

## SAROS

TRANSITI ECLISSI ED OCCULTAZIONI  
TRA LA MINERVA ED IL COLLEGIO ROMANO  
evento organizzato da **Costantino Sigismondi**  
in occasione dello storico transito di  
**Venere sul Sole**  
8 giugno 2004



### Testo di Costantino Sigismondi

Con contributi di Francesca Binaglia, Laura Bellitto, Paolo Colona,  
Donatello Di Carlo, Rita Fioravanti, Pietro Oliva,

Schede bibliografiche di Sabina Fiorenzi.

Prefazione di Pietro Alessandro Giustini



## Indice

Indice	p. 2
Ringraziamenti	p. 3
Prefazione ( <i>Pietro Alessandro Giustini</i> )	p. 4
Cicli di Saros ( <i>Pietro Oliva</i> )	p. 7
Ciclo di Metone ( <i>Pietro Oliva</i> )	p. 10
Ciclo Solare e Grande Ciclo delle Pasque	p. 11
Algebra dei Transiti	p. 13
Transiti in Frac	p. 16
Eclissi di Sole del 9 aprile 1567: Clavio osservò un'eclissi anulare?	P. 19
L'eclisse totale di Sole del 22 aprile 1715 di Edmund Halley ( <i>Laura Bellitto</i> )	p. 20
Fasi di Venere: una prova Copernicana ( <i>Paolo Colonna</i> )	p. 23
Fasi della Luna in dettaglio ( <i>Paolo Colonna</i> )	p. 31
Venere: fase ed elongazione	p. 34
Eclissi, Occultazioni e "Delta T"	p. 37
Occultazioni Stellari dall'Almagesto al Naval Observatory	p. 39
La Parallasse Solare ( <i>Paolo Colonna</i> )	p. 41
Misura dell'Unità Astronomica con il metodo di Halley ( <i>Pietro Oliva</i> )	p. 42
Gli Inglesi ed il Transito di Venere	p. 43
Il Tranzito di Venere: Sud Pacifico 1769	p. 44
Parallasse Orizzontale e Transito di Venere e Black Drop	p. 45
Il Transito di Mercurio sul Sole e la misura dell'Unità Astronomica	p. 47
Misure della Parallasse Solare nel Tempo ( <i>Pietro Oliva</i> )	p. 49
Jeremy Horrocks, primo osservatore del Transito di Venere nel 1639 ( <i>Rita Fioravanti</i> )	p. 50
Giovanni Battista Audiffredi ( <i>Rita Fioravanti</i> )	p. 52
L'osservatorio di Giovanni Battista Audiffredi nel Convento di S. Maria sopra Minerva ( <i>Rita Fioravanti</i> )	p. 54
Una polemica tra astronomi ( <i>Rita Fioravanti</i> )	p. 56
Transiti, eclissi ed occultazioni da Tolomeo a Keplero: (con schede bibliografiche di <i>Sabina Fiorenzi</i> )	p. 60
La piccola collezione di strumenti scientifici della Casanatense ( <i>Rita Fioravanti</i> )	p. 68
Transito di Venere in rete	p. 73



## Ringraziamenti

Ringrazio **Pietro Alessandro Giustini** per la prefazione e la partecipazione alla preparazione e alla realizzazione dell'evento così come **Pietro Oliva**, autore delle schede sui cicli di Saros e di Metone e sulla Parallasse Solare, anche con il metodo di Halley; **Paolo Colona** autore del testo sulle Fasi Lunari e web architect della mostra iconografica; **Rita Fioravanti** autrice dei capitoli dedicati a Jeremiah Horrocks, a Giovanni Battista Audiffredi e ai rapporti con la scienza del suo tempo, e alla collezione di strumenti scientifici della Casanatense; **Sabina Fiorenzi** autrice delle schede bibliografiche da Tolomeo a Keplero e web editor. Ringrazio inoltre gli studenti del corso di "Storia del Pensiero Scientifico Inglese" tenuto presso il dipartimento di Anglistica dell'Università di Roma "La Sapienza", Facoltà di Lettere e Filosofia, nell'Anno Accademico 2002-2003 dallo scrivente: **Laura Bellitto**, autrice del capitolo sull'eclissi del 1715; **Donatello di Carlo** che ha contribuito al paragrafo sul "Delta T"; **Francesca Binaglia** che ha contribuito alla scheda sugli Inglesi ed il Transito di Venere. Un ringraziamento speciale a **Claudio Davanzo** per la documentazione iconografica digitale.

Sono grato al direttore della Biblioteca Casanatense **Gianni Bonazzi** per aver accolto questa manifestazione storico scientifica nella sede più appropriata e prestigiosa che si potesse desiderare, il Salone Monumentale, e a tutto **il personale della Biblioteca** che ha sempre collaborato con entusiasmo e cortesia ai nostri preparativi.

Le premesse per realizzare questo evento cominciarono nel Febbraio 2001 a Greenbelt, quando lessi il libro "Transit, When Planets Cross the Sun" di Michael Maunder e Patrick Moore (Sprinter-Verlag, London 2000), preso alla biblioteca della NASA –Goddard Space Flight Center.

Sono grato a **David W. Dunham** e **Wayne H. Warren Jr.** che mi hanno ospitato quando frequentavo il centro della NASA e mi hanno fatto appassionare all'astrometria, condividendo con me le loro innumerevoli esperienze sul campo.

Sono debitore anche a **Dorrit Hoffleit** per il tempo e l'amicizia che mi ha dedicato a Yale, anche nello studio storico delle eclissi, e a **Sabatino Sofia** che mi ha accolto nello staff del dipartimento di Astronomia di Yale dal 2000 al 2002 proprio per studiare la variazione secolare del diametro solare. Senza queste persone il transito di Venere avrebbe significato soltanto una curiosità, un evento raro a cui assistere.

Roma, 4 giugno 2004

Costantino Sigismondi



## Prefazione

Il transito di Venere sul Sole è un fenomeno astronomico raro relativamente alla scala temporale della storia della scienza moderna. Infatti da che è stato previsto sulla base di calcoli è stato osservato solo 5 volte: nel 1639, nel 1761 e nel 1769, nel 1874 e 1882.

Il transito dell'8 giugno 2004 si verifica nelle stesse circostanze astronomiche del 1761, dopo un Saros di 243 anni, con Venere nel nodo discendente dell'orbita, ed è il primo che rivediamo da Roma. Il prossimo transito visibile interamente dall'Italia sarà l'11 giugno 2247, tra altri 243 anni.

Tecnicamente era possibile osservarlo anche prima senza l'ausilio di un telescopio, ma la tecnica dell'osservazione del Sole mediante foro stenopeico in camera oscura è stata sviluppata da Keplero proprio negli anni in cui Galileo introduceva il telescopio nello studio degli astri. Sia lo strumento per osservare il transito di Venere, sia le teorie matematico astronomiche per prevederlo con sufficiente accuratezza erano pronte soltanto nella prima metà del XVII secolo.

Il ciclo di Saros, scoperto dai Caldei già nel primo millennio a. C. regola le eclissi solari. Per estensione del concetto si parla di Saros Venusiani (243 anni) e di Mercurio (46 anni). La matematica necessaria alla comprensione di queste periodicità secolari non è più complessa di quella adoperata da Tolomeo, tuttavia occorre tenere conto delle leggi di Keplero e della meccanica Newtoniana per fare delle previsioni quantitative di questi fenomeni. Questo tema viene dipanato nella prima parte di questo libro.

Halley pubblicò nel 1716 un metodo per calcolare la distanza Terra-Sole mediante l'osservazione di un transito di Venere. Il metodo di Halley era la sintesi del pensiero di Keplero e di Newton, e nello stesso tempo era un'ulteriore verifica delle teorie di Newton. Il transito di Venere del 6 giugno 1761 fu osservato anche a Roma da Giovanni Battista Audiffredi, prefetto della Biblioteca Casanatense. Le sue misure della parallasse solare –di 9.26 secondi d'arco con un'incertezza presumibile dell'ordine di un secondo d'arco- contribuirono alla migliore determinazione dell'unità astronomica per quei tempi, e a renderlo famoso in tutta Europa.

Questa osservazione astronomica conferma la posizione epistemologica di Harlow Shapley (1885-1972) che le teorie possono cambiare però una buona misura resta per sempre.

La mostra che è visibile anche sul web al sito  
<http://www.casanatense.it/HTML/archivio-eventi/saros/index.htm>

ed il presente testo vogliono contribuire alla comprensione del transito di Venere soprattutto come fenomeno culturale, in particolare quello del 1761 osservato proprio nei pressi della Biblioteca Casanatense.

Emergono infatti molti elementi poco noti del panorama culturale dell'inizio della seconda metà del settecento a Roma. Era appena terminato il pontificato (1740-1758) del Papa Benedetto XIV, Prospero Lambertini, che –tra l'altro- aveva fondato l'Istituto delle Scienze a Bologna ed aveva dato un grande impulso all'archeologia. Clemente XIV aveva riformato anche gli studi universitari alla "Sapienza" modificando la cattedra di Botanica con l'istituzione della cattedra di Chimica. Matematica ed Astronomia era insegnata dal Padre Le Seur dei Minimi di Trinità dei Monti, mentre al Collegio Romano insegnava matematica e filosofia naturale Ruggero Giuseppe Boscovich. Il 23 dicembre 1757 era stata cancellata la proibizione di scritti in difesa del sistema copernicano, anche se il Dialogo di Galileo rimase formalmente all'indice. La Chiesa dichiarò chiuso il caso soltanto nel 1820.

In Francia, in quegli anni, veniva pubblicata l'Enciclopedia (1759), che costituiva uno dei mezzi di diffusione delle idee di Newton. Gli articoli sull'Attrazione e il Newtonianesimo di D'Alembert sono tratti proprio dai *Principia* di Newton. Erano francesi le idee di dare impulso alle scienze anche a livello politico ed economico: Colbert chiamò Cassini da Bologna a Parigi nel 1670, mentre la Royal Society a Londra era stata fondata poco prima (1660).

In occasione dei transiti di Venere del 1761 e 1769 troviamo molti scienziati in viaggio per il mondo e cronometri, stelle e parallassi servono ad aiutare i naviganti per un viaggio sicuro. L'astronomia posizionale, e l'astrometria costituiscono i trait-d'union tra scienza e politica economica e militare nazionale. L'Inghilterra, la Francia, come poi l'Olanda e gli Stati Uniti nel XIX secolo, investirono molto su questi campi, dando luogo a scuole di astronomia che ne conservarono l'impostazione astrometrica fino a tutto il novecento (Greenwich, Parigi, la scuola di Oort in Olanda, l'Osservatorio di Harvard, l'U. S. Naval Observatory e Yale).

Anche in Italia, in quegli anni, i canonici della Cattedrale di Livorno curavano l'edizione italiana dell'Enciclopedia. Sono attivi i centri di Bologna e di Padova, dove le idee di Newton erano state ormai recepite. Eustachio Zanotti che osserva il transito da Bologna, e Leonardo Ximenes, Gesuita, da Firenze, sono tra gli italiani soci corrispondenti delle Philosophical Transactions della Royal Society. Giovanni Poleni a Padova istituiva il primo laboratorio sperimentale di fisica didattica: il *Theatrum Physicae*.

A Roma l'Accademia dei Lincei non era attiva, fondata dal Cesi nel 1603 non era sopravvissuta alla morte di lui nel 1630, fu rifondata da Napoleone ma ebbe vita ancor più breve, fu Pio IX nel 1847 a rifondarla. Pio IX, che aveva scritto un saggio fisico-matematico sulle

macchine ottiche da studente nel 1809, nel momento di massima auge dell'ottica fisica. I Gesuiti dialogavano con la società dell'epoca ed erano essi stessi scienziati. Ai Domenicani era stato affidato il compito della censura, che continuavano a svolgere con scrupolosa attenzione. Le pubblicazioni tecniche dell'Audiffredi hanno tutte l'imprimatur. Ma emerge chiaramente anche dalle cronache dell'epoca che parlare di scienza in pubblico era un fatto normale.

Sotto certi aspetti la mentalità illuminista di una scienza per tutti si sta diffondendo anche nell'ambiente ecclesiastico più conservatore.

Addirittura è proprio dai Convittori del Seminario Romano che viene organizzato il *Saggio fisico-astronomico intorno al passaggio di Venere sotto il disco solare* del 3 giugno 1761, riportato dalle cronache del Diario Ordinario d'Ungheria, noto anche come "Chracas", che era il giornale di quei tempi a Roma. Periodici e giornali di tutta Europa diedero un grande risalto al fenomeno astronomico (Philosophical Transactions, Acta Eruditorum, Giornale dei Letterati, Journal des Sçavans...).

Clemente XIII (1758-69) oppositore dell'Illuminismo, appoggiò i Gesuiti che in quel periodo venivano espulsi da molti stati, ma Clemente XIV li soppresse nel 1773 interrompendo una continuità nelle relazioni scienza-Chiesa e nel dialogo Chiesa-politica che non si era mai interrotta, neanche con il caso Galileo. I Gesuiti furono incarcerati e sterminati ovunque tranne in Russia, per cui nel 1814 Pio VII li poté ricostituire, ma il gap di un'intera generazione non fu più colmato ed il moderno concetto di cultura laica ostile alla Chiesa aveva ormai cominciato a prendere piede in Europa.

Il grande progresso ottocentesco fu dato dall'introduzione della fotografia astronomica, mentre i due passaggi di Venere sul Sole del settecento erano stati seguiti per proiezione su schermo. Per questo le misure di parallasse degli ultimi transiti diventarono degli standard (Newcomb). Al principio del XXI secolo il transito di Venere sul Sole capita 99 anni dopo l'introduzione della Teoria della Relatività Ristretta di Einstein, quando l'esperimento su satellite Gravity Probe-B, lanciato il 19 aprile 2004, sta iniziando a misurare la curvatura dello spazio-tempo attorno alla Terra con una precisione del millesimo di secondo d'arco per anno. Oggi i transiti dei pianeti extra-solari vengono studiati per la possibilità che offrono di conoscere i sistemi planetari delle stelle più vicine. E' in fase di studio una missione -Eddington- dell'ESA, Agenzia Spaziale Europea, da dedicare al monitoraggio di 10000 stelle in attesa che si verifichi un transito su una di quelle e valutare così i parametri fisici dei pianeti responsabili. Quelli osservati da 5 anni a questa parte sono transiti di pianeti giganti, tipo Giove, ma si ritiene che con questa missione aumenterà la probabilità di individuare transiti di pianeti extrasolari anche di tipo terrestre.

Pietro Alessandro Giustini



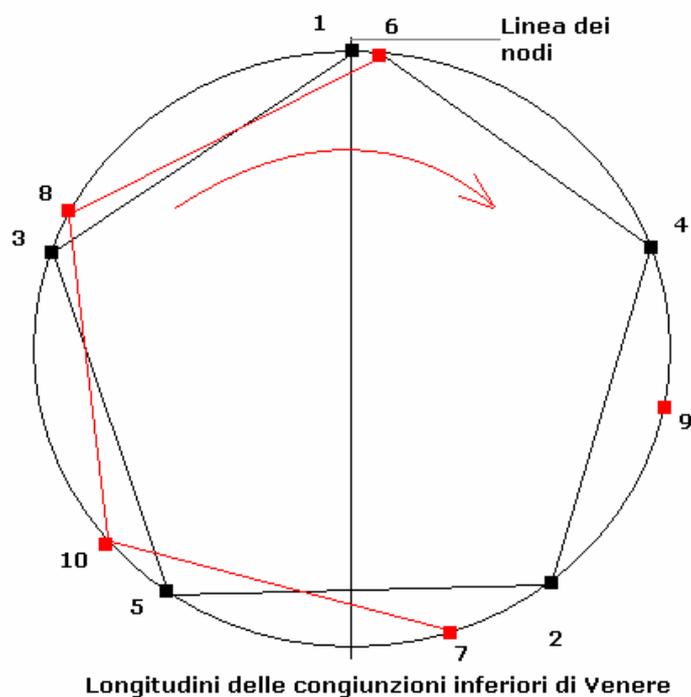
Poiché Venere gira intorno al Sole più velocemente della Terra, in un ciclo di 8 anni le congiunzioni inferiori accadono 5 volte.

Le longitudini eclitticali a cui avvengono le congiunzioni inferiori (allineamento Sole-Venere-Terra) si dispongono su un pentagono quasi regolare. La circonferenza rappresenta i 360 gradi.

Il vertice del pentagono ruota lentamente sulla circonferenza e torna ad allinearsi con la linea dei nodi dopo 243 anni, sempre a giugno.

Questo è il "**Saros Venusiano**".

Dopo metà periodo 121.5 anni, l'allineamento avviene al nodo opposto (180°) nel mese di dicembre.





## Cicli di Saros

### Generalità

Visto da Terra il Sole descrive un'orbita sulla sfera celeste detta eclittica; i pianeti e la Luna invece hanno orbite che giacciono su dei piani che sono leggermente inclinati rispetto a quello descritto dall'eclittica.

L'angolo tra il piano dell'eclittica (piano principale) e quello orbitale, viene chiamato inclinazione dell'orbita.

La retta intersezione dei due piani prende altresì il nome di linea dei nodi mentre i suoi punti d'intersezione con l'orbita sono i due nodi (ascendente e discendente).

Definiamo inoltre la linea sul piano orbitale congiungente il punto dell'orbita più lontano dal Sole (afelio) con quello più vicino (perielio), come linea degli absidi (o apsidi).

I moti dei pianeti visti dal Sole sarebbero molto semplici: essi si sposterebbero sopra cerchi massimi, tutti molto vicini, della sfera celeste ed avrebbero stesso verso con velocità angolari variabili. Il tempo impiegato da un pianeta per compiere una rivoluzione completa è detto periodo siderale e dipende dalla distanza del pianeta dal Sole in accordo con la terza legge di Keplero.

Il moto dei pianeti è in buon accordo con le leggi di Keplero (ellissi giacenti su piani con il Sole posto in uno dei due fuochi) ma vi sono tuttavia degli effetti perturbanti dovuti alle mutue interazioni dei gravi. Alcune di tali perturbazioni sono di breve periodo (perturbazioni periodiche) ed altre avvengono su tempi molto lunghi (perturbazioni secolari); tra queste ultime quelle più importanti riguardano una rotazione del piano orbitale e conseguentemente un moto retrogrado, rispetto al moto del pianeta, dei due nodi. E' anche in atto una rotazione, in genere in verso diretto, della linea degli absidi.

### Eclissi Solari

Il Sole e la Luna si muovono rispetto alla Terra su delle orbite inclinate l'una rispetto all'altra di circa  $5^\circ$  e questo genera, come visto sopra, due nodi in corrispondenza dell'intersezione tra le orbite.

Quando la Luna si trova in corrispondenza di uno dei due nodi si può verificare un allineamento dei tre corpi e conseguentemente un'eclisse solare o Lunare a seconda che la Luna o la Terra sia interposta tra gli altri due.

Si capisce quindi che i periodi entranti in gioco nelle eclissi solari sono

1. Le fasi Lunari, le quali hanno un periodo di circa 29.5 giorni (periodo sinodico).
2. La retrogradazione dei Nodi, 346.6 giorni (anno delle eclissi).
3. L'intervallo tra due passaggi della Luna nello stesso nodo, di 27.2 giorni detto mese Draconitico.

Affinché vi siano due eclissi uguali, bisogna che questi tre periodi stiano tra loro in rapporti commensurabili.

Già i Caldei nel 500 a.C. calcolarono che questo avveniva all'incirca ogni 6583.3 giorni (circa 18.03 anni), periodo detto ciclo di Saros.

Un ciclo di Saros corrisponde a 223 rivoluzioni sinodiche ed a circa 242 rivoluzioni draconitiche ed ogni ciclo di Saros viene contrassegnato da un numero che lo distingue. Tale numerazione fu introdotta da G. Van der Berghnel nel 1955 che diede il numero 1 al ciclo di Saros che ebbe inizio il 3 giugno 2872 a.C.; l'eclisse del 11/08/1999 ad esempio faceva parte del ciclo di Saros 145.

Dunque ogni 18.03 anni ci si aspetta di vedere la "stessa" eclissi;

Tuttavia le perturbazioni sopra citate determinano leggere variazioni del ciclo di Saros nel tempo. Questo implica che dopo 18.03 anni vedremo una eclissi leggermente diversa da quella precedente. Finché di Saros in Saros l'eclissi diventa parziale e infine si perde il contatto.

La conclusione è che non esiste un perfetta periodicità delle eclissi anche se un ciclo più stabile può essere ottenuto raggruppando in serie cicli di Saros per la durata complessiva di 1315 anni (ancora detto per comodità ciclo di Saros). Questo ciclo millenario inizia e termina con eclissi parziali molto radenti.

Si noti che dopo tre Saros abbiamo un Exeligmos, la cui durata è 54 anni e 31 giorni interi. Dopo questo periodo l'eclissi ritorna anche alla stessa ora. Infine le eclissi collegate da un numero intero di cicli di Saros si ripetono anche nella stessa configurazione geometrica, con la Luna nella stessa fase di librazione: in particolare ciò significa che nel secondo contatto, quello che determina la totalità, e nel terzo (che ne sancisce la fine) sono implicate le stesse montagne e le stesse valli del bordo Lunare di 18 anni prima. Il profilo rugoso della Luna determina la formazione dei grani luminosi di Baily, che prendono il nome dall'Inglese Francis Baily, presidente per molti anni della Royal Society e promotore delle prime spedizioni per studiare le eclissi. Baily segnalò i grani durante l'eclissi anulare del 15/5/1836 a Roxburgshire e poi ne poté confermare l'esistenza durante l'eclissi totale osservata da Pavia nel 8/7/1842.

Per estensione del concetto si parla di Saros anche per le periodicità dei transiti di Venere e Mercurio.



## Ciclo di Metone

Un ciclo di Metone è il più piccolo periodo contenente un numero intero di anni e di mesi sinodici.

Allora considerando che l'anno solare dura 365.2425 giorni e che un periodo sinodico è di 29.5306 giorni, si trova che il periodo più piccolo che approssima tale condizione è di 19 anni, corrispondenti a 235 mesi sinodici.

Il senso pratico di un periodo di Metone è quello di sapere ogni quanto tempo si avrà una certa fase Lunare nello stesso giorno dell'anno. Quindi alla fine di ogni periodo di Metone (19 anni di 365,2425 giorni) le fasi della Luna si ripetono esattamente alle stesse date.

L'inizio del ciclo di Metone è stato stabilito convenzionalmente dall'Abate Dionigi il Piccolo (Dyonisius Exiguus) il quale si era incaricato di stabilire l'esatta ricorrenza della Pasqua dietro richiesta di Papa Giovanni I nel 525 al fine di rendere la Chiesa di Roma indipendente dagli astronomi alessandrini e quindi dalla Chiesa d'Oriente.



## Ciclo Solare e Grande Ciclo delle Pasque

L'uso di contare gli anni dalla nascita di Cristo fu adottato da S. Beda il Venerabile nel 725, seguendo il calcolo di Dionigi il Piccolo, computista e cronologo del VI secolo, chiamato a Roma dal Papa Giovanni I per stabilire un calendario perpetuo delle date della Pasqua. Dionigi sapeva che un ciclo completo delle Pasque durava 532 anni, nel calendario giuliano dove l'anno dura sempre 365 giorni e  $\frac{1}{4}$  e c'è un anno bisestile ogni 4 anni. Infatti Pasqua è la prima domenica dopo il plenilunio di primavera; poniamo che questa domenica sia il 25 marzo, che segue il plenilunio del 22 marzo, dopo 19 anni (un intero ciclo di Metone) il 22 marzo sarà nuovamente Luna piena, ma dopo 19 anni il 25 marzo non è una domenica. 365 giorni sono 52 settimane ed un giorno, quindi per tornare alla domenica 25 marzo dovrebbero passare 7 anni, ma c'è il bisestile che intercala un giorno in più ogni 4 anni. In un lasso di tempo di 7 anni possono capitare 1 oppure 2 bisestili. Quindi, a seconda dei casi, talvolta la domenica 25 marzo torna dopo 5 anni (es. anno III, l'anno seguente è bisestile quindi il giorno della settimana in 5 anni cambia di  $+2+1+1+1+2=7$  e porta in un anno bisestile di tipo IV), oppure dopo 11 anni (se -anno II- dopo due anni capita il bisestile si ha  $+1+2+1+1+1+2=8+1+1+1+2=13+1=14$  che è multiplo di 7 e porta in un anno di tipo I) o anche dopo 6 anni (anno I, quando mancano tre anni al bisestile  $1+1+2+1+1+1=7$  multiplo della settimana e porta in un anno di tipo III) e infine dopo 6 anni (quando capita l'anno bisestile (- anno IV-  $+1+1+1+2+1+1=7$  che porta in un anno di tipo II). anno IV-  $+1+1+1+2+1+1=7$  che porta in un anno di tipo II).

Tipo di anno

Anno di confluenza

Periodo (anni)

I

III

6

II

I

11

III

IV

5

IV

II

6

La sequenza –che in matematica viene chiamata Gruppo- si completa in 28 anni passando da I ad I attraverso I, III, IV, II, I, o iniziando da qualsiasi altro si ritorna allo stesso tipo di anno iniziale. Questo ciclo di 28 anni viene chiamato “solare” (cfr. Treccani, voce Calendario) per una ragione che mi sfugge. Dunque dopo 28 anni febbraio tornerà ad avere 5 domeniche come nel 2004 e il 25 marzo sarà una domenica indipendentemente dal tipo di anno (I, II, III o IV) di partenza. Il multiplo tra 19 e 28 ci garantisce che il plenilunio cada il 22 marzo e la domenica il 25 marzo, per riprodurre la Pasqua nelle medesime circostanze astronomiche. Devono passare 532 anni perché, nel calendario Giuliano, si completi un grande ciclo delle Pasque. Dionigi si accorse che questo era, anno più anno meno, il lasso di tempo trascorso dall’Incarnazione del Verbo alla sua epoca e propose perciò di misurare il tempo a partire da questo evento invece che dall’inizio dell’impero di Diocleziano, che per giunta aveva così tanto perseguitato i cristiani. Dionigi era un uomo coltissimo e difficilmente avrebbe compiuto errori di computazione, anche se si invoca la mancanza di sufficienti documentazioni storiche. E’ ragionevole ritenere piuttosto che egli abbia voluto fissare questa data in modo simbolico volutamente. Infatti un errore fatto su addizioni, sia pure su una sequenza di durate di regni ed imperi di più di 500 anni, non è ascrivibile ad un matematico che sapeva calcolare le date dei pleniluni, ragionando correntemente di epatte e numeri d’oro. Il ciclo grande delle Pasque di 532 anni, che costituiva, nel calendario giuliano, il grande calendario perpetuo, coincideva molto bene (entro qualche anno) con la data dell’Incarnazione. Si consiglia di visitare il sito dedicato al computo della Pasqua pubblicato da Nicolas Addington <http://students.washington.edu/ntype/easter/> sul sito della University of Washington in Seattle (2001), dove è attivo un *applet* con un algoritmo pubblicato su Scientific American con cui calcolare la data della Pasqua sia nel calendario giuliano che in quello gregoriano, e la relativa bibliografia.

Referenze:

Ian Stewart, "Easter is a Quasicrystal", Scientific American, vol. **284** n. 3 p. 80-83; Robert R. Newton "Medieval Chronicles and the Rotation of the

Earth" Johns Hopkins University Press, Baltimore and London (1972) [in particolare cap. 2 p. 15-41 "The Easter Problem", ed anche "Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris and the American Ephemeris and Nautical Almanac", Her Majesty Stationery Office, London (1961).



## Algebra dei Transiti

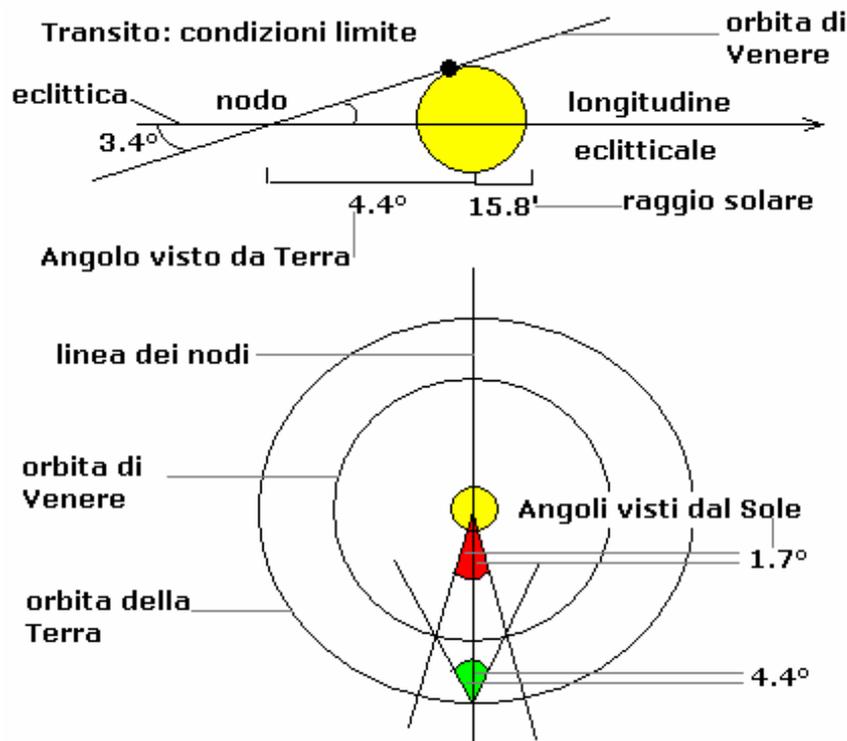
I periodi orbitali (siderali) di Venere e della Terra stanno in rapporto tra loro approssimativamente come 8:13. Questo significa che le due orbite sono risonanti. Per la precisione  $PT=365.25636$  giorni è il periodo siderale della Terra, mentre  $PV=224.701$  giorni è quello di Venere. Ciò significa che la Terra percorre i suoi  $360^\circ$  di orbita in poco più di 365 giorni e Venere in quasi 225. Le velocità angolari dei due pianeti visti dal Sole sono  $\omega_T=360^\circ/365.25636d$  e  $\omega_V=360^\circ/224.701d$ . La velocità angolare con cui Venere supera la Terra è data dalla differenza  $\Delta\omega=\omega_V-\omega_T=360^\circ(1/PV-1/PT)=0.61652^\circ/d$ . Se l'orbita di Venere e quella della Terra giacessero sullo stesso piano, i due pianeti tornerebbero ad allinearsi ogni periodo sinodico PS (dal greco syn odos = stesso percorso) cioè ogni qual volta  $\Delta\omega \cdot PS=360^\circ$ . Questa equazione ci dà  $PS=1/(1/PV-1/PT) \sim 583.92$  giorni. Sul periodo sinodico di Venere era basato il calendario dei Maya.

Poiché i piani dell'orbita dei Terra e Venere sono diversi, pur avendo il Sole in uno dei fuochi, dopo ogni periodo sinodico è la proiezione di Venere sul piano dell'eclittica (il piano dell'orbita terrestre) che ritorna in allineamento con la Terra. In questo caso si determina solo una congiunzione inferiore. Questa diventa un transito quando Venere si trova in prossimità di uno dei due nodi dell'orbita.

Si chiamano nodi gli estremi della linea generata dall'intersezione del piano dell'orbita di Venere con il piano dell'eclittica.

Quanto Venere deve essere prossima ai nodi dell'orbita? Dato che la sua orbita è inclinata di  $i=3^\circ.394$  sul piano dell'eclittica, Venere può distare al massimo (sia a Est che a Ovest dal nodo) di un angolo di longitudine  $\hat{J}$  tale che  $\hat{J} \cdot \tan(i) \leq 15'.77$ .

Il raggio solare angolare all'afelio visto da Terra ha un valore minimo di  $15'.77$ . L'equazione precedente ha come soluzione  $\hat{J} \leq 4^\circ.432$ , angolo visto da Terra. Siccome Venere quando è in congiunzione inferiore si trova a circa  $\frac{1}{4}$  di U.A. ( $0.277$  U.A.) dalla Terra, e a  $\frac{3}{4}$  dal Sole ( $0.723$  U.A), sulla sua orbita quell'angolo  $\hat{J}$  visto da Terra corrisponde ad un angolo  $\sim \hat{J}/3$  ( $0.38 \cdot \hat{J}$ ) visto dal Sole. Questo corrisponde a  $\sim \hat{J}/(3 \cdot 360^\circ) \leq 0.00472$  cioè lo  $0.472\%$  del periodo siderale di Venere. Per Mercurio vale l'equazione  $\hat{J} \leq 15'.77/\tan(7^\circ.004) = 2^\circ.139$  visti da Terra, ed essendo Mercurio più vicino al Sole che alla Terra in congiunzione inferiore, dal Sole questo angolo è  $1.58$  volte maggiore, cioè  $\hat{J}$  corrisponde allo  $0.941\%$  della sua orbita ( $PM=87.969$  d).



La ragione per cui i transiti di Venere sono così rari sta proprio nel fatto che il rapporto PV/PT non è esattamente uguale ad  $8:13$ , ma quasi. Questo "quasi" permette anche la possibilità di avere transiti anche all'altro nodo dell'orbita, facendo sì che la periodicità non sia ogni  $243$  anni, ma ci sia un intervallo di  $121.5$  anni in mezzo.

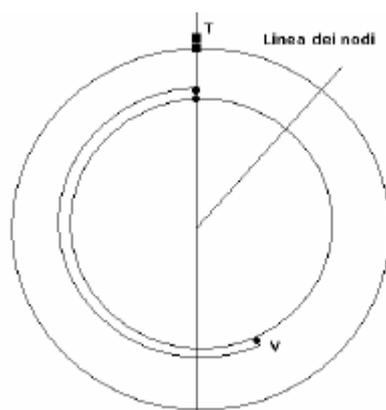
Infatti se il suddetto rapporto fosse esattamente pari a 8:13, avremmo 5 transiti (ovvero 5 congiunzioni inferiori, di cui una col transito, se teniamo conto della non complanarità delle orbite) ogni 8 anni esatti. Già i Caldei si erano accorti che Venere mostrava un ciclo di otto anni, in capo al quale le congiunzioni inferiori tornavano a verificarsi più o meno nello stessa stagione dell'anno. Proprio grazie a questo ciclo è stato possibile datare con precisione una delle cadute di Babilonia, quella del 1499 a. C., a partire dalla quale si è ricostruita tutta la cronologia babilonese (cfr. V. G. Gurzadyan, *Sky and Telescope*, **100**, 40, 2000). Rappresentando su un disegno le configurazioni in cui ogni 1.6 anni ( $1.6 = 8 / (13 - 8) = 8 / 5 = 584.41$  d) si ripete la congiunzione abbiamo che esse sarebbero disposte ai vertici di un pentagono regolare inscritto in un cerchio.

Il valore esatto di 1.59866 anni (583.92 d) fa sì che il pentagono non sia proprio regolare, ed il sesto punto non coincida con il primo, ma se ne discosti un poco. Così di 8 anni in 8 anni il pentagono ruota ed il vertice che coincideva con la linea dei nodi perde man mano l'allineamento, finché un altro vertice vada a finire vicino alla linea entro l'angolo di tolleranza richiesto. Questo accade dopo 121.5 anni all'altro nodo-se l'allineamento di partenza era perfetto-, mentre l'allineamento al primo nodo torna dopo 235 anni dall'ultimo allineamento. Infatti dopo 8 anni se l'allineamento di partenza era perfetto ci si trova ancora entro l'angolo di tolleranza per un transito, ma poi occorre attendere altri 235 anni per riaverlo allo stesso nodo. Questo fa sì che si consideri stabile solo il periodo di 243 anni. Lo stesso dicasi per i transiti all'altro nodo. Deduciamo ora le formule che generano questa sequenza.



## Transiti in Frac

Dopo un anno Venere ha compiuto più di un giro della sua orbita, precisamente 1.6255217 giri (365.25636/224.701). Perché si abbia di nuovo un allineamento allo stesso nodo, bisogna che passi un numero intero  $n$  di anni, e che, parimenti, anche Venere abbia percorso un numero intero di orbite.



Dopo un giro completo della Terra, Venere ne ha compiuti 1.625

Deve valere l'equazione  $\text{frac}(1.6255217 \cdot n_1) \leq 0.00472$ , dove con frac si intende la parte decimale del numero, es.  $\text{frac}(10.332) = 0.332$ . Questa equazione ci garantisce che i numeri interi  $n$  che la soddisfano sono gli anni in cui Venere si trova nei pressi del nodo della sua orbita

abbastanza vicino da determinare un transito sul disco solare. Se cerchiamo l'allineamento con il nodo opposto, che la Terra raggiunge dopo metà anno, abbiamo che Venere in metà anno ha già percorso 0.3127608 giri in più rispetto a metà giro. Dopo un anno e mezzo avrà fatto altri 1.6255217 giri e così via. L'equazione per l'altro nodo è  **$\frac{1.6255217 \cdot n_2 + 0.3127608}{1} \leq 0.00472$** . Ad  $n_2$  bisogna ricordarsi di aggiungere metà anno, e ciò fa sì che i transiti avvengano a coppie, separate da 121.5, 113.5 e anche 105.5 anni l'8 giugno e l'8 dicembre.

Venere	Mercurio
8	39.5
113.5	46
121.5	85.5
235	92
243	131.5
356.5	177.5
364.5	217
478	223.5
486	263
591.5	269.5
599.5	309
607.5	348.5
713	355
721	394.5
834.5	401
842.5	440.5
956	486.5
964	526
1069.5	532.5
1077.5	572
1085.5	578.5

Analogamente per Mercurio abbiamo le equazioni  **$\frac{4.1521031 \cdot n}{1} \leq 0.00941$**  e  **$\frac{4.1521031 \cdot n_2 + 2.0760516}{1} \leq 0.00941$** . Anche le equazioni  **$1 - \frac{r}{PS} \leq 0$**  del periodo siderale contemplano i casi in cui Venere e Mercurio debbano ancora arrivare al nodo, ma ne distano abbastanza poco da poter dar luogo ad un transito.

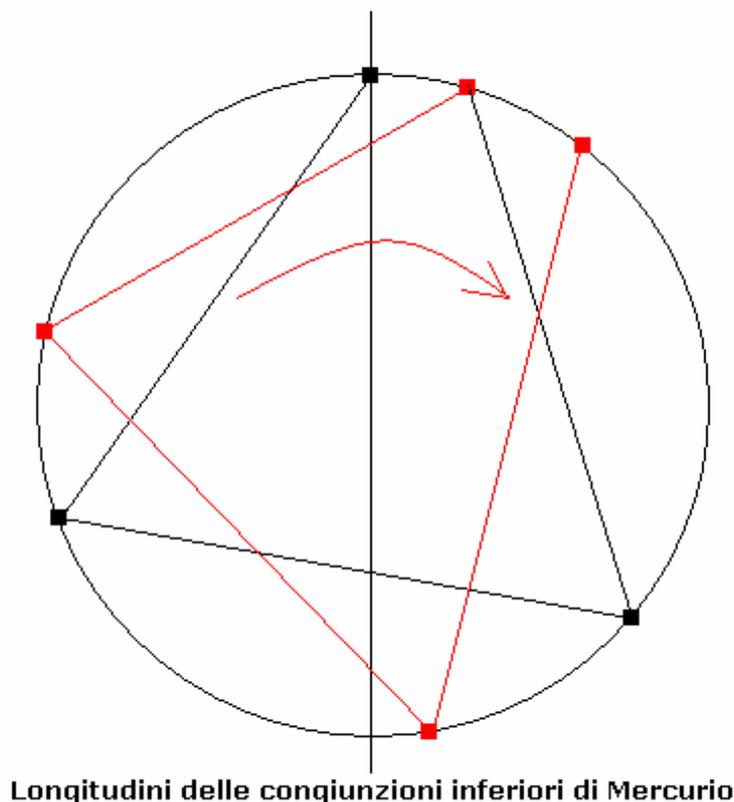
Queste equazioni, va notato, forniscono una sequenza di transiti che inizia con un transito esattamente centrale. Possono variare alcuni intervalli se il primo transito avviene senza l'allineamento perfetto. Il tabulato seguente mostra quali interi  $n$  soddisfano queste equazioni, e la serie dei transiti così ottenuta ( $n_2$  dà i numeri semi interi). Chiaramente in questi calcoli sono state assunte le approssimazioni che le orbite siano circolari e percorse a velocità angolare uniforme e che la linea dei nodi sia fissa.

Si noti che per Mercurio le condizioni che la linea dei nodi sia fissa e che l'orbita sia circolare sono

maggiormente violate rispetto a Venere. Per Venere abbiamo che la Terra interseca il suo nodo nelle stesse date, che vanno aumentando uniformemente di un giorno ogni 111 anni. Per Mercurio l'effetto è

maggiore, un giorno ogni 82 anni. Mercurio, infine, poiché ruota molto velocemente attorno al Sole ha più occasioni di avere congiunzioni inferiori, in media ogni 115.88 giorni. In ogni anno ne fa perciò 3.152, disegnando un triangolo quasi equilatero inscritto nel cerchio. Il quarto vertice non si sovrappone al primo, facendo ruotare il triangolo dell'anno successivo nella direzione della progressione delle longitudini delle congiunzioni, finché non si ha il riallineamento dalla longitudine della congiunzione con i nodi.

Le periodicità sui transiti di Mercurio sono di più, tuttavia questo algoritmo non trova tutti gli eventi, ma soltanto quelli in cui uno dei vertici del triangolo va in allineamento con i nodi. Considerando anche gli altri due vertici, i transiti sul Sole sono 3 volte più frequenti (12-13 per secolo).



I nodi corrispondono alla posizione della Terra il 9 Novembre ed il 7

Maggio. Quando Mercurio è al suo perielio (a Novembre) è molto più vicino al Sole rispetto a Maggio ed è più probabile l'allineamento con la Terra. Perciò abbiamo 3 transiti a Novembre contro 2 a Maggio. Le sequenze dei transiti di Novembre sono ogni 7, 13, 46 anni, mentre per Maggio ogni 13 e 46 anni. 46 anni è pari a ad un numero intero di rivoluzioni di Mercurio (191) con solo 0.34 giorni di scarto, e corrisponde al Saros di Mercurio. Questa asimmetria dei transiti di Novembre e Maggio non può essere riprodotta dal nostro algoritmo, poiché noi consideriamo le orbite circolari uniformi.



## **Eclissi di Sole del 9 aprile 1567: Clavio osservò un'eclissi anulare?**

Padre Cristoforo Clavio pubblicò nel suo commentario alla Sfera del Sacrobosco che vide un anello attorno al Sole, nel momento in cui attendeva l'instaurarsi dell'oscurità. Egli aveva già osservato nel 1561 un'eclissi totale mentre era studente a Coimbra, quindi sapeva bene cosa accade durante un'eclissi totale.

La notizia compare già nell'edizione del 1583, anche se la prima edizione del 1570 non la contiene.

Nei primi anni del '600 Keplero mandò a chiedere a Clavio conferma di questo fatto, poiché era convinto che l'anello fosse dovuto alla presenza di un'atmosfera Lunare. Nell'epistolario di Keplero (edito da C. Frisch nel 1832) ci sono le lettere di Giovanni Remo e di Ziegler che si sono recati personalmente da Clavio, il quale rispose pilatescamente "Quello che ho scritto ho scritto".

Infatti Clavio era ben cosciente che secondo Tolomeo non c'era possibilità di avere un'eclissi anulare, dato che il diametro angolare della Luna è sempre maggiore di quello del Sole.

Albatenio, con il commento di Regiomontano, aveva invece fatto la prima previsione teorica di un'eclissi anulare, impugnando le conclusioni di Tolomeo. Quella di Clavio era la prima documentazione di un tale fenomeno.

La teoria dell'atmosfera Lunare è stata in auge fino al 1860 quando si è

dimostrato che le protuberanze solari, visibili durante le eclissi, avevano una parallasse molto più piccola di quella Lunare. E abbiamo una testimonianza da un articolo di Dunn del 1769 su Philosophical Transactions che ancora l'idea di atmosfera Lunare aveva largo seguito. Oggi il dato di Clavio è impugnato per un'altra ragione: l'eclissi, se veramente anulare, implicherebbe che 4 secoli or sono il Sole avesse avuto un diametro intrinseco maggiore di circa 1 parte su mille rispetto ad oggi. Non accettando questa possibilità Morrison e Stephenson (1998) hanno avanzato una serie di ipotesi per smontare nuovamente l'identificazione dell'eclissi di Clavio come anulare, ma Clavio, che insegnò matematica al Collegio Romano per quasi 50 anni e fu soprannominato dai contemporanei il "secondo Euclide", non era tipo da prendere abbagli.

Periodi climatici più freddi e periodi più caldi nella storia recente dell'umanità potrebbero essere ascrivibili proprio a variazioni entro una parte su mille del diametro solare. Per questo si è aperto un nuovo filone della storia dell'Astronomia applicata.



## **L'eclisse totale di Sole del 22 aprile 1715 di Edmund Halley**

Edmund Halley pubblicò sulle Philosophical Transactions il resoconto di quella eclissi. La data è nel calendario giuliano, poiché in Inghilterra non era ancora stata accettata la riforma del calendario di Gregorio XIII e corrisponde al 3 maggio. Questa eclissi è stata ristudiata proprio per verificare le ipotesi sulla variabilità secolare del diametro solare.

Halley scopritore della periodicità della famosa cometa, ricorda che se è vero che si verificano 28 eclissi solari centrali in un periodo di 18 anni e che almeno 8 di esse passano sul parallelo di Londra, 3 delle quali sono totali, tuttavia era dal 1140 che non si verificava un'eclisse totale osservabile proprio da Londra. Halley reputò che fosse l'occasione buona per studiare l'eclisse e per misurare la dimensione dell'ombra della Luna proiettata sull'Inghilterra; perciò spedì a molte persone un po' in tutto il regno una piccola mappa dell'isola, su cui era tracciato il tragitto dell'ombra, con la richiesta di raccogliere osservazioni sullo svolgimento dell'eclisse, specialmente di annotare con cura il periodo di completa oscurità; fortunatamente il giorno dell'eclisse il tempo atmosferico fu buono e il cielo sereno su quasi tutta l'Inghilterra.

Halley in persona fece le sue osservazioni per conto della Royal Society, di cui era segretario, alla presenza e con l'aiuto di molti membri di essa,

e servendosi di un grande quadrante di quasi 80 cm di raggio collegato ad un telescopio da 180 cm, di un ottimo orologio a pendolo e di diversi telescopi per gli altri osservatori presenti. Innanzitutto tarò quadrante e orologio, e trovò che le letture del quadrante dovevano essere aumentate di un minuto di grado e che l'orologio andava 14 secondi avanti. Operazioni di questo genere venivano fatte anche nei giorni precedenti all'eclissi ed erano procedura comune ancora più di un secolo dopo. Anche il Padre Audiffredi per il transito di Venere del 1761 dovette svolgere queste operazioni preliminari.

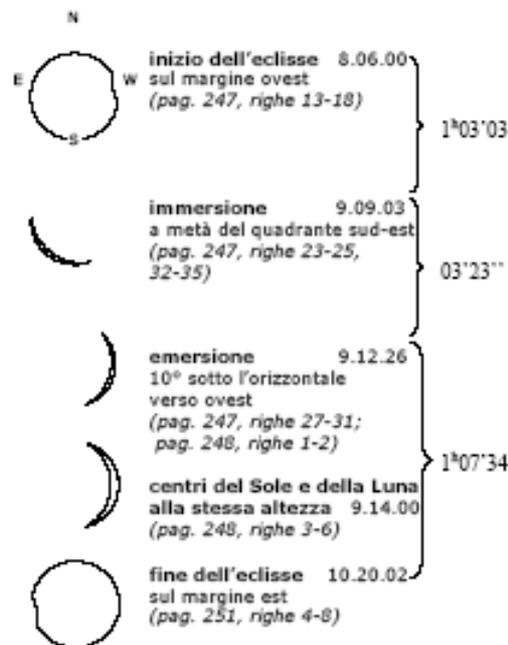
L'eclisse iniziò alle 8.06 del mattino, l'immersione completa del Sole si verificò dopo 1h03'03" e l'emersione 3'23" dopo; alle 10.20 l'eclisse terminò. Queste misure sono importanti, perché se prese da diversi luoghi danno il tragitto e la velocità dell'ombra della Luna sulla Terra. Halley riporta molti dettagli, come il cambiamento del colore del cielo, la posizione e la forma dell'ultima falce del Sole, la formazione di un anello luminoso largo circa un decimo del diametro della Luna. Per spiegare perché l'ultima falce di Sole verso est prima dell'immersione fosse tanto debole da poter essere osservata con gli occhi non protetti in alcun modo mentre invece la prima falce all'emersione ad ovest era di splendore insopportabile, Halley fa due ipotesi.

Un'ipotesi, corretta, secondo cui la pupilla dell'occhio, inizialmente contratta a causa della luce del giorno e quindi limitante la luce proveniente dalla falce all'immersione, si dilata poi per adattarsi alla sopraggiunta oscurità e lascia così passare tutta la luce della falce all'emersione; l'altra ipotesi (che noi oggi sappiamo errata) si basa sul fatto che essendo il giorno Lunare lungo quasi come un mese terrestre, la parte di Luna che all'immersione stava per coprire il Sole ad est era quella che era stata riscaldata per 30 giorni e che perciò aveva un'atmosfera piena di vapori, mentre quella che all'emersione stava per scoprire il Sole ad ovest era restata fredda per 30 giorni e perciò la sua atmosfera era priva di vapori e più trasparente ai raggi del Sole. Anche l'anello biancastro che si forma attorno al Sole durante l'oscurità completa viene interpretato da Halley come l'atmosfera della Luna (oggi sappiamo che si tratta invece della corona solare). È curioso il fatto che Halley fosse convinto che la Luna possedesse un'atmosfera, ipotesi fatta già da Keplero ed in voga fino alla seconda metà del XIX secolo.

L'autore passa poi a parlare di alcune misure eseguite da altri membri della Società e da ospiti stranieri, in particolare la misura dell'occultazione di tre macchie solari. Quindi descrive l'utilizzazione di almeno una ventina di resoconti dalle altre località inglesi, delle quali si serve per determinare:

il percorso del centro dell'ombra; i limiti del percorso dell'ombra a nord e a sud; la figura geometrica dell'ombra, intersezione di un cono con una sfera; figura poco studiata dai matematici, ma che con buona approssimazione può essere presa come un'ellisse (intersezione di un

cono con un piano); la posizione degli assi dell'ellisse dell'ombra; la direzione e la velocità del moto dell'ombra; la grandezza dell'ombra. L'autore sembra soddisfatto di tutte le osservazioni che gli sono state comunicate, eccetto che per quelle dell'osservatorio astronomico di Greenwich (misure di Flamsteed) che si riducono alla sola misura della durata di oscurità totale, con un risultato di 3'11" contro i 3'23" di Halley confermati da altri osservatori.



*Aspetti dell'eclisse totale di Sole del 22 aprile (3 maggio) 1715 come osservata da Halley.*

Le misure dei tempi eseguite da Halley e le sue osservazioni sull'aspetto delle fasi sono riportate nello schema al lato, nel quale sono indicate anche le righe del testo contenenti le informazioni che hanno permesso di ricavare i disegni sull'andamento dell'eclisse.



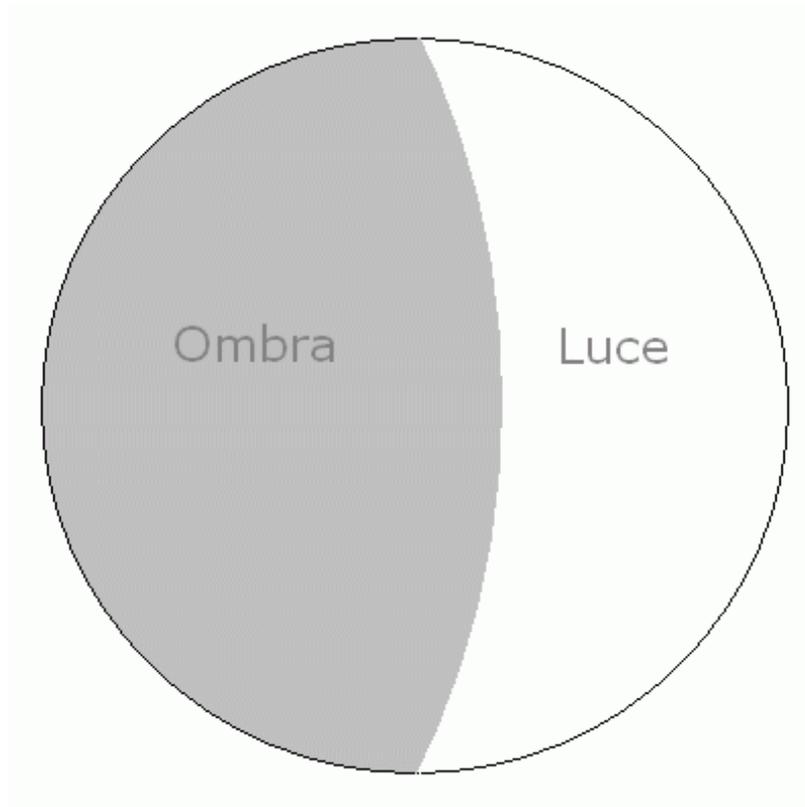
## Fasi di Venere: una prova Copernicana

Le *fasi* della Luna e dei pianeti.

### Definizione

In astronomia la *fase* descrive la condizione di illuminazione di un corpo celeste osservato dall'esterno. I corpi del Sistema Solare hanno un emisfero illuminato dal Sole e uno in ombra. Generalmente si osservano parti di entrambi questi emisferi: il rapporto delle porzioni visibili dà la fase.

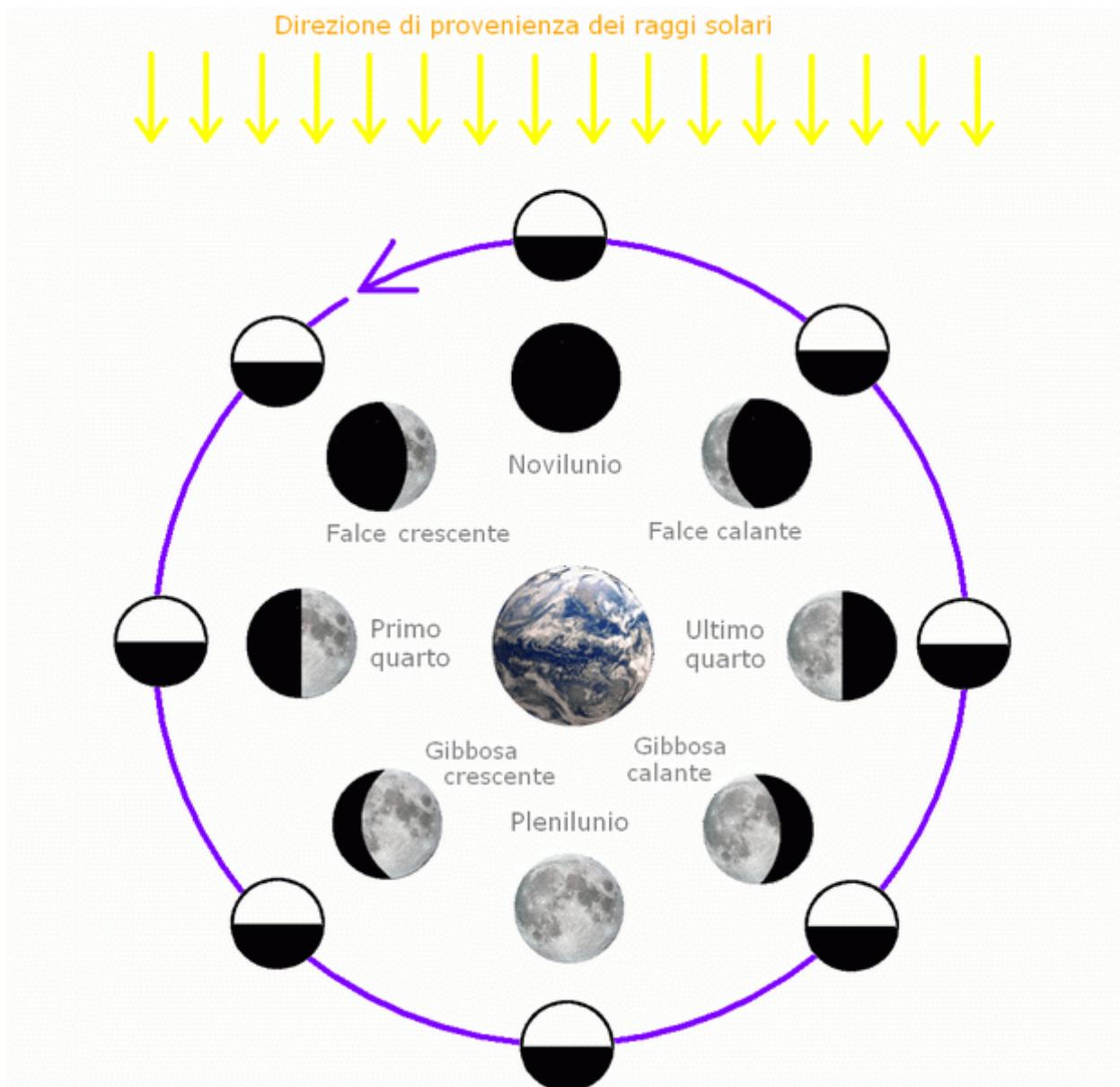
Più precisamente, la *fase* è il rapporto tra l'area illuminata del disco apparente di un corpo e l'area dell'intero disco.



*Il rapporto tra l'area bianca e l'area del cerchio è la fase*

### **Le fasi lunari**

Mentre il nostro satellite naturale orbita intorno alla Terra, la posizione reciproca fra Terra, Luna e Sole cambia continuamente, dando luogo alle fasi lunari (per lo stesso motivo dalla Luna si può assistere ad un analogo cambiamento delle fasi della Terra):



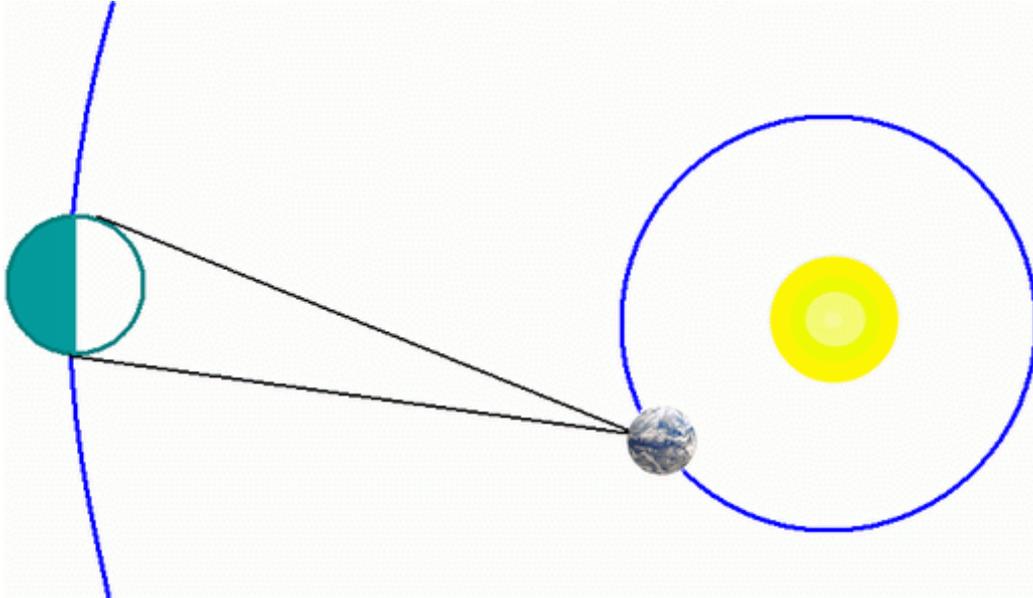
*La Terra al centro e la Luna nella sua orbita (in blu): per ogni posizione è illustrata la fase che il nostro satellite ci mostra.*

A seconda che la Luna si trovi in *congiunzione* o in *opposizione* al Sole (cioè nella stessa direzione o in direzione opposta), ne osserviamo solo l'emisfero in ombra (Luna Nuova) o quello illuminato (Luna Piena). Nelle posizioni intermedie le proporzioni dei due emisferi visibili variano dando luogo a fasi differenti.

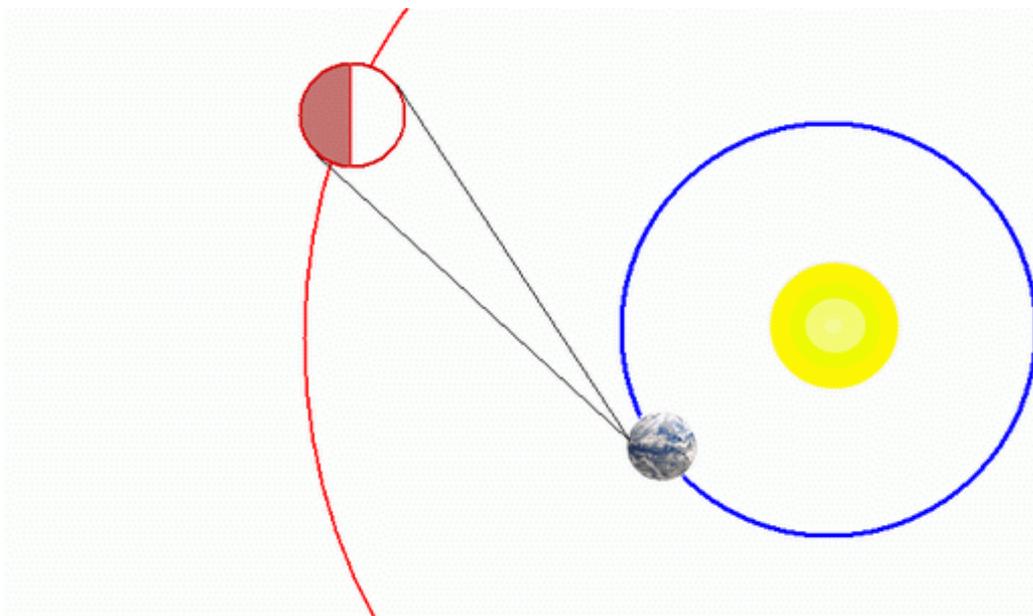
### **Non tutti i pianeti mostrano tutte le fasi.**

Solo Mercurio e Venere, che sono gli unici pianeti interni all'orbita terrestre, mostrano fasi simili a quelle lunari. Per gli altri pianeti, tranne

Marte, la direzione di osservazione e quelle di illuminazione si discostano di molto poco e quindi dei pianeti esterni osserviamo solo l'emisfero illuminato. Marte, essendo molto vicino alla Terra, è l'unico pianeta esterno che può mostrare una sensibile fase gibbosa.



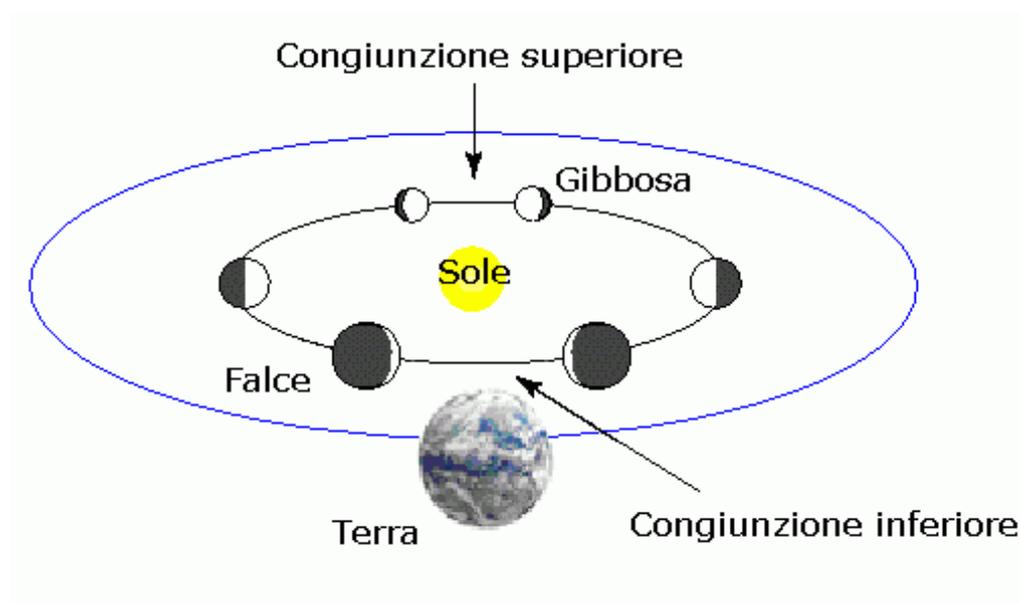
*Dalla Terra vediamo i pianeti esterni sempre illuminati in pieno o quasi, e per questo non mostrano le fasi.*



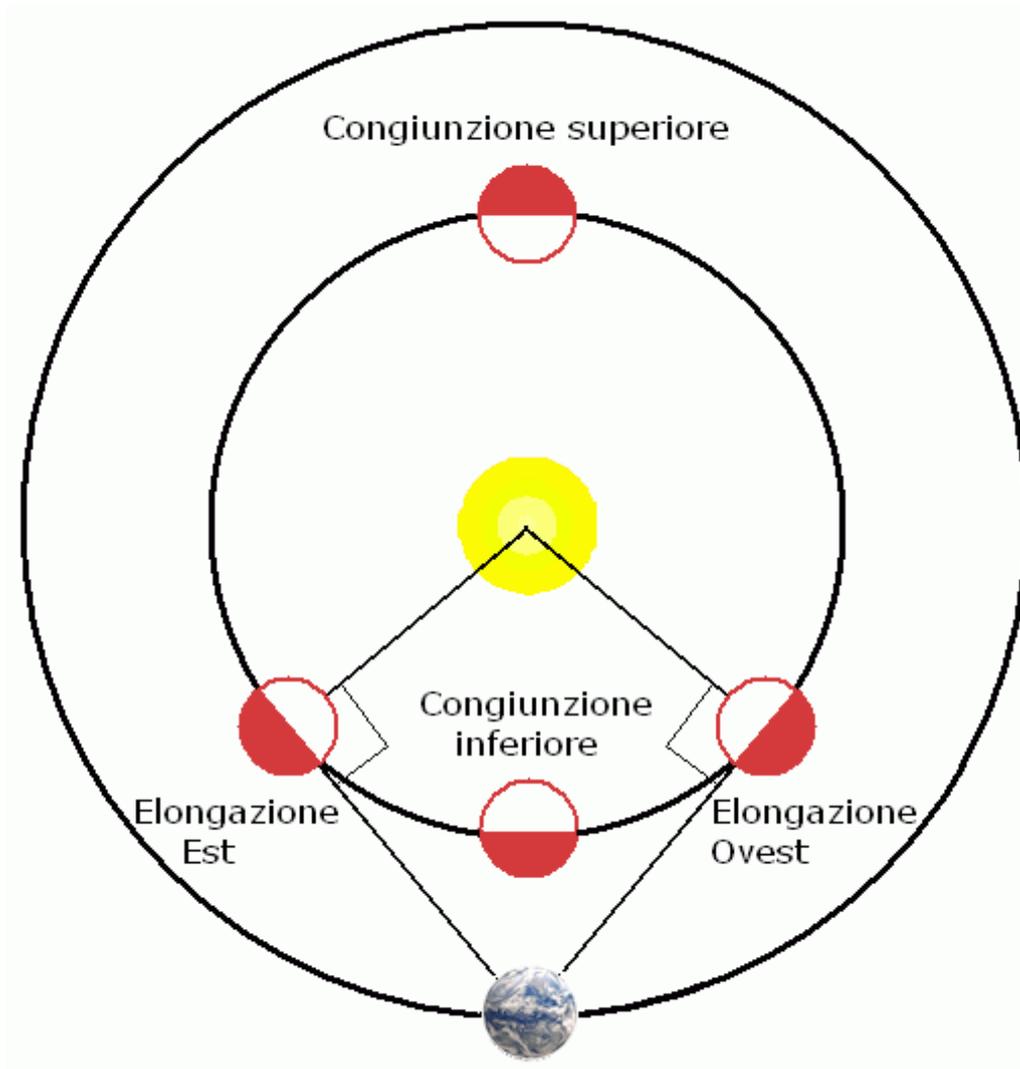
*A causa della sua vicinanza, Marte, in certe posizioni della sua orbita (quando dista circa 90° dal Sole), ci rivolge parte dell'emisfero in ombra, mostrando una fase gibbosa.*

### Le fasi dei pianeti interni.

*Venere vista dalla Terra: cambiando posizione rispetto al Sole assume diverse fasi*



Poiché l'orbita di Venere è minore e interna a quella della Terra, non vedremo mai Venere allontanarsi oltre un certo limite (circa 43°) dal Sole. Quando Venere (o Mercurio) raggiunge la massima distanza angolare dal Sole, si dice che si trova alla massima *elongazione* dal Sole. L'elongazione può essere orientale od occidentale a seconda della posizione del pianeta rispetto al Sole (vedi figura seguente).



### Fasi e dimensioni.

Mentre la Luna ci appare sempre della stessa grandezza a prescindere dalla fase, sia Venere che Mercurio cambiano le loro dimensioni apparenti durante il ciclo delle fasi. Poiché ci mostrano il lato illuminato solo quando si trovano al di là del Sole, la loro fase piena corrisponde alle minime dimensioni angolari. Viceversa, avvicinandosi alla congiunzione inferiore, mostrano falci sempre più sottili e sempre più grandi.

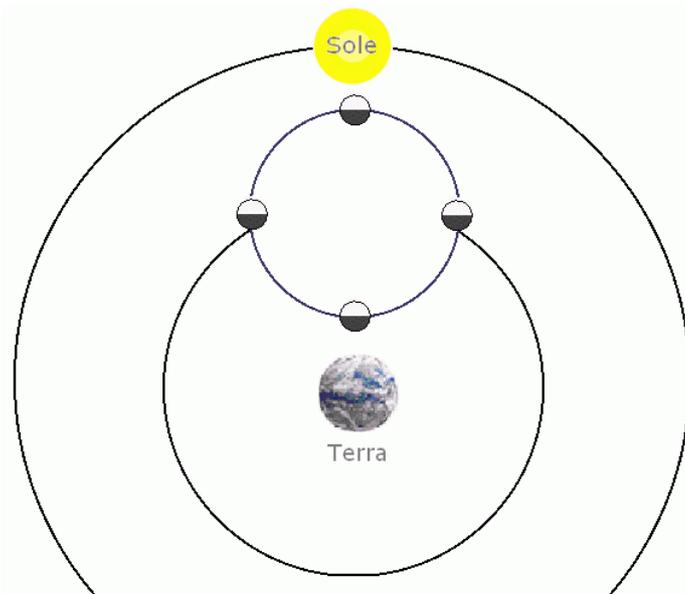


*Fotografie di Venere durante un'intera elongazione; in basso, vicino alla congiunzione superiore, Venere è piccola, in alto, prossima alla congiunzione inferiore, è quasi sei volte più grande (foto di Chris Proctor, TBGS Observatory).*

### **Le fasi nel sistema tolemaico e in quello copernicano.**

Secondo il sistema tolemaico (geocentrico) sia Venere che Mercurio avrebbero dovuto mostrare delle fasi, però differenti da quelle ammesse dal sistema copernicano (eliocentrico).

Nel sistema di Tolomeo, infatti, né Venere né Mercurio potevano trovarsi "al di là" del Sole rispetto alla Terra, e quindi non ci avrebbero mai rivolto completamente il loro emisfero illuminato. Questi pianeti sarebbero stati in fase gibbosa o piena solo se avessero ruotato attorno al Sole (sistema eliocentrico).



*Nel sistema geocentrico un pianeta interno (Mercurio o Venere) è vincolato ad orbitare attorno alla Terra internamente rispetto al Sole.*

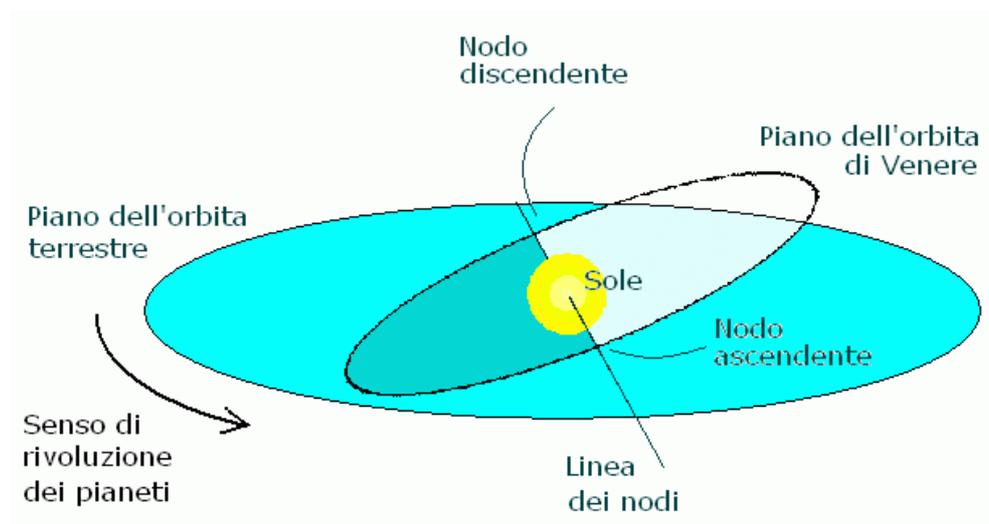
L'osservazione di Galileo della fase gibbosa di Venere diede quindi un colpo di grazia al sistema tolemaico, raccogliendo una nuova prova a favore dell'eliocentrismo. Poiché sostenere la tesi eliocentrica era considerato eretico, Galileo dovette camuffare la propria osservazione del 1610 con una metafora poetica: "*Cynthiae figuras aemulatur mater amorum*" cioè: "La madre degli amori (Venere) imita le configurazioni di Cinzia (la Luna)".

### **Eclissi e transiti.**

Come mai non avviene un'eclisse di Sole ad ogni novilunio, o un transito ad ogni congiunzione inferiore? Questo avverrebbe senz'altro se la Luna e la Terra e i pianeti interni avessero le orbite esattamente sullo stesso piano. In realtà le orbite di ciascun pianeta sono leggermente inclinate l'una rispetto all'altra, sicché quando ad esempio Venere si trova fra noi e il Sole, normalmente gli passa "sopra" o "sotto" (trovandosi più a Nord o più a Sud del piano orbitale terrestre), e non produce un transito. In questo caso si può assistere al cosiddetto *scavalcamiento di fase*, la rotazione del lembo illuminato durante la congiunzione inferiore e il passaggio dalla fase calante a quella crescente. Perché si abbia un transito, Venere deve trovarsi nel punto della sua orbita che è complanare con quella terrestre. Esistono due di tali punti,

detti *nodi*, uno nel quale il pianeta passa da Sud a Nord (*nodo ascendente*) e uno in cui il pianeta passa da Nord a Sud (*nodo discendente*).

Anche l'orbita lunare, inclinata di  $5^{\circ} 09'$  rispetto a quella terrestre, ha due nodi e le eclissi di Sole e di Luna si verificano solo nei noviluni e pleniluni in cui la Luna è prossima ad un nodo.



*L'orbita della Terra e quella di Venere osservate da Nord. Si può avere un allineamento preciso fra Terra, Venere e il Sole solo quando Venere passa per uno dei nodi.*

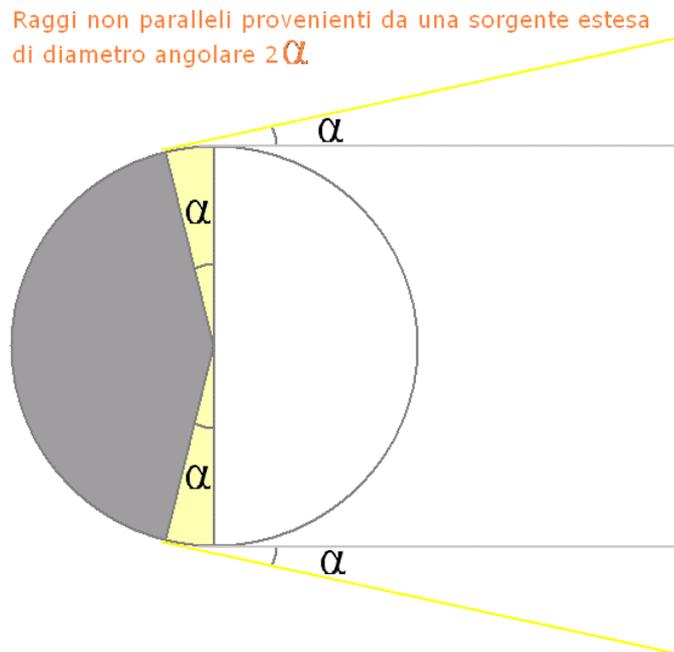
# SAROS

## Le fasi della Luna in dettaglio.

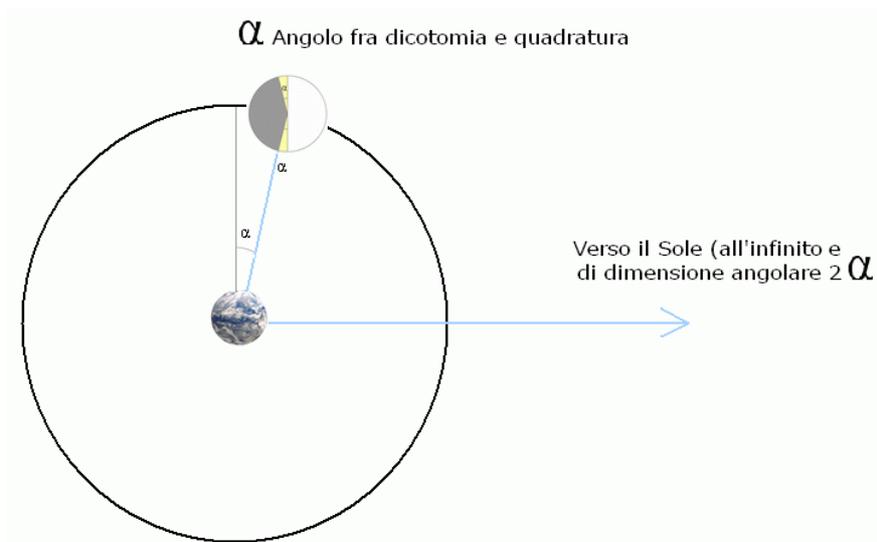
Lo schema delle fasi lunari esposto fin qui è valido solo con l'approssimazione di un Sole puntiforme e all'infinito, ovvero con raggi di luce paralleli. Ma il Sole in realtà non è né puntiforme, né all'infinito. Questo modifica leggermente lo schema esposto, poiché la porzione illuminata della superficie lunare diventa maggiore della metà, e quindi le fasi si spostano.

In particolare, l'aspetto più interessante è che la *dicotomia*, ovvero la fase per cui osserviamo esattamente la Luna illuminata per metà, non coincide con la *quadratura*, ovvero il momento in cui la Luna dista  $90^\circ$  dal Sole.

### Effetto della non puntiformità del Sole sulla dicotomia.

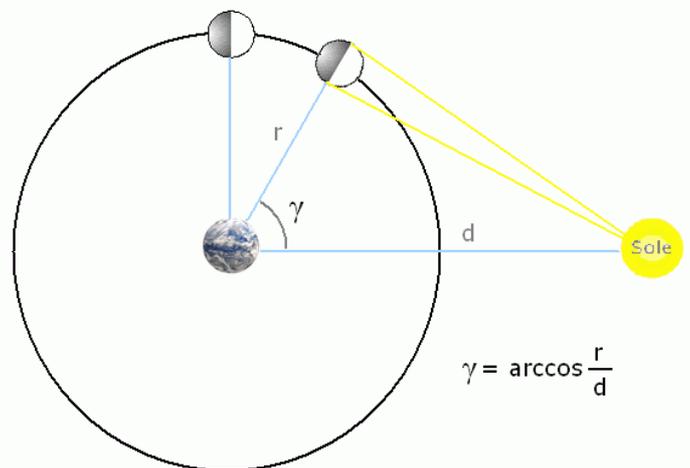


*La luce del Sole raggiunge una porzione di Luna al di là dell'emisfero rivolto verso il Sole. Tale porzione dipende dalle dimensioni angolari del Sole (qui pari a  $2\alpha$ )*



*La maggior porzione illuminata anticipa la dicotomia di un angolo  $\alpha$  di  $25.7'$ , che la Luna percorre in circa 27.5 minuti.*

### **Effetto della distanza non infinita del Sole sulla dicotomia.**

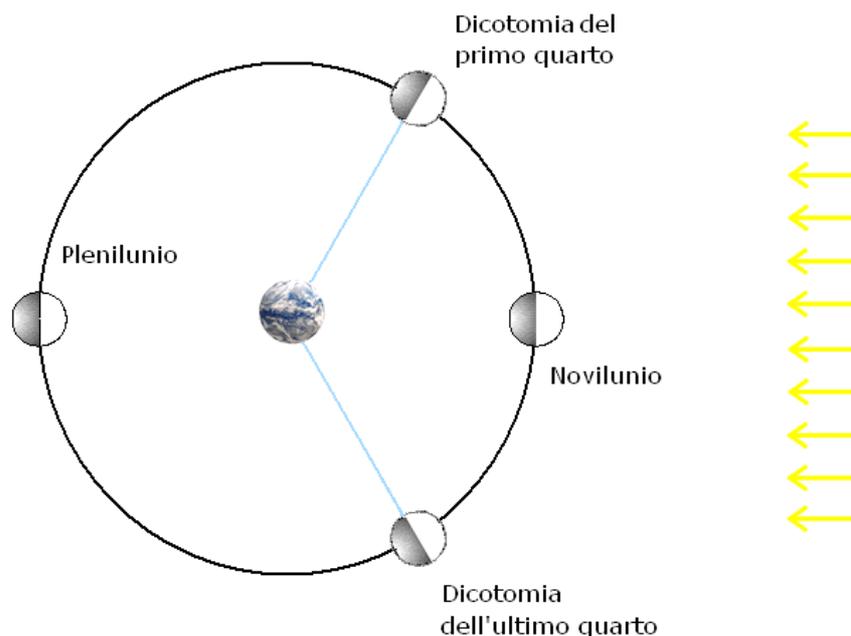


*Poiché i raggi del Sole non giungono parallelamente su Terra e Luna, la distanza angolare fra Sole e Luna alla dicotomia non è di  $90^\circ$ , ma inferiore, e dipende dalla distanza di questi due corpi celesti dalla Terra.*

Il primo calcolo della distanza del Sole si basò proprio sulla misura dell'angolo Sole-Luna alla dicotomia, e fu effettuato da Aristarco. La sua misurazione fu molto sottostimata ( $87^\circ$ ), portando ad una distanza del Sole di circa 19 volte quella della Luna anziché quasi 400 volte superiore (circa 7 milioni di Km contro i circa 149 reali). Il valore dell'angolo Sole-Luna alla dicotomia è in realtà di  $89^\circ 51'$  (i 9' di distanza vengono percorsi dalla Luna in 17.7 minuti)

A causa della non puntiformità del Sole e della sua distanza finita, la Luna raggiunge la dicotomia  $27.6 + 17.7 = 45,3$  minuti prima della *quadratura* (distanza di  $90^\circ$  dal Sole).

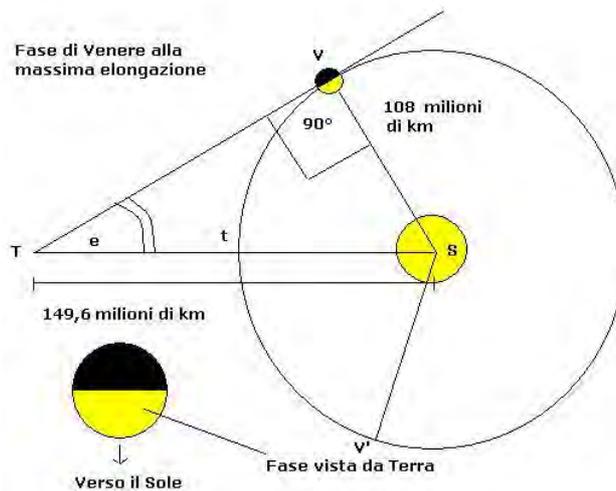
Questo anticipo della dicotomia sul primo quarto, e il relativo ritardo sull'ultimo quarto, implicano che, mediamente, la Luna permane  $45_{\text{min}} \times 2 = 1.5_{\text{h}}$  in più nella semiorbita contenente il plenilunio rispetto alla semiorbita contenente il novilunio:



# SAROS

## Venere: fase ed elongazione

La dipendenza della fase dall'elongazione è una legge trigonometrica. Da Terra Venere non si allontana mai più di  $46.3^\circ$  gradi dal Sole. In approssimazione di orbite circolari, con semiassi, ovvero raggi che stanno tra loro come  $\sim 3:4$ , questo limite sull'angolo è vale  $\hat{e} \text{ max} = \arcsin(3/4) \sim 48^\circ$



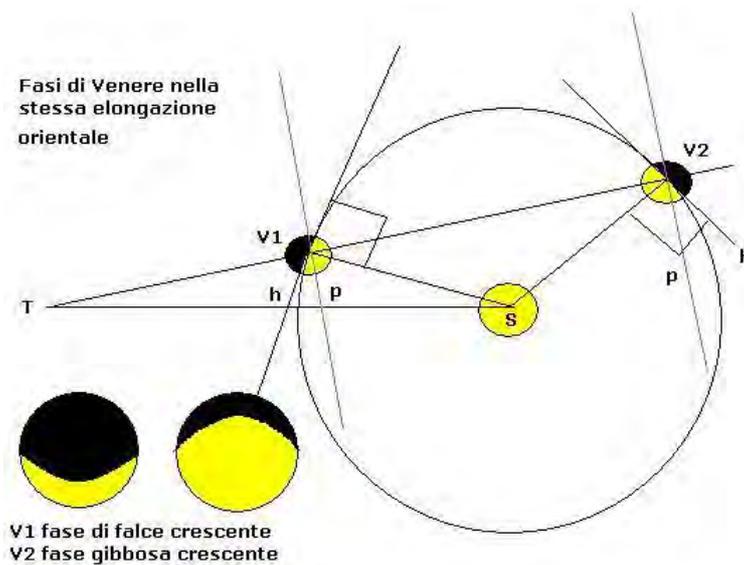
In quella circostanza il pianeta appare illuminato per metà, poiché la linea di vista TV è perpendicolare alla linea VS, essendo TV tangente all'orbita.

Nelle posizioni intermedie la linea TV forma con VS un angolo maggiore a  $90^\circ$  nell'arco  $VtV'$ , dove la fase risulterà una falce crescente o calante, mentre è inferiore a  $90^\circ$  nell'arco complementare, più distante dalla Terra, dove la fase è gibbosa.

La forma geometrica della parte illuminata è un arco di cerchio, esterno, congiunto con un arco di ellissi, interno, che confina con la parte non illuminata dal Sole. Sul piano perpendicolare alla linea SV giace il terminatore (linea di confine tra luce e buio). Questo piano individua un cerchio massimo sul pianeta, che è tangente alla linea di vista TV solo alla massima elongazione. Da Terra ci appare come una linea che biseca il disco di Venere, illuminato per metà.

In tutti gli altri casi il terminatore appare come un'ellissi, di cui vediamo

l'arco rivolto verso di noi.



Il semiasse maggiore dell'ellissi vale  $a=1$ . Il semiasse minore  $b$  di questa ellissi è dato dalla proiezione sul piano perpendicolare a TV passante per il centro di Venere del punto in oscurità più vicino a TS (più in basso in questa figura).

Per conoscere analiticamente questa proiezione occorre conoscere l'angolo  $hV1p$ , e l'angolo  $hV2p$  che sono uguali.

Conoscendo  $\hat{\epsilon}$ , ed applicando il teorema dei seni al triangolo TV1S, si ha che  $\sin(\hat{\epsilon})/V1S = \sin(TV1S)/TS$ , da cui  $\sin(TV1S) \sim \sin(\hat{\epsilon}) \cdot 4/3$ .

Ora l'angolo  $hV1p = 90^\circ - (TV1S - 90^\circ) = 180^\circ - TV1S$ , poiché  $TV1S - 90^\circ$  è l'angolo TV1h, che è proprio il complementare a  $90^\circ$  di  $hV1p$ .

Dunque la proiezione  $b = \cos(hV1p) = \cos(180^\circ - \arcsin[4/3 \cdot \sin(\hat{\epsilon})]) = b = -\cos(\arcsin[4/3 \cdot \sin(\hat{\epsilon})])$ . Per la fase di falce crescente  $b$  indica la parte oscura in più della metà, mentre per quella gibbosa la parte illuminata in più della metà.

La percentuale di area illuminata totale è perciò

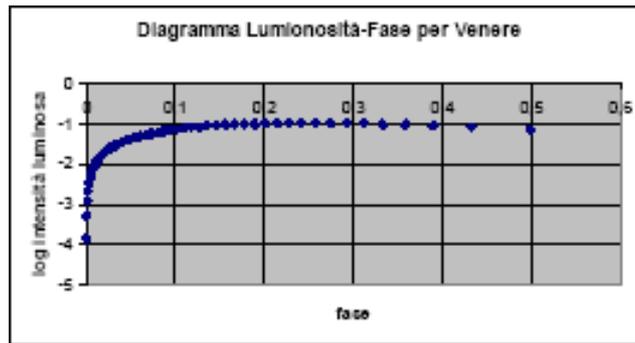
$(\pi a^2 \pm \pi ab) / 2 \pi a^2 = (1 \pm b) / 2$ , poiché l'area dell'ellissi vale  $A = \pi ab$ .

La fase è definita come la percentuale di disco illuminata vista da Terra:

$\varphi = (1 \pm b) / 2 = [1 \pm \cos(\arcsin[4/3 \cdot \sin(\hat{\epsilon})])] / 2$ .

36

La massima luminosità, che dipende dal prodotto di  $\varphi$  per l'inverso del quadrato della distanza TV, si ha per valori della fase attorno al 30%, con  $\hat{\epsilon} \sim 44^\circ$ .



La tabella di seguito mostra la corrispondenza tra angoli di elongazione e fase di illuminazione. E' interessante notare come la fase cambia rapidamente attorno alla massima elongazione.

Elongazione [°]	Fase crescente [1=100%]	Fase Gibbosa [1=100%]
0	0	1
4	0,002167	0,997833
8	0,008684	0,991316
12	0,019596	0,980404
16	0,034991	0,965009
20	0,055017	0,944983
24	0,079913	0,920087
28	0,110073	0,889927
32	0,146173	0,853827
36	0,189439	0,810561
40	0,242383	0,757617
44	0,311497	0,688503
48	0,432552	0,567448
48,59	0,498294	0,501706



## Eclissi, Occultazioni e “Delta T”

Lo studio delle antiche osservazioni delle eclissi può essere utile per poter meglio studiare le variazioni del ritmo di rotazione della Terra. Fin dall'antichità la rotazione della Terra ha fornito uno standard temporale, il *giorno solare apparente*; ma, a causa della forma e della posizione del pianeta, la durata del *giorno solare* può variare di 30 secondi rispetto alle 24 ore nel corso dell'anno. L'introduzione del *Tempo Medio*, che divenne uno standard universale nel 1884, fu agevolato dall'avvento di orologi migliori. Ma nel 1939 Sir Harold Spencer Jones, decimo Astronomo Reale a Greenwich, dimostrò che questo standard aveva delle falle: le osservazioni avevano rivelato oscillazioni della durata del giorno.

Queste variazioni trovavano la loro causa in motivi interni ed esterni al pianeta Terra. Le maree (provocate dalla Luna ma anche dal Sole) sono la causa esterna principale. Quelle interne sono molteplici e tra questi vi sono i cambiamenti globali del livello del mare associati con variazioni climatiche. Questi infatti, con la variazione della disposizione dei ghiacci, modificano leggermente il momento d'inerzia del pianeta rallentando o accelerando lo spin.

Oggi, con l'introduzione del *Tempo Atomico* nel 1955, le variazioni, su base annuale e stagionale, possono essere registrate con esattezza ma non è facile rilevare un trend in base a questo corto periodo. Per questo le “rudimentali” osservazioni dell'Antichità e del Medioevo possono essere utili per campionare un vasto lasso di tempo.

Verso il XVIII secolo si è incominciato a sospettare che il ritmo di rotazione della Terra fosse variabile: Kant, nel 1754, pensò che gli effetti della Luna e del Sole sulle maree potessero influenzare questo ritmo. Inoltre si incominciò a rilevare un'accelerazione del moto orbitale della Luna, un fenomeno legato al rallentamento della rotazione della Terra. Questa vale  $-22''.44$  per secolo<sup>2</sup>. Nel 1905 venne anche rilevata un'accelerazione del Sole.

L'esperienza ha dimostrato che, fra tutti i tipi di osservazioni pretelescopio, solo quelle riguardanti le eclissi potevano fornire informazioni utili. In questo campo alcune civiltà, per motivi diversi, hanno lasciato valide osservazioni: Babilonia, Cina, Europa e i domini arabi. Le osservazioni possono essere divise in due campi: misurazioni temporali del “contatto” tra Sole e Luna e descrizioni di eclissi solari

totali o parziali, quest'ultime descritte, nella maggior parte dei casi, in maniera qualitativa perché pochi astronomi ne furono testimoni.

Alcune osservazioni babilonensi sono descritte da Tolomeo (*Almagesto, Libro VII*) ma la fonte principale resta i testi astronomici babilonensi scritti su tavolette d'argilla. Gli astronomi di Babilonia osservavano regolarmente gli eventi celesti e li misuravano probabilmente con una clessidra.

Anche in Cina i diversi eventi celesti venivano seguiti dagli astronomi della capitale. Le prime osservazioni degne di nota risalgono ad un periodo compreso tra il 720 e il 480 a.C., anche se le registrazioni diventano sistematiche dopo il 200 a.C. I Cinesi, prima del 5° secolo d.C., avevano dedicato poca attenzione alle eclissi lunari e da questo periodo in poi si hanno misurazioni temporali precise delle eclissi.

Per quanto riguarda l'Europa alcune osservazioni greche, databili tra il 200 a.C. e il 136 d.C., sono citate nell'*Almagesto*. Vi sono inoltre alcune allusioni greche e romane alle eclissi ma esse sono di dubbio valore perché spesso i luoghi di osservazione non vengono citati e spesso non risulta chiaro il grado di oscuramento.

Le osservazioni arabe del periodo 830 – 1020 d.C. sono accessibili e la maggior parte è raccolta nel trattato di Ibn Yunus.

Tutte queste osservazioni non possono fornire dati utili per stabilire variazioni sul breve periodo ma esse risultano importanti per valutare trend sul lungo periodo, perché coprono un periodo di circa due millenni. Si intende con " $\Delta T$ " la differenza tra il tempo scandito da un orologio atomico e quello ottenuto dalla 86400 parte del giorno terrestre. In questi anni sovente a capodanno è stato necessario aggiungere un secondo in più, per tenere conto di questa differenza che va aumentando. Negli ultimi 4 secoli il " $\Delta T$ " ha avuto un andamento parabolico con il minimo nel XIX secolo ed ora in rapida crescita. L'eclissi di Clavio costituisce l'unico punto del XVI secolo, dell'altro ramo (decrescente col tempo) della parabola.



## Occultazioni Stellari dall'Almagesto al Naval Observatory

La Luna, nella sua orbita, si trova ad occultare delle stelle più o meno luminose. Già Tolomeo si rese conto dell'importanza del fenomeno per una teoria Lunare più accurata, ovvero per poter prevedere con maggiore accuratezza la posizione della Luna in un dato momento. Nel VII libro dell'Almagesto sono riportate alcune occultazioni di stelle brillanti, come Spica, che hanno permesso agli astronomi moderni di stabilire le accelerazioni secolari a cui è sottoposta la Luna per effetti gravitazionali di ordine superiore al problema dei due corpi puntiformi. Terra e Luna infatti non sono puntiformi e quindi le leggi di Keplero non bastano a descrivere l'orbita in modo accurato. Le maree che la Luna solleva sulla Terra seguono la Luna costantemente, con un ritardo dovuto agli attriti interni tra le molecole d'acqua. La Luna, a causa di questo ritardo, esercita una coppia di forze sui rigonfiamenti mareali che non sono in asse con la congiungente fra i due centri di Terra e Luna. Questa coppia di forze rallenta gradualmente la rotazione terrestre, e negli ultimi 600 milioni di anni si è passati da 400 giorni in un anno agli attuali 365. Le maree esercitate dalla Terra sulla Luna, viceversa, hanno già prodotto il risultato di rallentare ed infine bloccare la rotazione Lunare ad un periodo uguale al suo periodo orbitale (27 giorni ed  $1/3$ ). Altra conseguenza del fenomeno, poiché l'energia totale del sistema orbitante si deve conservare, è il graduale allontanamento dell'orbita della Luna dalla Terra, dovuto al trasferimento dell'energia cinetica rotazionale dei due corpi in quella orbitale, con orbite più larghe. Questa teoria è dovuta a G. H. Darwin (*The Observatory*, **3**, 79-84, (1879)) e perfezionata da P. Goldreich (*MNRAS* **130**, 159-181, (1965)) e spiega l'accelerazione secolare del moto Lunare (che è un riflesso della decelerazione dello spin terrestre), scoperta grazie all'analisi dei dati dell'Almagesto.

A rigori il problema dell'orbita Lunare non è neppure dei due corpi non puntiformi, ma c'è anche il Sole e gli altri pianeti, ed infine, esistono degli effetti di Relatività Generale che contribuiscono a perturbare l'orbita kepleriana.

Con l'uso di orologi meccanici sempre più affidabili tra il 1700 e il 1900, valendosi di una teoria Lunare accurata, era possibile fare il "punto nave" con grande accuratezza mediante l'osservazione di un'occultazione Lunare.

L'importanza di una accurata misura della longitudine in mare era ben nota da secoli, e la ricerca astronomica era stata incoraggiata dalle monarchie e dai governi nazionali di tutto il mondo.

Negli Stati Uniti viene fondato l'Osservatorio Navale, con sede a Washington, di cui Simon Newcomb fu direttore per tutta l'ultima parte del secolo XIX. Qui furono sviluppati molti degli studi della moderna astrometria, e nel 1963 fu pubblicata da Chester Watts una mappa delle zone marginali della Luna, allo scopo di conoscere l'istante dell'occultazione con una precisione tale da tenere in considerazione anche il bordo rugoso della Luna.

Con le occultazioni stellari radenti (chiamate grazes dagli astronomi) è possibile studiare anche i diametri stellari, esaminando la figura di diffrazione che la luce produce quando intercetta il lembo (bordo) Lunare.

L'interesse negli studi astronomici era dunque stimolato da esigenze militari e commerciali, specialmente all'epoca in cui le potenze coloniali spedivano navi ed astronomi in tutto il mondo.

Lo studio del transito di Venere, in quei casi, fu un buon pretesto per reperire finanziamenti per viaggi come quelli del Capitano Cook.



## La Parallasse Solare

La parallasse è lo spostamento apparente di un punto rispetto ad uno sfondo di riferimento quando si guarda tale punto da due angolazioni diverse, il che capita ad esempio guardando il pollice alternativamente da un occhio e dall'altro. Noterete che il pollice salta rispetto allo sfondo. La parallasse solare è l'angolo sotto il quale il centro del Sole vede il raggio equatoriale della terra quando essa è a distanza media. Per oggetti lontani ed estesi si può ricavare la distanza dalla nota relazione  $\theta = b/d$  dove  $d$  è la distanza dell'oggetto,  $b$  le dimensioni lineari apparenti e  $\theta$  l'angolo sotteso.

E' allora chiaro che dalla conoscenza della parallasse solare è possibile ricavare la distanza media del Sole semplicemente sostituendo nella formula citata  $b=R$  (Raggio equatoriale terrestre) ed  $d=UA$  (Distanza media Terra-Sole detta Unità Astronomica) così da ottenere la relazione  $\pi'' = 206265'' R/UA$

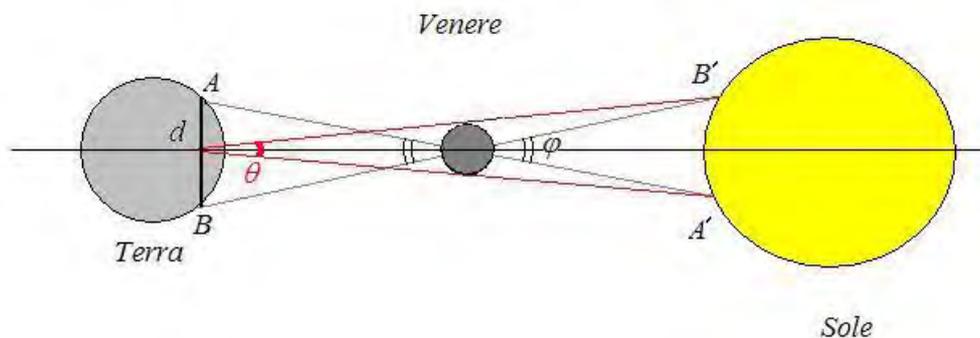
Dove  $206265''$  è la conversione radianti-arcosecondi e  $\pi''$  la parallasse orizzontale equatoriale media del Sole in secondi d'arco.

Il valore della parallasse solare attualmente adottato è  $\pi'' = 8''.794148 \pm 0''.000007$  corrispondenti ad una distanza di 149 597 870 Km che è appunto l'Unità Astronomica.

## Misura dell'Unità Astronomica con il metodo di Halley

Durante il transito di Venere due osservatori A e B vedono due corde diverse sul disco solare a causa della parallasse.

Nella figura sono indicati l'angolo  $\theta$  con il quale sono osservati i due transiti dalla Terra, l'angolo  $\varphi$  tra i cammini se fossero osservati da Venere ed infine la distanza  $d$  tra A e B sulla Terra la quale, si faccia attenzione, è la corda tra A e B e non la distanza dell'arco AB.



Adesso basta notare che i triangoli  $\theta A'B'$  ed  $\varphi A'B'$  sono simili, perciò sapendo l'altezza di uno dei due si conosce anche quella dell'altro: dalla terza legge di Keplero, la quale asserisce che  $(a_3/T_2) = \text{costante}$  essendo  $a$  il semiasse maggiore dell'orbita e  $T$  il periodo di rivoluzione, ricaviamo la distanza Venere-Sole essere 0.72 volte quella Terra-Sole. Da questo si trova facilmente che per piccoli angoli (la cui tangente può essere confusa con gli angoli stessi)  $\varphi = \theta / 0.72$ .

Dunque misurando  $\theta$  si può sapere  $\varphi$ .

Ci resta solo da misurare la distanza  $d$  tra A e B: sarà facile convincersi che  $\tan(\varphi/2) = (d/2) / (\text{distanza Terra-Venere})$  da cui si trova la distanza Terra-Venere, sempre approssimando per piccoli angoli.

Allora la distanza Terra-Sole cercata si ottiene da questa riutilizzando la terza legge di Keplero: per avere una misura dell'UA basta dividere la distanza Terra-Venere per 0.28.

Questo metodo fu proposto da Edmund Halley nel 1677, ma pubblicato

solo 40 anni dopo sulle Philosophical Transactions (**34**, 454 (1716)) da segretario della Royal Society.



## **Gli Inglesi ed il Transito di Venere**

Il primo transito di Venere nell'era del telescopio risale al 1631 ma si suppone che nessuno ebbe la opportunità di osservare quell'evento, tra l'altro, radente. Jeremiah Horrocks osservò quello del 1639.

Il Transito di Venere e il Calcolo dell'Unità Astronomica:

Nel 1677 Edmond Halley propose di compiere spedizioni in più parti del mondo per cronometrare il transito di Venere e determinare così la distanza tra il Sole e la Terra conosciuta come Distanza Astronomica (sigla A. D. = astronomical distance).

Egli spiegò, infatti, osservando il transito da diversi punti strategici sparsi per la Terra, sarebbe stato possibile calcolare con precisione la distanza tra la Terra ed il Sole. Nel 1768 la Royal Society e l'Ammiraglio Britannico organizzarono una lunga spedizione nei mari del sud Pacifico con l'intento di osservare e calcolare il transito di Venere.

In Cosa Consiste un Transito.

Il transito del pianeta Venere sul Sole si verifica due volte (tra l'altro ravvicinate tra loro di 8 anni) ogni circa 121.5 anni.

Gli eventi principali durante un transito di Venere sono rappresentati dai contatti molto simili a quelli osservati durante una eclisse anulare.

Ogni transito si compone di 4 contatti.

Durante il contatto I che dà il via al transito, il disco del pianeta si trova in una posizione esternamente tangente rispetto a quello del Sole.

Nel contatto II invece il pianeta occupa già una posizione internamente tangente al Sole e da qui si può osservare l'intero disco del pianeta stesso.

Durante il passaggio dal contatto II al III si verifica il "Greatest Transit", cioè l'istante in cui il pianeta passa più vicino al centro del Sole.

Il contatto III avviene quando il pianeta, dopo aver raggiunto la parte opposta del disco solare, è ancora una volta tangente al Sole.

Con il contatto IV termina il transito: il disco del pianeta è infatti di nuovo esternamente tangente al Sole.

Mentre i contatti I e II determinano la fase di "ingressus" del pianeta, il III e IV contatto rappresentano la cosiddetta fase di "egressus".

E' opportuno segnalare anche un altro fenomeno che si verifica durante il transito (per la precisione al II ed al III contatto) chiamato effetto "black drop". Non appena il disco di Venere tocca il contorno del Sole ed ha inizio la fase di egresso apparente dal sole, una specie di lunetta appare

tra il pianeta ed il Sole . Simulare l' effetto "black drop" è molto semplice: basta avvicinare il pollice e l' indice proiettati su uno sfondo luminoso: ecco che tra le dita, vicinissime, apparirà una sorta di lunetta.



## Il Transito di Venere : Sud Pacifico 1769

Durante la spedizione del 1768-1771 promossa dalla Royal Society e dall'Armata Britannica, le osservazioni del transito di Venere furono condotte a Tahiti dal capitano Cook, dall'astronomo C. Green dell'Osservatorio di Greenwich ed il dr. D. Solander, un naturalista danese. Sfortunatamente, le osservazioni non furono portate avanti con la dovuta accuratezza poiché gli scienziati non si resero conto che l' atmosfera del pianeta Venere oscurava/rendeva indistinti i punti di contatto con il disco solare producendo l' effetto "black drop" di cui si è parlato prima. Fu il Capitano Cook a darne un resoconto piuttosto dettagliato.

I risultati prodotti dalle osservazioni del 1769 costituirono un importante passo in avanti rispetto alle precedenti determinazioni. Inoltre, grazie alle tre spedizioni di Cook, furono sperimentati i cronometri o orologi astronomici che risolsero il problema di determinare la longitudine in mare. In particolare James Cook nel 1772 a bordo della nave "Resolution" usò un cronometro costruito da Kendall sul modello del "number four", il quarto della serie realizzata da John Harrison (1693-1776), l'inventore del cronometro marino.

Nel 1714 si era costituita in Inghilterra, su iniziativa del matematico W. Whiston, una Commissione - il *Board of Longitude* - che, con l'apposito *Longitude Act*, istituì premi di entità variabile, dalle 10.000 alle 20.000 sterline in funzione della precisione ottenuta, per chi avesse inventato un cronometro marino in grado di determinare la longitudine con l'approssimazione da 1° a 0°,50.

La "sfida" fu accettata da John Harrison (1693-1776), originario dello Yorkshire, figlio di un falegname, il quale, allettato dal premio, costruì il suo primo cronometro marino nel 1715, composto essenzialmente da parti di legno.

Nel 1735 egli presentò il cosiddetto *number one*, uno strumento massiccio azionato non da un pendolo, ma da due bilancieri, collegati da fili metallici in modo che i rispettivi movimenti fossero opposti l'uno all'altro, così da neutralizzare gli effetti del movimento della nave.

Così al termine delle osservazioni del transito di Venere da Tahiti la marina inglese ha in mano oltre a dati utili per misurare più precisamente l'Unità Astronomica anche gli strumenti per la determinazione della longitudine più accurati della storia della marina.

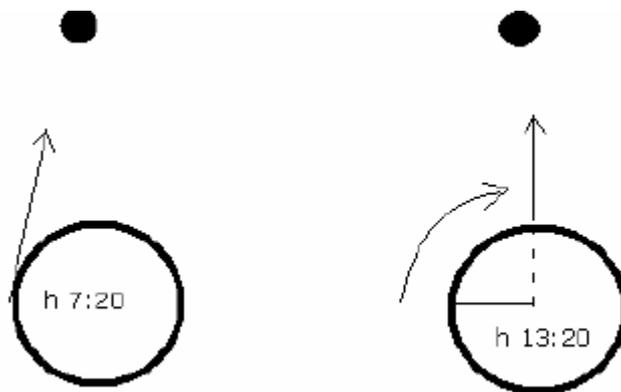
Si noti infine che per determinare la posizione di Cape Venus erano state condotte molte osservazioni astronomiche che servivano anche per

controllare il funzionamento dei cronometri.



## Parallasse Orizzontale e Transito di Venere e Black Drop

Durante tutta la durata del transito a causa della rotazione terrestre l'osservatore si trova a percorrere una base di circa 6000 km, che corrisponde a metà del diametro terrestre.



Nella figura è rappresentato il caso del transito dell'8 giugno 2004. Alle 7:20 il Sole è poco dopo l'alba, mentre alle 13:20 è praticamente al meridiano (ora legale).

Nel 1761, la base fu ancora minore, poiché all'alba il transito era già a metà, e finì poco dopo le 9 del mattino.

Di questo effetto bisogna tenere conto nella riduzione dei dati osservativi. Bisogna tenere presente sempre che la parallasse solare è pari al diametro terrestre visto dal Sole, per cui uno spostamento dell'osservatore, durante il transito, di metà di tale valore è tutt'altro che trascurabile.

Per questo è tanto importante cronometrare esattamente l'istante dell'immersione e quello dell'emersione del pianeta dal disco solare. Ed è proprio in questi due eventi che è emerso il problema della black drop, la goccia nera. Fenomeno dovuto alla diffrazione della luce che ritarda l'istante d'immersione ed anticipa quello di emersione mediante un collegamento (nero) tra disco nero del pianeta e (cielo nero esterno al) bordo solare, fu osservato per la prima volta nel transito di Venere a Tahiti nel 1769 dal Capitano Cook e dall'astronomo Green.

Naturalmente bisogna ricordare che il Sole viene sempre osservato o mediante filtri, o mediante proiezione su schermi, e questo fa sì che il contrasto di luminosità tra cielo e fotosfera, mostri il cielo di colore nero. La percezione della durata temporale della black drop è risultata dipendente dall'apertura dei telescopi, ed è stata rilevata anche in altre circostanze: eclissi di Sole anulari e contatti durante le eclissi parziali. Nelle eclissi totali, l'istante della totalità è soggetto anch'esso alle leggi della diffrazione, e con l'opportuna strumentazione (con sensibilità migliore del centesimo di secondo) si possono ritrovare gli andamenti temporali dell'illuminazione che vengono osservati nelle occultazioni stellari.

Nel caso di Venere si è ritenuto anche che l'atmosfera del pianeta, non conferendo al lembo venusiano un bordo netto, fosse in parte responsabile del fenomeno della black drop.

Per i dettagli sulla spiegazione del famoso fenomeno si rimanda all'articolo di Guido Horn d'Arturo (1922) messo in rete sul sito dell'osservatorio astronomico di Bologna. Horn d'Arturo spiegò il fenomeno come dovuto solo alla concorrenza di astigmatismo delle lenti e dell'occhio. Anche lunule ed aloni luminosi di Venere mentre transita sul Sole sono dovuti alle stesse cause.

Se teniamo conto anche del moto orbitale della Terra la base da cui viene osservato il Sole durante tutta la durata del Transitò varia di ben 30 km al secondo, totale 648000 km che è pari al raggio del Sole (15' d'arco).

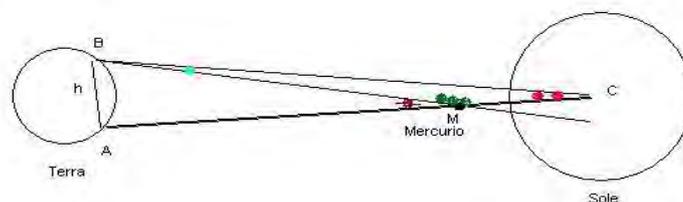
Anche la rifrazione della luce attraverso gli strati atmosferici gioca un ruolo importante nella riduzione dei dati, come viene menzionato perfino nel Diario Romano. Dall'alba al mezzodì la rifrazione atmosferica ha un'incidenza di alcuni minuti d'arco.

## Il Transito di Mercurio sul Sole e la misura dell'Unità Astronomica

L'evento del 7 maggio 2003, in cui Mercurio è transitato sul disco solare, è stato visibile dall'Italia. Per quello di Venere dell'8 giugno 2004, quando Venere passerà davanti al Sole, nessuno potrà dire di aver visto quello precedente del 1882. Si tratta dunque di eventi rari, e assistervi è anche un fatto culturale.

In passato sono stati compiuti viaggi epici per andarli ad osservare, non tanto per la loro rarità, quanto per la possibilità che il fenomeno offre di misurare la distanza Terra-Sole, fondamentale nella determinazione delle distanze cosmiche. Gian Domenico Cassini e Edmund Halley svilupparono, verso la fine del XVII secolo, metodi per misurare la parallasse solare con i transiti di Mercurio e Venere.

Esemplifichiamo il metodo con questo semplice esercizio di trigonometria piana: due osservatori posti a latitudini diverse sulla Terra vedono Mercurio proiettarsi sopra due punti diversi del Sole. L'osservatore in alto vede Mercurio attraversare il disco solare più in basso del centro C, mentre quello in basso lo vede passare proprio sopra il centro.



$\alpha$  è l'angolo di cui Mercurio si discosta dal centro C del Sole indicato con il pallino verde chiaro.

$h$  è la distanza in km sulla retta che unisce i due osservatori (passando

anche all'interno della Terra).

$\beta$  è l'angolo con i due pallini rossi con vertice al centro del Sole.

$\gamma$  è l'angolo con i tre pallini con vertice in Mercurio e  $\delta$  è il suo supplementare alla sua sinistra, sempre con vertice in Mercurio, indicato con un pallino con un "taglio in testa" per usare un linguaggio musicale; potete verificare che  $\delta = \alpha + \beta$ . (1)

Ora gli angoli  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  sono tutti molto piccoli (pochi secondi d'arco, e 1 secondo d'arco vale circa 1/200000 radianti) per cui la tangente è uguale al valore dell'angolo espresso in radianti.

Nel triangolo ABM, rettangolo in A, vale la relazione trigonometrica  $h = AM \cdot \tan(\delta) \sim AM \cdot \delta$ . (2)

Nel triangolo CBM, sempre retto in A, vale l'analoga relazione  $h = AC \cdot \tan(\alpha) \sim AC \cdot \alpha$ . (3)

Per misurare l'Unità Astronomica possiamo sfruttare questa circostanza, insieme alla terza legge di Keplero, che per la Terra e Mercurio si esprime in formule:

$$(T_t)^2 / (a_t)^3 = (T_m)^2 / (a_m)^3. \quad (4)$$

Dove  $a_t = AC$  e  $a_m = AM$  sono i semiassi dell'orbita della Terra e di Mercurio rispettivamente e i T sono i loro corrispondenti periodi orbitali.

La (2) tenendo conto di (1) (2) e delle definizioni della (4) si riscrive  $h = (a_t - a_m) \cdot \tan(\alpha + \beta) \sim (a_t - a_m) \cdot (h/a_t + \beta)$  (5)

Le equazioni (4) e (5) formano un sistema di due incognite: i semiassi  $a_t$  ed  $a_m$ , essendo misurabili sia  $h$  che  $\beta$ .

La soluzione del sistema è  $a_t = k \cdot h / (1 - k) \cdot \beta$ , (6) con  $k = (T_m / T_t)^{2/3}$ .

Sostituendo ai simboli i valori corrispondenti ( $h$ ,  $r$ ,  $\beta$  sono dei valori plausibili, ma non reali).

$T_m = 88$ giorni	$T_t = 365\frac{1}{4}$ giorni	$h = 6000$ km	$\beta = 10'' = 1/20000$ rad	$k = 0.3872$
----------------------	----------------------------------	---------------	------------------------------	--------------

$a_t = 75,82$  milioni di km, valore non lontano dalla realtà che è 149,6 milioni di km.

Da questo si capisce come un errore anche molto piccolo sulla parallasse solare, possa determinare un'incertezza relativamente elevata sul valore della distanza Terra-Sole.

Nel caso del transito di Venere gli angoli  $\alpha$  e  $\beta$  sono quasi il doppio rispetto al caso di Mercurio, con un evidente vantaggio nella propagazione degli errori nelle formule (2), (3), (5) e (6).

Nel primo trentennio del XX secolo, per la misura dell'Unità Astronomica sono stati utilizzate osservazioni di pianetini la cui orbita li porti molto più vicino alla Terra che non Venere e Mercurio, in modo da avere  $\alpha$  e  $\beta$  sempre maggiori: Eros è uno di questi.

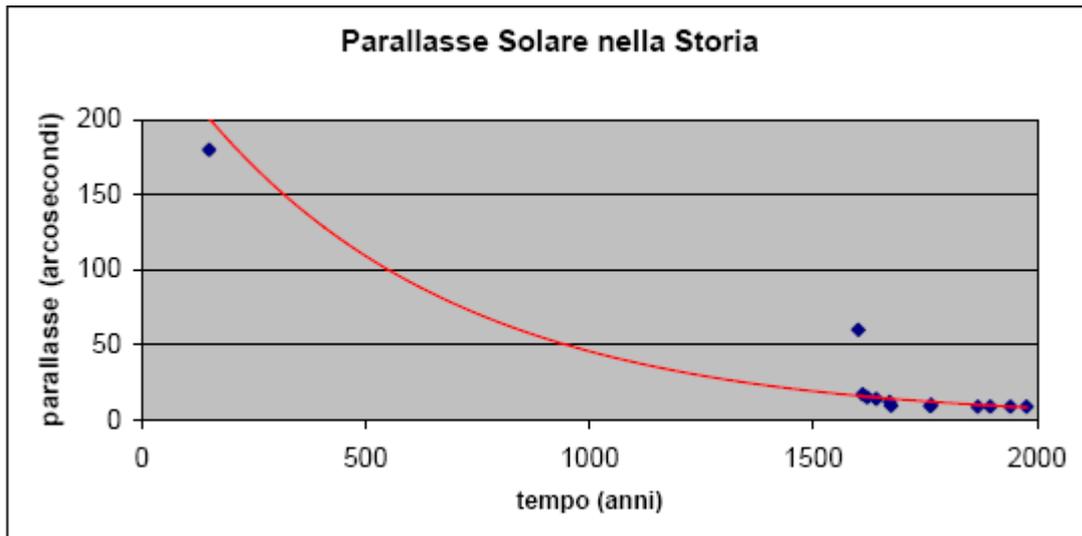
Misure radar della distanza di Venere hanno poi contribuito alla determinazione dell'Unità Astronomica in modo ancora più accurato.



## Misure della Parallasse Solare nel Tempo

La tabella seguente mostra alcune stime della parallasse solare da quella di Tolomeo alle stime di tutto il XVII secolo. Si noti il progressivo avvicinamento al valore attuale:

<i>Epoca (d.C.)</i>	<i>Autore/i</i>	<i>Stima Solare</i>	<i>Parallasse</i>
150	Tolomeo		3' (180")
~1627	Keplero		1'
~1610	Remus Quietanus		17"
~1620	W.Gottfried		<15"
~1640	J.Horrocks & G.Werdelin		14"
~1670	J.D. Cassini		12"
1673	J.Richer		9".5
<b>1761-1765</b>	<b>Audiffredi</b>		<b>9".26</b>
<b>1763-1771</b>	<b>Pingré</b>		<b>10",10-8",80</b>
1867	Newcomb (parallasse di Marte )		8",851
1895	Newcomb (Transito di Venere)		8",794
1940	Pianetino Eros		8",790
1976	Radar		8",794148





## Jeremiah Horrocks: il primo osservatore del Transito di Venere nel 1639

Si deve all'inglese Jeremiah Horrocks (1617?-1640) la prima osservazione mai fatta di un passaggio di Venere sul Sole. Interessato soprattutto allo studio del movimento dei pianeti, Horrocks nel 1639 scoprì che Venere sarebbe transitato sul Sole il 24 novembre – 4 dicembre secondo il calendario gregoriano – dello stesso anno. Del fenomeno mise al corrente l'amico William Crabtree (1610-1644), commerciante di tessuti e appassionato studioso di astronomia, con il quale aveva un'intensa corrispondenza. In particolare in una lettera del 26 ottobre 1639 gli segnalava l'approssimarsi dell'evento, mentre in una lettera del 30 luglio 1640 gli comunicava l'intenzione di pubblicare i risultati dell'osservazione compiuta. (cfr. J. Horrocks, *Opera postuma*, Londini 1672-1673, p. 331 e p. 337-338). Il giovanissimo Horrocks morì poco dopo. L'opera fu pubblicata postuma nel 1662, con il titolo *Venus in Sole visa* dall'astronomo Johannes Hevelius (1611-1687) in appendice alla sua rilevazione del transito di Mercurio del 1661 (*Johannis Hevelii Mercurius in Sole visus Gedani, anno [...] MDCLXI, d. III Maji, st. n. cum aliis quibusdam [...] observationibus [...] Cui annexa est Venus in Sole pariter visa, anno 1639, d. 24 Nov. st. v. Liverpooliae, a Jeremia Horroxio, nunc primum edita ... quibus accedit [...] Historiola, novae illius, ac mirae stellae in collo Ceti [ ...]. Gedani, Autoris typis et sumptibus, imprimebat S. Reiniger, 1662*).

Anche gli altri scritti di Horrocks rimasero inediti e furono pubblicati, molti anni dopo la morte a Londra tra il 1672 e il 1673 con il titolo *Opera postuma* dal matematico John Wallis (1616-1703). In questa raccolta l'osservazione sul passaggio di Venere sul Sole figura a p. 393.



## Scheda bibliografica

HORROCKS, Jeremiah

Jeremiae Horroccii, Liverpoliensiis Angli, ex Palatinatu Lancastriae, Opera postuma, viz. Astronomia Kepleriana, defensa & promota. Excerpta ex Epistolis ad Crabtraeum suum. Observationum coelestium catalogus. Lunae theoria nova. Accedunt Guilielmi Crabtaei, Mancestriensis, Obsrvationes coelestes. In calce adjjiciuntur Johannes Flamstedii, Derbiensis, De temporis aequatione diatriba. Numeri ad Lunae theoriam Horroccianam. Londini, Typis Gulielmi Godbid, impensis J. Martyn, [1672]-1673.

[16], 496 p. : ill. ; 4°

N.XII..46



## Giovanni Battista Audiffredi

Nato a Saorge (Nizza) il 2 febbraio 1714 da nobile famiglia, Audiffredi entrò giovanissimo nell'Ordine dei Domenicani, cambiando il nome di Giulio Cesare in quello di Giovanni Battista. Dopo aver superato il tirocinio nel Convento di Garessio presso Cuneo, seguì il biennio di studi filosofici e quello di studi teologici nel Convento di Bosco Marengo, vicino Alessandria.

Come egli stesso ha lasciato scritto nel suo *Curriculum vitae* (ms. 3525 c. 75v-77r) i suoi veri interessi intellettuali erano tuttavia rivolti verso lo studio della matematica e dell'astronomia. Passato nel Convento di S. Domenico a Genova, sotto la guida del domenicano Amedeo Agnesi (1702-1755) ebbe infine modo di dedicarsi alla geometria e all'aritmetica, senza tuttavia trascurare gli studi teologici. Nel 1739 venne a Roma come lettore al Collegio di S. Tommaso nel Convento di S. Maria sopra Minerva. Nel 1749 veniva nominato, su proposta del maestro generale dell'Ordine Antonin Brémond, secondo bibliotecario della Casanatense, la biblioteca pubblica fondata dal cardinale Girolamo Casanate (1620-1700) e da questi affidata ai Domenicani della Minerva. Nel 1759 gli veniva conferita la carica di prefetto della biblioteca, carica che mantenne fino alla morte avvenuta a Roma il 4 luglio 1784. Sotto la sua prefettura la Casanatense raggiunse l'acme del suo splendore e della sua fama in tutta Europa.

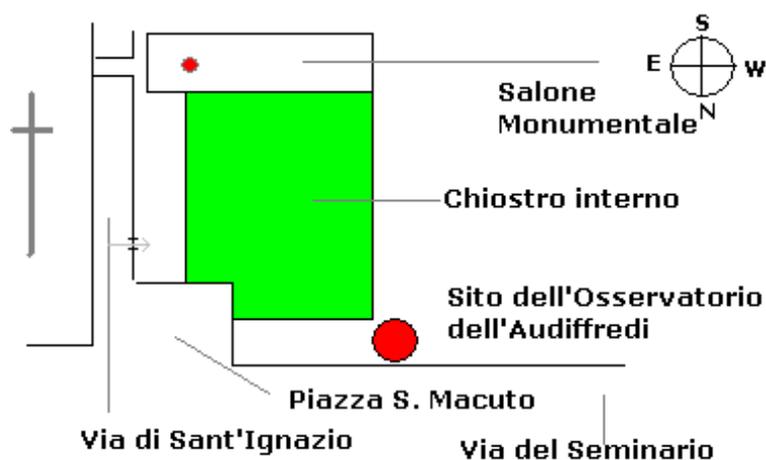
A consolidarne il prestigio aveva del resto contribuito in modo determinante la pubblicazione tra il 1761 e il 1788 dei primi quattro tomi del catalogo per autori delle opere a stampa della biblioteca redatto proprio dall'Audiffredi (*Bibliothecae Casanatensis Catalogus librorum typis impressorum tomus primus [-quartus]*. Romae, excudebant Joachim & Joannes Josephus Salvioni fratres, 1761-1788). La monumentale opera rimase interrotta dopo la sua morte. Una porzione - lemmi LAAN-LEODEGARIUS - di quello che avrebbe dovuto essere il tomo V, fu stampata senza note tipografiche, certamente non prima del 1797. Tra gli altri scritti di carattere bibliografico sono inoltre da ricordare almeno i fondamentali studi sulle edizioni del XV secolo: il *Catalogus historico-criticus romanarum editionum saeculi XV [...]*. (Romae, ex typographio Paleariniano, 1783) e lo *Specimen historico criticum editionum italicarum saeculi XV [...]* (Romae, ex typographio Paleariniano, Mariani de Romanis, 1794).

Interessato agli studi botanici e numismatico, Audiffredi dotò la Casanatense un piccolo museo, ove raccolse collezioni scientifico-naturalistiche accanto a medaglie, monete, reperti archeologici e artistici secondo il modello di collezionismo proprio dell'epoca.

I suoi impegni di bibliotecario non gli impedirono tuttavia di dedicarsi a quella "nobilissima" astronomia verso la quale egli si era sentito spinto fin da giovane da una naturale inclinazione. E proprio nel Convento di S. Maria sopra Minerva egli ebbe infine la possibilità di costruire un osservatorio nella loggia del Noviziato.

## L'Osservatorio di Giovanni Battista Audiffredi nel Convento di S. Maria sopra Minerva

La fabbrica del Noviziato aveva avuto inizio nel 1638 nel lato di ponente del chiostro maggiore del Convento di S. Maria sopra Minerva. Come scrive il domenicano Vincenzo Nardini i quattro lati del chiostro «sono disposti secondo i quattro punti cardinali: cioè due lati sono sensibilmente nella direzione dei paralleli terrestri, e gli altri due nella direzione dei meridiani. Il lato o braccio meridionale chiude il gran vano della Biblioteca Casanatense, e gli altri tre sono spartiti in piani, corridoi e stanze abitate dai Religiosi. Il braccio occidentale nell'ultimo piano chiude il Noviziato, e sopra il tetto del suo gran corridoio, all'estremo tramontana, porta un loggiato a base rettangolare lungo metri 23,40, largo metri 6,90, e alto, dal pavimento al colmo del tetto, metri 5,80 ». (cfr.: V. Nardini, *Memoria del Gabinetto fisico astronomico eretto nel convento di S. M. S. M.*[Roma, 1864], p. 7).



Qui Audiffredi nel 1751 traccia una linea meridiana di marmo, ancora visibile alla metà dell'Ottocento, con un foro della luce ad un'altezza di 14 piedi parigini (5 m ca.) fatto nel muro meridionale. L'osservatorio venne attrezzato con pochi strumenti tra i quali un orologio a pendolo altri orologi, micrometri e un certo numero di telescopi tra i quali il domenicano afferma di prediligere quello di Divini di 11 piedi e mezzo, con il quale vengono definiti i tempi di immersione e emersione dei

planeti e delle stelle fisse e i tempi veri delle eclissi dei Satelliti di Giove, in una serie di osservazioni pubblicate in appendice ai *Phaenomena caelestia observata Romae*, stampati a Roma nel 1754, per i tipi dei fratelli Salvioni.

L'anno prima nel 1753 sul "Giornale de' letterati" era apparso il suo primo scritto di argomento astronomico, l'osservazione del passaggio di Mercurio sul disco del Sole avvenuto il 6 maggio di quello stesso anno, mentre i risultati delle osservazioni del transito compiuto dal pianeta il 7 novembre 1756 vennero resi noti in un opuscolo di 16 pagine stampato nello stesso anno dai Salvioni (*Novissimus Mercurii transitus sub Sole observatus Romae a p. J. B. Audiffredi...* Romae, typis de Salvionibus, 1756).

Ma l'osservazione più importante compiuta dall'Audiffredi, quella che doveva dargli fama - per usare le parole di Joseph-Jérôme de Lalande – di «habile astronome» a livello europeo fu quella relativa al passaggio di Venere davanti al Sole il 6 giugno 1761.



## **Una polemica tra astronomi: Giovanni Battista Audiffredi, Alexandre-Gui Pingré e il transito di Venere sul Sole del 6 giugno 1761**

Audiffredi seguì il passaggio di Venere sul Sole il 6 giugno 1761 dal suo osservatorio minervitano, comunicando subito i risultati ottenuti in un piccolo opuscolo di sole 6 pagine, pubblicato anonimo, intitolato *Passaggio di Venere avanti al Sole osservato in Roma, nel Convento della Minerva, il giorno 6. del cadente giugno MDCCLXI.*

Le osservazioni del transito del pianeta sul Sole furono fatte « con un Cannocchiale di palmi nove Romani, [2 m ca.] guernito di un Micrometro composto di quattro sottilissimi fili, che si tagliano ad angoli semiretti [...]. La Meridiana altresì nell'anno scorso, in questo stesso mese di Giugno in occasione dell'Eclissi solare, fu attentamente esaminata, e trovata esattissima: né vi è fondamento alcuno di dubitare di alcuna alterazione dall'ora in poi, a cagione della sodezza della fabbrica».

Le osservazioni dell'egresso di Venere dal disco solare furono eseguite con un telescopio di 19 palmi romani (4,24 m) con obiettivo di Eustachio Divini.

Certo gli strumenti a disposizione del dotto domenicano erano assai modesti: non aveva macchine parallattiche e anche i due quadranti murali che si era fatto costruire per l'occasione si rivelarono inservibili.

Ciononostante nell'arco di 4 ore di intenso lavoro Audiffredi compie ben 33 osservazioni, che collazionate ed elaborate matematicamente tra di loro gli consentono di calcolare la distanza minima del centro del pianeta dal centro del Sole, la longitudine della traccia apparente descritta da

Venere sul disco solare, il tempo medio del transito, il tempo dell'emersione e il diametro del pianeta. Nel 1762 egli dà alle stampe una più compiuta analisi dell'osservazione, il *Transitus Veneris ante Solem observati Romae apud PP. S. Mariae super Minervam VI. Junii MDCCLXI. Expositio historico-astronomica*. Da notare che in appendice all'opera pubblicata anonima dai Salvioni – per la verità il nome dell'autore figura nelle *approbationes* in calce al testo – Audiffredi descrive la preziosa moneta d'oro di Cneo Domizio Enobarbo, acquistata per la raccolta numismatica della Casanatense.

Data l'assoluta rilevanza del fenomeno osservato, gli astronomi europei si confrontarono serratamente tra di loro circa l'attendibilità dei valori elaborati, specie relativamente al valore della parallasse solare calcolata. L'astronomo francese Alexandre-Gui Pingré (1711-1796) allo scopo di osservare il passaggio di Venere, aveva guidato, per incarico dell'Académie Royale des Sciences di cui era socio corrispondente, una spedizione scientifica nell'isola Rodrigues nell'Oceano Indiano. Nella memoria intitolata *Observations astronomiques pour la détermination de la parallaxe du Soleil faites en l'Isle Rodrigues*, apparsa sulla seconda parte dell'*Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Année MDCCLXI. Avec les Mémoires de Mathématique et de Physique, pour la même année*, stampata nel 1763, collazionando dati di diverse osservazioni, Pingré esprime un severo giudizio su quella romana fatta nel Convento della Minerva da un anonimo astronomo. A giudizio del francese essa infatti manca di una coordinata essenziale per il controllo dei valori forniti: la differenza cioè tra il meridiano dell'Osservatorio di Parigi e quello della Minerva. L'unico dato disponibile, la differenza tra il meridiano dell'Osservatorio parigino e il meridiano di S. Pietro è scientificamente inutilizzabile. Pertanto, conclude Pingré, l'osservazione in questione è del tutto trascurabile.

La reazione dell'Audiffredi fu immediata. Nel 1765 firmandosi Dadeius Ruffus – l'anagramma del suo cognome – il domenicano pubblicava *l'Investigatio parallaxis solaris*, studio in cui dimostra non solo l'esattezza dei suoi calcoli anche relativamente al meridiano del Convento minervitano, ma dimostra altresì le incongruenze dei dati elaborati proprio da Pingré. Infine nel 1766 diede alle stampe - dedicandolo al segretario perpetuo dell'Académie Royale, Philippe Grandjean de Fouchy, con il quale aveva avuto uno scambio epistolare - il *De Solis parallaxi commentarius*. Il trattato doveva essere la più compiuta dimostrazione dell'attendibilità dei dati forniti e del valore della parallasse solare calcolata che Audiffredi fissa in 9",26 valore molto più vicino a quello attualmente calcolato (8",794) di quello dato da Pingré di 10",10.

Il *De Solis parallaxi commentarius* suscitò interesse nel mondo scientifico, circolando con fortuna non solo in ambiente francese e la polemica contribuì a far conoscere l'astronomo Audiffredi a livello europeo.

Ci piace concludere la storia di questa *querelle* tra scienziati con le parole dell'astronomo Andrea Conti (1777-1840). Allievo e collaboratore di Giuseppe Calandrelli nell'Osservatorio del Collegio Romano, Conti, nel saggio dal titolo *Esame dell'osservazione del passaggio di Venere sul disco solare fatta in Roma nel 1761. dal celebre padre Audiffredi domenicano nel convento di Santa Maria sopra Minerva* (Modena 1826), confrontando i calcoli effettuati nel 1761 da Audiffredi con quelli delle altre rilevazioni, dimostra come l'osservazione del domenicano è tutt'altro che inesatta e che anzi essa "in luogo di manifestare essenziali difetti, e meritare per conseguenza una total soppressione, come pretende il Ch. Pingré, ha invece contribuito a confermare il valore della parallasse del Sole stabilito dagli Astronomi col confronto delle migliori osservazioni fatte nel passaggio di Venere del 1769".



## Schede bibliografiche

1.

AUDIFFREDI, Giovanni Battista

Novissimus Mercurii transitus sub sole observatus Romae a P. J.B.

Audiffredi Ord. Praedicatorum Bibliothecario Casanatensis 7 novembris  
1756. Romae, typis de Salvionis, 1756

16 p. ; 8°

vol. misc. 479/3

Al fine di non essere ostacolato dagli edifici di Roma, l'Audiffredi si recò in campagna, fuori *Porta Collina*. Di questa località vengono date le coordinate rispetto al meridiano delle Terme di Diocleziano (Basilica di Santa Maria degli Angeli, dal 1702 meridiano fondamentale di Roma per volontà di Clemente XI). Al termine sono riportate delle osservazioni di occultazioni stellari da parte della Luna. Tutte le osservazioni sono fatte con il telescopio di 19 palmi romani. Bisogna ricordare che a quell'epoca non esisteva ancora il doppietto acromatico, per cui le lenti avevano generalmente un rapporto focale/diametro maggiore di 20.

2.

AUDIFFREDI, Giovanni Battista

Passaggio di Venere avanti al Sole osservato in Roma, nel Convento della Minerva, il giorno 6. del cadente giugno MDCCLXI. [Roma], s. n., [1761].

6 p. ; 4°

vol. misc. 1096.10b

3.

Cronaca del transito di Venere davanti al sole il 6 giugno 1761

*In* Diario ordinario, n. 6855 in data delli 13 giugno 1761.

In Roma, nella Stamperia del Chracas, 1761, p. 5-8.

Per est. 358

Nel numero 6851 del "Diario ordinario" del 5 giugno a p. 17 viene menzionato un saggio fisico astronomico intorno al passaggio di Venere sotto il disco solare "tanto aspettato dagli astronomi e seguito poi finalmente questa mattina de' 6 giugno". Il saggio fu tenuto il mercoledì 3 giugno dai signori convittori del Seminario Romano. Il saggio si componeva di parte storica, metodi osservativi e descrizione dell'utilità di tali misure. Nel numero 6855 p. 5-8 vengono menzionate le osservazioni alla Minerva e quelle fatte da molti astronomi della città tra i quali i Signori Convittori con "ottimi telescopj Newtoniani". Al micrometro il diametro di Venere è risultato inferiore a quello usato da Cassini per la compilazione delle sue tavole.

4.

XIMENES, Leonardo

Osservazione del passaggio di Venere sotto il disco solare accaduto la mattina del dì 6 giugno di quest'anno 1761 fatta da Leonardo Ximenes della Compagnia di Gesù all'Osservatorio di S. Gio. Evangelista e ridotta al tempo vero del Meridiano fiorentino. In Firenze, nella Stamperia Imperiale, 1761.

8 p. ; 4°

vol. misc. 870/5

Il 14 luglio del 1761 il padre gesuita Leonardo Ximenes pubblicò i dati della sua osservazione del transito di Venere da Firenze.

5.

AUDIFFREDI, Giovanni Battista

Transitus Veneris ante Solem observati Romae apud PP. S. Mariae super Minervam VI. junii MDCCLXI. Expositio historico-astronomica. Accedit descriptio aurei nummi Cn. Domitii Ahenobarbi. Romae, apud fratres Salvionos, 1762.

56 p., 1 c. di tav ; 8°

vol. misc. 2207.7

All'alba del 6 giugno 1761 il transito di Venere sopra il disco solare era già a metà del suo corso. Dal suo osservatorio della Minerva padre Audiffredi lo osserva con un telescopio di 19 palmi romani (4, 24 m), con obiettivo di Eustachio Divini.

6.

AUDIFFREDI, Giovanni Battista

Investigatio parallaxis solaris ex selectis aliquot observationibus transitus Veneris ante Solem, qui accidit die VI: junii MDCCLXI. Collatis cum ejusdem transitus Romana observatione habita apud PP: S. Mariae super Minervam. Exercitatio academica Dadeii Ruffi. Romae, ex Typographia

Hermathenaea, 1765.  
XXXII, 84 p. ; 8°

m. V. 25

7.

AUDIFFREDI, Giovanni Battista

Fr. Joannis Baptistae Audiffredii, ord. Praed. S. T. M. Bibliothecae  
Casanatensis praefecti, De Solis parallaxi ad V. Cl. Grandjean de Fouchy  
Acad. Scient. Paris a secret. commentarius. Romae, ex Typographia  
Hermathenaea, 1766.

[4], 152 p., 1 c. di tav. ; 8°

4. V. 26

9.

CONTI, Andrea

Esame dell'osservazione del passaggio di Venere sul disco solare fatta in  
Roma nel 1761. dal celebre padre Audifredi domenicano nel convento di  
Santa Maria sopra Minerva del signor Andrea Conti astronomo inserito  
nel tomo XX delle memorie della Società italiana delle scienze residente  
in Modena. Modena, presso la Tipografia Camerale, 1826.

24 p. ; 2°

vol. misc. 1747.14



## Transiti eclissi ed occultazioni da Tolomeo a Keplero

**CLAUDIO TOLOMEO.** Astronomo, matematico e geografo greco (sec. II) fu l'ultimo rappresentante dell'astronomia greca. Svolsse la sua attività di osservazione nel tempio serapeo di Canopo vicino ad Alessandria d'Egitto.

*Almagesto*: il titolo originale, "mathematiké syntaxis", fu modificato già nell'antichità in "megale mathematiké syntaxis tes astronomias"; gli arabi sostituirono a "megale" il superlativo "megiste" a cui fecero precedere l'articolo arabo "al"; si ottenne dunque Al-Magisti, e *Almagestum* presso i traduttori latini del medioevo. Nell'*Almagesto*, la cui stesura fu completata verso la metà del II secolo d.C, i tentativi dei predecessori ellenici furono ripresi e ordinati in un sistema logico contenente tutte le conoscenze astronomiche dell'epoca. L'opera di Tolomeo contiene infatti l'esposizione completa del sistema geocentrico, assioma delle scienze astronomiche tra il II secolo d.C e il XVI secolo. Utilizzando i dati raccolti dai predecessori, cioè Ipparco in particolare, costruì un sistema del mondo che, pur ammettendo a priori l'immobilità della Terra, riusciva con espedienti di grande complessità a rappresentare con soddisfacente precisione i moti apparenti del sole, della luna e dei pianeti allora conosciuti. Il sistema di Tolomeo, che dava solo un'interpretazione cinematica dei moti planetari, fu mantenuto come "unico" modello per tutto il Rinascimento sebbene fin dal Medioevo la maggior precisione delle osservazioni spingeva a integrare il modello, complicandolo ancor più. La prima traduzione dall'arabo è di Gherardo di Cremona (1175).

Nel VII libro dell'*Almagesto* al capitolo III sono riportate alcune osservazioni di occultazioni di stelle brillanti da parte della Luna, tra cui Spica. Queste osservazioni sono state utilizzate nello studio

dell'andamento del  $\Delta T$  in epoca alessandrina.

**ALBATENIO** (al – Battānī, 858 – 929). E' nato nel 244 dell'Egira (858 d.C.) ad Harrān, morto nel 317 èg. (929 d.C.), al – Battānī era figlio di genitori professanti la religione pagana dei Sābi', ancora viva ad Harrān nel X secolo. Scrisse un commento al *Tetrabiblion* di Tolomeo e completò numerose tavole astronomiche basate su osservazioni compiute negli anni tra l'877 ed il 918. Grandissimo osservatore, calcolatore e cultore di trigonometria sferica, calcolò con grande esattezza l'obliquità dell'eclittica e la durata dell'anno tropico e corresse alcuni dei moti lunari e planetari di Tolomeo, nonché la precessione degli equinozi, che fissò in  $54'' 33'''$  ( $1^\circ$  ogni 66 anni). La sua osservazione più importante rimane certamente quella della variazione apparente del diametro del Sole e della Luna, con cui riuscì a dimostrare la possibilità teorica delle eclissi anulari. Inoltre al – Battānī fu anche abilissimo costruttore e perfezionatore di strumenti astronomici, fra i quali merita di essere ricordata una originale combinazione della sfera armillare con il globo celeste.

*De scientia stellarum*. Quest'opera ebbe un'enorme influenza sull'astronomia del Medioevo latino e del Rinascimento, in quanto fu l'unico trattato arabo di astronomia ad essere tradotto integralmente in latino nel XII secolo (in spagnolo nel XIII). Il titolo originale dell'opera è *al – Ziğ al – sābi'*, cioè *Tavole astronomiche sabeie*. In essa Albatenio sintetizzò i risultati di trent'anni di accuratissime osservazioni della volta celeste. Tra le numerose osservazioni in essa contenute merita sopra tutte di essere menzionata quella del diametro apparente del Sole e della Luna, grazie alla quale Albatenio fu il primo nella storia dell'astronomia a teorizzare la possibilità che si verificano eclissi anulari, in quanto il diametro minimo della Luna può essere leggermente inferiore rispetto a quello solare. Questa teoria trovò conferma nell'osservazione dell'eclissi anulare compiuta da Clavio a Roma nel 1567 e da lui -per la prima volta nella storia- testimoniata nel Commento alla *Sphera* del Sacrobosco.

**JOHN OF HOLYWOOD** (oggi Halifax, York) che il medioevo latino chiamò **JOANNES DE SACRO BOSCO** (o de Sacro Busto). Vissuto tra la fine del XII secolo e la metà del XIII. La sua fama è legata al trattato *De Sphaera Mundi* il libro usato per iniziare i novizi alla cosmografia e all'astronomia. Raccoglie notizie elementari ricavate dagli scritti di Tolomeo, Al-Battani (Albatenius) e Al-Farghani (Alfraganus). Consta di quattro capitoli in cui si parla della composizione della sfera celeste, del numero delle sfere, dell'orbita e del moto dei pianeti, del sorgere e del tramontare degli astri, della causa delle eclissi. L'opera ebbe una grandissima diffusione nel medioevo e nei secoli successivi fu oggetto di numerosi commenti. Fu usato come testo fondamentale per lo studio dell'astronomia fino al XVII secolo.

**CRISTOFORO CLAVIO.** Fu matematico gesuita (1538-1612), docente di matematica e astronomia al Collegio Romano fino alla sua morte. Egli fu definito *il secondo Euclide* dai suoi contemporanei. L'ordine gesuita fu l'unico ordine -tra quelli precedenti alla Controriforma o nati nella sua scia- dotato di strutture interne adibite alla formazione di docenti specializzati nell'insegnamento della scienza. Queste strutture erano il frutto della scelta gesuita di "essere nel mondo" e soprattutto ovunque il cattolicesimo potesse trovarsi in pericolo. Fu dunque decisa l'istituzione di un ordinamento degli studi comune a tutti i collegi, la *Ratio atque institutio studiorum societatis Iesu* (del 1599 nella sua versione definitiva).

Oltre alla pubblicazione di opere volte al progresso della scienza, la preoccupazione di Clavio fu quella di dare una formazione di alto livello a un numero limitato di novizi. Interessato alla tradizione euclidea e alla scienza astronomica si pronunciò contro la tradizionale subordinazione della matematica alla filosofia.

Importanti furono le sue edizioni commentate della *Sfera* di Sacrobosco (1570) e degli *Elementi* di Euclide (1574). Collaborò inoltre alla riforma del calendario voluta da Gregorio XIII e mostrò l'utilità della riforma nel *De calendario*. Scrisse un libro contenente la storia della gnomonica, un altro sull'astrolabio e un altro ancora sull'orologio. Clavio rappresenta uno degli ultimi e maggiori esponenti di un'astronomia ancora legata alla geometria.

**JOHANNES KEPLER.** La **pubblicazione nel 1627 delle *Tabulae Rudolphinae*** costituisce il "top" della nuova astronomia di Keplero. L'opera rappresenta l'applicazione delle nuove leggi del moto planetario a partire dai dati osservativi raccolti da Tycho Brahe, che Keplero si è peritato di valorizzare. Le osservazioni degli astronomi del gruppo di Tycho sono state le migliori della storia dell'astronomia senza il telescopio. Grazie a questi progressi fu possibile prevedere il transito di Mercurio del 1631 e la coppia di transiti di Venere del 1631 e 1639, e quest'ultimo fu osservato da Horrocks. Notare che secondo Keplero la parallasse solare varia tra 0' 59" e 1' 01", a seconda che la Terra sia presso l'afelio o più vicina al perielio.

Nel 1596 Johannes Kepler (1571-1630) pubblicò il *Mysterium Cosmographicum* e lo fece conoscere sia a Tycho Brahe che a Galileo Galilei. Nel 1600 diviene a Praga assistente di Tycho Brahe a cui poi succede come matematico alla corte di Rodolfo II. Keplero tra il 1600 e il 1611 a Praga continuò il lavoro sulle tavole di Tycho e calcolò l'orbita di Marte e scoprì le prime due leggi che oggi portano il suo nome. Nel 1604 aveva pubblicato gli *Ad Vitellionem Paralipomena*, fondamentale per l'ottica moderna. Nel 1619 pubblicò la terza legge negli *Harmonices*

*Mundi libri V*, opera in gran parte mistica. Tra il 1618 e il 1619 pubblicò la sua opera maggiore *l'Epitome Astronomiae Copernicanae* che avrà una grande influenza sull'astronomia del seicento. Postumo uscì il *Somnium* che racconta la storia di un uomo sulla Luna, forse il primo racconto di fantascienza. La verifica dell'armonia delle sfere, attraverso il testo di Boezio, ha stimolato tutta la ricerca medievale, fino a Keplero che la trovò finalmente nel suo *Harmonices Mundi*, quando la disposizione delle "sfere" ormai ellittiche dell'universo copernicano rispecchiava un ordine derivabile a priori dalla struttura dei cinque solidi regolari platonici. Keplero era perciò particolarmente soddisfatto anche di aver capito perché i pianeti erano proprio cinque ed aveva portato a compimento quanto aveva intuito già 25 anni prima nel *Mysterium Cosmographicum*. Nel *Mysterium cosmographicum* (1596) Keplero riprese la teoria eliocentrica copernicana nella sua convinzione platonica di un universo creato da un Dio geometra: l'armonia dell'universo è data dalle relazioni geometriche che definiscono le orbite dei pianeti. Nel 1600, Keplero raggiunse Tycho Brahe e divenne suo assistente. Studia l'orbita di Marte. Morto Brahe (1601), prese il suo posto divenendo matematico dell'Imperatore Rodolfo II. Influenzato dal *De magnetibus* (1600) del londinese Gilbert, si convinse che l'armonia dell'universo è determinata dall'influenza fisica del Sole, posto nel suo centro: il Sole attrae o respinge i pianeti – a seconda di dove si trovino governando così le loro orbite, che lui definì (anche sulla base dei precisi calcoli di Brahe) essere delle ellissi e non dei cerchi, nel quale il sole occupava uno dei due fuochi (prima legge). Nell'*Astronomia Nova* pubblicata nel 1609 troviamo anche la seconda legge secondo la quale il raggio vettore che unisce il pianeta al Sole descrive all'interno dell'ellisse aree uguali in tempi uguali. La terza legge verrà in seguito, nell' *Harmonices Mundi*. Con queste leggi Keplero separò l'astronomia dalla geometria introducendo in essa la fisica.



## Schede bibliografiche

1.

PTOLEMAEUS, Claudius

Claudii Ptolemaei ... Omnia quae extant opera, praeter Geographiam, quam non dissimili forma nuperrime aedidimus summa cura & diligentia castigata ab Erasmo Osualdo Schrekhenfuchsio, & ab eodem Isagoica in Almagestum praefatione, & fidelissimis in priores libros annotationibus illustrata .. Basileae, [Heinrich Petri, 1551].

[88], 447, [1] p., 2 c. di tav. doppie ill. 2° (33 cm)

**M. IV 37**

2.

AL-BATTANI, Muhammad

Mahometis Albatanii De scientia stellarum liber cum aliquot additionibus Ioannis Regiomontani ex Bibliotheca Vaticana transcriptus. (Bononiae, typis haeredis Victorij Benatij, 1645.)

[16], 228, ill. 4° (23 cm)

**M. XII. 99**

Testo tradotto da Platone Tiburtino, ebreo, nato a Tivoli e attivo a Barcellona tra il 1134-1145. A p. 95 c'è anche uno *scholium* di Regiomontano sulle eclissi alla luce dell'Almagesto che quest'ultimo aveva letto nella traduzione dal greco. Insieme alle Tavole Alfonsine questo testo ci mostra, oltre al contributo originale degli arabi alla rinascenza culturale del XII sec. anche quello di mediatore dei traduttori

ebrei, che erano poliglotti.

3.

SACROBOSCO, Ioannes de  
Sphaera mundi. Venezia, Erhard Ratdolt, 6 VII 1482

**vol. inc. 955/1-2**

4.

CLAVIUS, Christophorus  
Christophori Clavii Bambergensis ... In Sphaeram Ioannis de Sacro  
Bosco commentarius ... Romae, ex officina Dominici Basae, 1581.  
[32], 467, [1] p. ill. 4° (23 cm)

**M. VII. 41**

*Il Commentario alla Sfera* di Sacrobosco ebbe diverse edizioni, la prima delle quali è del 1570. Supplisce con scholia e dovizia di dettagli dove il trattato sulla *Sfera* era troppo sintetico e qualitativo. Menziona tra l'altro la prima eclissi anulare di Sole osservata a Roma nel 1567, un fenomeno non possibile secondo Tolomeo, ma previsto solo da Al-Battani nel X secolo.

5.

KEPLER, Johannes  
Tabulae Rudolphinae, quibus astronomicae scientiae, temporum  
longinquitate collapsae restauratio continetur; a Phoenice illo  
astronomorum Tychone ... [Ulma, Jonas Saur], 1627 ([Sagan, typis  
Saganensibus, 1629).  
[16], 125, [3], 115 [[i.e. 119], [1] p., [11] c. di tav. calcogr. ill. fol.  
Antip. calcogr. sottoscritta: "Georg Coler sculpsit Norimbergae anno  
1627"

**L. X. 36**



## La piccola collezione di Strumenti Scientifici della Casanatense

Questa collezione di strumenti scientifici costituisce, insieme con pochissimi altri reperti, quanto rimane in Casanatense del piccolo museo scientifico-naturalistico creato da Giovanni Battista Audiffredi.

Alcuni degli strumenti descritti furono acquistati nel 1770, come risulta dall'annotazione nelle *Ragioni*, i libri contabili della biblioteca, dal 1764 al 1781 (Cfr. : Ms. Cas. 434, c. 55r).

1.

### STRUMENTO ASTRONOMICIL CUI DORSO E' IL DORSO DI UN ASTROLABIO

Sec. XVI (?); rame, ottone.

L'originale strumento è costituito da due piastre di rame, di forma rettangolare (mm 255x360; spessore mm 8). Alcune parti sono in ottone. Può essere mantenuto in posizione verticale grazie ad un'armilla suspensoria, un anello di sostegno che consente di tenere sollevato lo strumento da terra in modo tale che la sua linea meridiana cada perpendicolarmente all'orizzonte.

La **parte anteriore** è decorata con eleganti incisioni figurative. Al centro si trova una zona circolare di mm 160 di diametro. Il bordo è diviso in 24 settori corrispondenti alle 24 ore. Sulla fascia circolare esterna sono incise, tra l'altro, le raffigurazioni allegoriche, i nomi e i simboli del Sole, posto in alto allineato con l'anello di sostegno, della Luna e dei 5 pianeti conosciuti. In senso orario troviamo: *Sol, Venus, Mercurius, Luna, Saturnus, Iuppiter, Mars*. All'interno di questa zona circolare sono tre timpani e tre indici fissati al centro da un fermo (asse), ma liberi di ruotare. Il primo timpano è formato da un disco di ottone di mm 88, inciso sia nella parte anteriore sia in quella posteriore, entrambe divise in 3 settori di 120° corrispondenti per la prima alle latitudini 42°, 45°, 48° e per la seconda alle latitudini 37°, 40°, 51°. Sul bordo, distribuiti su due fasce concentriche, i simboli zodiacali ripetuti tre volte per le tre diverse latitudini. Il secondo timpano è il timpano delle ore. Il terzo timpano è diviso nella parte più esterna in 12 settori corrispondenti ai 12 segni zodiacali. Ogni settore è suddiviso in 6 parti, comprendenti ciascuna 5 giorni: ad ogni parte corrisponde un pianeta il cui simbolo è inciso sul timpano stesso. Togliendo i timpani e gli indici otteniamo la cosiddetta madre, il cui bordo è circondato dalla fascia con i nomi e i simboli dei pianeti. Il bordo della madre e il secondo timpano formano il calendario astrologico nel quale ad ogni ora di ogni giorno di ogni settimana corrisponde un pianeta. Rimuovendo i timpani e gli indici sul fondo dello strumento troviamo una piastra rettangolare in ottone e rame spostabile, tramite due leve sporgenti dallo strumento stesso, lungo una fessura di mm 105x7. La parte in ottone indica il giorno, quella in rame recante l'incisione NOX, la notte.

La **parte posteriore** dello strumento, è il dorso di un astrolabio con la sua alidada in ottone lunga mm 250. Sull'alidada sono saldate, ad una distanza tra loro di mm 194, le pinnule o traguardi di dimensioni di mm 25x18. I fori che si trovano su di esse misurano mm 3: traguardando il Sole o le stelle era possibile calcolarne l'altezza sull'orizzonte.

Nel primo e nel quarto quadrante si trova il diagramma doppio delle ore ineguali. Nel secondo quadrante è presente un settore in ottone di 45°, il cui raggio misura mm 88. Vi sono incisi, verso l'esterno, su due fasce concentriche i simboli zodiacali; verso l'interno la scritta: ARCUS DECLINATIONIS PART. ZOD. Sul lato sinistro è invece la scritta: LINEA HAEC SERVIET LATITUDINI.

In cerchi concentrici sono incise diverse scale graduate: i primi due cerchi formano la scala del calendario. Quest'ultimo si compone di 12 settori ciascuno diviso nei giorni dei mesi dell'anno, i cui nomi, in latino, sono incisi sul cerchio successivo.

Concentrica a questa scala è quella dello zodiaco con settori da 0° a 30°: ad ogni settore corrisponde un segno zodiacale di cui sono incisi nome e simbolo nel cerchio successivo. L'inizio del segno del Cancro è allineato con l'anello di sostegno, gli altri segni seguono in senso orario. Era così

possibile conoscere la posizione del Sole nello zodiaco per ogni giorno dell'anno civile.

In basso a destra, esterna alla scala del calendario, è incisa ad arco una scala da 25° a 60° con la scritta: LATITUDINUM GRADUS.

La provenienza dello strumento non è nota. Considerata la posizione della linea equinoziale fissata al 10 marzo, potrebbe essere stato costruito anteriormente al 1582, prima cioè della riforma gregoriana del calendario. Tuttavia la riforma, specie nei paesi non cattolici, non fu immediatamente recepita. Ciò si riflette nella costruzione di molti astrolabi della fine del secolo XVI o dell'inizio del XVII. È pertanto difficile datare con esattezza lo strumento.

*Bibliogr.:*

**A. Calisi**, *Descrizione di un originale strumento conservato presso la Biblioteca Casanatense, in Gli arcani delle stelle[...]*. Roma 1991, p.161-165.

**R. Foravanti**, *Gli strumenti scientifici in La Biblioteca Casanatense*. Firenze 1994, p. 261.

2.

### COMPASSO TOPOGRAFICO

Sec. XVII; ottone, punte in acciaio, lunghezza mm 165, fattura italiana.

Compasso topografico con due gambe piatte con punte d'acciaio. Nel punto di cerniera è montata una bussola completa di coperchio che serviva ad orientare lo strumento per misurare gli angoli di posizione nelle operazioni di rilievo topografico. La bussola è circondata dalla rosa dei venti.

3.

### COMPASSO DI DIVISIONE

Sec. XVIII; legno di bosso, punte metalliche, lunghezza mm 390

Potrebbe essere stato strumento d'uso di Giovanni Battista Audiffredi.

4.

### COMPASSO DI DIVISIONE

Sec. XVIII; ferro, lunghezza mm 270

5.

### COMPASSO DI DIVISIONE

Sec. XVIII; ferro, lunghezza mm 320

Il compasso ha un'asta a vite per fissarne l'apertura.

6.

### QUADRANTE CON CURSORE

Sec. XIV; ottone, raggio mm 197, fattura tedesca. Manca il filo a piombo.

Sul dritto sono i quadrati delle ombre, le linee orarie e il cursore zodiacale mobile da posizionare secondo la latitudine desiderata.

Sul rovescio è inciso il calendario zodiacale. Al centro un disco rotante munito di indice, per la misurazione delle case celesti. Su uno dei due lati dritti sono i due traguardi.

Destinato a misurare altezze, distanze e profondità, lo strumento poteva essere impiegato anche come orologio solare universale.

7.

### RADIO LATINO

Sec. XVII; ottone, lunghezza mm 660. Mancano i traguardi, il filo a piombo e il fodero, di cui rimane un frammento, per riporre lo strumento.

Lo strumento è costituito da quattro aste snodate e incernierate a forma di parallelogramma, scorrevoli lungo un'asta centrale terminante in un'impugnatura nella quale è nascosta una bussola. Una volta ripiegato, lo strumento poteva essere riposto in un fodero appearing «all'occhio, propriamente un pugnale». Per la sua utilizzazione poteva essere poggiato su un cavalletto. Lo strumento era inoltre corredato da un orologio equinoziale.

Il suo nome, radio latino, deriva dall'inventore, Latino Orsini (c. 1530 - c.

1580). Figlio di Camillo, uno dei più celebri condottieri del Cinquecento, Latino, seguendo le orme paterne, intraprese la carriera militare. In occasione della guerra di Cipro, fu nominato dai Veneziani governatore di Candia (l'attuale isola di Creta). Fu ambasciatore di papa Gregorio XIII presso il Senato della Serenissima. La sua invenzione è descritta nel *Trattato del radio latino*, pubblicato postumo a Roma, da Vincenzo Accolti, nel 1583 (*Trattato del radio latino strumento giustissimo & facile piu d'ogn'altro per prendere qual si voglia misura, & positione di luogo tanto in cielo, come in terra. Il quale oltre alle operationi proprie sue fa anco tutte quelle della Gran Regola di C. Tolomeo, & dell'antico Radio Astronomico. Inuentato dall'ill.mo et excell.mo signor Latino Orsini*. In Roma, appresso Vincentio Accolti, 1583). La seconda edizione del *Trattato*, stampata a Roma da Marcantonio Moretti e Giacomo Brianza nel 1586, fu curata da Egnazio Danti (1536- 1586). Nella *Lettera ai lettori* Danti scrive: « [...] di diuersi Istrumenti mathematici [...] posso sicuramente affermare, di non hauere mai adoperato nessuno, ne più comodo, ne migliore di questo radio latino [...] il quale per hauere in se racchiuso, l'antico Radio de Greci, e consequentemente la Balestriglia de Marinai Spagnoli [...] e la Gran Regola di C. Tolomeo, viene ad essere fecondissimo di tutte le operazioni Astronomiche e Geometriche, che con simili istrumenti si possono conseguire».

Il radio latino serviva non solo per misurazioni astronomiche, ma anche per calcolare l'altezza dei bastioni, per rilevare le piante delle fortezze e per misurare i calibri, il peso dei proiettili e l'alzo dei cannoni. Fu dunque uno tra i più significativi strumenti militari del Rinascimento

8.

ORSINI, Latino

Trattato del radio latino strumento giustissimo & facile piu d'ogn'altro per prendere qual si voglia misura, & positione di luogo tanto in cielo, come in terra. Il quale oltre alle operationi proprie sue fa anco tutte quelle della Gran Regola di C. Tolomeo, & dell'antico Radio Astronomico. Inuentato dall'ill.mo et excell.mo signor Latino Orsini. In Roma, appresso Vincentio Accolti, 1583.

[8], 72 p., [14] c. di tav. calcogr. : ill. ; 4°.

Roma, Biblioteca Nazionale Centrale 14.34.0.14

9.

## OROLOGIO SOLARE A TAZZA

1626; ottone, diametro mm 85, fattura italiana (?)

Orologio solare a forma di tazza. La coppa, di raffinata fattura, era presumibilmente era sorretta da un piedistallo inclinabile. All'interno della coppa, dove è incisa la data di fabbricazione, sono tracciate le linee orarie. Da un lato è saldata la bussola (manca l'ago magnetico) e il piccolo cono metallico (gnomone), che esposto al sole proietta la sua ombra sul diagramma delle ore. Lo strumento è costruito probabilmente per la latitudine  $41^\circ$ , come indica il numero 41 inciso sopra l'area delle linee orarie. Questa è, sia pur con qualche approssimazione, la latitudine di Napoli, città natale del cardinale Girolamo Casanate, al quale l'orologio solare potrebbe essere appartenuto.

SAROS

## Transito di Venere in rete

<http://www.phys.uu.nl/~vgent/venus/venustransitbib.htm>

Robert Harry van Gent, dell'Università di Utrecht, Olanda, Institute for History and Foundations of Mathematics and the Natural Sciences.

Contiene una vastissima bibliografia su tutti i transiti di Venere, con link attivi agli articoli originali in formato elettronico.

<http://www.phys.uu.nl/~vgent/astro/deltatime.htm>

Lo stesso autore ha realizzato un tutorial sul "delta T".

<http://www.lunar-occultations.com/iota/2004venus/2004venus.htm>

E' un sito di lavoro: la IOTA, The International Occultation Timing Association aggiorna in continuazione questo Master Index and Information Site for Lunar Occultations & Grazes, per lo scambio e la condivisione dei dati. Si tratta di una associazione internazionale ed interuniversitaria, che raccoglie l'eredità degli astronomi che tra il XIX ed il XX secolo hanno gettato le basi dell'astrometria moderna (Simon Newcomb, Chester Watts all'US Naval Observatory). David Dunham (Johns Hopkins Un.) è il presidente.

<http://www.exploratorium.edu/venus/question4c.html>

Spiegazione chiara ed elementare del metodo di Halley con figure. Il sito

è in inglese, ed è del famoso Exploratorium, museo della didattica scientifica di San Francisco. E' considerabile il prototipo dei siti educational e tutorial.

[http://sunearth.gsfc.nasa.gov/sunearthday/2004/vt\\_edu2004\\_venus\\_back\\_his.htm](http://sunearth.gsfc.nasa.gov/sunearthday/2004/vt_edu2004_venus_back_his.htm)

Il sito, in inglese, è finanziato dai progetti riguardanti le interazioni tra Sole e Terra, per i quali esiste il Sun-Earth day negli Stati Uniti, quest'anno il 19 marzo. E' gestito dal Goddard Space-Flight Center di Greenbelt, Maryland (alla periferia di Washington DC), uno dei centri più importanti per la ricerca spaziale americana.

<http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/transit/catalog/MercuryCatalog.html>

<http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/transit/catalog/VenusCatalog.html>

<http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/SEsaros/SEsaros.html>

Tre pagine del sito di Fred Espenak della NASA, noto anche come "cacciatore di eclissi". Il sito è ricco di informazioni, ma senza molte spiegazioni analitiche visto che tutti i tabulati sono generati al computer.

[http://www.dsellers.demon.co.uk/venus/ven\\_ch1.htm](http://www.dsellers.demon.co.uk/venus/ven_ch1.htm)

Il sito è dello scrittore David Sellers, autore inglese di "The Transit of Venus -The Quest to Find the True Distance of the Sun" pubblicato nel 2002. Ha il merito di aver ristampato per la prima volta dopo 200 anni il testo in Inglese di Halley sulla misura dell'Unità Astronomica, che si trova su questo sito.

67

<http://stars.bo.astro.it/~universo/venere/>

E' il sito del dipartimento di Astronomia dell'Università di Bologna dedicato al transito di Venere. Eustachio Zanotti era l'astronomo che insieme allo Ximenes a Firenze e all'Audiffredi a Roma osservò il transito del 1761. Il prof. Fabrizio Bònoli lo regimenta.

<http://www.bo.astro.it/~universo/venere/Sole-Pianeti/base/cosd3d2.htm>

La pagina contiene, in particolare, dati sulla parallasse solare nella storia.

[http://www.bo.astro.it/~biblio/sma/page/venere\\_05\\_06\\_1761.html](http://www.bo.astro.it/~biblio/sma/page/venere_05_06_1761.html)

Contiene un database in testi, bibliografie ed immagini della biblioteca dell'Osservatorio di Bologna.

<http://stars.bo.astro.it/~universo/venere/mostra.htm>

Con le foto della mostra allestita a Bologna per la storica occasione.

<http://www.to.astro.it/planet/venus/index.html>

Pagina del sito dell'osservatorio di Torino, gruppo di Planetologia.

<http://www.galassie.org/venus/index.htm>

Sito romano interamente dedicato al transito di Venere. Offre la possibilità di osservare le immagini online dell'evento in luce bianca ed in riga H-alfa.

<http://www.passaggiodivenere.it/>

Per informazioni sull'organizzazione nel territorio nazionale, è gestito dall'Istituto Nazionale di Astrofisica – INAF.

[http://www.coelum.com/calanca/i\\_transiti\\_di\\_venere.htm](http://www.coelum.com/calanca/i_transiti_di_venere.htm)

Sito gestito dalla rivista Coelum, di cui Rodolfo Calanca, autore delle pagine sui transiti, è vicedirettore. La rivista, veneta, è sotto la longa manus dell'università di Padova, dove c'è l'altra Facoltà di Astronomia italiana.

68

<http://www.astro.yale.edu/dept/overview/history.html>

Presenta la storia del dipartimento di Astronomia dell'Università di Yale. Scritto da Dorrit Hoffleit, 97 anni, attualmente professore emerito dell'Università di Yale tutt'ora in attività. Ha lavorato sulle stelle variabili e sulla Storia dell'Astronomia negli Stati Uniti fin dagli anni '20 cominciando sotto la direzione di Harlow Shapley ad Harvard.

E' qui riportata la notizia dell'Eliometro voluto da H. A. Newton:

"The Yale Heliumeter (the only one in America). Ordered from Repsold by H.A. Newton in 1880, delivered on time for measurements of the Transit of Venus on Dec. 6, 1882 for determination of solar parallax. This is the same type of instrument that Friedrich Bessel used in 1838 for the first significant determination of a stellar parallax (61 Cygni). Under the direction of W.L. Elkin from 1883 to 1910 the heliometer yielded (according to Frank Schlesinger) the most (238) and the best parallaxes obtained before the advent of photographic astrometry." L'obbiettivo [diviso in due proprio come l'eliometro di Fraunhofer] dell'eliometro è conservato nella biblioteca del dipartimento di Astronomia, sulla Science Hill a Yale, New Haven. L'eliometro di Yale segna dunque la transizione tra l'astrometria classica e la moderna astrometria, dove l'uso dell'occhio umano come rivelatore ha ceduto il passo agli strumenti automatici e alla fotografia.

Cfr. l'eliometro di Dollond nel museo di Bologna

[http://www.bo.astro.it/dip/Museum/italiano/can\\_41.html](http://www.bo.astro.it/dip/Museum/italiano/can_41.html) .

