

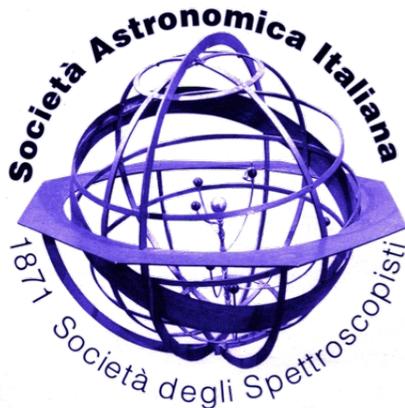
Moti della Luna - Eclissi di Sole e di Luna

Agatino Rifatto

INAF- Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Napoli

agatino.rifatto@inaf.it

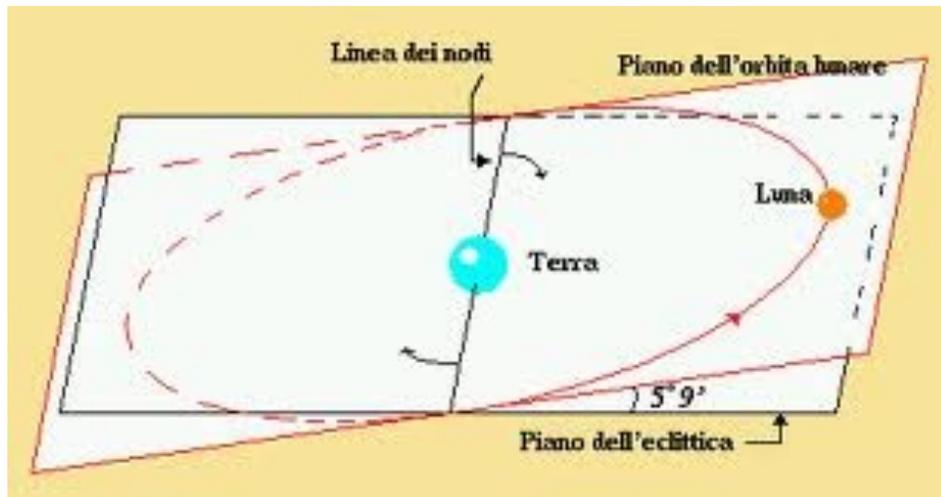
Versione 23 gennaio 2023



In questa dispensa, distribuita gratuitamente, potrebbero essere stati utilizzati anche informazioni, immagini e disegni prelevati da vari siti presenti sulla rete.

In questo caso, si ringraziano gli autori per aver messo a disposizione i materiali.

I moti della Luna



La Luna ruota attorno alla Terra, percorrendo un'orbita ellittica con semiasse maggiore $a = 384400$ km.

Il piano dell'orbita della Luna è inclinato di $5^{\circ} 9'$ rispetto al piano dell'eclittica, che è intersecato nei due punti Ω e Ω' : la congiungente questi due punti prende il nome **di linea dei nodi**.

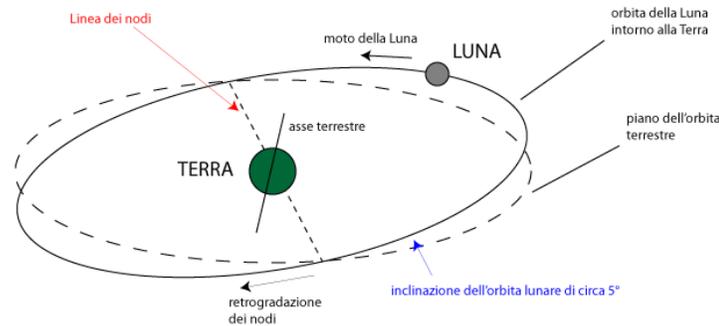
Il moto della Luna attorno alla Terra avviene da Ovest verso Est, così come si verifica per la Terra attorno al Sole; il relativo periodo di rivoluzione, cioè il tempo necessario alla Luna per ritornare nella posizione iniziale dell'orbita rispetto alle stelle, e percorrere quindi un arco di 360° , è pari a $27^{\text{d}}.32166$ ($27^{\text{d}} 7^{\text{h}} 43^{\text{m}} 12^{\text{s}}$), e prende il nome di *mese siderale*.

Lo spostamento quotidiano della Luna sulla sua orbita è dunque pari a circa 13° .

Lo studio del moto della Luna è molto complesso, soprattutto per effetto della sua vicinanza con la Terra che ne perturba continuamente i movimenti.

Per esempio, l'inclinazione media del piano dell'orbita, pari a $5^{\circ} 9'$, varia tra un valore minimo di $4^{\circ}58'$ ed un valore massimo di $5^{\circ}20'$, con un periodo che è leggermente inferiore ai sei mesi.

Le perturbazioni secolari influiscono sulla longitudine del perigeo dell'orbita lunare e sulla longitudine del nodo ascendente.

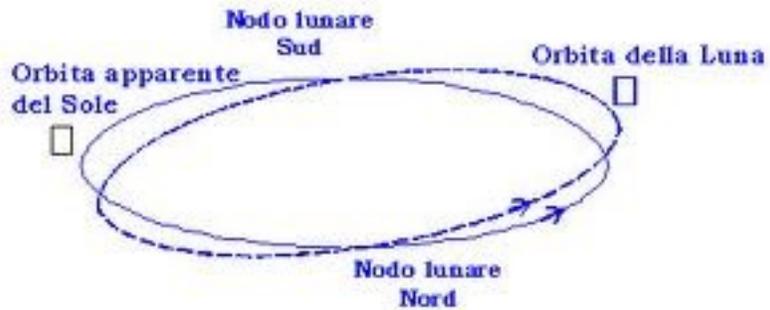


In conseguenza di ciò, il perigeo dell'orbita lunare si sposta verso est, cioè nella stessa direzione del moto della Luna, ed effettua un giro completo dell'eclittica in circa 9 anni (anno anomalistico, pari a 3232 giorni medi).

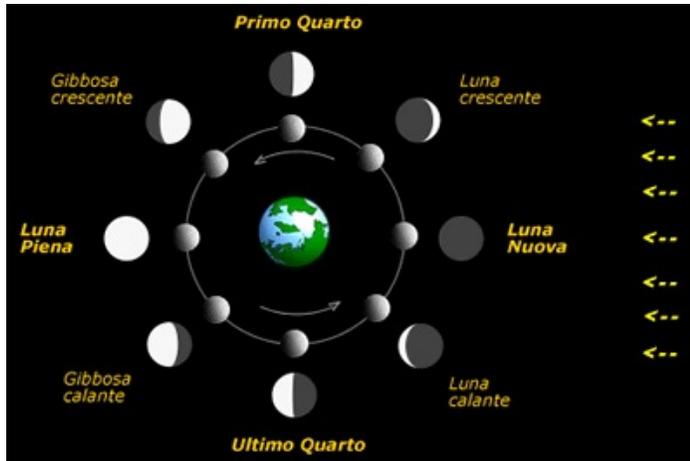
I nodi lunari si spostano invece sull'eclittica in senso opposto rispetto al moto della Luna, cioè verso ovest, compiendo un giro completo dell'eclittica in 18 anni e 7 mesi (6793 giorni medi). Il fenomeno è noto col nome di **retrogradazione dei nodi**.

Ogni anno si ha una retrogradazione dei nodi pari a circa $360^{\circ}/18.6 \approx 19^{\circ}$, che corrisponde ad una retrogradazione mensile di circa $1^{\circ}.6$.

I Nodi Lunari



L'intervallo di tempo impiegato dalla Luna per passare due volte di seguito per lo stesso nodo (ascendente o discendente), prende il nome di **mese draconico**.



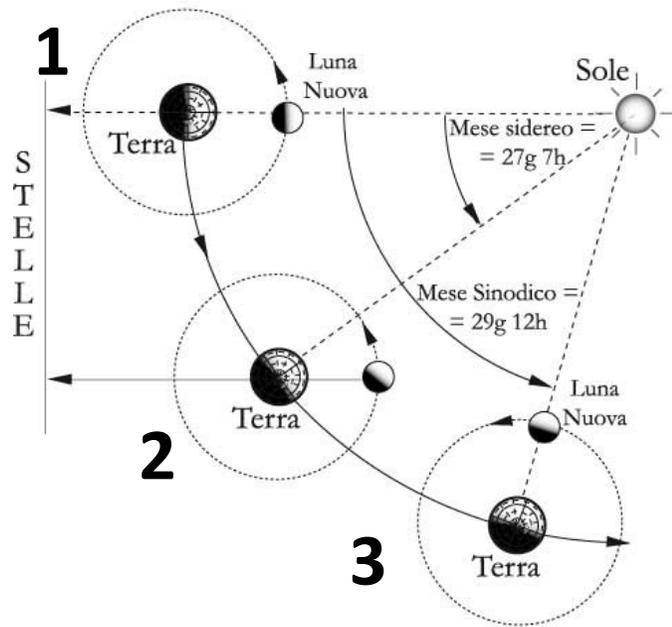
Il moto apparente della Luna sulla sfera celeste è la conseguenza del moto di rotazione della Luna attorno alla Terra, che avviene con moto diretto, da ovest verso est. Questo moto apparente è accompagnato da una continua variazione dell'aspetto esteriore della Luna.

Tale fenomeno prende il nome di *fase lunare* e, come conseguenza, la Luna è alcuni giorni completamente invisibile, altri giorni ha l'aspetto di una falce, di un semicerchio, o di un disco completo.

Le fasi lunari sono una conseguenza delle diverse posizioni occupate dalla Luna, rispetto al Sole, nel suo moto di rotazione attorno alla Terra.

Sulla base di ciò, possiamo distinguere quattro fasi principali, che si trasformano l'una nell'altra: Luna nuova, primo quarto, Luna piena, ed ultimo quarto.

Periodi di rivoluzione della Luna



Le fasi lunari si contano a partire dal **novilunio**.

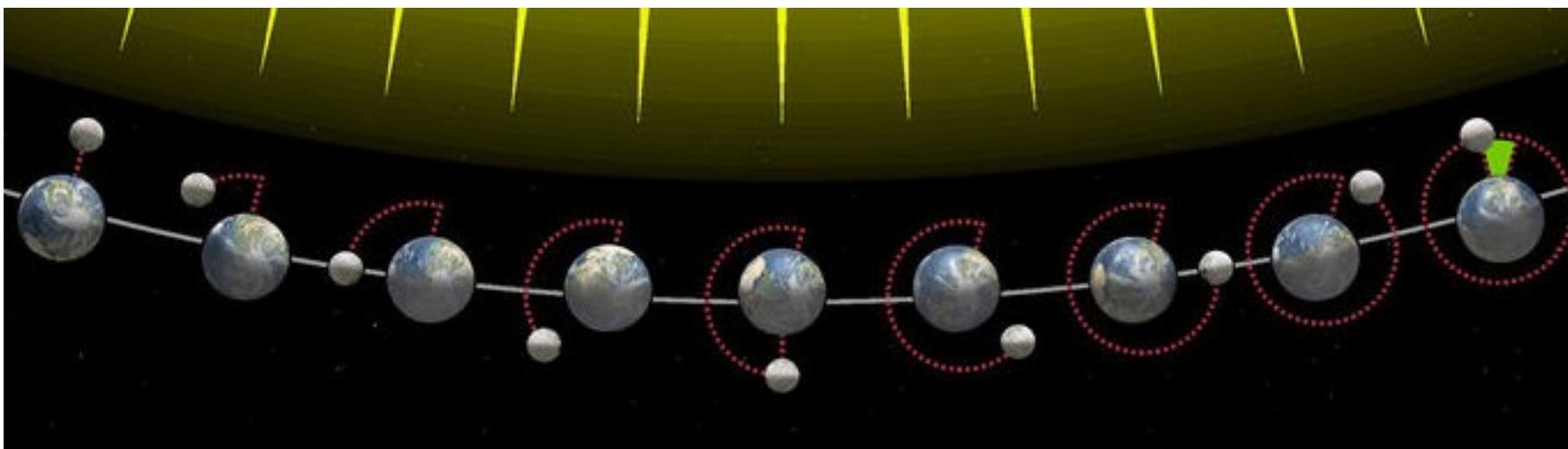
Le fasi di **novilunio** e **plenilunio** prendono il nome di **sigizie**.

L'intervallo di tempo che intercorre tra due noviluni successivi prende il nome di **mese sinodico o lunazione**. E' facile constatare che il mese sinodico è più lungo del mese siderale. Nella figura a lato, la posizione 1 corrisponde alle posizioni relative della Luna, della Terra e del Sole al momento del novilunio.

Dopo una rivoluzione siderale della Luna, pari a 27.32 giorni, la Luna sarà ritornata alla sua posizione iniziale rispetto alle stelle, ma poiché la Terra nel frattempo si è spostata nella posizione 2, la fase lunare non sarà ancora quella di Luna nuova, che si verificherà quando la Terra si sarà portata nella posizione 3.

Dalla figura, è evidente che lo spostamento della Terra dalla posizione 2 alla posizione 3 è uguale ad una rotazione della Luna di un angolo pari all'arco percorso dalla Terra in un mese siderale lunare.

Poiché la Terra si sposta in un giorno di un arco pari a $360^\circ/365.25 \approx 0^\circ.98$, l'arco percorso in un mese siderale lunare sarà: $0^\circ.98 \times 27^d.32 \approx 27^\circ$.



La durata del mese sinodico sarà dunque maggiore rispetto al mese siderale del tempo necessario alla Luna a compiere una rotazione di 27° .

Indichiamo adesso con A l'anno siderale, con M il mese siderale e con S il mese sinodico espressi in giorni solari medi.

La velocità angolare diurna della Terra sarà $360^\circ/A$, mentre la velocità angolare della Luna sarà $360^\circ/M$ per cui, l'angolo descritto dalla Terra e dalla Luna in un mese sinodico sarà, rispettivamente, $(360^\circ/A)S$ e $(360^\circ/M)S$.

Poiché il secondo supera il primo di un angolo giro, avremo:

$$(360^\circ/M)L = (360^\circ/A)L + 360^\circ \Rightarrow 1/M = 1/A + 1/L \Rightarrow L = [(AM) / (A - M)]$$

Si ricava dunque la durata del **mese sinodico**, pari a $L = 29^d.53059 = 29^d 12^h 44^m 3^s$ di tempo solare medio.

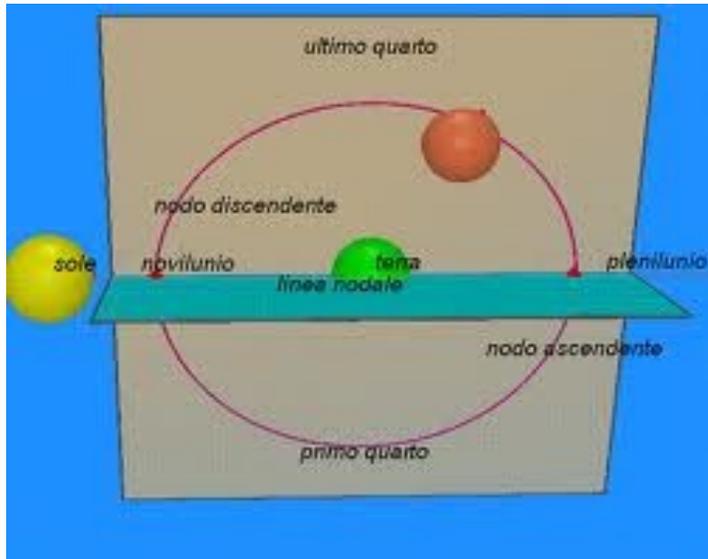
Oltre al mese siderale ed al mese sinodico esistono per la Luna, come già detto, altri tre periodi caratteristici:

- il ***mese anomalistico***, pari all'intervallo di tempo tra due passaggi consecutivi della Luna al perigeo e corrispondente a 27.55 giorni solari medi;
- il ***mese draconico***, corrispondente a due passaggi consecutivi allo stesso nodo dell'orbita e pari a 27.21 giorni solari medi;
- il ***mese tropico***, corrispondente all'intervallo di tempo che trascorre tra due passaggi consecutivi della Luna all'equinozio (27.321582 giorni solari medi). A causa delle precessione, il mese tropico dura 7 secondi in meno rispetto al mese siderale.

Il mese draconico è invece più breve del mese siderale perché i nodi dell'orbita lunare si spostano in senso opposto rispetto al moto della Luna.

Il mese anomalistico è invece più lungo di quello siderale in quanto il perigeo dell'orbita lunare si sposta nello stesso verso del moto della Luna.

Eclissi di Sole e di Luna



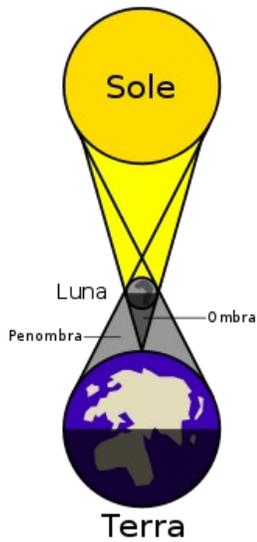
Un'eclissi di Sole non è altro che un'occultazione del Sole da parte della Luna, mentre un'eclissi di Luna non è altro che un'occultazione della Luna da parte della Terra. Per una curiosa coincidenza Sole e Luna, pur avendo dimensioni estremamente diverse, si trovano a distanze tali dalla Terra da mostrare pressapoco lo stesso diametro angolare apparente, pari a circa $0^{\circ}.5$.

Questo accade perché la Luna è circa 400 volte più vicina alla Terra del Sole, mentre il diametro lineare della Luna è circa 400 volte più piccolo di quello del Sole.

Se il piano dell'orbita della Luna coincidesse con quello dell'eclittica, invece di essere inclinato di circa $5^{\circ} 9'$, ad ogni novilunio si avrebbe un'eclissi di Luna e ad ogni plenilunio un'eclissi di Sole.

Può invece accadere che in plenilunio o novilunio la Luna si trovi lontana dall'eclittica ed il suo disco passi al di sopra o al di sotto del disco solare o del cono d'ombra terrestre, e di conseguenza non si hanno eclissi.

Eclissi di Sole



Se la Luna si pone di fronte al Sole (fase di novilunio) essa lo occulta interamente (**eclissi totale**) solo se il suo diametro eccede quello del Sole e se i centri dei due dischi sono allineati, o quasi allineati, rispetto all'osservatore terrestre.



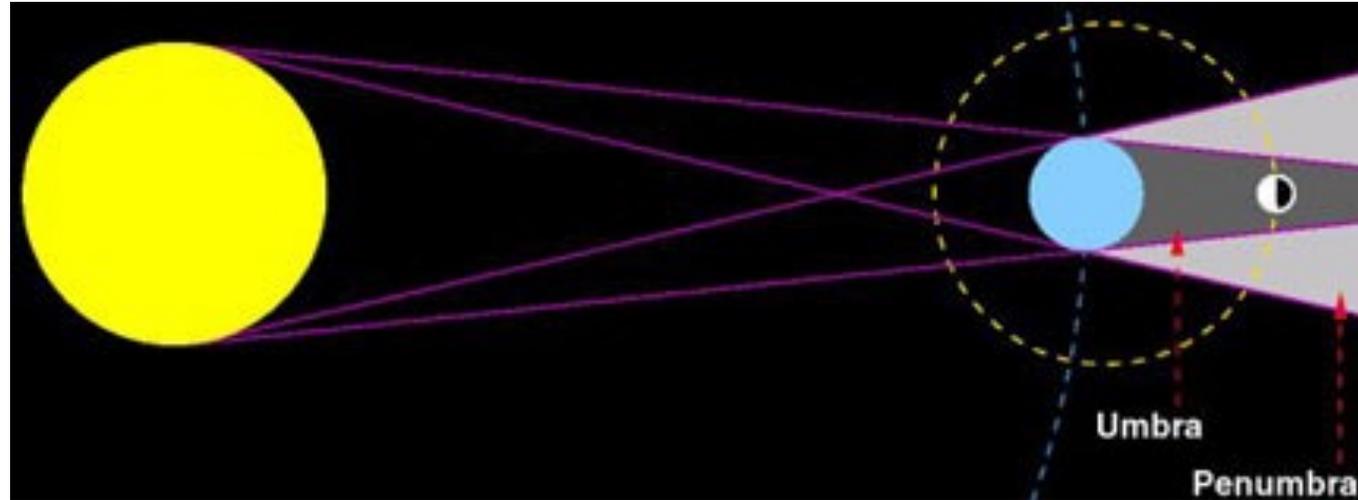
Se invece il diametro apparente della Luna è inferiore a quello del Sole ed i centri dei dischi sono allineati, o quasi allineati con l'osservatore terrestre, sarà occultata solo la parte centrale, lasciando scoperto un sottilissimo anello: in questo caso si avrà un'**eclissi anulare**.



Infine, se il disco della Luna copre solo parzialmente il disco solare, e quindi i centri non sono allineati con l'osservatore, si avrà un'**eclissi parziale**.

Al novilunio possono quindi esserci eclissi di Sole totali, anulari o parziali.

Eclissi di Luna



Eclisse totale di Luna, 15/06/2011 - fase centrale, ore 22:12 - Antonio Catapano - con Orion 80ED - su Canon Eos 50D - 10 sec @ 800Iso

Analogamente può accadere all'epoca del plenilunio che la Terra si interponga tra il Sole e la Luna, intercettando per intero o in parte i raggi solari che illuminano la Luna: avremo allora un'eclissi di Luna che potrà essere totale o parziale.

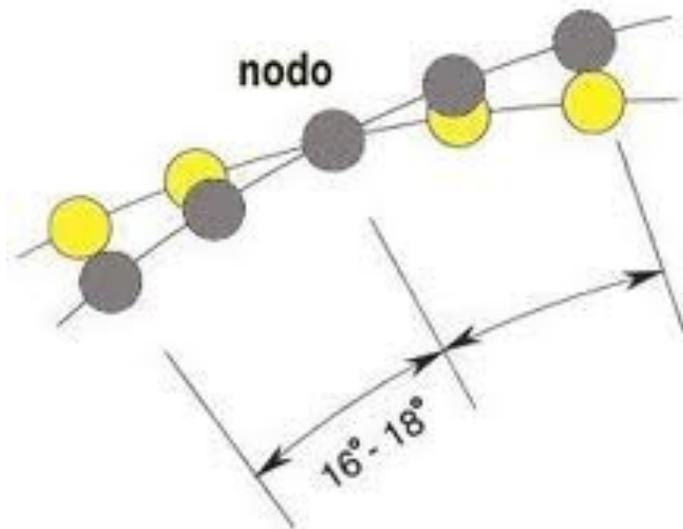
Nel primo caso, la Luna entrerà completamente nel cono d'ombra proiettato dalla Terra, mentre nel secondo caso entrerà solo parzialmente.

Condizioni per il verificarsi delle eclissi

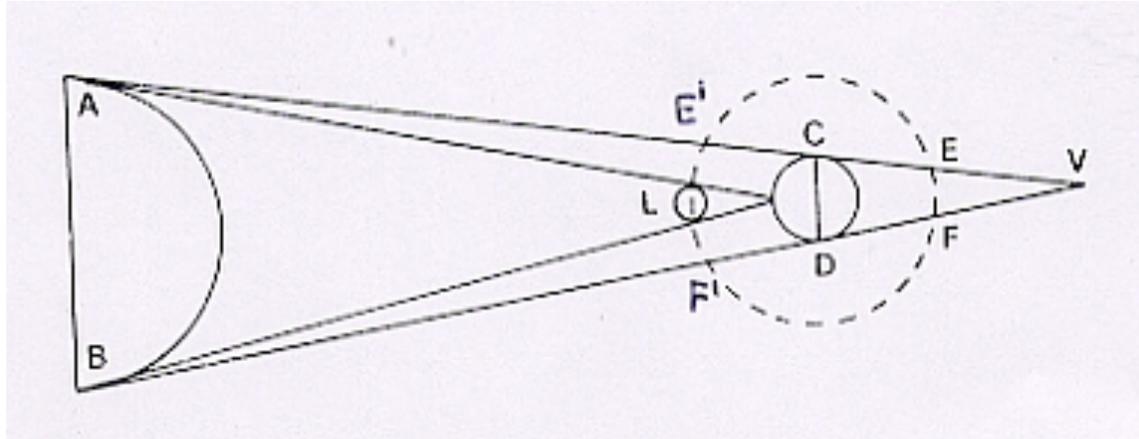
Condizione necessaria perché si abbia un'eclissi è che in plenilunio o novilunio la Luna si trovi in prossimità dei nodi, cioè in vicinanza dell'eclittica.

Tale condizione, necessaria, non è però sufficiente per il fatto che i piani orbitali della Terra e della Luna sono inclinati di un angolo di $5^{\circ} 9'$, e quindi è necessario che i centri di Luna e Sole siano allineati, o quasi allineati, con l'osservatore.

In conclusione, condizione necessaria e sufficiente per avere un'eclissi è che Sole e Luna siano in congiunzione o opposizione rispetto alla Terra (novilunio o plenilunio), e che siano vicinissimi ai nodi lunari.



In particolare, perché si abbia un'eclissi lunare è necessario che il Sole disti in media da un nodo non più di $9^{\circ}.9$ (tra $12^{\circ} 15'$ e $9^{\circ} 30'$) e non più di $4^{\circ}.6$ per una totale, mentre per un'eclissi solare i limiti sono un pò più larghi, essendo sufficiente che al novilunio il Sole si trovi ad una distanza media dal nodo inferiore di $12^{\circ}.5$ (tra $18^{\circ} 31'$ e $15^{\circ} 21'$).



Un'eclissi di Sole, totale, anulare, o parziale, ha dunque luogo ogni volta che la Luna entra nel tronco di cono ABCD.

Affinché avvenga l'entrata, è necessario che al momento del novilunio il Sole disti dal nodo meno di una quantità che oscilla, a secondo delle circostanze, tra $18^{\circ} 31'$ e $15^{\circ} 21'$.

Poiché nelle eclissi lunari questo limite è compreso tra $12^{\circ} 15'$ e $9^{\circ} 30'$, ne segue che, nel corso di un anno, le eclissi di Sole sono più frequenti di quelle di Luna.

Questo fatto è ancora più chiaro se si guarda la figura: poiché l'arco $E'F'$, che è quello utile per aversi un'eclissi di Sole, è maggiore dell'arco EF , che è quello utile per aversi un'eclissi di Luna, si ha una probabilità maggiore di avere un'eclissi di Sole piuttosto che di Luna.

Numero di eclissi e ciclo di Saros

- Considerando le condizioni necessarie e sufficienti per il verificarsi delle eclissi, si può dimostrare che in un anno si possono avere da un minimo di due ad un massimo di sette eclissi.
- Nel primo caso saranno entrambe di Sole, nel secondo caso potranno essere due lunari e cinque solari oppure tre lunari e quattro solari.
- Le eclissi solari in un anno eccedono sempre le eclissi lunari.
- Il caso di sette eclissi in un anno è molto raro e l'evento più frequente è costituito da due eclissi di Sole e due di Luna in un anno.
- La successione dell'ordine delle eclissi segue una periodicità pari a **18 anni e 11.3 giorni**, conosciuta già dai caldei, che prende il nome di **ciclo di Saros**, termine questo di origine assiro-babilonese.

- Periodo sinodico = 29.53 giorni;
- Periodo draconico della Luna = 27.21 giorni;
- periodo draconico del Sole (intervallo tra due passaggi successivi del centro del Sole per lo stesso nodo lunare) = 346.62 giorni

Il ciclo di Saros è uguale all'intervallo di tempo necessario affinché questi tre periodi tornino nella stessa successione.

Si può verificare che 242 mesi draconici corrispondano quasi esattamente a 223 mesi sinodici e a 19 anni draconici. Più esattamente:

242 mesi draconici = 6585.36 giorni solari medi

223 mesi sinodici = 6585.32 giorni solari medi

19 anni draconici = 6585.78 giorni solari medi

Poiché 223 mesi sinodici sono 0.04 giorni più corti di 242 mesi draconici, dopo 6585 giorni la Luna nuova si troverà in una posizione, rispetto al nodo, poco diversa da quella di 18 anni prima, per cui le condizioni in cui si riproducono le eclissi non saranno mai esattamente uguali a quelle di 18 anni prima.

Inoltre, il ciclo di Saros comprende un numero intero di giorni più $\frac{1}{3}$. Di conseguenza, la zona di visibilità di un'eclissi sarà spostata, dopo 18 anni, di circa 120° verso ovest.

Ciascun ciclo di Saros comprende 70 eclissi, di cui 41 di Sole e 29 di Luna.