazione di un cono d'ombra, ad esempio quello terrestre, può essere rappresentato per semplicità in un modello a due dimensioni. Nel disegno sotto è visualizzato come il triangolo  $O_1-O_2-O_3$  colorato in grigio:

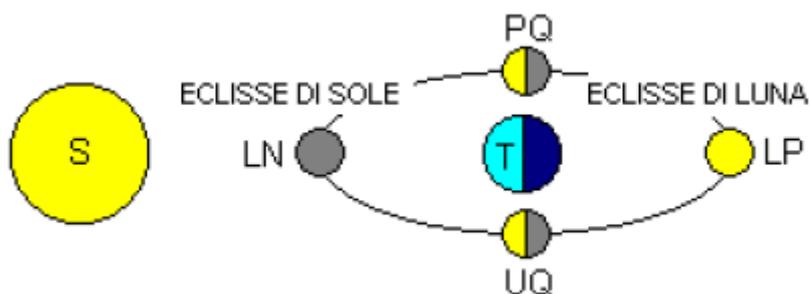


La **base** del triangolo è data dalla linea di confine tra la zona illuminata e quella buia sulla Terra ( $O_1-O_2$ ), mentre la sua **altezza** è un prolungamento della retta che unisce il centro del Sole con quello della Terra (S-T) fino a  $O_3$ , quindi la retta T- $O_3$ .

Oltre a questo cono se ne produce un altro, detto **cono di penombra** ( $P_1-P_2-P_3$ ), il cui vertice si trova sulla retta S-T nel punto  $P_1$ . Nella sua area la luce del Sole viene solo parzialmente bloccata.

Dato che la distanza Terra-Sole non è fissa ma varia durante l'anno, anche la lunghezza del cono varia nel tempo.

Una **eclissi** si verifica quando un corpo celeste, nel nostro caso la Terra o la Luna, si interpone tra la il Sole, e l'altro corpo celeste. Il secondo corpo entra quindi nel cono d'ombra o di penombra del primo.



Allineamento Sole-Terra-Luna durante le eclissi

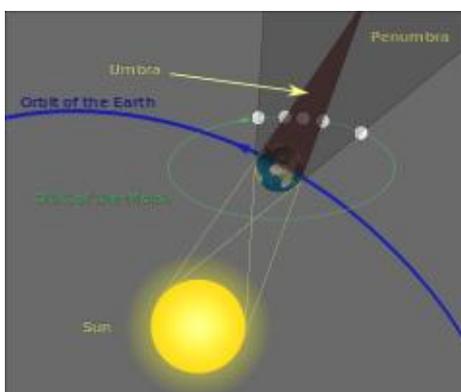
Vista la configurazione sopra si potrebbe pensare che a ogni Luna nuova vi sia un'eclissi di Sole e a ogni Luna piena un'eclissi di Luna. Ciò però non accade perché, come detto precedentemente, il piano dell'orbita lunare non coincide con quello terrestre ma è inclinato rispetto di  $5^\circ$  rispetto ad esso. Non basta infatti che la Luna si trovi nella giusta fase, ma deve trovarsi in prossimità di uno dei due punti di intersezione (i **nodi**) del suo piano orbitale con l'eclittica. In questo caso si verifica una eclissi:

- di **Sole**: con Luna nuova (in congiunzione)
- di **Luna**: con Luna piena (in opposizione)

Se la luna non si trova in prossimità dei nodi, non passerà davanti al Sole quando sarà in fase di nuova, ma vi passerà sopra o sotto. Viceversa, in fase di piena, non passerà nel cono d'ombra o di penombra terrestre.

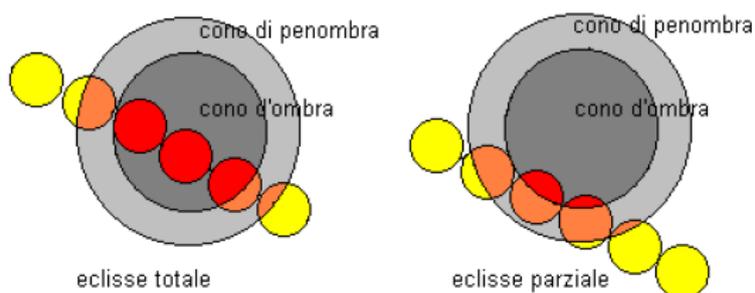
### LE ECLISSI DI LUNA

Come abbiamo visto quindi una eclissi di Luna si verifica quando questa si trova in opposizione al Sole, si trova in prossimità di uno dei nodi e avviene quindi il suo transito nel cono d'ombra terrestre.



In base a come la Luna attraversa il cono d'ombra terrestre, l'eclissi può essere di 3 tipi:

- **Totale**: la Luna transita interamente dentro al cono d'ombra proiettato dalla Terra. Durante la fase di totalità la Luna non si oscura del tutto ma assume una colorazione rossastra poiché della luce solare viene rifratta e filtrata attraverso l'atmosfera terrestre verso la Luna. Il colore rosso è dato dal fatto che la nostra atmosfera, a causa di un fenomeno chiamato **scattering di Rayleigh**, lascia passare più facilmente le lunghezze d'onda tendenti al rosso mentre diffonde maggiormente quelle blu. La luce viene poi filtrata una seconda volta quando dalla Luna ritorna verso l'osservatore a Terra.
- **Parziale**: la Luna transita solo parzialmente dentro al cono d'ombra proiettato dalla Terra, quindi solo una parte del disco lunare viene oscurata.
- **Di penombra**: la Luna transita solo nel cono di penombra. Queste eclissi sono difficili da vedere ad occhio nudo in quanto la luminosità della Luna resta pressoché invariata. Le eclissi di penombra sono più frequenti rispetto alle altre.



Traiettoria della Luna durante un'eclissi totale e parziale. Visti dalla Terra, i coni d'ombra e di penombra possono essere immaginati come due cerchi concentrici. Il tipo di eclissi è definito dal percorso che compie la Luna all'interno di questi ultimi.

Durante un'eclissi totale la Luna attraversa le seguenti fasi in ordine cronologico:

1. Entrata nella penombra
2. Entrata nell'ombra
3. Uscita dall'ombra
4. Uscita dalla penombra

La Luna entra nel cono di penombra da ovest e ne esce ad est. In media il tempo che il satellite impiega ad attraversare la penombra è di 1 ora mentre quello nell'ombra è di 2,5 ore, quindi un'eclissi dura in totale circa 4,5 ore.

La distanza fra Luna e Terra influenza la durata dell'eclissi. In particolare, quando la Luna si trova all'apogeo, la sua velocità orbitale è la più lenta e, dato che la dimensione del cono d'ombra terrestre a quella distanza non diminuisce di tanto, la durata dell'eclissi è aumentata.

L'intervallo di tempo che intercorre fra due successive eclissi di Luna può essere di 1, 5 o 6 mesi sinodici. Le previsioni delle eclissi di Luna dall'anno 2000 AC all'anno 3000 DC possono essere consultate nel **Five Millennium Canon of Lunar Eclipses** sul sito <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEpubs/5MCLE.html>.

## IL CICLO SAROS

Il **ciclo Saros** è un periodo che dura esattamente **223 mesi sinodici** (che corrispondono approssimativamente a 18 anni 11 giorni e 8 ore, oppure 6585,78 giorni, oppure 18,03 anni) al termine del quale si ripetono eclissi lunari e solari geometricamente quasi identiche.

Come detto in precedenza, un'eclissi si verifica quando la Luna si trova in fase nuova o piena e transita presso uno dei nodi ascendenti o discendenti della sua orbita. L'aspetto dell'eclissi è inoltre influenzato dal diametro apparente della Luna che, per un osservatore terrestre, varia considerevolmente a seconda che essa si trovi al perigeo o all'apogeo. Prendiamo dunque in considerazione le tempistiche di queste ricorrenze periodiche ricordando che:

- Il periodo che impiega la Luna per compiere una rivoluzione attorno alla Terra e trovarsi nel medesimo allineamento fra questa e il Sole (**mese sinodico**) è pari a 29,5306 giorni.
- Il periodo di passaggio della Luna per stesso nodo ascendente o discendente (**mese draconico**) è pari a 27,2122 giorni.
- Il periodo che impiega la Luna per passare da un perigeo al successivo (**mese anomalistico**) è di circa 27,55455 giorni.

Detto ciò, si può constatare che dopo 223 rivoluzioni sinodiche la Luna avrà compiuto 242 rivoluzioni draconiche e 239 rivoluzioni anomalistiche e si sarà riportata circa alla stessa posizione iniziale rispetto al Sole e la Terra. Questi periodi hanno infatti la caratteristica di essere tutti divisori di 6585 giorni, infatti:

- 223 mesi sinodici = 6585,3223 giorni
- 239 mesi anomalistici = 6585,5375 giorni
- 242 mesi draconici = 6585,3575 giorni

Pertanto ripristinandosi dopo 6585 giorni un allineamento Sole-Terra-Luna quasi identico avverrà anche una eclisse quasi identica, dove la Luna si troverà circa alla stessa fase, allo stesso nodo e alla stessa distanza dalla Terra.

Attraverso questa conoscenza si può quindi prevedere quando avverrà la prossima eclisse geometricamente simile. Il Saros espresso in giorni non è però un numero intero (6585,3223 giorni), contiene infatti anche 1/3 di giorno. Questo implica che l'eclissi al successivo al Saros si verifica 8 ore in ritardo durante la giornata e in quel lasso di tempo, a causa della rotazione terrestre, la regione di visibilità avrà ruotato verso ovest di circa 120° e un'eclissi di Sole non sarà visibile nella stessa regione del pianeta rispetto a quella del Saros precedente. Nel caso di un'eclissi di Luna invece, la successiva sarà comunque visibile nelle stesse località finché la Luna si trova sopra l'orizzonte. Per ripetersi quasi esattamente nei medesimi luoghi, fra ogni eclisse, devono passare 3 Saros (pari a 54 anni e 33 giorni). Questo periodo è noto come **triplo Saros** o **exeligmos** (dal greco: giro di ruota).

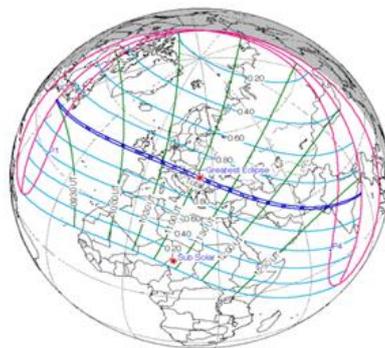
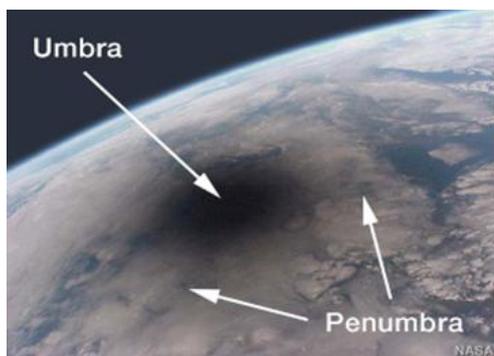
## LE ECLISSI DI SOLE

Per completare la nostra analisi faremo un breve cenno anche alle eclissi di Sole. Si può iniziare affermando che queste eclissi, così come le osserviamo dalla Terra, si verificano per un vero colpo di fortuna. La Luna e il Sole hanno infatti un diametro ed una distanza dalla Terra tali da far sì che nel nostro cielo abbiano circa lo stesso diametro angolare. È questa la caratteristica che consente al disco lunare di coprire così bene il Sole durante una eclissi totale.

Una eclissi di Sole può essere di tre tipi:

- **Totale:** l'intero disco del Sole si trova dietro alla Luna.
- **Parziale:** solo parte del disco solare si trova dietro alla Luna.
- **Anulare:** quando l'eclissi si verifica nel momento in cui la Luna si trova vicino all'apogeo e il suo diametro apparente risulta più piccolo di quello del Sole.

La visibilità delle eclissi di Sole è differente rispetto a quelle di Luna. Per osservare dalla Terra una eclissi totale di Sole, bisogna trovarsi infatti lungo il percorso del cono d'ombra proiettato dalla Luna sulla superficie terrestre. Se l'osservatore si trova solo all'interno del cono di penombra, vedrà sovrapporsi solo in parte i dischi solare e lunare e l'eclissi sarà parziale. Se ci si trova fuori dal cono di penombra non è possibile vedere alcuna eclisse. Durante una eclissi di Sole, soltanto una piccola parte della superficie terrestre cade all'interno del cono d'ombra (al massimo 200-300 km). L'osservazione di questo tipo di evento è quindi una cosa rara.

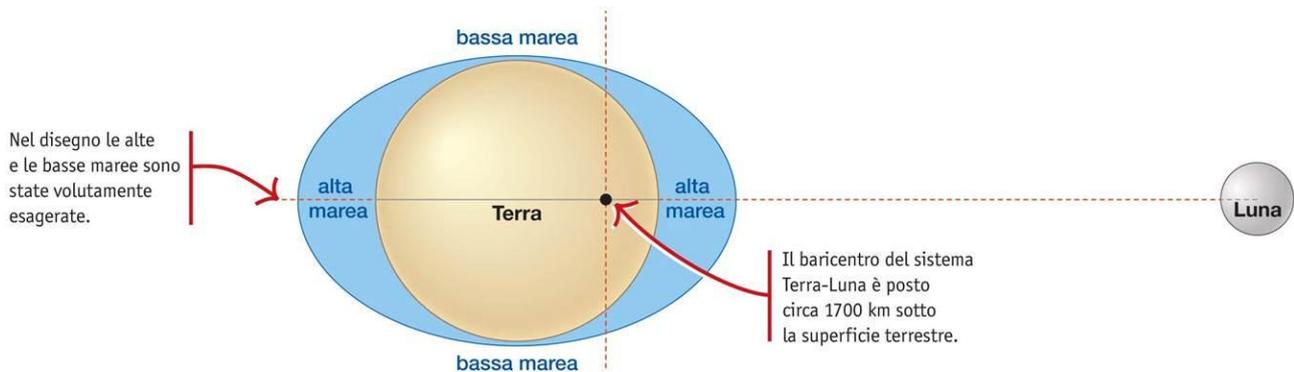


**Eclissi solare del 11/08/1999: a sinistra l'ombra proiettata dalla Luna sulla superficie terrestre ripresa dallo spazio. A destra il percorso del cono d'ombra (in blu) e le regioni di visibilità dell'eclissi.**

## 4. LE MAREE

Le maree sono osservabili sulla Terra principalmente come cambiamenti periodici del livello del mare. L'attrazione gravitazionale esercitata dalla Luna sulla Terra è la principale responsabile delle maree, insieme ad altri fattori. In realtà va precisato che la Luna esercita una forza di marea non solo sull'acqua, ma anche sulle parti solide del globo terrestre e sull'atmosfera.

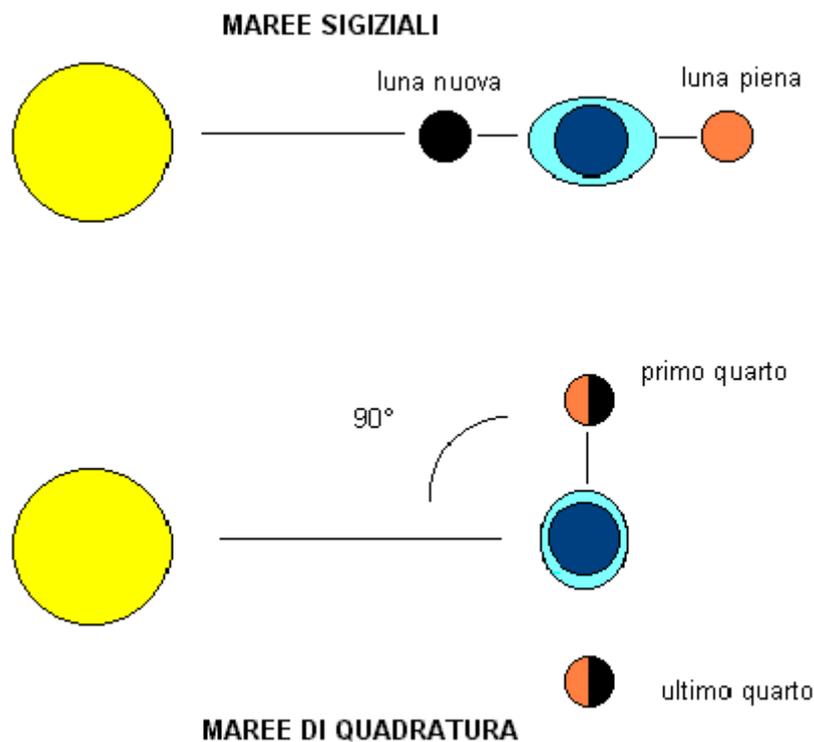
Ciò che si crea è un **rigonfiamento** lungo la linea Terra-Luna. Questo rigonfiamento è presente sia in direzione della Luna, sia dalla parte opposta. Questo fenomeno è il risultato della combinazione di due forze: l'**attrazione gravitazionale** della Luna e la **forza centrifuga** generata dalla rotazione della Terra intorno al centro di massa del sistema.



L'interazione fra le due forze può essere spiegata in questo modo. Sulla faccia della Terra rivolta verso la Luna, l'attrazione lunare è maggiore (in quanto la distanza dalla Luna è minore) mentre la forza centrifuga è minore (in quanto la distanza dal centro di massa è minore). Da questa differenza risulta una forza diretta verso la Luna. Sull'altra faccia accade il contrario: l'attrazione lunare è minore mentre la forza centrifuga è maggiore, quindi la forza risultante punta nel verso opposto alla Luna. Ne consegue quindi un sollevamento del mare sia sul lato della Terra rivolto verso la Luna, sia sul lato opposto (la cosiddetta "seconda gobba" della marea).

L'alta e la bassa marea quindi si alternano all'incirca due volte al giorno (mediamente ogni 12 ore e 25 minuti circa). L'orientamento dei rigonfiamenti inoltre si sposta con la rivoluzione della Luna attorno alla Terra. La differenza tra l'altezza dell'alta marea e della bassa marea è definita **ampiezza di marea**.

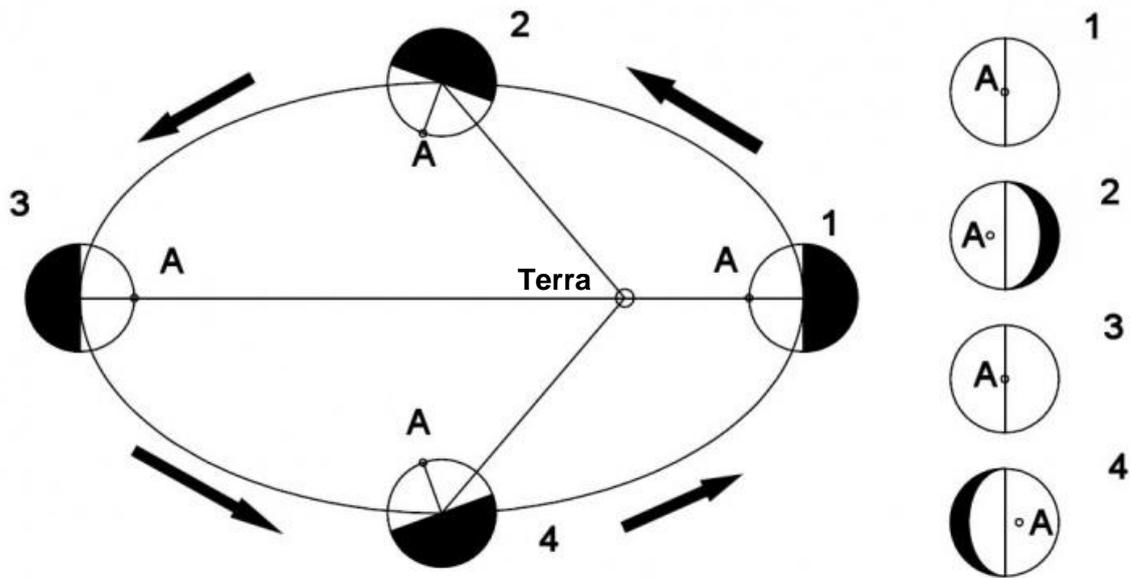
Anche il **Sole** influisce sulle maree attirando le masse d'acqua terrestri verso di sé. Poiché però la distanza Terra-Sole è maggiore della distanza Terra-Luna, la forza di marea del Sole risulta pari solo al 46% circa di quella della Luna, nonostante abbia una massa molto maggiore. A seconda della posizione relativa dei tre corpi celesti, la forza di marea del Sole può agire nella stessa direzione di quella della Luna, quando sono allineati, oppure in direzione a essa perpendicolare. Ne risulta un rafforzamento della marea quando i due astri si trovano in congiunzione (Luna nuova) o in opposizione (Luna piena), e un suo indebolimento quando si trovano in quadratura (primo o ultimo quarto). L'ampiezza delle maree perciò aumenta e diminuisce ciclicamente, con un periodo di circa 15 giorni. In caso di congiunzione e opposizione, la marea è detta **sigiziale** e l'ampiezza raggiunge il suo valore massimo, in caso di quadratura è detta **di quadratura** e raggiunge il suo valore minimo.



## 5. LIBRAZIONI LUNARI

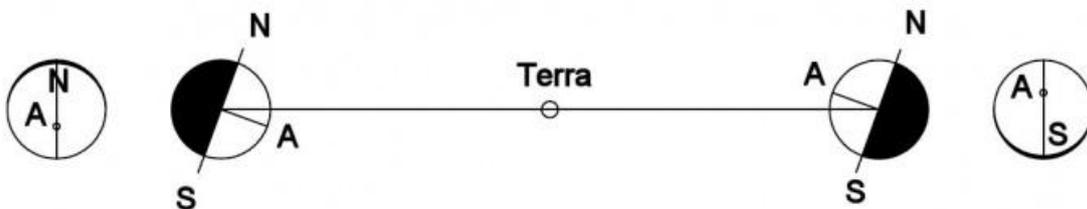
Come affermato in precedenza la Luna è soggetta a rotazione sincrona, pertanto ci si aspetterebbe che mostri verso la Terra esattamente metà del suo globo. In realtà questo è vero solo mediamente, in quanto esistono delle oscillazioni, chiamate **librazioni**, che consentono di vedere dalla Terra circa il 60% della superficie lunare. Questo fenomeno è dovuto principalmente a due fattori:

**Eccentricità dell'orbita:** la rotazione della Luna attorno al proprio asse avviene a velocità costante, mentre la velocità orbitale attorno alla Terra cambia in virtù dell'eccentricità dell'orbita (in accordo con la seconda legge di Keplero) ed ha il suo massimo al perigeo e il suo minimo all'apogeo. La rotazione è quindi a volte in anticipo o in ritardo rispetto alla rivoluzione. Quando ad esempio la Luna è prossima al perigeo, la velocità di rotazione è leggermente inferiore a quella orbitale e la Luna percorre 1/4 della sua orbita in meno tempo, rispetto al tempo che impiega per ruotare attorno a sé stessa di 90° (1/4 di rotazione). Il ritardo nella rotazione fa sì che vengano mostrate delle zone del bordo est del disco lunare che mediamente restano nascoste. Al contrario, quando la Luna si trova prossima all'apogeo, la velocità di rotazione è superiore a quella di rivoluzione, e si scoprono zone oltre il bordo ovest. Questa oscillazione prende il nome di **librazione in longitudine**.



**Librazione in longitudine:** passando alla posizione 1 alla posizione 3 la Luna si allontana dal perigeo e la velocità orbitale diminuisce causando l'oscillazione che scopre il bordo ovest come nella posizione 2. Dalla posizione 3 alla 1 si avvicina al perigeo e accelerando si scopre il bordo est come nella posizione 4.

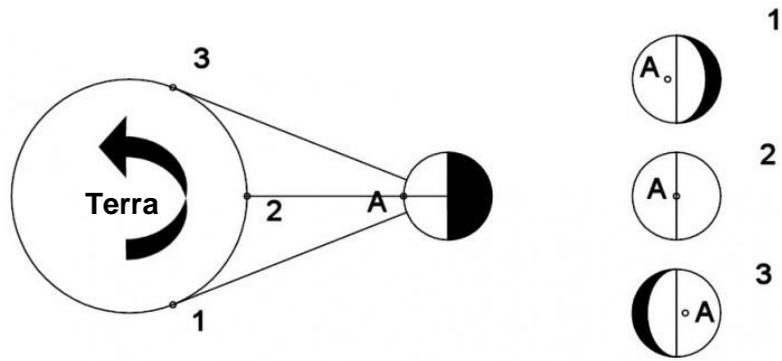
**Inclinazione dell'asse di rotazione:** l'equatore della Luna è inclinato di circa  $6^\circ$  rispetto al piano orbitale. La Luna per questo motivo, a seconda della punto dell'orbita in cui si trova, mostra verso la Terra prima uno dei suoi poli, poi l'altro. Questo accade perché l'asse della Luna, come quello di un grande giroscopio, punta sempre (a meno di moti secolari) verso lo stesso punto del cielo, indipendentemente dalla posizione della Luna nello spazio. Questa oscillazione prende il nome di **librazione in latitudine**.



**Librazione in latitudine:** in figura si nota come, dato che l'asse di rotazione punta sempre nella stessa direzione, nella posizione a sinistra la Luna mostri il suo polo nord verso la Terra, mentre nella posizione a destra mostri il polo sud.

Esistono inoltre librazioni di minore entità oltre a quelle citate sopra:

**Librazione diurna o parallattica:** dovuta alla rotazione giornaliera della Terra che porta l'osservatore prima da una parte, poi dall'altra, della linea Terra-Luna. In cambiamento di prospettiva fa sì che si vedano porzioni leggermente differenti del globo lunare e permette di vedere un po' più del bordo est, quando la Luna sorge, e un po' più del bordo ovest quando tramonta (circa  $1^\circ$ ).



**Librazione diurna:** a causa della prospettiva nella posizione 1 la Luna, vista dalla Terra, sta sorgendo e l'osservatore può vedere una porzione aggiuntiva del suo bordo est. Al contrario nella posizione 3 la Luna sta tramontando e si può vedere una porzione aggiuntiva del bordo ovest.

**Librazioni fisiche:** dovute alla forza mareale esercitata dalla Terra che fa variare leggermente la velocità di rotazione della Luna.