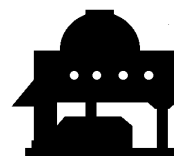




Associazione Astrofili ALTA VALDERA



LIBBIANO, 17 MARZO 2005

ECLISSE TOTALE DI SOLE



A cura di Alberto Villa

INDICE

Indice	pag. 3
Introduzione	pag. 5
Perchè avvengono le eclissi.....	pag. 6
Le eclissi nella storia	pag. 9
Alcune eclissi storiche	pag. 14
L'eclisse di Sole	pag. 17
La struttura del Sole	pag. 20
Che cosa accade durante l'eclisse totale	pag. 22
Come osservare l'eclisse di Sole	pag. 24
Come fotografare l'eclisse	pag. 27
Tavole	pag. 29

INTRODUZIONE

Fra i tanti fenomeni celesti che possono essere visti ad occhio nudo, l'eclisse di Sole o di Luna è fra quelli che più colpiscono l'immaginazione di chi li osserva. Presso i popoli primitivi la scomparsa del Sole o della Luna destava solitamente angoscia e terrore. Purtroppo anche nella nostra società tecnologica, all'inizio del terzo millennio, non sono pochi quelli che credono ancora ai presagi infausti delle eclissi. Una credenza di questo tipo è del tutto ingiustificata, anche se riceve attenzione dalla gran parte dei mass-media, sempre pronti ad interpellare l'astrologo di turno per le "previsioni" più fantasiose.

Così come tutti i corpi illuminati dal Sole, anche Terra e Luna proiettano un cono d'ombra. Nel momento in cui la Luna entra nel cono d'ombra della Terra avviene un'eclisse di Luna. Viceversa, quando la Luna proietta il proprio cono d'ombra sulla Terra si ha un'eclisse di Sole. Un'eclisse di Sole può avere luogo solo durante il novilunio e solo se i tre astri Sole, Luna e Terra sono allineati sulla stessa retta. Questa condizione si può verificare da due a sette volte in un anno. Diversamente da quanto potrebbe sembrare sono molto più numerose le eclissi di Sole che quelle di Luna; però le prime si possono osservare solo da piccole zone della superficie terrestre, mentre le ultime sono visibili dall'intero emisfero notturno. È per questo motivo che le eclissi di Luna, per una data località, sono più frequenti di quelle di Sole.

Un'eclisse di Sole può essere parziale, anulare o totale. Nel primo caso il disco della Luna nasconde solo in parte quello solare, nel secondo resta visibile attorno alla Luna un anello luminoso infine, nel terzo, la Luna copre completamente il disco solare.

Per osservare le varie fasi dell'eclisse è necessario eliminare la sensazione di abbagliamento che si percepisce quando si guarda direttamente il disco solare. Questo è un aspetto molto importante e da non sottovalutare. L'osservazione senza protezione del Sole può provocare gravi danni all'apparato visivo e portare ad una cecità completa e irreversibile. Particolarmente pericolosa è la radiazione infrarossa emessa dal Sole: l'occhio non la percepisce (e quindi non c'è la sensazione di abbagliamento) ma è comunque in grado di danneggiare la superficie della retina. Poiché la retina non è dotata di recettori del dolore, se il danno non è molto grave, l'effetto sulla vista può essere avvertito anche molte ore dopo l'osservazione. Gli effetti nocivi della radiazione solare sono amplificati di centinaia di volte se nell'osservazione si usano macchine fotografiche, binocoli e piccoli telescopi senza adeguata protezione. Si consiglia quindi la massima attenzione.

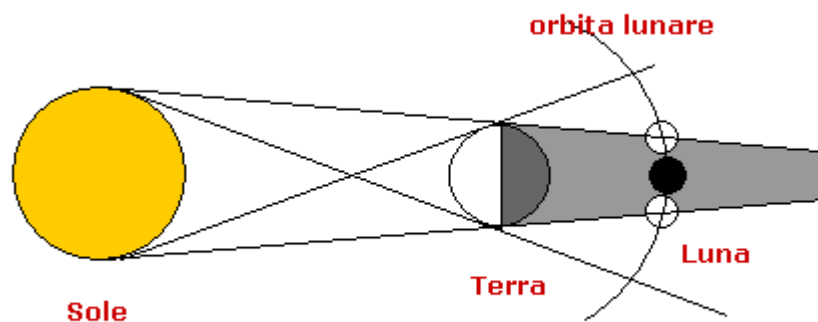
Per le osservazioni ad occhio nudo del Sole sono da evitare: il vetro affumicato con una candela, gli spezzoni di pellicola fotografica, gli occhiali da sole (anche molto scuri), i materiali a foglio metallizzato che non siano specifici per l'osservazione del Sole, i filtri fotografici tipo ND, i filtri polarizzatori, i CD ROM e i floppy disk. Anche l'osservazione dell'immagine del Sole riflessa su superfici d'acqua va evitata, perché l'intensità della radiazione riflessa è eccessiva. Il mezzo più economico e sicuro è costituito dal vetro per saldatura di gradazione 14, venduto in diversi negozi di ferramenta. Nei negozi di foto-cine-ottica si possono trovare degli occhiali speciali, con montature di cartone o plastica, dotati di filtri in mylar, appositamente progettati per l'osservazione del Sole. I filtri devono sempre essere utilizzati, anche quando il Sole sarà ridotto ad una falce sottile.

Qualsiasi strumento ottico si utilizzi deve essere dotato di un filtro appositamente realizzato per osservazioni solari, le soluzioni improvvisate sono da evitare. Nel caso si utilizzi un piccolo telescopio non si devono utilizzare filtri solari da avvitare all'oculare, perché possono spezzarsi e rendere istantaneamente cieco l'osservatore.

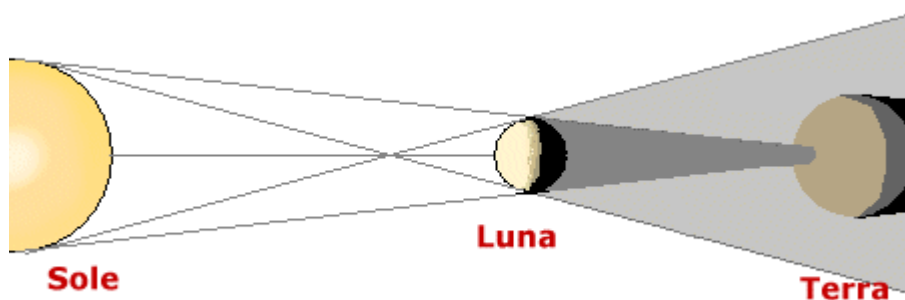
Perché avvengono le eclissi

Quando il Sole, la Terra e la Luna sono perfettamente allineati, si ha un' **eclisse di Sole** o di **Luna**.

Nella situazione mostrata nella figura qui sotto, in cui la Terra si interpone fra la Luna e il Sole proiettando la propria ombra sulla Luna, che viene così oscurata, si ha un' [eclisse di Luna](#).



Se invece è la Luna a trovarsi interposta fra Terra e Sole, essa proietta la propria ombra sulla Terra, oscurando il Sole: si ha così un' [eclisse di Sole](#).

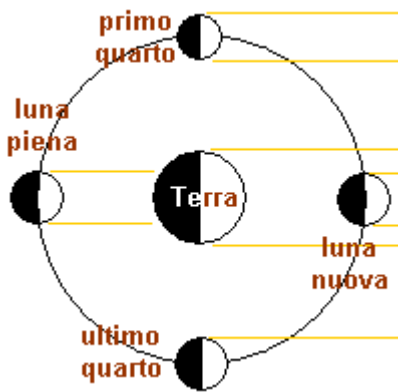


Per una curiosa coincidenza Sole e Luna, benché di dimensioni reali estremamente diverse, si trovano a distanze dalla Terra tali da avere più o meno la stessa dimensione apparente. Il diametro del Sole è in realtà circa 400 volte maggiore di quello della Luna, ma esso si trova anche circa 400 volte più distante, sicché entrambi hanno lo stesso diametro apparente, all'incirca mezzo grado.

Per questo motivo, se i centri della Terra, della Luna e del Sole sono perfettamente allineati, la Luna

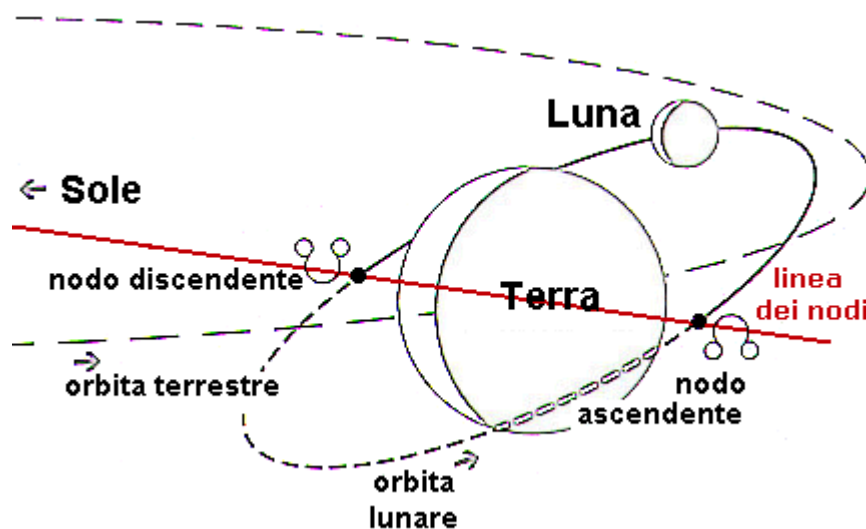
può oscurare completamente il disco solare, dando luogo a quella che si chiama eclisse totale di Sole.

La Terra si muove intorno al Sole lungo un piano chiamato *eclittica*, perché è su questo piano che avvengono le eclissi. La Luna a sua volta orbita attorno alla Terra completando un giro in 27 giorni, 7 ore, 43 minuti e 12 secondi. Durante il proprio moto attorno alla Terra, la Luna attraversa varie fasi: la congiunzione, la quadratura e l'opposizione. Quando si trova all'opposizione, cioè dalla parte opposta del Sole rispetto alla Terra, la vediamo completamente illuminata dai raggi solari: è la fase di *luna piena*.

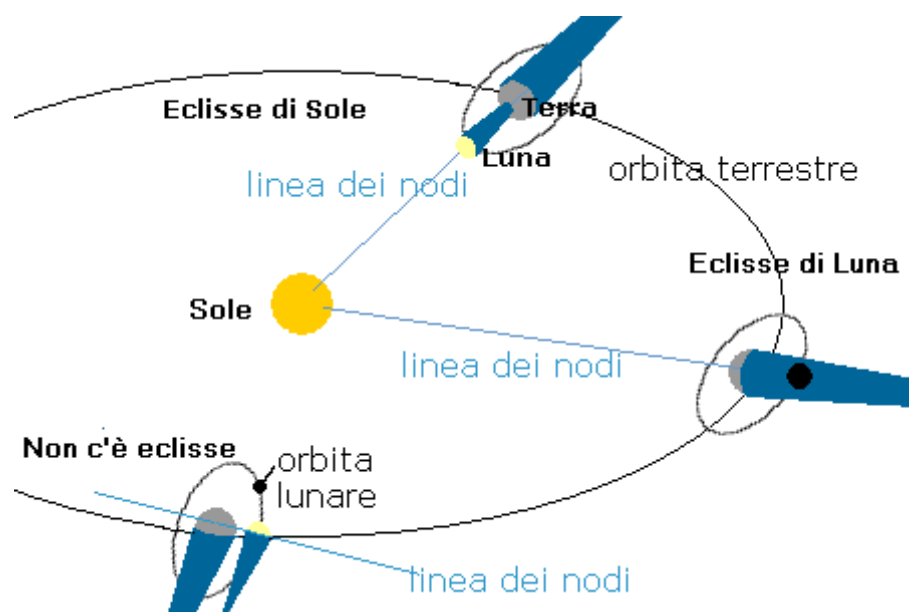


Viceversa, quando si trova in congiunzione, cioè dalla stessa parte del Sole rispetto alla Terra, rivolge verso di noi la sua faccia non illuminata: è la fase di *luna nuova*. Nelle fasi di quadratura, infine, la superficie lunare ci appare illuminata per metà: avremo quindi il primo e l'ultimo quarto.

Se i piani orbitali della Terra e della Luna coincidessero, ad ogni novilunio la Luna sarebbe esattamente interposta fra noi e il Sole, e ad ogni plenilunio la Terra si troverebbe esattamente fra Sole e Luna. Avremmo così un'eclisse di Luna ad ogni plenilunio, e un'eclisse di Sole ad ogni novilunio! Invece l'orbita lunare è inclinata di $5^{\circ} 9'$ rispetto all'eclittica, che interseca in una retta detta linea dei nodi.



L'allineamento fra Sole, Terra e Luna è quindi un fenomeno molto più raro: la Luna e il Sole devono trovarsi entrambi in prossimità dei nodi affinché i tre corpi si trovino in linea, come si può vedere nella figura qui sotto.



Le eclissi nella storia

Il cielo è stato considerato immutabile per molto tempo ed i fenomeni che avvengono sulla volta celeste, ripetendosi con grande regolarità, hanno permesso di stabilire alcune delle principali unità di tempo: il giorno, il mese e l'anno. Ogni deviazione da questo "normale" comportamento degli astri, quale poteva essere l'apparire di un oggetto celeste nuovo o, al contrario, la sparizione di uno ben conosciuto, provocava in chi ne era testimone suggestioni profonde e quasi sempre grande timore. La vita sulla Terra dipende strettamente dalla luce e dal calore che il Sole ci invia quotidianamente: la sua scomparsa improvvisa durante un'eclisse era quanto di più temibile si potesse immaginare. Per secoli la gente ha considerato le eclissi un evento terribile e funesto, presagio di sventura, e ha compiuto **rituali, cerimonie e sacrifici** per esorcizzarle.

Gli antichi, però, si accorsero presto che le eclissi non sono un fenomeno unico, ma si presentano con una certa regolarità: incominciarono allora a registrare con grande precisione i tempi delle varie fasi delle eclissi di Sole e di Luna, annotando talvolta anche la percentuale di oscuramento del disco, o se il Sole e la Luna fossero sorti o tramontati nel corso del fenomeno. Lo scopo principale di queste osservazioni così dettagliate era quello di imparare a prevedere il fenomeno e cercare delle correlazioni con il moto del Sole e della Luna. Gli astronomi dell'antica Grecia e quelli arabi del Medioevo misurarono i tempi delle eclissi viste dalle diverse località, per determinarne le differenze di longitudine.

In Cina e Babilonia, invece, le eclissi venivano predette ed osservate per ricavare degli auspici di carattere astrologico.

Anche gli storici antichi, pur possedendo una scarsa dimestichezza con l'astronomia, mostrarono sempre un grande interesse per le eclissi solari. Nel riportare questi eventi infatti, ne sottolineavano l'aspetto spettacolare e annotando anche particolari come la comparsa delle stelle in cielo nel caso di eclissi totali.

Mito e simbolismo delle eclissi

Molti popoli hanno sviluppato fin dai tempi più antichi i propri miti e le proprie leggende riguardo alle eclissi, spesso credendo che esse fossero il presagio di qualche catastrofe naturale o della morte o disfatta di un re.

Un mito molto diffuso è quello che durante un'eclisse un drago divorì il Sole. Molte culture hanno inoltre sviluppato i propri metodi per contrastare gli effetti di un'eclisse: per esempio gli antichi Cinesi cercavano di fare molto rumore per spaventare e scacciare il drago, suonando tamburi, scoccando frecce nell'aria e percuotendo delle pentole. Questa tradizione è sopravvissuta in un certo senso fino al secolo scorso, quando la Marina Imperiale Cinese usava sparare con le proprie armi da cerimonia durante l'eclisse, per scacciare simbolicamente il drago invisibile.

In India, la gente si immergeva fino al ginocchio nell'acqua di un fiume, credendo che

questo aiutasse la Luna e il Sole a difendersi dal drago. In Giappone si usava invece ricoprire i pozzi durante un'eclisse, per evitare che vi cadesse del veleno proveniente dal cielo oscuro.

Tuttavia ci furono anche credenze più ottimistiche riguardo a questo fenomeno naturale: a Tahiti per esempio, le eclissi erano interpretate come il congiungimento amoroso del Sole e della Luna. Perfino ai giorni nostri, presso certe tribù eschimesi e artiche si crede che le eclissi siano un segno della benevolenza divina: il Sole e la Luna lasciano temporaneamente il proprio posto in cielo per controllare che sulla Terra vada tutto bene.

I Babilonesi

Gli osservatori babilonesi cominciarono studi sistematici dei più vari fenomeni celesti dal 750 a.C. circa. Le registrazioni incise su tavolette di argilla a caratteri cuneiformi sono venute alla luce circa un secolo fa tra le rovine della città di Babilonia. Gli astronomi babilonesi non giunsero a capire le vere cause delle eclissi, ma probabilmente le appresero dai Greci durante il periodo ellenistico a Babilonia (dalla fine del IV secolo a.C. in poi). Le loro osservazioni però sono tra le più precise e non hanno eguali nel mondo antico.

Si ha notizia di circa 50 eclissi lunari, che coprono un intervallo temporale compreso tra il 700 a.C. e il 50 a.C. Le registrazioni di eclissi solari sono solamente una decina, tra il 350 a.C. e il 50 a.C.

Altre notizie relative all'eclissi lunari probabilmente copiate da testi babilonesi perduti, si trovano nell'*Almagesto*, la grande opera di Astronomia matematica scritta da **Tolomeo** intorno al 150 d.C.. Per quanto riguarda le eclissi solari, la registrazione babilonese più completa è quella del 15 aprile 136 a.C., per la quale si trovano informazioni su due tavolette distinte.

I Cinesi

Le osservazioni cinesi coprono un periodo maggiore rispetto a quello babilonese, all'incirca dal 720 a.C., con alcune registrazioni relative anche a secoli precedenti, la cui datazione è però molto incerta. In totale si hanno più di cento registrazioni diverse, i cui manoscritti originali sono andati perduti. Originariamente, infatti erano scritte su ossa o su canne di bambù e solo successivamente su carta. Ci si deve accontentare perciò di riassunti stampati in trattati di astronomia speciali che venivano inseriti nelle storie ufficiali delle varie dinastie.

Le registrazioni più antiche segnalano solamente il verificarsi dell'eclisse. Quelle di Sole furono registrate con regolarità a partire dal 709 a.C., mentre quelle di Luna furono trascurate fino al 400 d.C., poiché le eclissi di Luna non erano ritenute di importanza astrologica.

E' cinese la più antica registrazione di un'eclisse di Sole. Essa risale al 22 ottobre 2134 a.C., cioè a più di 4000 anni fa. Gli storici, a dire la verità, non sono molto certi di questa data. Gli annali, che riportano l'evento, possono avere un errore di 200 anni. A quest'eclisse è associata anche una leggenda che narra di come a volte il mestiere di astronomo possa essere pericoloso.

La vera spiegazione delle eclissi fu compresa dai Cinesi solamente intorno al I secolo d.C., cioè cinque secoli dopo rispetto al greco Anassagora.

Gli antichi Egizi

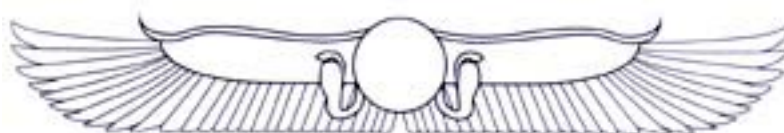
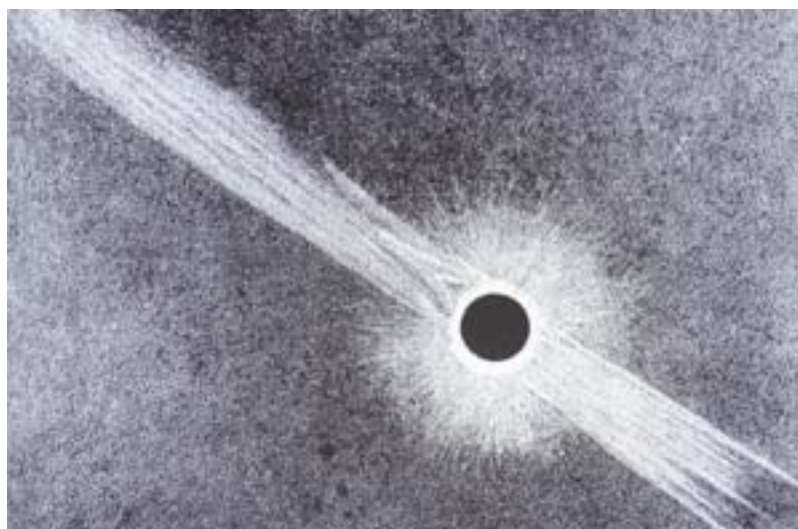
L'astronomia presso gli antichi Egizi era abbastanza sviluppata. Essi misurarono la durata dell'anno osservando il sorgere di Sirio, la stella più luminosa del firmamento. Inoltre la grande Piramide di Giza è più o meno allineata con i quattro punti cardinali. Tutto questo dimostra che gli Egizi osservavano attentamente gli eventi celesti.

Nonostante questo, in tutti i reperti storici che riguardano l'antico Egitto non è mai stato trovato alcun riferimento alle eclissi, né di Sole né di Luna. Questa lacuna ha sorpreso molti storici: certamente questo popolo doveva aver assistito a molte eclissi nel corso dei secoli. È impossibile pensare che una civiltà che adorava il Sole, dal quale traeva calore e nutrimento, restasse indifferente alla sua apparente scomparsa !

Forse l'immagine dell'eclisse è stata tramandata in forma simbolica. La corona solare ha un'apparenza particolare durante alcune eclissi. La sua forma e le sue dimensioni variano secondo un periodo di 11 anni, cioè il ciclo di attività delle macchie solari.

Durante le fasi di minima attività delle macchie, la luminosità della corona è minore, ma la regione equatoriale si estende in lunghi pennacchi di gas incandescente, come si vede nel disegno di S.P. Langley, che raffigura l'eclisse del 29 luglio 1878.

Alcuni storici hanno notato che potrebbe esistere un'analogia tra questi pennacchi e le ali simboliche del dio del Sole raffigurato qui sotto. Questa fu una delle prime rappresentazioni del Sole presso gli antichi Egizi, e compare spesso all'ingresso delle tombe e dei templi, forse per raffigurare la vittoria della luce sull'oscurità; talvolta questa immagine include anche due teste di serpente e i corni di capra, anch'essi simboli del Sole. Forse l'immagine dell'eclisse solare è stata stilizzata in questo simbolo.



I Maya

I Maya non possedevano le conoscenze necessarie per determinare se un'eclisse di Sole fosse visibile nelle zone in cui abitavano, ma sembra che anche le eclissi non visibili, e che quindi non avevano potuto osservare, fossero comunque state da loro previste e registrate. Esistono infatti nel Codice di Dresda alcune tavole che riguardano la previsione delle eclissi. Le tavole riportano dei periodi di 177 o 178 giorni (che corrispondono a 6 cicli di fasi lunari), intervallati in modo apparentemente casuale da periodi di 148 giorni (corrispondenti a 5 mesi lunari). Ora, le eclissi hanno luogo solo quando Sole e Luna si trovano all'incirca ai nodi dell'orbita lunare: questo avviene ogni 173.31 giorni. Le registrazioni Maya mostrano che le eclissi hanno luogo solo durante questi periodi particolari, che si ripetono ogni sei mesi (177 giorni): i 4 giorni di differenza richiedono la correzione di un ciclo da 177 giorni con uno di 148.

Stonehenge e le eclissi

Il complesso megalitico di Stonehenge è stato costruito nella pianura di Salisbury, in Gran Bretagna, all'incirca nel 3200 a.C., cioè all'epoca in cui vennero costruite le grandi piramidi in Egitto. La costruzione ha una forma circolare, del diametro di qualche decina di metri; è composta da vari anelli di pietre alte e strette, alcune delle quali sormontate da altre lastre di pietra. Inoltre vi si possono osservare alcune serie di buche nel terreno, disposte in forma

circolare.

Si pensa che questo complesso sia stato progettato dagli antichi abitanti della regione non soltanto come un luogo di culto, ma anche come un immenso calendario, dopo una paziente osservazione del cielo, per tenere traccia del trascorrere dei mesi, delle stagioni e degli anni. Certamente Stonehenge contiene molti riferimenti al moto del Sole e della Luna; il numero di pietre e di buche nei vari anelli sembra essere legato a qualche ciclo astronomico, come quello delle fasi lunari. Inoltre le direzioni degli allineamenti fra le varie pietre coincidono pressappoco con alcuni punti della volta celeste, che corrispondono ad eventi periodici come il sorgere e il tramontare del Sole ai solstizi. Per esempio, il giorno del solstizio d'estate, il Sole sorge in un punto più a settentrione rispetto a tutti gli altri giorni dell'anno. Quel giorno, stando nel centro del cerchio di pietre, si può vedere sorgere il Sole circa al di sopra di una pietra particolare detta "Heel Stone", che si trova lungo l'asse della costruzione. Il complesso di Stonehenge sembra cioè allineato in modo non casuale.

Tuttavia, anche se Stonehenge racchiude un notevole simbolismo di carattere astronomico, non è ancora chiaro se fosse davvero un luogo di studio dei fenomeni celesti, come sostengono molti studiosi, o fungesse solo come un calendario per le ricorrenze stagionali, come la semina e la raccolta del grano. Gli allineamenti fra le rocce non sono molto precisi, e spesso gli studiosi hanno elaborato delle teorie "a posteriori" per spiegare la posizione delle pietre.

Alcuni sostengono addirittura che questo complesso servisse per prevedere il verificarsi delle eclissi. Una volta note la lunghezza dell'anno e del mese, facilmente determinabili, sarebbe stato necessario però conoscere la periodicità del moto dei nodi dell'orbita lunare: un'eclisse avviene solo quando Sole e Luna si trovano in prossimità di un nodo. È improbabile che gli antichi abitanti del luogo avessero conoscenze così avanzate.



Alcune eclissi storiche

28 maggio 584 a.C. - L'eclisse fa finire una guerra

La più famosa eclisse solare dei tempi classici è quella che si è verificata nel mezzo della battaglia tra Persia e Lidia. I due eserciti stavano combattendo quando si verificò un'eclisse di Sole e "il giorno si fece notte". Quest'eclisse fu predetta anche da Talete (ca. 624 - 548 a.C.), astronomo e filosofo greco, ma la sua predizione non era conosciuta dai popoli in lotta.

Secondo lo storico greco Erodoto (V sec. d.C.), entrambe le parti guardarono all'eclisse come ad un presagio e immediatamente cessarono di combattere, dopo ben 6 anni di guerra.

29 Febbraio 1504 - Colombo e l'eclisse di Luna

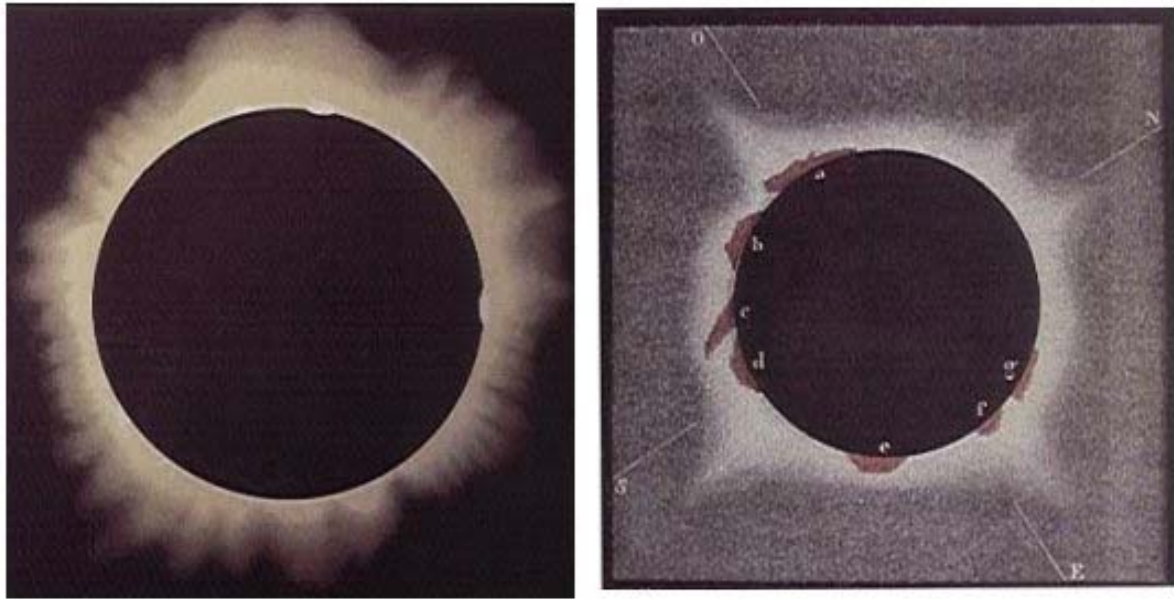
Durante il suo quarto viaggio alla volta dell'America, nel 1503 Cristoforo Colombo si arenò sulle coste della Giamaica, nella baia di Santa Gloria, poiché le sue navi erano danneggiate. Anche le sue provviste erano ormai molto esigue, ma le popolazioni locali si rifiutarono di fornirgli del cibo, in cambio di gioielli. Allora Colombo escogitò un piano per ingannarli. Aveva a bordo una copia di uno dei libri di Regiomontano che conteneva le predizioni di eclissi lunari - una delle quali prevista per il 29 febbraio 1504. La sera in cui si sarebbe verificata l'eclisse organizzò un incontro con i capi delle popolazioni indigene e disse loro che Dio era molto offeso e che avrebbe fatto sparire la Luna. Come previsto, un'ombra scura cominciò a passare sul disco lunare. Gli indigeni spaventati dissero a Colombo che gli avrebbero fornito il cibo se avrebbe intercesso per loro presso Dio. Dopo essersi ritirato a "conferire" con Dio, poco prima della fine dell'eclisse totale Colombo tornò dicendo che Dio li aveva perdonati. La Luna tornò a splendere e Colombo ottenne le scorte di cibo.

1851 - Viene fotografata la corona solare

Durante la totalità dell'eclisse di quest'anno fu scattata la prima fotografia della corona del sole. La dagherrotipia (fotografia) provò che la corona era parte del Sole piuttosto che della Luna, come gli osservatori precedenti erano propensi a credere.

18 luglio 1860

Padre Angelo Secchi riuscì a fotografare la corona solare e diede la prova che le protuberanze solari non sono un'illusione ottica, ma un vero fenomeno fisico.



A sinistra la fotografia della corona solare durante l'eclisse del 7 Agosto 1869 ottenuta dalla spedizione del college di Harvard a Shelbyville, nel Kentucky. Questa è una delle migliori immagini della corona ottenute fino a quel tempo, ma è sovraesposta nelle zone inferiori delle protuberanze. A destra: le protuberanze della stessa eclisse, mostrate in un dipinto pubblicato da Angelo Secchi nel 1875.

1868 - La scoperta dell'elio

Con lo sviluppo della spettroscopia, della quale Secchi fu pioniere, questo nuovo metodo di indagine venne utilizzato anche durante l'eclisse del 18 agosto 1868, visibile in India e Malesia. Durante questa eclisse si scoprì che sul Sole erano presenti tracce di un elemento fino ad allora sconosciuto. I due scopritori raccomandarono che il nuovo elemento fosse chiamato elio, dal greco helios, che significa Sole. 27 anni dopo l'elio, il secondo elemento più abbondante nell'Universo, fu trovato anche sulla Terra.

L'eclisse di Sole del 1919

L'eclisse di Sole del 29 maggio 1919 è passata alla storia per aver fornito una prova della teoria della Relatività Generale di Einstein. Questa fu la prima occasione in cui venne dimostrato che un corpo massiccio esercita la sua attrazione gravitazionale anche sulla radiazione elettromagnetica come la luce visibile, e non solo sui corpi materiali. L'effetto di questa attrazione è una leggera deflessione della radiazione dalla propria traiettoria rettilinea.

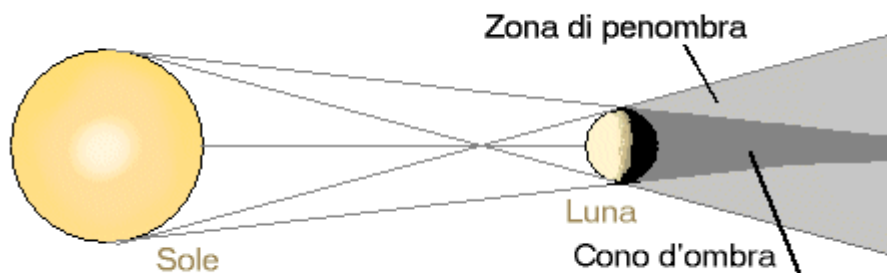
Nei primi anni di questo secolo, si pensò di usare le eclissi totali di Sole per misurare questo effetto. Durante un'eclisse totale, infatti, si possono vedere alcune delle stelle più brillanti del cielo. Confrontando una lastra fotografica ripresa al telescopio durante l'eclisse, con una della stessa regione del cielo ripresa durante la notte, si sarebbero potute notare delle differenze nella posizione delle stelle.

Per lungo tempo non fu possibile portare a termine questa prova, anche per gli impedimenti causati dalla prima Guerra Mondiale. Nel 1919 l'astronomo e professore inglese Sir Arthur Stanley Eddington riuscì ad organizzare l'osservazione di un'eclisse totale di Sole, che sarebbe avvenuta il 29 maggio di quell'anno. L'eclisse era ideale per una verifica di questo genere, perché in quel periodo dell'anno si sarebbe potuto vedere un gruppo molto ricco di stelle brillanti, le Iadi. Vennero inviate due spedizioni, una guidata dallo stesso Eddington nell'isola Principe, al largo della Guinea Spagnola, l'altra a Sobral, in Brasile. La seconda fu molto fortunata: il tempo era splendido e si ottennero ben otto lastre fotografiche utili. La spedizione di Eddington, invece, si trovò nel bel mezzo di un acquazzone, proprio mentre l'eclisse incominciava. Per fortuna, quando la fase parziale era già molto avanzata, smise di piovere e le nuvole si diradarono: gli astronomi poterono scattare sedici lastre, delle quali però solo due risultarono utilizzabili.

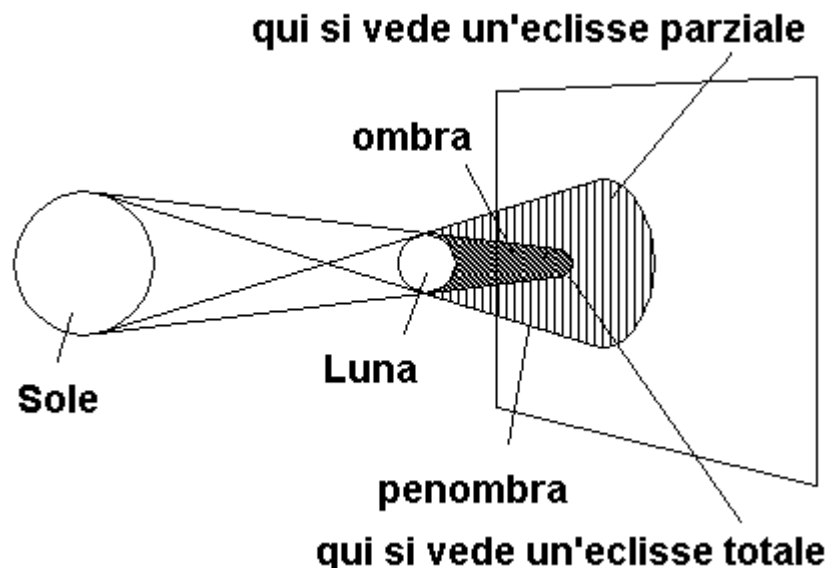
Le stelle presenti sulle lastre fotografiche vennero confrontate con la posizione delle stesse stelle in condizioni normali: la deviazione della luce proveniente dalle stelle più vicine al bordo del Sole risultò all'incirca di $1.98''$, in buon accordo con quella prevista dalla teoria della Relatività di Einstein ! L'annuncio venne dato nel novembre dello stesso anno: era nata una nuova visione del mondo fisico.

L'eclisse di Sole

Come abbiamo visto, un'eclisse di Sole si verifica quando la Luna è interposta fra Sole e Terra e proietta la propria ombra su quest'ultima. L'ombra ha la forma di un cono, circondato da una zona di penombra, generata da quelle parti del Sole che risultano parzialmente visibili dietro la Luna.



Il vertice del cono d'ombra si trova dalla parte opposta rispetto al Sole. Se potessimo mettere un gigantesco schermo nello spazio "dietro alla Luna", tagliando trasversalmente il cono d'ombra, vedremmo proiettato sullo schermo un cerchio d'ombra, circondato da una corona circolare di penombra.

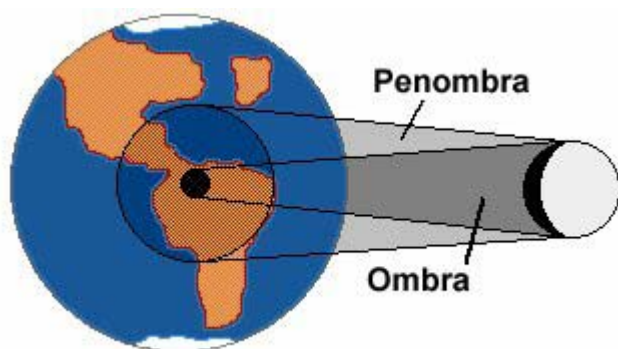


Durante un'eclisse di Sole, al posto del nostro schermo immaginario si trova la Terra: sulla sua superficie si formeranno quindi delle zone di ombra e di penombra.

Esistono tre tipi di eclisse di Sole: totale, anulare e parziale. Il verificarsi di questo o quel tipo di eclisse dipende da un'altra condizione, cioè se l'allineamento fra Luna, Terra e Sole è

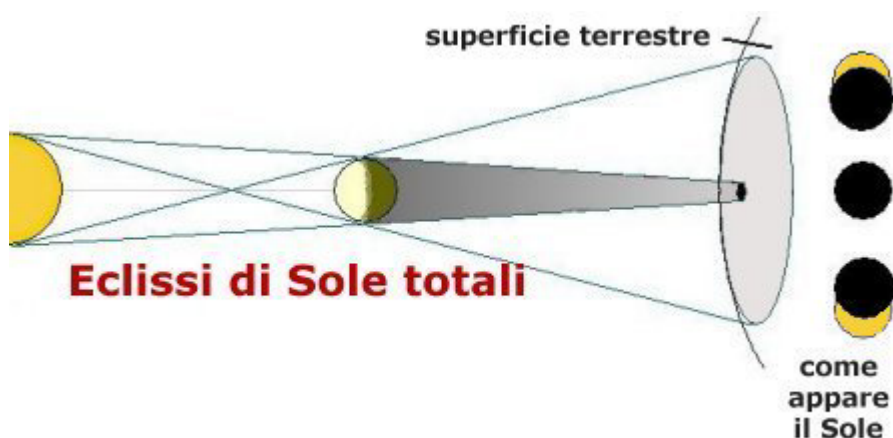
perfetto oppure no.

Un allineamento totale di Sole, Terra e Luna dà luogo a quella che si chiama *eclisse centrale*, che può essere *anulare* o *totale*. Se l'allineamento non è completo, ma comunque il Sole e la Luna si trovano in prossimità di uno dei nodi, si possono ugualmente avere delle eclissi. Si parla allora di eclissi *non centrali*: in questi casi l'oscuramento del disco solare o lunare non è completo e si osserva un' *eclisse parziale*.

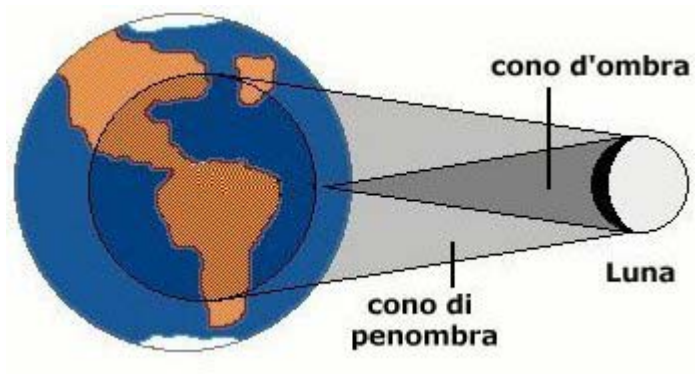


Se l'eclisse di Sole è centrale, dai punti della superficie terrestre che si trovano nella zona d'ombra il Sole si vedrà completamente oscurato,

mentre dai punti che si trovano nella zona di penombra, solo una parte del disco solare sarà oscurato. È questo il caso dell' **eclisse totale**.



Immaginiamo ora di allontanare la Terra dalla Luna, finché il vertice del cono d'ombra non cada prima della superficie terrestre. In questo caso, la Terra sarà investita dalla sola regione di penombra e da nessun punto della sua superficie si vedrà il Sole oscurato completamente. Tuttavia, se la Terra è perfettamente allineata con Sole e Luna, i centri della Luna e del Sole coincideranno, ma il disco lunare non riuscirà a coprire del tutto quello del Sole, lasciando visibile un sottile anello esterno: si assisterà ad un' **eclisse anulare**.



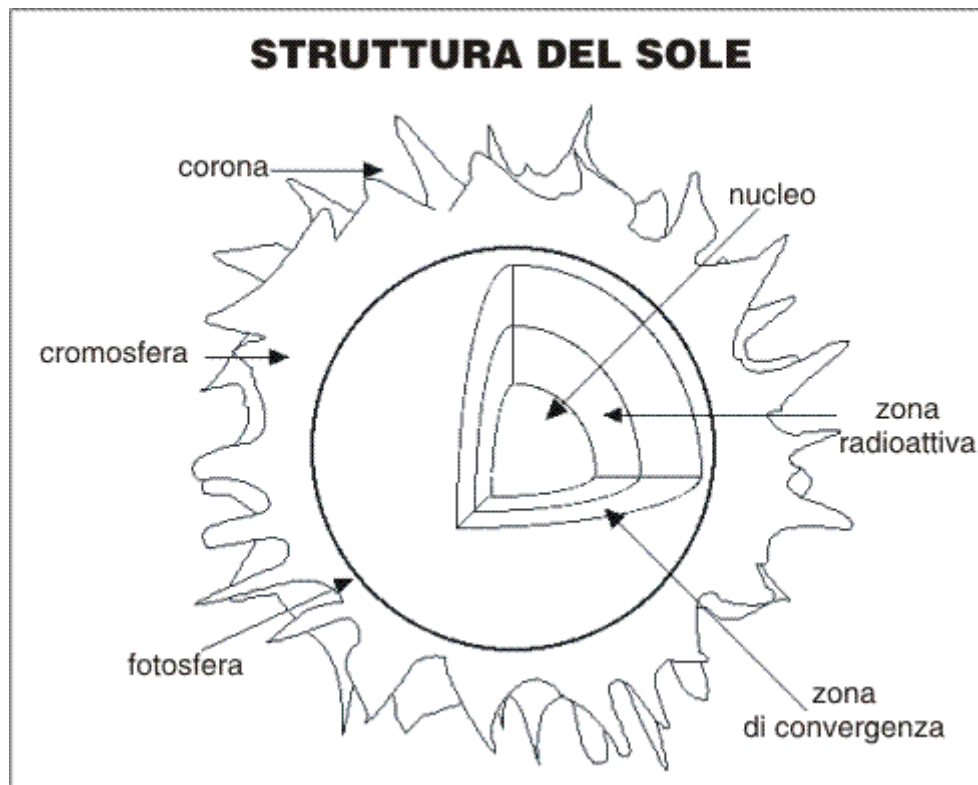
Se invece Sole, Luna e Terra non sono allineati perfettamente, solo una parte del disco solare verrà oscurata dalla Luna. A differenza dell'eclisse anulare, da nessun luogo della Terra si vedranno coincidere i centri del Sole e della Luna. L'eclisse sarà **parziale** per tutti i luoghi della Terra che si trovano entro le regioni investite dalla penombra.

LA STRUTTURA DEL SOLE

Il Sole è una stella di classe G2 appartenente alla sequenza principale del diagramma Hertzsprung-Russell. Il suo diametro è di 1.392.000 km al quale, data la distanza media Terra-Sole di 149.597.900 km, corrisponde un diametro angolare medio apparente di circa mezzo grado.

I componenti principali del Sole sono Idrogeno ed Elio. Dalla trasformazione del primo elemento nel secondo, sotto l'effetto dell'enorme forza di gravità, si genera l'energia emessa dal Sole. Dall'equilibrio tra la forza di gravità ed il moto del gas dovuto alle condizioni termodinamiche esistenti al suo interno, si può ipotizzare che il Sole abbia una struttura che presenti un nucleo interno, nel quale avviene la fusione dell'idrogeno in elio, e da uno strato gassoso esterno (fotosfera) che costituisce il disco solare normalmente visibile. All'esterno della fotosfera, anche il Sole presenta un'atmosfera, tipicamente visibile solo durante le eclissi.

Il nucleo interno del Sole, è composto da circa il 49% di elio, il 49% di idrogeno ed il 2% di altri elementi. La produzione di energia dovrebbe essere concentrata in un nucleo con un raggio di circa un quarto del totale, nel quale si concentra circa la metà della massa della stella. La temperatura dovrebbe aggirarsi attorno ai 15 milioni di °C, con una pressione di circa 200 miliardi di atmosfere. In queste condizioni, gli atomi sono completamente ionizzati ed in uno stato analogo a quello dei liquidi. L'enorme quantità di energia prodotta, viene trasportata verso la superficie esterna inizialmente per irraggiamento, mentre nell'ultimo decimo di raggio solare, il trasporto avviene per convezione.



La fotosfera è uno strato esterno al nucleo, il cui spessore è circa un millesimo del raggio solare con una composizione di circa il 75% di idrogeno, il 23% di elio ed il 2% di altri elementi. La temperatura superficiale è inferiore ai 6000°C, mentre nello strato più interno è di circa 9000 °C. La parte esterna della fotosfera, che costituisce la superficie visibile del Sole, manifesta segni dei fenomeni di trasporto per convezione del calore prodotto nel nucleo attraverso celle convettive, dette

granuli. I granuli hanno un diametro tra i 200 ed i 2000 km con una temperatura al centro che più elevata di circa 100-200 °C rispetto ai bordi ed una luminosità che è in rapporto 1,2:1 con quella dello sfondo. Dove il campo magnetico solare interferisce con queste celle convettive, ostacolandone il flusso, si hanno zone a temperatura, e quindi luminosità, inferiore dette macchie, descritte nel seguito.

Il campo magnetico solare è estremamente debole (circa 1 gauss). Una caratteristica importante di questo campo è che il suo asse non è fisso. Esso, infatti, migra dai poli verso l'equatore, procedendo poi verso i poli, ma con un'orientazione opposta a quella iniziale, e di nuovo verso l'equatore fino ad assumere la posizione iniziale. La rotazione completa dell'asse magnetico avviene con un periodo di circa 22 anni e la manifestazione più apparente di questa variabilità è proprio nel numero di macchie solari visibili sulla fotosfera.

Infatti, il numero delle macchie aumenta quando l'asse magnetico è orientato nella direzione dei poli, mentre diminuisce quando questo è orientato lungo l'equatore: la disposizione Nord/Sud dell'asse non è rilevante nel contesto del numero delle macchie, ma influisce sulla polarità dei gruppi di macchie, come descritto nel seguito. Dall'alternarsi di periodi di massima e minima attività solare è stato definito un periodo, detto ciclo solare, di 11 anni.

Sempre dall'analisi delle macchie ed in particolare dal loro movimento sul disco, è stato evidenziato come la rotazione del globo solare rispetto ad un angolo inclinato di 7° 15' rispetto all'eclittica, avviene con una velocità che non è identica a tutte le latitudini. Infatti, dato che non si tratta di un corpo solido, a fronte di un periodo medio di 25,38 giorni a 16° di latitudine, le parti vicine all'equatore ruotano più velocemente di circa 9 ore, mentre le zone a 70° di latitudine hanno un ritardo di circa 5 giorni.

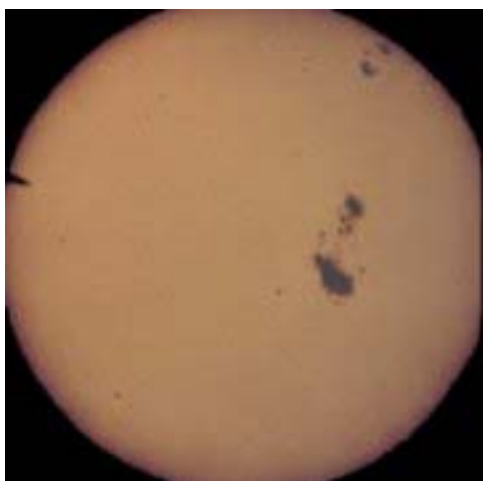
Al di fuori della fotosfera esiste l'atmosfera solare, visibile durante le eclissi totali o tramite apparecchiature in grado di mascherare la luminosità del disco. La parte dell'atmosfera più vicina alla fotosfera è lo strato invertente, una fascia con uno spessore inferiore ai 1000 km costituita da gas rarefatti, rilevata grazie ai fenomeni di assorbimento della radiazione solare da essa prodotta. Segue la cromosfera, con uno spessore di circa 8000 km, che si presenta durante le eclissi come uno strato di colore rosso, luogo di violenti fenomeni di espulsione di materia: le protuberanze solari. La corona solare, infine, è la parte più esterna dell'atmosfera. La sua estensione varia considerevolmente in funzione del ciclo solare e risulta praticamente circolare durante i massimi, mentre è allungata e disposta lungo l'equatore durante i minimi. L'emissione della corona è dovuta alla diffusione della radiazione solare da parte di elettroni nella parte più interna, da parte di polvere cosmica nella parte immediatamente successiva, mentre nella parte più esterna l'emissione è dovuta ad una violenta ionizzazione, con temperature dell'ordine dei milioni di gradi.

Che cosa accade durante l'eclisse totale

All'interno della fascia di totalità, si possono osservare molti fenomeni affascinanti, che sono visibili solo in quelle condizioni. Particolarmente suggestivi sono soprattutto i momenti che precedono la fase di totalità, quando il Sole è appena percettibile dietro la Luna e produce dei giochi di luce molto spettacolari.

Poiché in queste occasioni il tempo è prezioso (la totalità durerà infatti meno di cinque minuti), conviene essere preparati e sapere in anticipo cosa guardare con più attenzione, in modo da sfruttare al meglio ogni istante.

Prima che cominci l'eclisse - utilizzando tutti gli accorgimenti necessari (vedi capitolo dedicato) - è possibile osservare l'intero disco del Sole. La superficie del Sole ha una temperatura di circa 6.000 gradi centigradi. In realtà la parola "superficie" non è molto corretta nel caso del Sole e delle altre stelle, perché non si tratta di un corpo solido, ma gassoso.



La fotosfera con le macchie solari

Ciò che noi identifichiamo con la superficie del Sole è in realtà la sua fotosfera, cioè la regione dalla quale proviene la maggior parte della radiazione solare totale e la quasi totalità della radiazione compresa nello spettro visibile, che noi chiamiamo comunemente "luce".

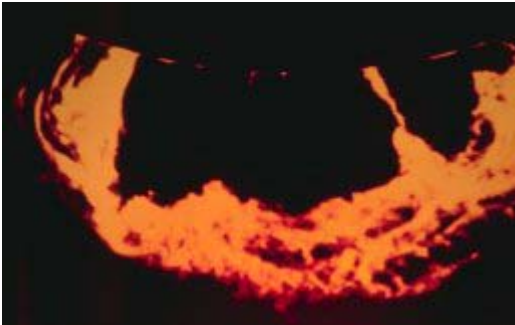
E' possibile osservare delle macchie "scure" sulla superficie del Sole. Queste sono chiamate macchie solari e sono aree più fredde di circa 1500 gradi rispetto al resto della fotosfera. Per questo ci appaiono più scure, ma hanno pur sempre una temperatura di 4000 gradi centigradi !



Cromosfera.

Durante la totalità è possibile osservare un anello luminoso che circonda il Sole, al di sopra della fotosfera: la cromosfera solare. Questo strato sottile, che sovrasta la fotosfera è chiamata cromosfera per il suo intenso colore rosso.

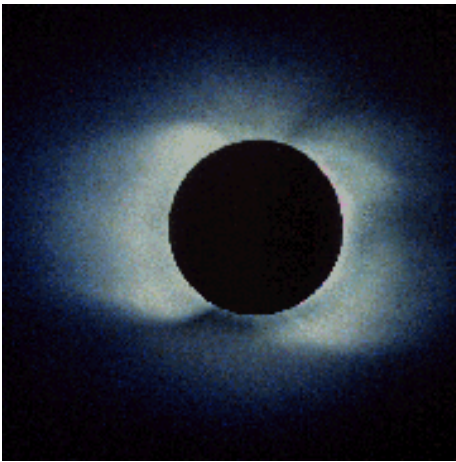
Normalmente non si può vedere la cromosfera, ma durante la totalità si verificano le condizioni giuste per osservare anche questa regione del Sole.



Protuberanze solari.

Sul Sole ci sono anche delle enormi emissioni di gas incandescente, grandi anche migliaia di volte la Terra: le protuberanze solari.

Esse sono visibili facilmente lungo il bordo del Sole durante un'eclisse totale. Appaiono come enormi lingue di fuoco, come fiamme gigantesche, spesso arcuate e in rapido sviluppo.



Corona solare

Durante la totalità è visibile anche la corona, la debole e incredibilmente calda atmosfera più esterna del Sole.

COME OSSERVARE L'ECLISSE DI SOLE

Protezione della vista durante l'eclisse di Sole

Un'eclisse totale di Sole è probabilmente il fenomeno astronomico più spettacolare cui la maggior parte delle persone può assistere nel corso della propria vita. In questo periodo c'è un interesse crescente nell'osservazione delle eclissi, e migliaia di astronomi (sia professionisti che a livello amatoriale) attraversano il globo per osservare e fotografare questo fenomeno.

Una eclisse di Sole offre agli studenti una opportunità unica di vedere un fenomeno naturale che illustra i principi di base della matematica e delle scienze che sono insegnate nella scuola di primo e di secondo grado. Peraltro, molti scienziati (inclusi alcuni astronomi) sono stati ispirati allo studio delle scienze proprio dopo aver vissuto l'esperienza di una eclisse totale di Sole! Gli insegnanti possono utilizzare le eclissi per mostrare come le leggi della meccanica e la matematica legata ai moti orbitali possono prevedere in anticipo il verificarsi di tale evento. L'uso di uno stenoscopio e di un telescopio o un binocolo per osservare una eclisse, porta alla conoscenza delle caratteristiche ottiche degli strumenti stessi. L'aumento e la diminuzione della luce ambientale durante una eclisse illustra i principi della radiometria e della fotometria, mentre biologi di tutto il mondo possono osservare le reazioni che si manifestano nel comportamento delle piante e degli animali. E' anche una opportunità per i ragazzi in età scolastica di poter contribuire attivamente alla ricerca scientifica: l'osservazione dell'esatto istante del contatto in diverse località lungo la fascia dell'eclisse è utile per perfezionare le nostre conoscenze sui moti orbitali della Terra e della Luna, e i disegni e le fotografie della corona durante l'eclisse possono essere utilizzati per costruire un modello tridimensionale della estesa atmosfera solare.

Tuttavia, l'osservazione di una eclisse può essere pericolosa se non si prendono le adeguate precauzioni. La radiazione solare che raggiunge la superficie della Terra va dalla radiazione ultravioletta (UV) con una lunghezza d'onda più lunga dei 290 nm, alle onde radio dall'ampiezza dell'ordine del metro. I tessuti dell'occhio trasmettono alla retina nella parte posteriore dell'occhio (sensibile alla luce) gran parte della radiazione compresa tra 380 e 1400 nm. Mentre è ormai noto che l'esposizione ambientale ai raggi UV contribuisce ad accelerare l'invecchiamento degli strati più esterni dell'occhio e a sviluppare la cataratta, il risultato di una non corretta osservazione del Sole nel corso dell'eclisse è la "cecità da eclisse", ovvero l'ustione della retina.

L'esposizione della retina a una luce intensa nella banda del visibile, danneggia i suoi sensori visivi (le cellule dei coni e dei bastoncelli). La luce scatena una serie di complesse reazioni chimiche tra le cellule che inibiscono la loro possibilità di rispondere agli stimoli visuali, e in casi estremi, le possono distruggere. Il risultato è la perdita della funzione visiva che può essere sia temporanea che permanente, in funzione della gravità del danno subito. Quando una persona guarda il Sole ripetutamente o per molto tempo senza una adeguata protezione per gli occhi, il danno foto-chimico alla retina può essere accompagnato da una lesione termica: l'elevata intensità della radiazione nel visibile e nel vicino infrarosso causa un tale riscaldamento che cuoce letteralmente i tessuti esposti. Questo danno termico (o foto-coagulazione) distrugge i coni e i bastoncelli, creando una piccola area di cecità. Il pericolo per la vista è rilevante perché il danno apportato dalle radiazioni alla retina si verifica senza alcuna sensazione di dolore (non ci sono ricettori del dolore nella retina), e le conseguenze nella percezione delle immagini vengono rilevate anche diverse ore dopo l'inconveniente (Pitts, 1993).

L'unico momento in cui il Sole può essere osservato senza pericolo ad occhio nudo è la fase della totalità, quando la Luna copre completamente il disco del Sole. ***Guardare senza adeguate precauzioni un'eclisse anulare o parziale, o le fasi parziali di un'eclisse totale, presenta sempre dei rischi.*** Anche quando risulta oscurato il 99% della superficie solare (fotosfera) durante le fasi di parzialità di una eclisse di Sole, la minima parte scoperta è sempre abbastanza luminosa da poter causare una ustione alla retina, anche quando il livello di illuminazione è comparabile a quello del

crepuscolo. (Chou, 1981, 1996; Marsh, 1982). Il mancato rispetto delle regole di una corretta osservazione si può tradurre in un danno permanente all'occhio o in una grave perdita della vista. E questo può pesare notevolmente in maniera negativa sul futuro degli individui eventualmente colpiti, anche in merito alla carriera lavorativa e relativo reddito, in quanto è stato rilevato che gli interessati sono in maggioranza ragazzi o adulti di giovane età (Penner e McNair, 1966; Chou and Krailo, 1981).

Le stesse tecniche utilizzate per osservare il Sole al di fuori di un'eclisse vengono impiegate per osservare e fotografare l'eclisse anulare o fasi parziali (Sherrod, 1981; Pasachoff & Menzel, 1992; Pasachoff & Covington, 1993; Reynolds & Sweetsir, 1995). Il metodo più sicuro ed economico è la proiezione. Si utilizza un foro per formare una immagine del Sole su uno schermo posto a circa un metro dietro l'apertura. Utilizzando un cartone con più fori, o un cappello di paglia tessuto a maglie larghe oppure le stesse dita intrecciate, si ottengono gruppi di immagini del Sole su uno schermo. Un effetto simile può essere osservato sul suolo sotto una pianta (meglio se latifoglia): la molteplicità di fori creati dal sovrapporsi delle foglie produce centinaia di immagini a forma di falce di luna, caratteristiche della fase parziale.

Anche binocoli e piccoli telescopi montati su cavalletto possono essere usati per proiettare un'immagine ingrandita su un cartoncino bianco. Tutti questi sistemi possono essere utilizzati per assicurare a un gruppo di osservatori una visione sicura delle fasi parziali di una eclisse, facendo però molta attenzione affinché nessuno guardi direttamente attraverso uno di tali strumenti. Il principale vantaggio del metodo della proiezione consiste proprio nel fatto che nessuno stia guardando direttamente il Sole; lo svantaggio è che lo schermo deve essere piazzato ad almeno un metro di distanza dal foro (sorgente) affinché l'immagine sia abbastanza grande da poter essere osservata facilmente.

Il Sole può essere osservato direttamente solo quando si utilizzano filtri speciali appositamente prodotti per proteggere gli occhi. Sulla superficie di molti filtri del genere, viene steso un sottile strato di alluminio o lega in alluminio, per attenuare sia la radiazione visibile che quella nell'infrarosso. Un filtro solare sicuro dovrebbe trasmettere meno dello 0.003% (densità ~ 4.5)¹⁰ della luce visibile (da 380 a 780 nm), e non più dello 0,5% (densità ~ 2.3) della radiazione del vicino infrarosso (da 780 a 1400 nm). La figura 24 mostra la risposta spettrale per un campione di filtri solari sicuri.

Uno dei filtri più sicuri per l'uso in questione è il vetro da saldatore, facilmente acquistabile in una rivendita al dettaglio di utensileria. Un'alternativa diffusa e poco costosa è il mylar alluminato, fatto appositamente per l'osservazione solare (il mylar alluminato impiegato nei lavori di giardinaggio non è adatto allo scopo!). Al contrario del vetro da saldatore, il mylar può essere tagliato per adattarsi a qualsiasi strumento e non si rompe quando dovesse cadere. Parecchi esperti osservatori del Sole usano uno o due strati di pellicola in bianco e nero esposta alla luce intensa e sviluppata alla massima densità. L'argento metallico contenuto nell'emulsione funge efficacemente da filtro protettivo. Alcune delle più recenti emulsioni in bianco e nero sono confezionate con bagni di colore al posto dell'argento, e non sono sicure. I negativi in bianco e nero con immagini (come ad esempio lastre a raggi X) sono altrettanto inaffidabili. Negli ultimi tempi, per l'osservazione del Sole, si sono anche utilizzati come filtri protettivi floppy disks e compact disks, coprendo il foro centrale e guardando attraverso il supporto magnetico. Tuttavia, la qualità dell'immagine prodotta da un floppy disk o da un CD è inferiore rispetto a quella formata dal mylar o dal vetro da saldatore. Alcuni CD sono confezionati con un rivestimento di alluminio molto sottile e non sono pertanto sicuri: se si riesce a guardare attraverso il supporto in una stanza normalmente illuminata, il CD non deve assolutamente essere utilizzato per l'osservazione del Sole! Nessun filtro dovrebbe mai essere impiegato con apparecchiature ottiche (es. binocolo, telescopio, macchina fotografica) a meno che lo stesso filtro non sia stato appositamente realizzato allo scopo e sia montato nella parte anteriore dello strumento (ovvero verso il Sole).

Nella categoria dei filtri inaffidabili ricadono tutte le pellicole a colori, quelle in bianco e nero che non contengono argento, i negativi che riproducono immagini (raggi "X" e istantanee), i

vetri affumicati, gli occhiali da Sole (anche se più paia sovrapposti), i filtri fotografici a densità neutra e i filtri polarizzatori. La maggior parte di essi trasmette una elevata quantità di radiazione infrarossa invisibile che può causare una ustione termica della retina. Il fatto che il Sole appaia pallido o che non si percepisca disagio guardando il Sole attraverso un filtro, non è garanzia di sicurezza per gli occhi. Anche i filtri solari da avvitare sugli oculari che vengono spesso forniti con telescopi economici sono inaffidabili. Il vetro di questi filtri si può spaccare improvvisamente a causa del surriscaldamento che si verifica quando il telescopio è puntato sul Sole, è il danno alla retina può verificarsi in una frazione di tempo inferiore a quella impiegata dall'osservatore per togliere l'occhio dall'oculare: è meglio evitare rischi inutili. I centri scientifici o le associazioni amatoriali possono fornire ulteriori informazioni su come osservare una eclisse di Sole in tutta sicurezza.

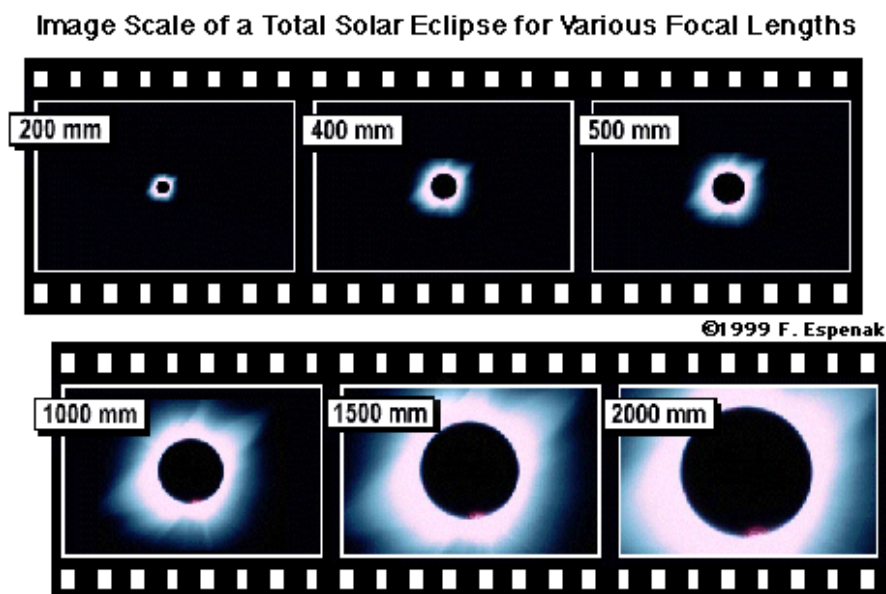
C'è stata una ricerca che si è espressa circa la possibilità che anche le radiazioni ultraviolette del Sole (UVA - lunghezza d'onda compresa tra 315 e 380 nm) possano danneggiare la retina (Del Priore, 1991). Se a questo riguardo c'è qualche prova sperimentale, è da applicarsi al caso particolare della afagia che comporta la rimozione della lente naturale dell'occhio (causata da una lesione o dalla cataratta) nel caso in cui sia stata collocata una protesi che non protegga dai raggi UV. In un occhio umano normale, la radiazione UV non riesce a raggiungere la retina in quanto è assorbita dalla lente del cristallino. Nel caso di soggetti affetti da afagia, invece, anche la normale esposizione alla luce solare ambientale può causare lesioni croniche alla retina. Tuttavia, i filtri solari ben realizzati attenuano la radiazione UV solare ad un livello talmente ridotto, da non costituire un rischio neppure per la retina di soggetti affetti da afagia (ACGIH, 1994).

Nei giorni e nelle settimane antecedenti una eclisse di Sole, normalmente si sviluppa molta informativa da parte dei media, spesso mirata a sottolineare il pericolo che si può correre nell'osservare tale fenomeno. Sfortunatamente, a dispetto delle buone intenzioni da cui sono ispirati, tali messaggi spesso contengono informazioni errate tanto da apparire finalizzati a spaventare la gente ed allontanarla dall'osservazione dell'eclisse in senso assoluto. Bisogna però fare attenzione perchè una tattica del genere può essere controproducente, specie quando l'informativa è destinata agli studenti. Uno studente che da retta a consigli del genere che gli provengono da insegnanti o da persone autorevoli e non osserva l'eclisse per timore di possibili danni alla vista, poi si può sentire frodato con l'inganno quando si confronta con altri che hanno tranquillamente osservato il fenomeno in tutta sicurezza. E avendo sperimentato un comportamento errato da parte di figure che dovrebbero essergli di riferimento, come reagirà poi ad altra informativa riguardante ad esempio la salute, la droga, l'alcool, l'AIDS o il fumo (Pasachoff, 1997)? La cattiva informazione, in casi del genere, è forse peggio della disinformazione totale.

A dispetto di tutte le precauzioni di cui si è detto, la fase totale può e deve essere osservata senza alcun filtro. La visione ad occhio nudo della totalità non solo è completamente sicura, ma è anche realmente ed assolutamente meravigliosa!

COME FOTOGRAFARE L'ECLISSE

L'eclisse può essere fotografato con successo a patto che si seguano le precauzioni di seguito descritte. Quasi tutte le macchine fotografiche con possibilità di operatività in manuale possono essere utilizzate per immortalare questo raro evento. Tuttavia, si raccomanda di impiegare ottiche con una focale abbastanza lunga per produrre un'immagine del Sole più ingrandita possibile. Un obiettivo standard da 50mm produce sul negativo un disco solare dal diametro di soli 0,5 mm, mentre un teleobiettivo da 200 mm arriva a 1,9 mm. Una delle scelte più indicate è quella di usare uno dei compatti obiettivi catadiottrici con lenti a specchio, diventati facilmente reperibili negli ultimi 10 anni. La lunghezza focale più comune tra obiettivi di questo tipo è di 500 mm, e produce sul negativo un disco solare dal diametro di 4,6 mm. Supponendo di avere una corona che si estende per un raggio solare da ogni parte, l'insieme dell'immagine nella fase di totalità arriverà quindi a coprire un diametro di 9,2 mm. Applicando un duplicatore di (2X) si raggiunge una lunghezza focale di 1000 mm, che raddoppia il diametro del Sole portandolo a 9,2 mm. Le focali oltre il metro rientrano normalmente nell'ambito dei telescopi amatoriale. Se si prevede di riprendere l'intero disco solare su un negativo formato 35 mm, l'ottica non deve mai superare i 2600 mm. Tuttavia, poiché il "mirino" della maggior parte delle fotocamere non mostra con estrema precisione il campo effettivamente inquadrato nel negativo, il limite pratico è quello di una focale di 2000 mm. Focali più lunghe consentono di riprendere una porzione ingrandita del disco solare. Per riuscire a fotografare la corona durante la totalità (utilizzando il formato 35 mm) non bisognerebbe usare focali più lunghe di 1500 / 1800 mm. Mantenendo però la focale sui 1000 mm l'inquadratura diventa meno critica e si possono riprendere linee di campo della corona più estese. Per ogni data lunghezza focale, il diametro del disco solare sul negativo in mm corrisponde con buona approssimazione alla stessa lunghezza focale divisa per 109.



Un filtro solare (in vetro o in mylar) deve essere utilizzato durante tutte le fasi di parzialità, per consentire sia di osservare che fotografare senza correre rischi per la vista. I filtri solari sicuri normalmente attenuano di un fattore 100.000 la radiazione del Sole nel visibile e nel vicino infrarosso. Il fattore di attenuazione di un filtro e la sensibilità della pellicola utilizzata giocano un ruolo fondamentale nel determinare la corretta esposizione fotografica. Fino a quando il Sole emette luce abbondante, si consiglia di utilizzare pellicole di sensibilità medio-bassa (50 - 100 ISO). Il metodo più semplice per determinare la corretta esposizione per le fasi parziali, è quello di effettuare un test di prova sul Sole non eclissato, scattando un rullino di fotografie al Sole pieno con

un determinato diaframma (da f/8 a f/16) ed utilizzando tutti i tempi di otturazione da 1/1000 a 1/4 di secondo. Una volta sviluppata la pellicola, si verifica quale sia l'esposizione migliore e si userà il relativo tempo di posa per riprendere tutta la fase di parzialità.

TABLE 2
SOLAR ECLIPSE EXPOSURE GUIDE

<i>ISO</i>	<i>f/Number</i>									
25	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	16	22	
50	2	2.8	4	5.6	8	11	16	22	32	
100	2.8	4	5.6	8	11	16	22	32	44	
200	4	5.6	8	11	16	22	32	44	64	
400	5.6	8	11	16	22	32	44	64	88	
800	8	11	16	22	32	44	64	88	128	
1600	11	16	22	32	44	64	88	128	176	

<i>Subject</i>	<i>Q</i>	<i>Shutter Speed</i>								
<i>Solar Eclipse</i>										
Partial ¹ - 4.0 ND	11	—	—	—	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125
Partial ¹ - 5.0 ND	8	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15
Baily's Beads ²	11	—	—	—	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125
Chromosphere	10	—	—	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60
Prominences	9	—	1/4000	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30
Corona - 0.1 R _s	7	1/2000	1/1000	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8
Corona - 0.2 R _s ³	5	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2
Corona - 0.5 R _s	3	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1 sec	2 sec
Corona - 1.0 R _s	1	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1 sec	2 sec	4 sec	8 sec
Corona - 2.0 R _s	0	1/15	1/8	1/4	1/2	1 sec	2 sec	4 sec	8 sec	15 sec
Corona - 4.0 R _s	-1	1/8	1/4	1/2	1 sec	2 sec	4 sec	8 sec	15 sec	30 sec
Corona - 8.0 R _s	-3	1/2	1 sec	2 sec	4 sec	8 sec	15 sec	30 sec	1 min	2 min

Exposure Formula: $t = f^2 / (I \times 2^Q)$ where: t = exposure time (sec)
 f = f/number or focal ratio
 I = ISO film speed
 Q = brightness exponent

Abbreviations: ND = Neutral Density Filter.
R_s = Solar Radii.

Notes: ¹ Exposures for partial phases are also good for annular eclipses.
² Baily's Beads are extremely bright and change rapidly.
³ This exposure also recommended for the 'Diamond Ring' effect.

J. Lipenski - 1996 March

FIGURE 1: ORTHOGRAPHIC PROJECTION MAP OF THE ECLIPSE PATH

Total Solar Eclipse of 2006 Mar 29

Geocentric Conjunction = 10:33:17.4 UT J.D. = 2453823.939784

Greatest Eclipse = 10:11:17.7 UT J.D. = 2453823.924510

Eclipse Magnitude = 1.0515 Gamma = 0.3843

Saros Series = 139 Member = 29 of 71

Sun at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 00h31m31.7s

Dec. = +03°24'10.3"

S.D. = 00°16'01.1"

H.P. = 00°00'08.8"

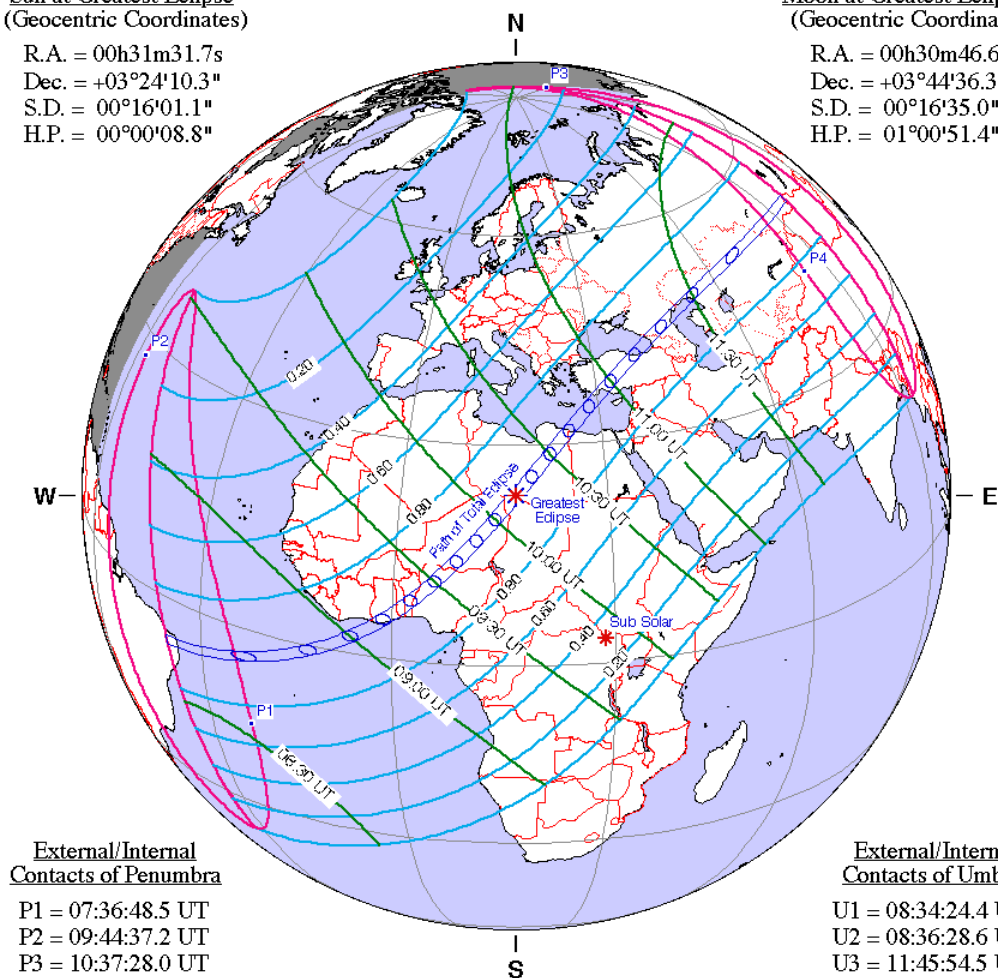
Moon at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 00h30m46.6s

Dec. = +03°44'36.3"

S.D. = 00°16'35.0"

H.P. = 01°00'51.4"



External/Internal Contacts of Penumbra

P1 = 07:36:48.5 UT

P2 = 09:44:37.2 UT

P3 = 10:37:28.0 UT

P4 = 12:45:40.6 UT

External/Internal Contacts of Umbra

U1 = 08:34:24.4 UT

U2 = 08:36:28.6 UT

U3 = 11:45:54.5 UT

U4 = 11:47:56.4 UT

Local Circumstances at Greatest Eclipse

Lat. = 23°09.1'N Sun Alt. = 67.3°

Long. = 016°44.9'E Sun Azm. = 148.6°

Path Width = 183.5 km Duration = 04m06.7s

Ephemeris & Constants

Eph. = DE200/LE200

$\Delta T = 64.9$ s

$k_1 = 0.2725076$

$k_2 = 0.2722810$

$\Delta b = 0.0''$ $\Delta l = 0.0''$

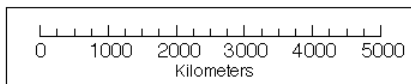
Geocentric Libration (Optical + Physical)

$l = 2.18^\circ$

$b = -0.52^\circ$

$c = -21.71^\circ$

Brown Lun. No. = 1030



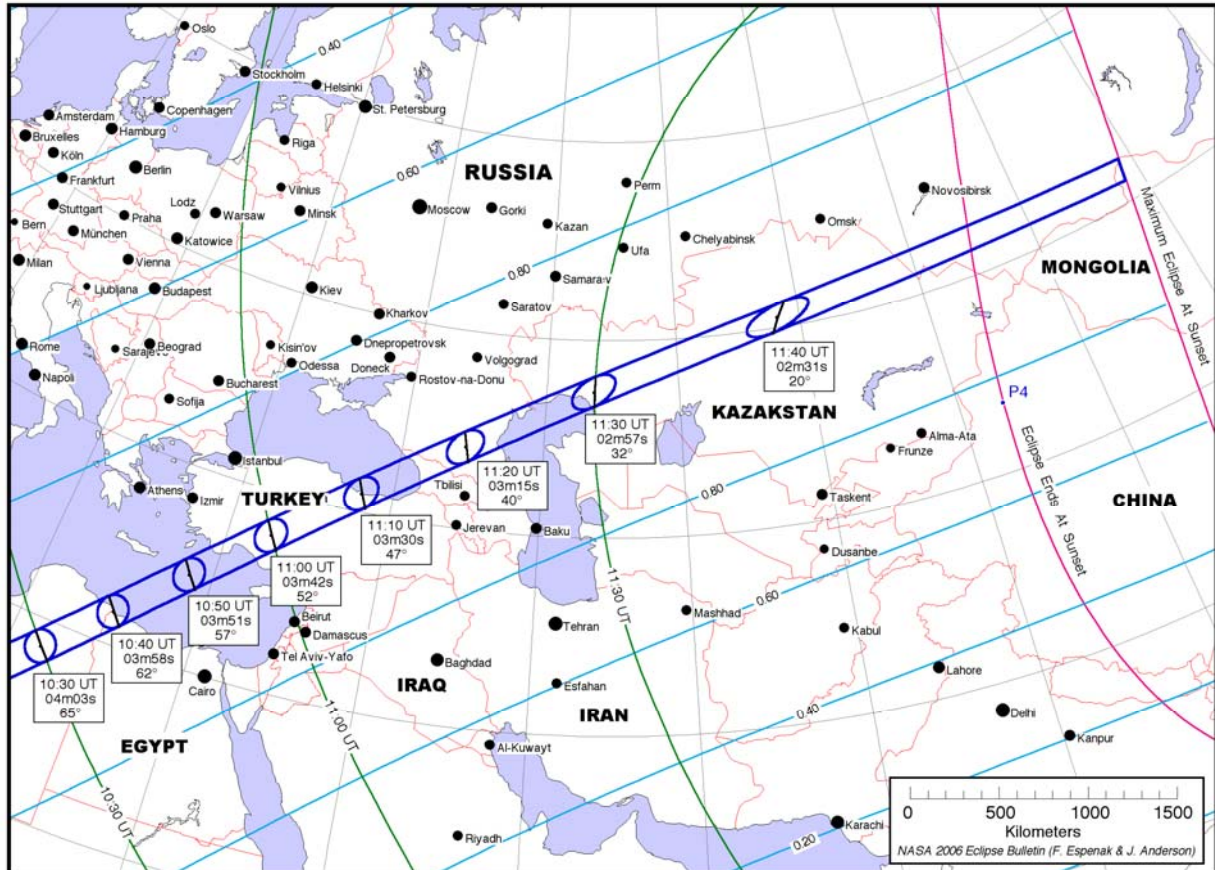
NASA 2006 Eclipse Bulletin (F. Espenak & J. Anderson)

LA SEZIONE DEL CONO D'OMBRA DAL QUALE SI OSSERVA L'ECLISSE COME TOTALE
SCORRE SULLA SUPERFICIE TERRESTRE A CAUSA:

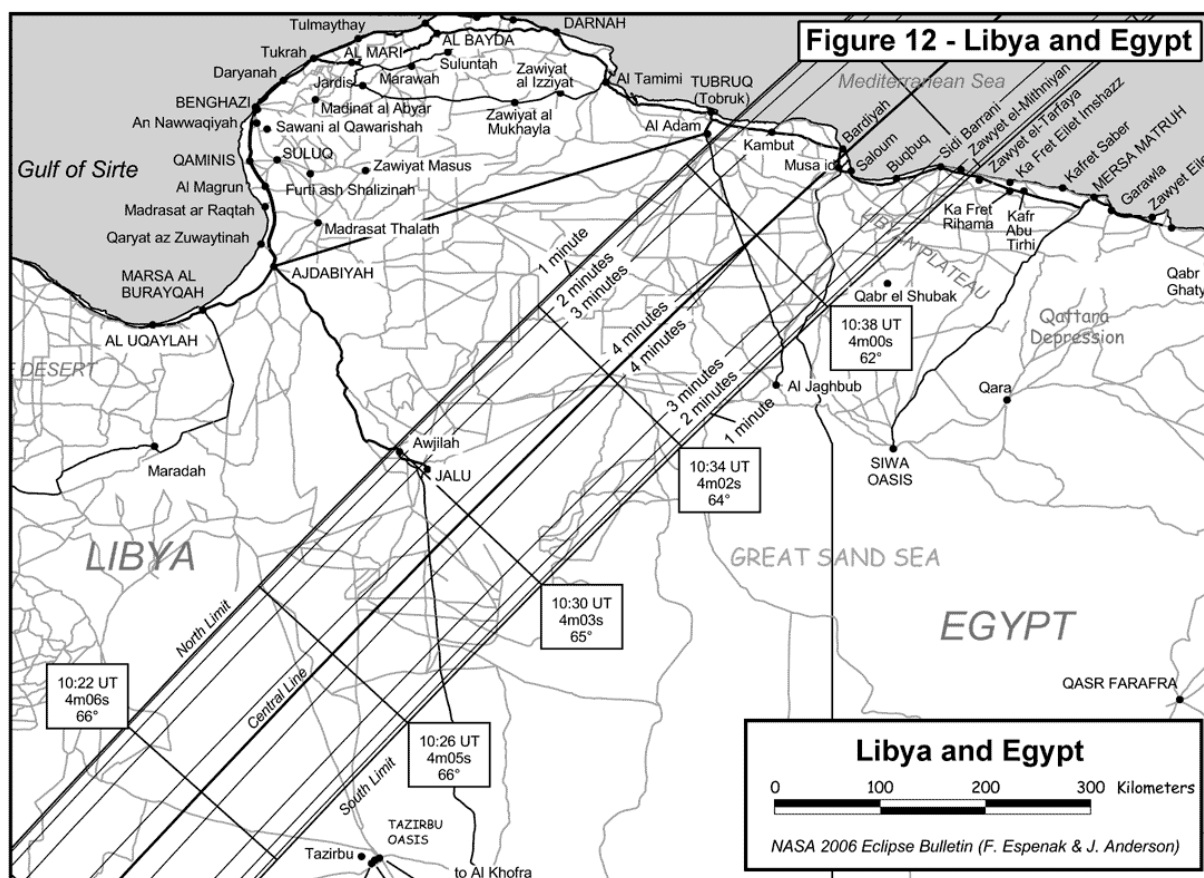
- ✓ DEL MOTO DELLA LUNA RISPETTO AL SOLE;
- ✓ DEL MOTO DI ROTAZIONE DELLA TERRA;

TRACCIANDO SUL GLOBO TERRESTE LA COSIDDETTA FASCIA DELLA TOTALITA'

FIGURE 3: PATH OF THE ECLIPSE THROUGH ASIA
Total Solar Eclipse of 2006 Mar 29



LA SEZIONE DEL CONO D'OMBRA DALLA QUALE L'ECLISSE SI OSSERVA COME TOTALE, DA CIRCOLARE NEL PUNTO CENTRALE DELL'ECLISSE DIVENTA SEMPRE PIU' ELLITTICA A CAUSA DELLA CURVATURA DELLA SUPERFICIE TERRESTRE



LA DURATA DELL'ECLISSE TOTALE E' MASSIMA LUNGO LA CENTER LINE E DECREASE PROGRESSIVAMENTE A MANO A MANO CHE CI SI AVVICINA AI BORDI DELLA FASCIA DI TOTALITA'

Total Solar Eclipse of 2002 Dec 04

Geocentric Conjunction = 07:38:45.5 UT J.D. = 2452612.818582

Greatest Eclipse = 07:31:12.3 UT J.D. = 2452612.813337

Eclipse Magnitude = 1.0244 Gamma = -0.3021

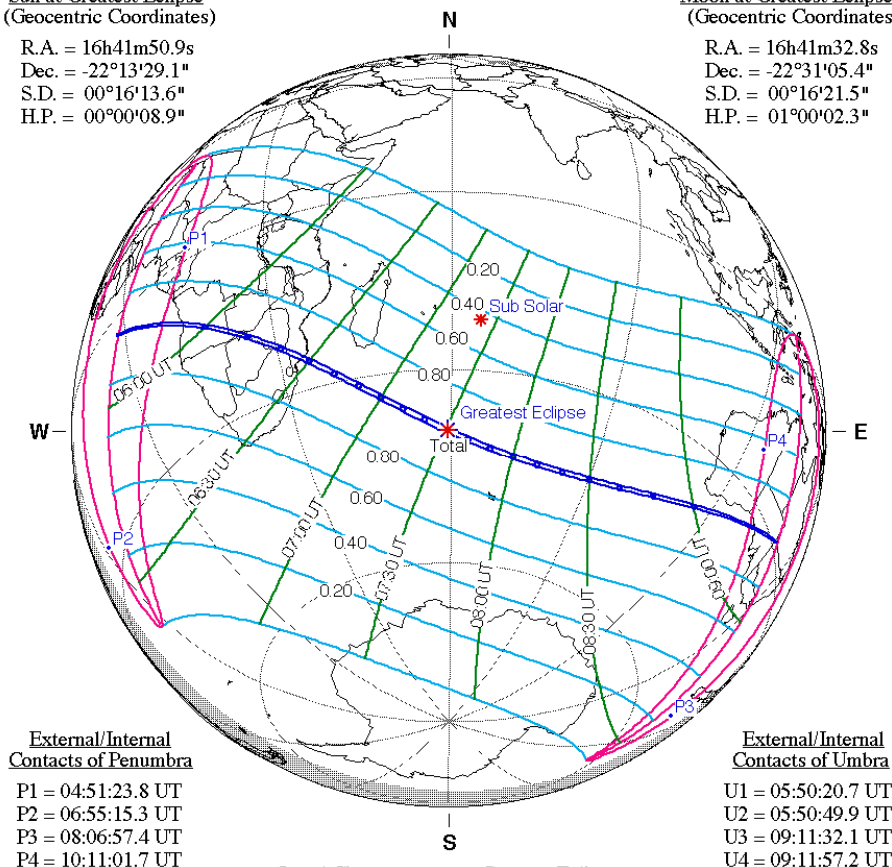
Saros Series = 142 Member = 22 of 72

Sun at Greatest Eclipse
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 16h41m50.9s
Dec. = -22°13'29.1"
S.D. = 00°16'13.6"
H.P. = 00°00'08.9"

Moon at Greatest Eclipse
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 16h41m32.8s
Dec. = -22°31'05.4"
S.D. = 00°16'21.5"
H.P. = 01°00'02.3"



External/Internal
Contacts of Penumbra

P1 = 04:51:23.8 UT
P2 = 06:55:15.3 UT
P3 = 08:06:57.4 UT
P4 = 10:11:01.7 UT

External/Internal
Contacts of Umbra

U1 = 05:50:20.7 UT
U2 = 05:50:49.9 UT
U3 = 09:11:32.1 UT
U4 = 09:11:57.2 UT

Ephemeris & Constants

Eph. = Newcomb/ILE
 $\Delta T = 64.5$ s
 $k1 = 0.2724880$
 $k2 = 0.2722810$
 $\Delta b = 0.0''$ $\Delta l = 0.0''$

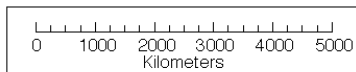
Local Circumstances at Greatest Eclipse

Lat. = 39°27.7'S Sun Alt. = 72.2°
Long. = 059°32.7'E Sun Azm. = 15.8°
Path Width = 87.0 km Duration = 02m03.8s

Geocentric Libration
(Optical + Physical)

$l = 3.67^\circ$
 $b = 0.42^\circ$
 $c = 6.16^\circ$

Brown Lun. No. = 989



F. Espenak, NASA's GSFC - Fri, Jul 2,

sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html

ECLISSE TOTALE DI SOLE

LA MAGNITUDINE DELL'ECLISSE E' MAGGIORE DI 1,000

LA DURATA DELL'ECLISSE TOTALE E' DIRETTAMENTE PROPORZIONALE AL VALORE DELLA MAGNITUDINE (PIU' E' ELEVATA LA MAGNITUDINE, PIU' DURA L'ECLISSE NELLA FASE DI TOTALITA')

Annular Solar Eclipse of 2005 Oct 03

Geocentric Conjunction = 10:10:42.0 UT J.D. = 2453646.924097

Greatest Eclipse = 10:31:42.4 UT J.D. = 2453646.938685

Eclipse Magnitude = 0.95758 Gamma = 0.33058

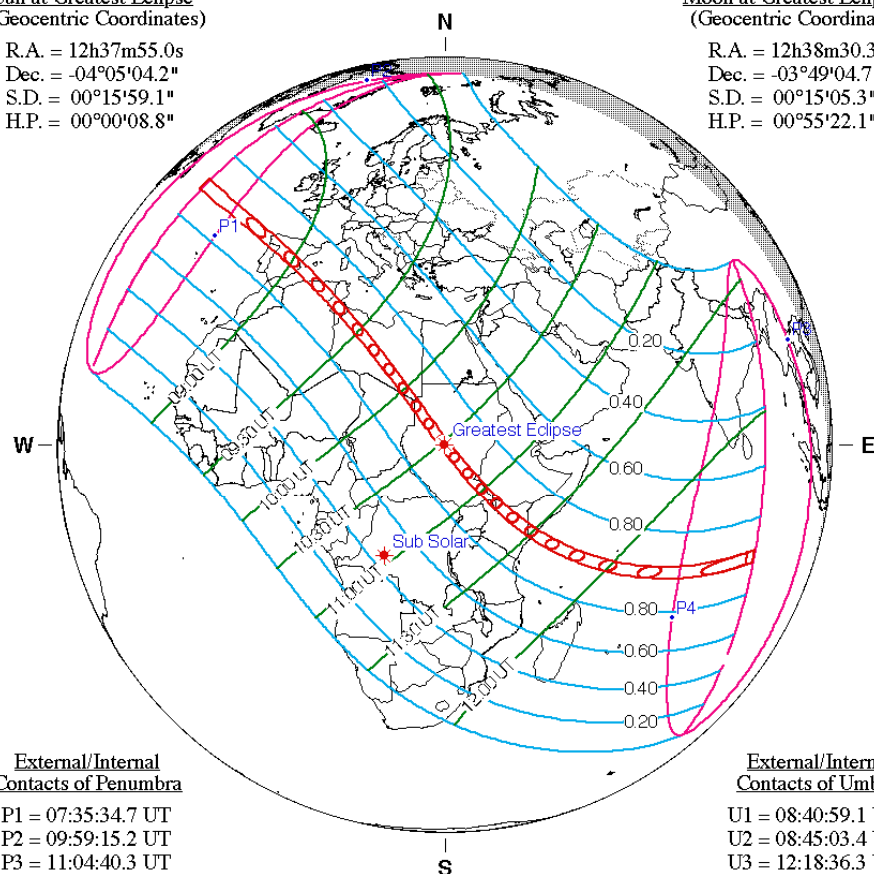
Saros Series = 134 Member = 43 of 71

Sun at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 12h37m55.0s
Dec. = -04°05'04.2"
S.D. = 00°15'59.1"
H.P. = 00°00'08.8"

Moon at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 12h38m30.3s
Dec. = -03°49'04.7"
S.D. = 00°15'05.3"
H.P. = 00°55'22.1"



External/Internal Contacts of Penumbra

P1 = 07:35:34.7 UT
P2 = 09:59:15.2 UT
P3 = 11:04:40.3 UT
P4 = 13:27:52.9 UT

External/Internal Contacts of Umbra

U1 = 08:40:59.1 UT
U2 = 08:45:03.4 UT
U3 = 12:18:36.3 UT
U4 = 12:22:35.2 UT

Local Circumstances at Greatest Eclipse

Lat. = 12°53.4'N Sun Alt. = 70.6°
Long. = 028°44.1'E Sun Azm. = 209.4°
Path Width = 162.2 km Duration = 04m31.6s

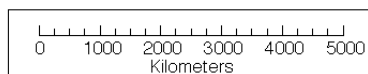
Ephemeris & Constants

Eph. = DE200/LE200
 $\Delta T = 64.8$ s
 $k1 = 0.2725076$
 $k2 = 0.2722810$
 $\Delta b = 0.0'' \Delta l = 0.0''$

Geocentric Libration (Optical + Physical)

$l = -3.93^\circ$
 $b = -0.43^\circ$
 $c = 21.55^\circ$

Brown Lun. No. = 1024



F. Espenak, NASA/GSFC - 2004 Apr 15, Thu
sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html

ECLISSE ANULARE DI SOLE

LA MAGNITUDINE DELL'ECLISSE E' MINORE DI 1,000

LA DURATA DELL'ECLISSE ANULARE E' INVERSAMENTE PROPORZIONALE AL VALORE DELLA MAGNITUDINE (PIU' E' BASSA LA MAGNITUDINE, PIU' DURA L'ECLISSE NELLA FASE ANULARE)

Hybrid Solar Eclipse of 1986 Oct 03

Geocentric Conjunction = 18:06:28.2 UT J.D. = 2446707.254493

Greatest Eclipse = 19:05:20.6 UT J.D. = 2446707.295377

Eclipse Magnitude = 1.0000 Gamma = 0.9929

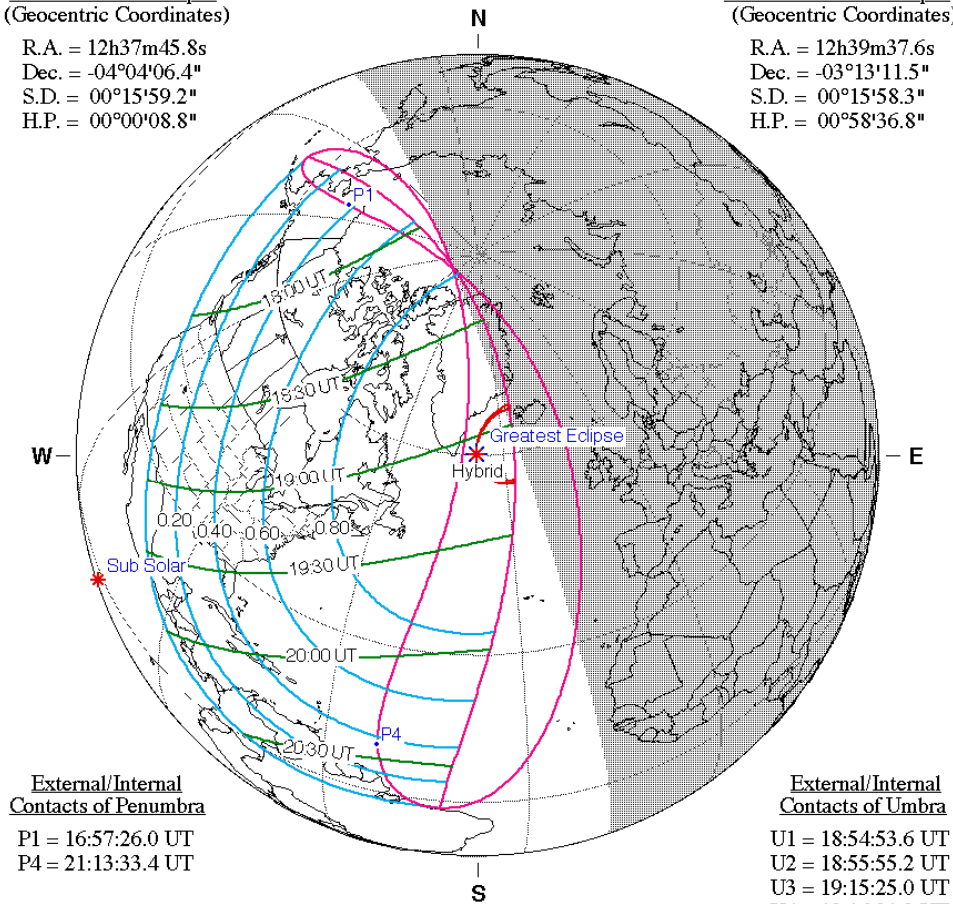
Saros Series = 124 Member = 53 of 73

Sun at Greatest Eclipse
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 12h37m45.8s
Dec. = -04°04'06.4"
S.D. = 00°15'59.2"
H.P. = 00°00'08.8"

Moon at Greatest Eclipse
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 12h39m37.6s
Dec. = -03°13'11.5"
S.D. = 00°15'58.3"
H.P. = 00°58'36.8"



External/Internal
Contacts of Penumbra

P1 = 16:57:26.0 UT
P4 = 21:13:33.4 UT

External/Internal
Contacts of Umbra

U1 = 18:54:53.6 UT
U2 = 18:55:55.2 UT
U3 = 19:15:25.0 UT
U4 = 19:16:21.3 UT

Local Circumstances at Greatest Eclipse

Lat. = 59°55.7'N Sun Alt. = 5.4°
Long. = 037°16.3'W Sun Azm. = 252.2°
Path Width = 1.6 km Duration = 00m00.2s

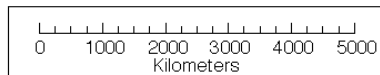
Ephemeris & Constants

Eph. = Newcomb/ILE
 $\Delta T = 55.2$ s
k1 = 0.2724880
k2 = 0.2722810
 $\Delta b = 0.0''$ $\Delta l = 0.0''$

Geocentric Libration
(Optical + Physical)

l = -4.41°
b = -1.29°
c = 21.58°

Brown Lun. No. = 789



F. Espenak, NASA's GSFC - 2004 Jul 07

sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html

ECLISSE DI SOLE IBRIDA

LA MAGNITUDINE DELL'ECLISSE E' UGUALE O MOLTO VICINA A 1,000

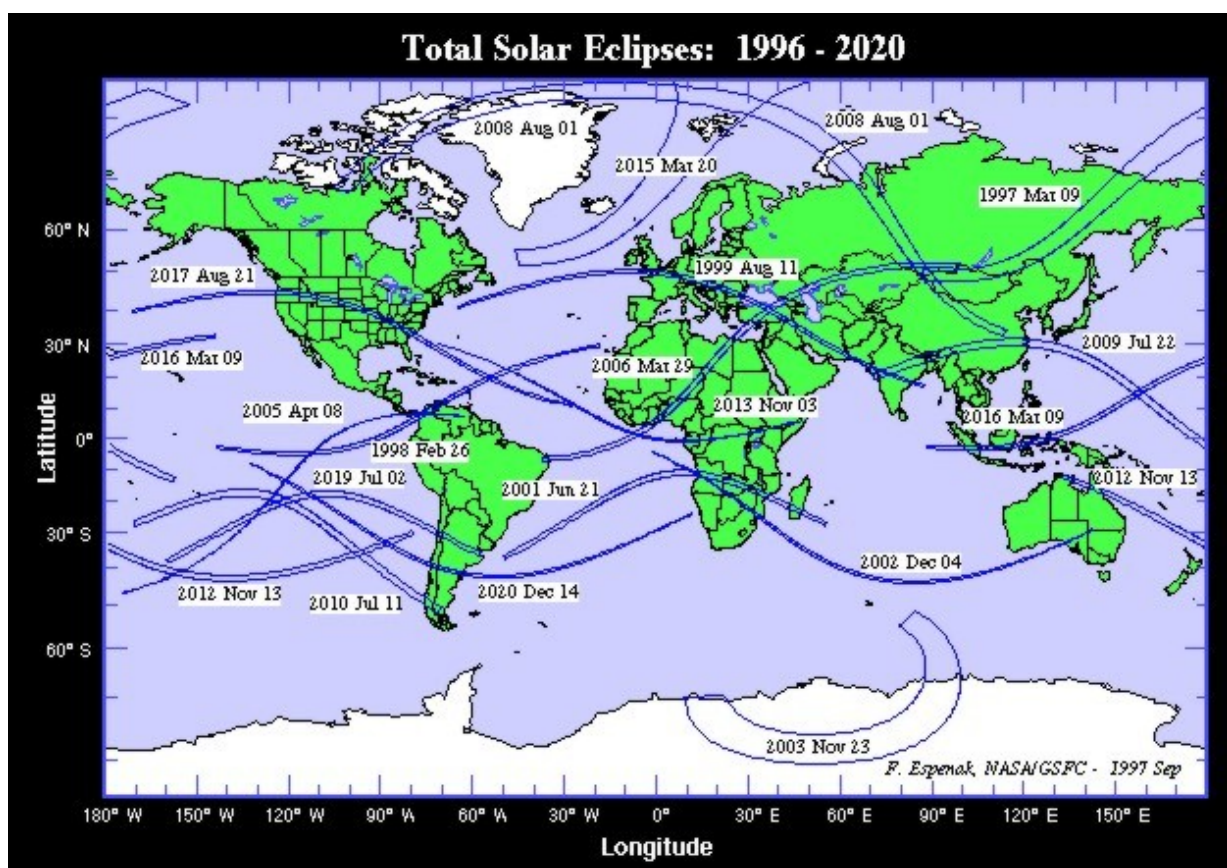
LA DURATA DEL FENOMENO E' PRATICAMENTE Istantanea

ESEMPI DI ECLISSI DI SOLE SUDDIVISI PER TIPOLOGIA
(IBRIDA – ANULARE – TOTALE)
DA CONSIDERARE PER LA RELAZIONE TRA LA MAGNITUDINE DELL'ECLISSE
E LA SUA DURATA

Eclisse di Sole ibrida					
Date	Eclipse Type	Saros	Eclipse ³ Magnitude	Central ⁴ Duration	Geographic Region of Eclipse Visibility ⁵
1986 Oct 03	Hybrid	124	1.000	00m00s	N. & C. America, n S America [Hybrid: n Atlantic]
1987 Mar 29	Hybrid	129	1.001	00m08s	s S. America, Africa, Mid East [Hybrid: Argentina, Gabon, Cameroon, C. A. Rep., Sudan, Ethiopia, Somalia]

Eclisse anulare di Sole					
Date	Eclipse Type	Saros	Eclipse ³ Magnitude	Central ⁴ Duration	Geographic Region of Eclipse Visibility ⁵
1981 Feb 04	Annular	140	0.994	00m33s	Australia, New Zealand, Antarctica, w S. America [Annular: Tasmania, New Zealand, s Pacific]
1983 Dec 04	Annular	132	0.967	04m01s	ns S. America, Africa, s Europe [Annular: Gabon, Congo, D. R. Congo, Uganda, Kenya, Ethiopia, Somalia]
2008 Feb 07	Annular	121	0.965	02m12s	Antarctica, e Australia, N. Zealand [Annular: Antarctica]
1984 May 30	Annular	137	0.998	00m11s	N. & C. America, Europe, nw Africa [Annular: Mexico, se US, Morocco, Algeria]
1991 Jan 15	Annular	131	0.929	07m53s	Australia, N.Z., Antarctica, s Pacific [Annular: sw Australia, Tasmania, N.Z., s Pacific]
1992 Jan 04	Annular	141	0.918	11m41s	n Australia, Pacific, w N. America [Annular: c Pacific, s California]

Eclisse totale di Sole					
Date	Eclipse Type	Saros	Eclipse ³ Magnitude	Central ⁴ Duration	Geographic Region of Eclipse Visibility ⁵
2001 Jun 21	Total	127	1.050	04m57s	e S. America, Africa [Total: s Atlantic, s Africa, Madagascar]
2002 Dec 04	Total	142	1.024	02m04s	s Africa, Antarctica, Indonesia, Australia [Total: s Africa, s Indian, s Australia]
2003 Nov 23	Total	152	1.038	01m57s	Australia, N. Z., Antarctica, s S. America [Total: Antarctica]
2006 Mar 29	Total	139	1.052	04m07s	Africa, Europe, w Asia [Total: c Africa, Turkey, Russia]
2008 Aug 01	Total	126	1.039	02m27s	ne N. America, Europe, Asia [Total: n Canada, Greenland, Siberia, Mongolia, China]
2009 Jul 22	Total	136	1.080	06m39s	e Asia, Pacific Ocean, Hawaii [Total: India, Nepal, China, c Pacific]
2010 Jul 11	Total	146	1.058	05m20s	s S. America [Total: s Pacific, Easter Is., Chile, Argentina]



**IL PERCORSO DELL'OMBRA NELLE PROSSIME ECLISSI TOTALI DI SOLE
(1996 - 2020)**

