

## 11 AGOSTO 1999: ECLISSE DI SOLE

Note utili per l'osservatore e breve storia delle eclissi

Il giorno 11 agosto 1999 avrà luogo l'ultima eclisse totale di Sole del millennio. L'osservazione di una eclisse totale è una esperienza rara e indimenticabile e interesserà milioni di abitanti dell'Europa Centrale, dei Balcani e del Medio Oriente. In Italia il fenomeno sarà vistoso ma non impressionante: il Sole si eclisserà per oltre il 90% ma rimarrà ugualmente accecante. In molti probabilmente si recheranno nella vicina Austria o Germania per vedere l'eclisse dalla sottile striscia di totalità, sperando nel tempo meteorologico favorevole.

Vale la pena di raccomandare già da ora la massima prudenza nell'osservazione del Sole, che può compiersi a occhio nudo solo ed esclusivamente nei luoghi e nei momenti di totalità. Diversamente è indispensabile l'uso di adeguati filtri oppure l'osservazione indiretta per proiezione.

Scopo di questa pubblicazione è di illustrare il fenomeno e la sua visibilità, fornire qualche consiglio per l'osservazione, e ripercorrere alcuni momenti di grande interesse nella storia scientifica delle eclissi solari. Abbiamo relegato alle note le informazioni di carattere complementare o più tecniche.

### **Cosa si vede durante una eclisse totale.**

Per il fortunato spettatore di un'eclisse totale di Sole nella fascia di totalità, il fenomeno ha un inizio impercettibile. Il *primo contatto* segna l'istante in cui il disco nero della Luna intacca il disco abbagliante del Sole, la *fotosfera*. Nel tempo di circa novanta minuti la Luna copre progressivamente il Sole; solo verso la fine si percepisce una attenuazione della luminosità del cielo e le ombre si disegnano più nette.

Quando il Sole è quasi tutto oscurato la temperatura dell'aria si abbassa rapidamente; da ovest sopraggiunge, con sorprendente rapidità, la sagoma oscura del cono d'ombra. L'occhio abituato alla semioscurità vede scomparire l'ultimo lembo di fotosfera, e ha inizio la prima fase di un impressionante spettacolo. Tra gli avvallamenti del frastagliato bordo lunare s'insinuano gli ultimi raggi del Sole: è un istante in cui il bordo del disco nero della Luna rifulge di perle di luce. Talvolta una sovrasta le altre per luminosità, dando l'effetto di un diamante nel centro di un anello. È una "collana di perle", come per la prima volta la descrisse l'astrofilo Bailey (1836).

Il primo atto è breve; si spengono gli ultimi raggi dietro la Luna ed è il *secondo contatto*, l'inizio della fase di totalità.

Allo spettatore attonito, gli occhi ormai bene aperti, si presenta una seconda scena: dal bordo lunare emerge la rossa e sottile *cromosfera* e, per distanze maggiori, l'aureola pallida e bianca della *corona solare*. Sono le parti più esterne del Sole, normalmente invisibili; la corona ha estensione e aspetto molto variabile, in relazione all'attività solare. Gli strumenti mostrano nella cromosfera le *protuberanze*: giganteschi archi o pennacchi di materia solare convogliata da intensi campi magnetici.

E' uno spettacolo bellissimo. Era giorno e ora il cielo è come in una notte di Luna piena;

appaiono le stelle e i pianeti. Talvolta si è osservata una cometa. Lontano dal Sole eclissato il cielo è più chiaro, per la luce solare diffusa dall'atmosfera fuori dal cono d'ombra. Nel breve tempo della totalità, da pochi secondi a un massimo di circa sette minuti e mezzo, si concentra il lavoro lungamente preparato di numerosi astrofisici e geofisici convenuti all'appuntamento da ogni parte del mondo. Le eclissi ci hanno insegnato molte cose sul Sole e la sua interazione con la Terra.

La Luna prosegue inesorabilmente il suo cammino celeste, rivelandoci la cromosfera sul lato opposto. Le perle di Bailey, segnano il riemergere della luminosissima fotosfera: il *terzo contatto*. La luminosità del Sole cresce prepotentemente; distogliamo lo sguardo e ci guardiamo intorno per leggere negli sguardi degli altri lo stupore e la gioia. La Luna lentamente ci restituisce il Sole, e tutto ha termine al *quarto contatto*.

### Geometria delle eclissi.

Nello studio delle eclissi è necessario considerare, oltre ai tre corpi Sole Terra e Luna, i coni d'ombra che accompagnano la Terra e la Luna nel loro moto. Si verifica una eclisse di Sole o di Luna ogni volta che, rispettivamente, la Terra è intercettata dal cono d'ombra della Luna, oppure la Luna si immerge nell'ombra terrestre. È evidente che queste situazioni richiedano un sufficiente allineamento dei centri dei tre corpi. Nell'eclisse di Sole la Luna si trova nella fase nuova, mentre nell'eclisse di Luna essa è piena. [1]

Una peculiarità notevole del nostro satellite è di presentare un diametro apparente molto vicino a quello del Sole: questo ci permette di osservare l'eclisse di Sole in tutta la sua impressionante bellezza. Vi sono piccole variazioni del diametro apparente del Sole dovute al fatto che la Terra non descrive un'orbita perfettamente circolare, e variazioni maggiori per il diametro lunare [2]. Esse portano a distinguere le eclissi di Sole in *totali* (la Luna copre totalmente la fotosfera) e *anulari* (il disco della Luna è interno al disco solare). Le eclissi anulari, per la residua luminosità del bordo, sono assai meno spettacolari di quelle totali, e sono anche più frequenti. Quando l'asse del cono d'ombra lunare incide sulla Terra, l'eclisse è detta *centrale* (totale o anulare).

Nell'eclisse totale di Sole il sottile cono d'ombra della Luna, alla distanza della superficie terrestre, ha una sezione massima di larghezza 260 Km. Esso intercetta sulla Terra una regione ovale più grande, a seconda dell'esposizione, nella quale il Sole appare totalmente oscurato. Seguendo il moto lunare, la macchia nera percorre alla velocità di almeno 500 m/sec una striscia sulla superficie terrestre, da ovest verso est, dove l'eclisse è totale [3]. In una zona larga migliaia di chilometri e centrata sulla striscia di totalità, il Sole appare eclissato solo parzialmente.

Nell'eclisse anulare il cono d'ombra è più breve della distanza Terra-Luna. Tuttavia la Luna proietta ancora sulla superficie terrestre un disco di pronunciata penombra, in genere più vasto dell'ovale di totalità, entro il quale la Luna appare concentrica al Sole. L'aureola luminosissima impedisce di osservare particolari del bordo solare.

Talvolta il cono d'ombra sfiora soltanto la Terra, e in tal caso l'eclisse è classificata *parziale* ed è visibile solo nelle regioni polari. [4]

Quando invece è la Terra a occupare la posizione intermedia, la Luna viene a trovarsi immersa nel più vasto cono d'ombra terrestre, e tutti gli abitanti dell'emisfero notturno osservano una eclisse totale di Luna. Se l'ombra viene attraversata centralmente, l'eclisse

totale lunare dura fino a 1h 45m. L'eclisse è parziale o di penombra se l'allineamento è imperfetto, e la Luna si immerge solo parzialmente nell'ombra oppure non la attraversa, pur rimanendo in zona di penombra. In quest'ultimo caso l'eclisse è un fenomeno impercettibile.

Poiché la Terra offre una sezione maggiore che non la sua ombra alla distanza della Luna [5], le eclissi di Sole sono più frequenti di quelle di Luna nella proporzione 3:2. Tuttavia, mentre le prime sono osservate in limitate regioni del pianeta, le eclissi di Luna sono visibili da un intero emisfero.

La previsione precisa delle eclissi è strettamente collegata al difficile problema di descrivere accuratamente il moto della Luna, che nel secolo scorso fu un rompicapo per astronomi e matematici [6]. Un'impresa titanica fu la preparazione del "Canon der Finsternisse", di Oppoltzer (1887), che raccoglie i dati di 8000 eclissi di Sole e oltre 5000 di Luna, tra il 1205 a.C. e il 2152 d.C. L'opera è preziosa per studi storici, dove le testimonianze di eclissi sono un mezzo importante di datazione, e per gli astronomi interessati allo studio delle lente variazioni del moto della Terra e della Luna. Recentemente, e con altri mezzi, le eclissi sono state calcolate da Meeus e altri fino al 2510.

### **Condizioni per le eclissi e periodicità.**

Se il moto della Luna avvenisse nello stesso piano dell'orbita terrestre (eclittica), si verificherebbe una eclisse di Sole ogni novilunio, e una eclisse di Luna a ogni plenilunio. Questo non avviene perché il piano orbitale della Luna è inclinato di circa  $5^\circ$  sull'eclittica. L'intersezione dei due piani, contenente la Terra, è la *linea dei nodi*, e i nodi (ascendente e discendente) sono i punti in cui la Luna attraversa l'eclittica. La linea dei nodi descrive l'allineamento perfetto dei centri di Sole, Terra e Luna per le eclissi; tuttavia le misure dei diametri dei tre corpi celesti fanno sì che non sia necessaria questa perfezione per il verificarsi di una eclisse.

Se la linea dei nodi fosse immobile rispetto alle stelle, il Sole, nel suo moto annuo apparente, si porterebbe da un nodo al successivo in circa 6 mesi, mentre la Luna si muoverebbe da un nodo all'altro in circa 14 giorni.

Si può mostrare che il Sole è in posizione utile per una eclisse solare se dista da un nodo meno di  $18^\circ, 5$ . Muovendosi alla velocità di circa  $1^\circ$  al giorno, si ottiene un intervallo di 37 giorni, più lungo di un mese lunare. Si conclude che per ogni passaggio del Sole al nodo si verifica almeno una eclisse di Sole. Due settimane prima e dopo, la Luna è vicina all'altro nodo, e in almeno uno dei due casi il Sole è ancora bene allineato, e si ha anche una eclisse di Luna. Per ogni passaggio del Sole al nodo si ha pertanto almeno una coppia di eclissi, di cui una di Sole e una di Luna.

Dopo sei mesi circa il Sole è in posizione favorevole all'altro nodo e la Luna, più veloce, passerà da un nodo all'altro provocando un'altra serie di due o tre eclissi.

In conclusione, le eclissi si presentano a gruppi (stagioni delle eclissi) ogni sei mesi circa, e distanziate di circa due settimane in uno stesso gruppo. Per esempio, riportiamo le eclissi per gli anni 1998-1999:

26-02-1998 - eclisse di Sole (totale)

13-03-1998 - eclisse di Luna (penombra)

08-08-1998 - eclisse di Luna (penombra)

21-08-1998 - eclisse di Sole (anulare)  
06-09-1998 - eclisse di Luna (penombra)  
31-01-1999 - eclisse di Luna (penombra)  
16-02-1999 - eclisse di Sole (anulare)  
28-07-1999 - eclisse di Luna (parziale)  
11-08-1999 - eclisse di Sole (totale)

Il ragionamento appena svolto è utile come primo orientamento. Per essere più precisi dobbiamo ricordare che la Luna ha una dinamica complicata, e la linea dei nodi ruota compiendo un giro completo in 18 anni e  $2/3$ . Il Sole ritorna allo stesso nodo non dopo un anno solare, ma dopo un *anno delle eclissi* di 346,62 giorni. D'altra parte, una eclisse di Sole o di Luna richiedono che quest'ultima sia o nuova o piena: l'intervallo tra due successivi noviluni (lunazione) viene chiamato *mese sinodico* e dura 29.53 giorni.

Uno studio dettagliato delle condizioni per le eclissi mostra che durante un anno sono possibili da quattro a sette eclissi tra solari centrali o parziali, e lunari totali o parziali o di penombra. Quando le eclissi sono sette, sei di esse appartengono a due stagioni complete delle eclissi, e la settimana ad una stagione condivisa con l'anno successivo o precedente.

E. Halley, l'astronomo della cometa e amico di Newton, si accorse di una periodicità delle eclissi solari e lunari su un arco di tempo denominato **Saros**. Il periodo del Saros era già noto ai Caldei, ma forse limitatamente alle eclissi di Luna, di cui tenevano una precisa registrazione. Le eclissi solari sono assai meno frequenti in una stessa regione. [7]

Poiché Sole e Luna hanno moti periodici, si calcola un intervallo di tempo trascorso il quale essi si ripresentano nelle stesse condizioni rispetto alla Terra. Questo intervallo, il Saros, contiene 223 lunazioni (6585,32 giorni), corrispondenti a 19 anni delle eclissi (6585.78 giorni) [8]. Dopo un Saros la sequenza di eclissi si ripete con le stesse modalità e scansione temporale. La differenza è nella regione geografica di visibilità: a causa del resto di 0.32 giorni la Terra risulta ruotata di  $1/3$  di giro. Perché la successione delle eclissi si riproponga in uno stesso luogo e circa alla stessa ora, devono trascorrere 3 Saros, vale a dire 54 anni e 34 giorni.

Le eclissi nella storia. L'osservazione delle eclissi risale a tempi antichissimi. Sono note osservazioni effettuate dai Cinesi duemila anni prima di Cristo. Le eclissi venivano regolarmente registrate dagli Assiri già dal VII secolo a.C.

La scienza greca si servì delle eclissi per dimostrare la sfericità della Terra, attraverso lo studio dell'ombra sulla Luna, e calcolare rapporti tra le dimensioni e le distanze di Sole, Terra e Luna (Aristarco).

Ipparco, con un ingegnoso calcolo basato solamente sui dati delle eclissi, determinò la corretta distanza Terra-Luna in 60 raggi terrestri. La sua fama di massimo astronomo dell'antichità è anche legata alla scoperta della lentissima precessione degli equinozi, che compie un ciclo in circa 26 mila anni. Utilizzando l'eclisse di Luna con il Sole vicino all'equinozio di primavera, ottenne una determinazione precisa della posizione delle stelle della Vergine rispetto all'eclittica, differente rispetto alle osservazioni di Timocharis, precedenti di 150 anni.

Le eclissi di Luna, visibili simultaneamente da località lontane, sono un evento utile per sincronizzare gli orologi, che un tempo erano assai imprecisi. Galileo sfruttò questa osser-

vazione per dare un metodo di calcolo delle longitudini terrestri.

La guerra s'inclinò alla scienza per l'eclisse del 1780. Durante la Rivoluzione Americana, l'università di Harvard ottenne una cessazione delle ostilità nel Maine per osservare l'eclisse.

Le eclissi storiche e la rotazione terrestre. Le eclissi storiche sono un importante elemento nello studio del moto della Terra e della Luna. Il problema maggiore risiede nell'incertezza nella indicazione dell'ora dell'evento; esso viene superato quando la testimonianza riporta che l'eclisse si verificava col Sole al sorgere o al tramonto.

L'analisi accurata dell'eclisse solare di Atene, la più affidabile, visibile al sorgere del Sole del 14 Gennaio 484, mostra che la ricostruzione del tracciato di totalità sulla superficie terrestre risulta spostato di circa  $30^\circ$  rispetto a quello storico. Questo evento conferma il dato di rallentamento della rotazione terrestre misurabile con gli orologi atomici.

Le protuberanze e la scoperta dell'Elio. Nel 1814 il giovane J.Fraunhofer costruì il primo spettroscopio adatto a misure precise, e osservò il Sole. Dentro la banda luminosa dello spettro visibile identificò un elevato numero di righe scure denominando con A,B,C etc. quelle più marcate. Si accorse anche che la riga D coincideva con quella della sua lampada al Sodio.

Circa 50 anni dopo, Kirchhoff e Bunsen riprodussero alcune delle righe in laboratorio, mostrando che ogni elemento chimico emette uno spettro caratteristico di righe luminose. Lo stesso elemento, interposto a una sorgente con spettro continuo, assorbe luce dando luogo a uno spettro in cui l'assorbimento si manifesta in righe nere nella stessa posizione delle righe di emissione. A partire da questa scoperta fondamentale fu possibile studiare la composizione chimica della materia attraverso l'osservazione dello spettro. Non solo, fu possibile dedurre anche informazioni sulla densità e la temperatura. Ebbe inizio la disciplina dell'astrofisica e più in generale della spettroscopia, con apporti essenziali al sorgere della moderna teoria quantistica dell'atomo.

Kirchhoff interpretò le righe scure dello spettro solare come dovute all'assorbimento selettivo di alcune lunghezze d'onda del continuo luminoso emesso dalla fotosfera da parte di uno strato del Sole esterno e più freddo. Le righe scure, con la loro posizione, dovevano permettere di individuare gli elementi chimici presenti in questo strato.

Durante l'eclisse del 1860, Padre Secchi e De la Rue impiegarono la neonata fotografia per accertare la natura solare delle protuberanze e della corona. Nell'eclisse totale del 1868 Janssen e Lockyer osservarono nelle protuberanze, oltre alle intense righe dell'Idrogeno, una riga gialla  $D_3$  vicino a quelle del Sodio. Dopo molte ricerche, la riga risultò non associata ad alcun elemento chimico noto, e fu pertanto attribuita ad un nuovo elemento: l'Elio (He, secondo nella tavola periodica di Mendeleev, e secondo per abbondanza cosmica, dopo l'Idrogeno). L'Elio venne in seguito individuato sulla Terra dal chimico Ramsay (1895) tra i gas emessi dal minerale Cleveite. L'osservazione dell'Elio nelle protuberanze rimane la migliore misura della sua abbondanza nel Sole.

La vicenda del Coronium. Nell'eclisse totale del 1868, in India, Janssen osservò anche lo spettro della corona individuando un continuo solcato da una serie di righe luminose, la più intensa nel verde, mai identificate prima. Per lungo tempo queste righe rimasero un

mistero. Si ipotizzò l'esistenza di un nuovo elemento chimico, il Coronium. Solo nel 1941 il mistero fu svelato dallo spettroscopista B.Edlen, per aprirne un altro: le righe sono dovute al Ferro altamente ionizzato, uno stato che richiede temperature dell'ordine del milione di gradi. Il nuovo mistero è il seguente: la luminosa fotosfera ha la temperatura di circa 6000 gradi, la rossa cromosfera è ancora più fredda, qual'è il meccanismo che riscalda la corona a oltre 1 milione di gradi? La risposta è complessa per essere qui accennata.

Lo spettro flash Nell'eclisse totale del 1870, in Spagna, Young puntò lo spettroscopio tangente al bordo solare, durante la totalità. Osservò svanire, insieme alla fotosfera, le righe di assorbimento di Fraunhofer. Poi, come un lampo, osservò con emozione enorme che tutto il campo visivo si riempì di righe colorate, per sparire dopo circa due secondi. Questa fu la prima osservazione dello spettro lampo, che dimostra l'esistenza di quello strato previsto da Kirchhoff, che assorbe quando è davanti alla fotosfera (causando le righe nere nello spettro di Fraunhofer), ed emette le stesse righe (ora luminose), quando ha per sfondo il cielo. Lo strato, che comprende la cromosfera e la parte profonda della corona, fu denominato "invertente". Per qualche tempo lo spettro flash fu usato come segnale di tempo per misure geodetiche.

Un test per Einstein. L'eclisse solare del 29 maggio 1919 fu l'occasione per una ulteriore verifica sperimentale della teoria della relatività generale di Einstein (1915).

Il precedente test riguardava un'anomalia nella precessione dell'orbita di Mercurio, conosciuta da tempo ma non spiegabile facilmente con la fisica di Newton. Le Verrier, che insieme ad Adams predisse l'esistenza del pianeta Nettuno, e ne calcolò l'orbita sulla base delle irregolarità del moto di Urano, aveva ipotizzato l'esistenza di un pianeta intra-mercuriale, Vulcano. Il solo momento propizio per l'osservazione di Vulcano, perennemente nascosto nella luminosità del Sole, erano le eclissi, ma con esito nullo. La relatività di Einstein spiegò molto più tardi l'anomalia, senza scomodare Vulcano.

Il nuovo esperimento doveva evidenziare il fenomeno della deflessione dei raggi di luce in presenza di un campo gravitazionale. Esso era già stato previsto da Lagrange, un secolo prima di Einstein. La teoria di Einstein prevede una deflessione in misura doppia: un raggio luminoso proveniente dallo spazio lontano e rasente il Sole, sarebbe deviato di un angolo di  $1''$ .<sup>75</sup>

Questa deflessione deve manifestarsi nel confronto di fotografie di campi stellari effettuate durante una eclisse totale di Sole, quando anche vicino al bordo del Sole il cielo è sufficientemente buio, e a distanza di mesi, di notte. Le posizioni relative delle stelle, nei due casi, dovrebbero essere diverse. L'esperimento, delicatissimo per le difficoltà dovute a effetti termici, turbolenza atmosferica, emulsioni fotografiche, mostrò deviazioni nel senso previsto, e fu un momento di grande popolarità per Einstein. Esso fu ripetuto numerose volte e solo in epoca recente, con tecniche radioastronomiche che non richiedono il momento dell'eclisse, si è raggiunta una precisione delle misure che confermano la teoria entro un errore dell'1%.

Lo Spettroeliografo e il Coronografo. Per molto tempo le eclissi solari furono l'unico breve momento in cui concentrare gli studi della cromosfera e della corona solare, altrimenti

cancellate dalla luminosità della fotosfera.

Un primo passo importante fu compiuto da Janssen e Lockyer dopo l'eclisse del 1868. Indirizzando lo spettroscopio sul bordo del Sole e osservando la brillante riga rossa dell'Idrogeno (la riga  $H_\alpha$ ), essi ebbero l'idea di aprire la fenditura. Scoprirono che potevano osservare non solo la riga, ma anche la forma delle protuberanze. L'uso dello spettroscopio come filtro selettivo inaugurò l'osservazione continua delle protuberanze.

Nel 1930, B.Lyot costruì all'osservatorio Pic du Midi, sui Pirenei, il primo coronografo. In questo ingegnoso strumento, l'immagine accecante della fotosfera viene intercettata e rimossa da uno specchietto lungo il percorso ottico. Numerosi accorgimenti eliminano la residua luce diffusa dalle varie parti ottiche, che cancellerebbe l'immagine della corona.

### Esempi di ricerche attuali.

Le eclissi solari, per la ridotta diffusione di luce dalla fotosfera, sono ancora oggi un momento importante per lo studio della corona interna, con costi di gran lunga inferiori rispetto ad altri metodi di indagine. In epoca recente esse sono diventate interessanti per meteorologi e geofisici.

1) Per i meteorologi l' eclisse di Sole è un interessante e unico esperimento per studiare la risposta dell'atmosfera a una rapida variazione di temperatura, in una zona e per un tempo controllati. In particolare è stata prevista e osservata la propagazione di onde di densità anche su grande distanza. Fluttuazioni locali di densità sono responsabili del fenomeno ancora non bene compreso delle "ombre volanti", che precedono la totalità e sono visibili su superfici chiare.

2) La ionosfera è un importante involucro schermante della Terra, tra 100 e 300 Km di altezza, dove cariche elettriche si formano per dissociazione delle molecole dovuta ai raggi ultravioletti e X del Sole e si ricombinano, con un diverso equilibrio dei processi nei vari strati che la compongono. Le cariche sono responsabili delle proprietà riflettenti della ionosfera per le onde radio. Durante l'eclisse solare si ha l'opportunità di studiare, con satelliti e radar, l'effetto sul profilo verticale delle densità di carica, e avere una migliore comprensione delle leggi che governano la composizione della ionosfera.

3) La luce zodiacale è una luminosità diffusa nel cielo notturno dovuta alla riflessione di luce solare da parte delle polveri contenute nel piano dell'eclittica, nel quale orbita anche la maggior parte della materia del sistema solare. Le eclissi sono una occasione di studio della distribuzione delle polveri anche a piccola distanza dal Sole.

### **Note**

[1] Indicando con  $R_\odot$  il raggio del Sole, con  $r$  quello della Terra o della Luna,  $a$  la distanza dei centri, la lunghezza del cono d'ombra è  $L = ar/(R_\odot - r)$ .

Per la Terra, la cui distanza dal Sole è praticamente costante nel tempo, si ottiene il valore approssimativo  $L_\oplus = 1,5$  milioni Km, circa 4 volte maggiore della distanza Terra-Luna.

Ai fini delle eclissi di Sole è importante valutare con precisione la lunghezza del cono d'ombra lunare, in fase di novilunio. La lunghezza può variare da 380mila a 367mila Km. Tenendo presente che la distanza Terra-Luna oscilla tra 363mila e 405mila Km. (orbita media), si vede che, con la Luna in un ampio tratto della sua orbita attorno all'apogeo, il cono d'ombra non raggiunge la Terra. La Terra viene intercettata dal cono che si riapre

prolungando il cono d'ombra oltre il vertice.

[2] I valori estremi per il diametro angolare del Sole sono  $32'36''$  e  $31'32''$ , raggiunti quando la Terra è alla distanza dal Sole minima (perielio), o massima (afelio). La Terra al perielio (intorno al 3 gennaio) dista Km. 147 milioni dal Sole, mentre all'afelio (7 luglio) la distanza è Km. 152 milioni.

Il diametro angolare della Luna varia da  $33'30''$  (Luna al perigeo) a  $29'22''$  (Luna all'apogeo). Questa variabilità è accentuata rispetto ai valori ottenibili sulla base dell'orbita lunare media, ed è dovuta a numerosi effetti di perturbazione.

[3] La durata massima dell'eclisse totale solare si verifica quando, oltre a sussistere all'allineamento necessario, la Terra si trovi all'afelio e la Luna nuova al perigeo. In questa configurazione il disco lunare eccede quello solare di circa  $2'$ . La combinazione del moto lunare e della rotazione diurna della Terra, con velocità dipendente dalla latitudine, fanno sì che il margine di eclisse totale di  $2'$  sia percorso dal disco della Luna nel tempo massimo di  $7m40s$  per un osservatore presso l'equatore e  $6m30s$  alla latitudine di  $45^\circ$ .

[4] Può succedere che una eclisse si presenti, nella sua evoluzione, anulare, totale e nuovamente anulare. L'eventualità si presenta quando il cono d'ombra intercetta la Terra solo nella sua parte più vicina alla Luna.

[5] Il diametro terrestre è 12742 Km, mentre il diametro del cono d'ombra terrestre alla distanza in cui è attraversato dalla Luna è 8900 Km,

[6] La teoria del moto lunare è stata sviluppata da E.W.Brown, all'inizio del secolo. La teoria delle eclissi è precedente, e risale a Bessel.

[7] Sull'etimologia e l'analisi critica del mito che attribuisce ai Caldei la conoscenza del ciclo del Saros si veda l'interessante discussione dell'autorevole O.Neugebauer "Le Scienze esatte nell'antichità", Feltrinelli 1974, pag. 170.

[8] È sorprendente che un Saros contenga quasi esattamente 239 mesi anomalistici, pari a 6585,54 giorni. Il mese anomalistico è l'intervallo tra due successivi passaggi al perigeo. Questo comporta che nelle eclissi di due Saros si ripetano i valori delle distanze Terra-Luna, che influenzano l'ampiezza della totalità o il carattere di una eclisse (anulare o totale).

## Bibliografia

Per informazioni generali sul fenomeno delle eclissi:

- J.B.Zirker: "Total Eclipses of the Sun", (1995), Princeton University Press.
- P.Couderc "Les Éclipses", collection "Que sais-je?" n.940, (1971) Presses Universitaires de France.
- F.Espenak: "Fifty Year Canon of Solar Eclipses: 1986-2035", NASA Reference Publication 1178 revised (1987).

Per il calcolo delle eclissi:

- "Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris and the American Ephemeris and nautical Almanac", H.M.Stationery Office, (1961) London.
- R.M.Green: "Spherical Astronomy", Cambridge University Press, 1985.

Altre opere consultate:

- A.Fresa: "La Luna", Hoepli, 1952, Milano.
- S.De Meis, J.Meeus: "Almanacco Astronomico 1999", nuovo Orione, Hoepli.



- R.Noyes: "The Sun, our star", harvard University Press 1982.
- H.C.King: "History of the telescope", Dover, 1979, New York.