

L'Osservazione

Cos'è il passaggio di Venere sul disco del Sole?

"In mezzo a tutti gli astri sta il Sole. In effetti, chi potrebbe collocare questa 'lampada' in un luogo diverso o migliore di quello da cui possa illuminare tutto quanto insieme?"

Niccolò Copernico
De Revolutionibus Orbium Coelestium (1543)

Oggi sappiamo con certezza quanto avevano già intuito Copernico, Keplero e Galilei: il Sole regola con la forza di attrazione gravitazionale il moto degli altri corpi del Sistema solare, illuminati e riscaldati dall'energia da esso prodotta.

Nel compiere le loro regolari rivoluzioni intorno al Sole, a causa delle differenti velocità con cui si muovono lungo le loro orbite, alcuni pianeti possono trovarsi periodicamente allineati con la Terra.

Tra questi allineamenti, quello tra Terra, Venere e Sole è stato molto importante per gli astronomi negli ultimi secoli.

Ogni 19 mesi Venere viene a trovarsi tra la Terra e il Sole: è quella che gli astronomi chiamano una "congiunzione inferiore".

Se all'atto di questa congiunzione anche i piani delle orbite, lungo le quali Terra e Venere si muovono (inclinati tra di loro di circa tre gradi e mezzo), si trovano in una particolare condizione, allora si verifica anche la rara coincidenza che i due pianeti giacciono su di una linea immaginaria che li congiunge con il Sole.

È solo in questo caso che dalla Terra si può osservare lo straordinario evento del passaggio di Venere proprio davanti al disco solare.

Si tratta di un allineamento analogo a quello che avviene tra Terra, Luna e Sole durante un'eclissi di Sole, salvo che, a causa delle distanze tra i tre corpi celesti e delle loro dimensioni relative, Venere non riesce a oscurare il Sole.

Infatti, il disco di Venere proiettato sul Sole ha le dimensioni di un primo d'arco, cioè di appena un trentesimo del disco solare, ai limiti della possibilità di osservazione ad occhio nudo.

Un allineamento analogo si verifica anche con Mercurio, ma le dimensioni apparenti del pianeta sono di appena dieci secondi d'arco, quindi questo transito non è assolutamente osservabile a occhio nudo.

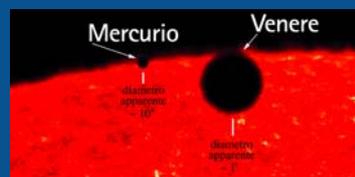
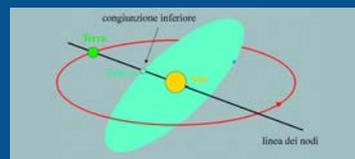
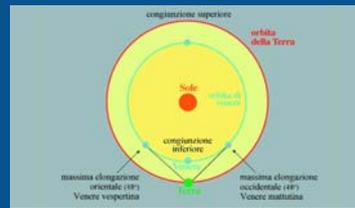
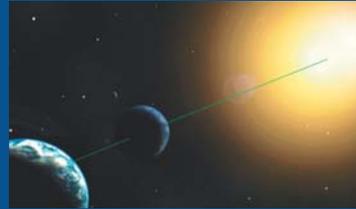
Fu Keplero, in un suo famoso avviso agli astronomi (*Admonitio ad curiosos rerum coelestium* del 1629), il primo a prevedere la possibilità di un allineamento di questo tipo per il 1631. Il grande astronomo tedesco morì nel 1630 e non riuscì a osservare il fenomeno.

Per la combinazione delle differenti velocità e inclinazioni delle orbite, questa singolare situazione astronomica si presenta con una coppia di eventi, separati da otto anni, che si ripropone alternativamente ogni 121 anni e mezzo e ogni 105 anni e mezzo.

Dai tempi della prima previsione di Keplero si sono verificate solo tre coppie di tali eventi: l'ultima alla fine dell'Ottocento.

Il primo passaggio della coppia successiva è proprio quello del giugno di quest'anno e il prossimo avverrà nel giugno del 2012.

Dopodiché, per assistere dalla Terra a un nuovo passaggio di Venere sul Sole, bisognerà attendere più di un secolo e questo spiega l'eccezionalità dell'avvenimento.



Il transito di Mercurio del 1999 ripreso dalla sonda SOHO. È stata aggiunta l'immagine di Venere in scala per dare un'idea delle rispettive proporzioni dei due pianeti. (NASA/ESA)



Giacomo Balla, *Mercurio passa davanti al sole, 1914* (tempera su carta foderata, 120x100cm). Il passaggio di Mercurio davanti al Sole del 1914, osservato al telescopio, venne interpretato astrattamente da Giacomo Balla attraverso cerchi (la rotazione) e triangoli (la penetrazione). Nella parte superiore del dipinto Mercurio (cerchio piccolo) incrocia il Sole (cerchio grande). I triangoli bianchi rappresentano i raggi solari, mentre il triangolo verde è un effetto luminoso osservato dall'artista al telescopio. (Collezione Gianni Mattioli; deposito temporaneo Collezione Peggy Guggenheim, Venezia)



L'Osservazione

Consigli per le Osservazioni

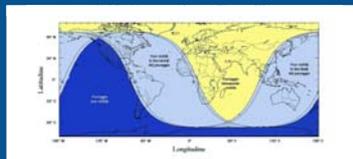
Il prossimo passaggio di Venere sul disco solare sarà interamente visibile l'8 giugno 2004 in Europa, Medio Oriente, buona parte dell'Africa (salvo la parte occidentale) e dell'Asia (eccetto le zone orientali).

Un transito planetario è caratterizzato dai quattro contatti del pianeta con il bordo del disco solare: il contatto esterno in ingresso (I), il contatto interno in ingresso (II), il contatto interno in uscita (III) ed il contatto esterno in uscita (IV). I tempi del transito variano da luogo a luogo a causa della parallasse geocentrica di Venere e del fuso orario: nella *figura lato* sono riportati i tempi di questi istanti per la città di Bologna.

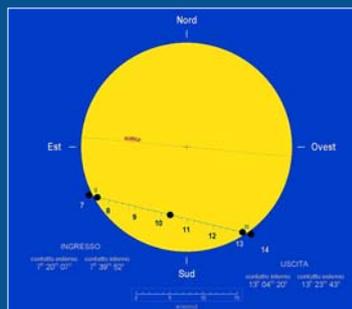
Un osservatore, anche se dotato di buona vista, potrà seguire con difficoltà il passaggio di Venere senza l'aiuto di una apposita strumentazione. Le dimensioni angolari di Venere sono al limite del potere risolutivo dell'occhio umano. Inoltre tutte le volte che si osserva il Sole, anche ad "occhio nudo", bisogna sempre utilizzare opportuni filtri solari e non semplici occhiali, negativi fotografici, o vetri anneriti.

È importante ricordare che osservare il Sole senza una adeguata protezione, anche solo per brevi istanti, può tradursi in gravi danni permanenti alla vista.

Il metodo più semplice e sicuro per compiere osservazioni solari consiste nell'impiegare un piccolo telescopio o un binocolo per proiettare l'immagine del Sole su un foglio di carta o su uno schermo in modo da evitare la visione diretta. In assenza del telescopio o del binocolo, si può anche utilizzare un semplice pezzo di cartone con un piccolo foro, che proietti l'immagine solare sullo schermo.



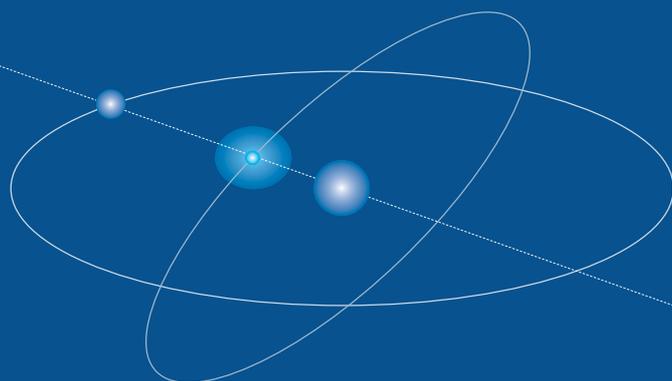
Visibilità del passaggio di Venere dell'8 giugno 2004.



Passaggio di Venere dell'8 giugno 2004 da Bologna.



Metodo di proiezione.



L'Osservazione

Perché gli astronomi hanno osservato per secoli il transito di Venere?

Quanto è lontano il Sole?

Quanto è grande il Sistema solare?

Gli astronomi hanno tentato di rispondere a queste domande, sin dai tempi più antichi, per comprendere le dimensioni del Cosmo allora conosciuto. È un po' quanto avviene oggi, quando cerchiamo di capire quanto è grande il nostro Universo.

Fino al Cinquecento, si pensava che il Sole fosse a meno di dieci milioni di chilometri da noi. Nel secolo successivo, questa distanza aumentò sino a poco più di cento milioni di chilometri, ma l'accuratezza con cui si riusciva a misurare era così bassa che era come se si fosse misurato un ragazzo o una ragazza alti 150 centimetri con una precisione di 30 cm: la loro altezza poteva risultare 120 o 180 cm!

La previsione del passaggio di Venere sul disco solare nel 1631, fatta da Keplero, consentì di sviluppare un metodo molto efficace per misurare la distanza del Sole. Lo stesso Keplero aveva anche trovato un relazione semplice e regolare tra la distanza di un pianeta dal Sole e il tempo che il pianeta stesso impiega a ruotargli intorno. Questo si esprime con la *Terza legge di Keplero* che afferma che il rapporto tra il quadrato del periodo di rivoluzione di un pianeta e il cubo della sua distanza media dal Sole è costante e uguale per tutti i pianeti. Fisicamente, si spiega con il fatto che, quanto più un pianeta è lontano, tanto meno sente la forza di attrazione del Sole e, quindi, gli ruota intorno più lentamente.

Di conseguenza, una volta misurata la distanza di un pianeta qualsiasi dal Sole, essendo già ben conosciuti i periodi di rivoluzione, si sarebbero trovate immediatamente le distanze di tutti gli altri, rispondendo alle domande che avevano tormentato gli astronomi per secoli.

Un giovane astronomo scozzese, James Gregory, suggerì, nel Seicento, di utilizzare il passaggio di Venere sul disco solare per misurare la distanza del Sole.

Fu Edmund Halley (quello della famosa cometa) a sviluppare, poco dopo, un metodo geometrico, concettualmente molto semplice, che fu utilizzato dagli astronomi nei secoli successivi.

Era sufficiente osservare il passaggio di Venere da due punti diversi della superficie terrestre, annotando gli istanti durante i quali si vedeva l'immagine del pianeta entrare nel disco solare, percorrerlo e uscirne.

Da queste osservazioni si poteva risalire alla distanza della Terra dal Sole e, con la *Terza legge di Keplero*, alle distanze di tutti i pianeti.

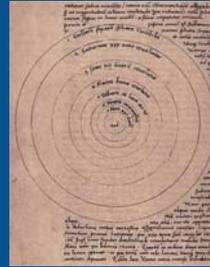
Il metodo, molto semplice in teoria, presentava in pratica enormi problemi.

Innanzitutto, il passaggio di Venere non è osservabile contemporaneamente da qualunque luogo sulla Terra, il che costringe gli astronomi a lunghi e faticosi viaggi per compiere le osservazioni.

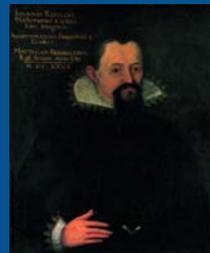
Inoltre, il metodo richiede che siano eseguite molto accuratamente sia le misure delle coordinate terrestri dei luoghi di osservazione, che quelle dei tempi del passaggio di Venere sul disco solare.

Per di più, non essendovi allora l'ausilio dei calcolatori, i calcoli necessari a confrontare le osservazioni eseguite dai diversi astronomi per ottenere dei risultati rigorosi erano molto lunghi e laboriosi.

Questo spiega l'importanza che ha avuto nei secoli scorsi l'osservazione di un fenomeno astronomico così raro, come il passaggio di Venere sul disco del Sole: gli astronomi volevano sfruttare l'opportunità per conoscere finalmente le dimensioni del nostro Sistema solare!



Il Sistema copernicano, del 1543, poneva il Sole al centro del Sistema solare e i pianeti ordinatamente in rivoluzione attorno ad esso, permettendo di esprimere le distanze in funzione delle dimensioni dell'orbita terrestre.



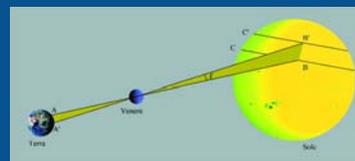
Johannes Kepler.



L'ingresso di Venere sul disco solare nel 1761, in un disegno di M.V. Lomonosov.



Jeremiah Horrocks osserva il passaggio del 1639, in un dipinto di J.W. Lavender del 1903. (Astley Hall Museum & Art Gallery, Charley)



Un osservatore posto in un osservatorio sulla Terra (A) vedrà Venere muoversi sul Sole lungo la linea C, mentre un osservatore posto in un altro osservatorio (A') lo vedrà muoversi lungo la linea C'. Nello stesso istante, Venere apparirà ai due osservatori in due punti diversi (B e B'). La distanza tra i due osservatori (A e A') è data dalla differenza tra le coordinate geografiche dei due luoghi sulla Terra. La distanza tra i due punti (B e B') in cui si osserva contemporaneamente l'immagine di Venere sul Sole (angolo θ) può essere ottenuta misurando la differenza della durata del transito nei due luoghi di osservazione. Da questi dati si risale alla distanza Terra-Sole cercata.

L'Osservazione

Le Osservazioni del transito dal Seicento all'Ottocento

"L'osservazione del passaggio di Venere sul disco solare sarà, nel prossimo secolo, l'unico modo per scoprire la reale distanza della Terra dal Sole."

Edmund Halley (1691)

Sin dalla prima previsione di Keplero del passaggio dei pianeti interni sul disco solare, fu subito chiara l'importanza dell'osservazione di questi fenomeni per approfondire la conoscenza del Sistema solare, delle dimensioni relative dei corpi che lo compongono e delle distanze planetarie.

L'esortazione di Keplero fu seguita dal parigino Gassendi. Nel novembre del 1631 egli osservò il passaggio di Mercurio, il cui diametro si rivelò circa dieci volte più piccolo di quanto prevedevano le stime precedenti. Il mese successivo, Gassendi si preparò ad osservare il passaggio di Venere; l'incertezza riguardo alla previsione di Keplero lasciava aperte le speranze di poter seguire l'evento da Parigi dove si trovava l'astronomo. Ma le speranze di Gassendi furono disilluse, il passaggio di Venere del 7 giugno 1631 si verificò quando a Parigi era ancora notte fonda.

I primi a osservare un passaggio di Venere furono Jeremiah Horrocks e William Crabtree nel 1639, ma misure accurate vennero condotte solo nei passaggi dei secoli successivi.

Il metodo geometrico elaborato da Halley, poi perfezionato da Nicolas Delisle, permetteva di calcolare con estrema precisione il valore della distanza che separa la Terra dal Sole, con misure eseguite da almeno due punti della superficie terrestre il più possibile lontani. Poiché un transito planetario non è mai interamente visibile da tutta la Terra, furono organizzate avventurose spedizioni scientifiche in luoghi spesso ancora inesplorati.

Ricordiamo la spedizione italiana in India, a Muddapur, organizzata da Pietro Tacchini in occasione del passaggio di Venere del 1874, il cui strumento principale era il rifrattore Steinheil della specola bolognese.

Oltre alle difficoltà di tipo ambientale che dovevano affrontare gli astronomi in viaggio, uno dei problemi principali contro la buona riuscita della misura dei tempi di transito era il cosiddetto fenomeno della "goccia nera". Si tratta del prolungamento dell'immagine scura del disco di Venere verso il bordo del disco solare nelle fasi di contatto interno. Tale effetto ottico, che pregiudica la misura dell'istante preciso di inizio e fine del passaggio, fu analizzato dettagliatamente da Guido Horn d'Arturo, direttore dell'Osservatorio Astronomico Universitario bolognese nella prima metà del secolo scorso, il quale giunse alla conclusione che si trattava di una deformazione apparente legata a effetti di astigmatismo.

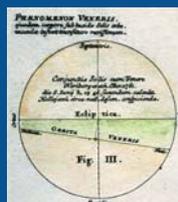
Uno studio completo dell'enorme quantità di dati provenienti dalle osservazioni settecentesche fu ultimato solamente nel 1890 dall'astronomo americano Simon Newcomb.

Dalla fine dell'Ottocento, lo stesso metodo iniziò ad essere utilizzato per il passaggio davanti al Sole del pianetino Eros. Le dimensioni di Eros, molto inferiori a quelle di Venere, consentono di individuarne la posizione sul disco Solare con grande accuratezza.

Il valore della distanza Terra-Sole oggi accettato è stato ottenuto con metodi diversi, basati sulle moderne tecnologie (radar, satelliti artificiali, sonde planetarie).

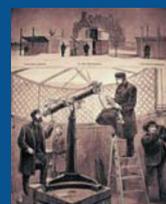
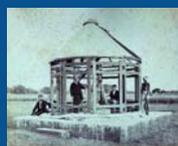


Crabtree osserva il passaggio di Venere del 1639. (dipinto di F.M. Brown, Manchester City Galleries)



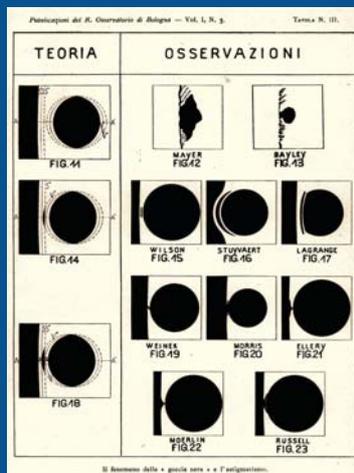
A sinistra. Johann Doppelmayr: Atlas coelestis, 1742. (Collezione Charles Bueter)

A destra. Chappe osserva il passaggio di Venere del 1761 dalla Siberia. (J. Chappe d'Autoche: Voyage en Sibérie, Paris, 1768)



A sinistra. Una delle postazioni allestite dalla spedizione italiana in India per osservare il passaggio di Venere del 1874. (Cortesia di Illeana Chinnici, INAF - Osservatorio astronomico di Palermo)

A destra. Astronomi americani all'opera presso il Trinity College di Hartford in occasione del passaggio del 1892. (Illustrazione Italiana, 1893, n. 1)



La goccia nera illustrata da Guido Horn d'Arturo. (G. Horn d'Arturo: "Il fenomeno della "goccia nera" e l'astigmatismo", Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico della R. Università di Bologna, 1922, vol. I, n. 3)



Serie di fotografie del passaggio di Venere del 1874 realizzate dalla spedizione francese nell'isola di St. Paul nell'Oceano Indiano. (Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides - Observatoire de Paris)

Come è cambiata la conoscenza della distanza Terra-Sole nel tempo (valori stimati secondo le unità di misura dell'epoca e riportati approssimativamente in chilometri).

	data	distanza media TERRA-SOLE (km)		data	distanza media TERRA-SOLE (km)
Anassimandro	V sec. a.C.	c. 350 000	media osservazioni (Venere)	1761-1769	c. 151 000 000
Ipparco	II sec. a.C.	c. 15 000 000	Newcomb (Venere)	1890	149 668 465
Tolomeo	II sec. d.C.	c. 8 000 000	planetino Eros	1900	149 552 887
Copernico	1543	c. 9 600 000	radar (IAU)*	1976	149 597 870
Keplero	1609	c. 22 400 000	radar + Viking	2000	149 597 836
Horrocks (Venere)	1639	c. 87 700 000			

* (International Astronomical Union)

L'Osservazione

6 giugno 1761: il transito da *Bologna*

Oltre a organizzare, in occasione dei transiti settecenteschi, avventurose spedizioni nei quattro angoli del globo, tutti i grandi Osservatori predisposero osservazioni locali dell'eccezionale evento. Così pure la Specola di Bologna, al tempo una delle più importanti d'Europa.

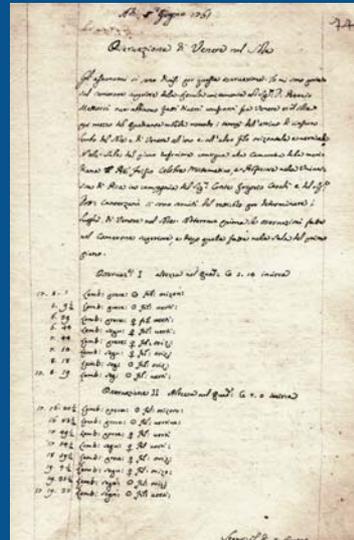
Era direttore allora Eustachio Zanotti, coadiuvato dagli assistenti Petronio Matteucci (suo successore alla guida della Specola) e Sebastiano Canterzani (futuro Segretario dell'Istituto delle Scienze), dai due membri dell'Accademia Gregorio Casali e Tommaso Marini e dal celebre matematico e filosofo milanese Paolo Frisi, al tempo docente all'Università di Pisa e unitosi al gruppo per l'occasione.

La cronaca della giornata e i risultati delle osservazioni, pubblicati nei *Commentarii* dell'Accademia delle Scienze, si trovano nei diari di osservazione conservati nell'Archivio del Dipartimento di Astronomia, datati 5 giugno – e non 6: infatti gli astronomi cominciavano a contare le ore del giorno a partire da quello che noi oggi chiamiamo mezzogiorno locale, per loro le ore 24, mentre la mezzanotte corrispondeva alle ore 12. Le cose erano ulteriormente complicate dal fatto che l'orario civile in uso a Bologna a quel tempo, definito ora "italiana da campanile", prevedeva l'inizio del computo delle ore a partire da mezz'ora dopo il tramonto: la cosiddetta *Ave Maria*.

In quell'alba estiva, gli astronomi pronti ad osservare il passaggio di Venere erano sei, ognuno con un diverso strumento: Zanotti utilizzò un quadrante mobile, gli altri dei cannocchiali muniti di reticoli formati da fili, che servivano da riferimento per seguire il moto dei corpi celesti nell'oculare. La misura era scandita dal battito del pendolo di due orologi regolati con grande precisione.

Nonostante le cattive condizioni meteorologiche della notte precedente il transito, poco prima dell'alba il cielo era sereno e le osservazioni ebbero regolarmente luogo. I convenuti erano divisi in due gruppi, uno al piano superiore della Specola e l'altro al piano di sotto, accanto alla sala Meridiana che ancora oggi chi visita il Museo della Specola può vedere.

I nostri astronomi riuscirono a misurare ben 14 posizioni di Venere sul disco solare, a intervalli di circa venti minuti, compresa l'uscita dell'immagine del pianeta dal disco solare. Da questi elementi fu possibile risalire alla traiettoria di Venere sul Sole e ai parametri dell'orbita. Negli anni successivi, il lavoro di Zanotti fu criticato dall'astronomo francese Alexandre Pingré, che riteneva i dati bolognesi inaffidabili: si dimostrò che il francese era in errore!



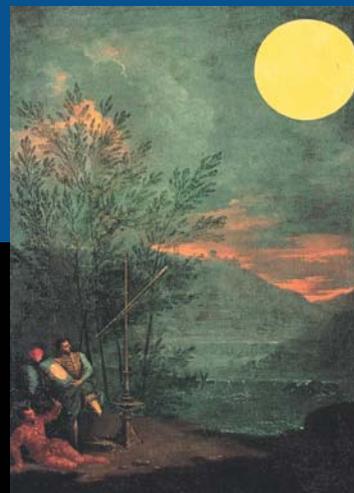
Pagina manoscritta dei diari di osservazione. (Archivio storico del Dipartimento di Astronomia di Bologna)



Il reticolo di fili che servivano da riferimento per seguire il moto degli astri nel telescopio. (Museo della Specola di Bologna)



La sala meridiana della Specola completamente restaurata nel 1979. (Museo della Specola di Bologna)



Gli astronomi osservano il Sole proiettato attraverso un telescopio. Il dipinto di Donato Creti venne commissionato, insieme ad altri sette, dal conte Marsili per farne dono al Papa nel 1711, in occasione di una richiesta di contributi per la costruzione della Specola dell'Istituto delle Scienze di Bologna. I dipinti illustrano diversi oggetti celesti e alcuni degli strumenti degli astronomi bolognesi oggi esposti al Museo della Specola. (Pinacoteca Vaticana)