

Il passaggio di Venere sul Sole dell'8 giugno 2004 a Bologna

dopo 243 anni !

[Descrizione del fenomeno
e storia dei transiti](#)

[Manifestazioni pubbliche](#)

[Conferenze](#)

[Osservazione](#)

[Mostra](#)



Il giorno del passaggio di Venere...

Il passaggio di Venere sul disco solare dell'8 giugno 2004

F. Bònoli G. Parmeggiani F. Poppi

Dipartimento di Astronomia e Osservatorio Astronomico di Bologna

Di cosa si tratta?

Come e quando si verifica questo fenomeno celeste

Perché il transito di Venere riscuote tanto interesse?

Le ragioni che hanno spinto gli astronomi a seguire con grande attenzione questo evento

Alla ricerca del valore più preciso della distanza Terra-Sole

Le avventurose spedizioni degli astronomi-esploratori: Pingré, Chappe, Le Gentil, Cook

La Specola astronomica di Bologna e il transito di Venere

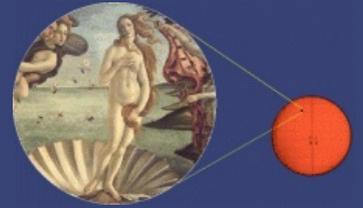
Le prime osservazioni del 1761 e il telescopio della Specola di Bologna in India nel 1874

Il transito imminente

Il transito del 2004 sarà visibile anche dall'Italia

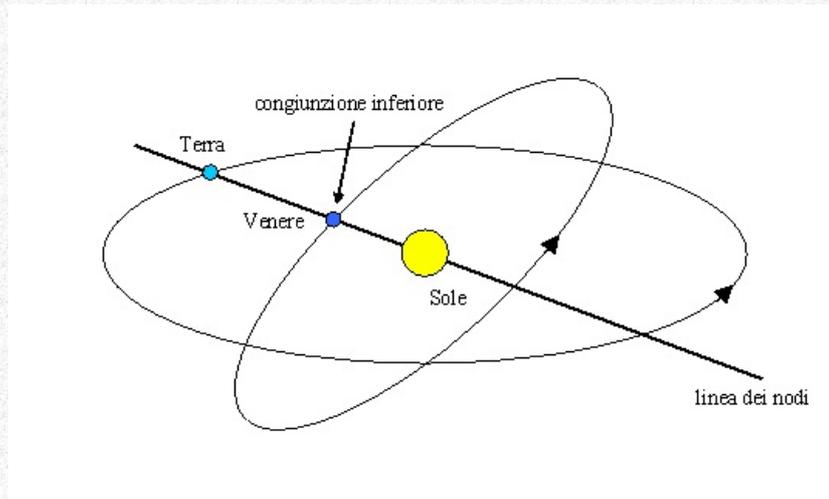
Consigli per le osservazioni

Attenzione alla vista!!



Di cosa si tratta?

Nel compiere le sue rivoluzioni attorno al Sole, Venere viene a trovarsi periodicamente tra il nostro pianeta ed il Sole (*congiunzione inferiore*). Se questa congiunzione ha luogo quando la Terra e Venere si trovano sulla linea in cui i piani dell'orbita dei due pianeti si incontrano (*linea dei nodi*), allora dalla Terra si vede il disco di Venere transitare sul disco più grande del Sole.



A causa della diversa inclinazione delle orbite dei due pianeti, il transito di Venere sul Sole è un fenomeno piuttosto raro che avviene con varia periodicità ed è caratterizzato da un ciclo stabile di 243 anni. Fu previsto per la prima volta da Keplero (1571-1630) per l'anno 1631, da allora sino ai nostri giorni si sono verificate tre coppie di eventi, separati da otto anni, distanziate alternativamente da 121,5 e 105,5 anni. L'ultimo transito di Venere è avvenuto nel 1882, mentre il prossimo avrà luogo l'8 giugno 2004.

Qui di seguito l'elenco dei transiti avvenuti a partire dal XVII secolo:

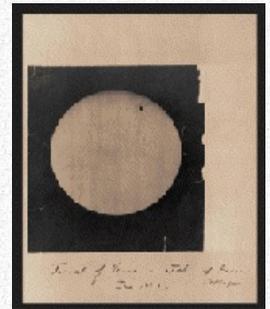
1631	7 dicembre
1639	4 dicembre
1761	6 giugno
1769	3 giugno
1874	9 dicembre
1882	6 dicembre.

I prossimi due transiti avverranno nei giorni:

2004	8 giugno
2012	6 giugno.

Dopodiché, per poter assistere dalla Terra ad un nuovo passaggio di Venere sul Sole, bisognerà attendere più di un secolo:

2117	11 dicembre
2125	8 dicembre.



Fotografia di Venere sul disco solare relativa al passaggio del 1882 (crediti: *Vassar College*, Hudson Valley - New York).

Perchè il transito di Venere riscuote tanto interesse?

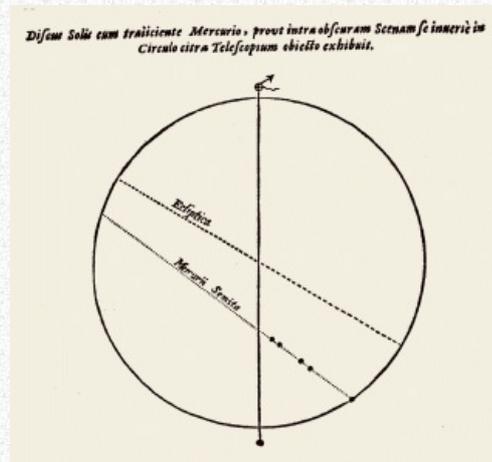
Come abbiamo visto, si tratta di un evento piuttosto raro, evento che in passato ha svolto un ruolo fondamentale nella misura delle distanze planetarie, in quanto forniva l'opportunità di conoscere, con buona precisione, il valore della distanza tra la Terra ed il Sole, che gli astronomi chiamano Unità Astronomica (UA). Una volta che si sia riusciti a misurare la distanza anche di uno solo dei pianeti dal Sole, è possibile risalire alle distanze degli altri pianeti, mediante la terza legge di Keplero, che stabilisce una relazione tra la distanza e il periodo di rivoluzione, cioè il tempo impiegato dal pianeta a percorrere la sua orbita.

Nel 1716, al fine di eseguire la misura anzidetta, E. Halley (1656-1742) sviluppò un metodo geometrico, da un'idea di J. Gregory (1638-1675), secondo il quale era necessario annotare i tempi ai quali avveniva il transito osservandolo da due punti diversi della superficie terrestre aventi coordinate geografiche note (per chi fosse interessato ad approfondire questo metodo, o per quegli insegnanti che volessero proporlo a scuola come utile esercizio, vedi il [Calcolo della distanza Terra-Sole dal transito di Venere](#))

Lo stesso principio può essere applicato in occasione dei transiti di Mercurio. In questo caso, però, lo spostamento da misurare, dovuto al diverso angolo di vista dei due osservatori, è minore a causa della maggiore distanza del pianeta dalla Terra e, quindi, maggiore il peso delle imprecisioni sul risultato finale delle osservazioni.

Una valida alternativa al transito di Venere arrivò solo tra il 1898 e il 1901, grazie alla scoperta del pianetino Eros: caratterizzato da un'orbita molto eccentrica, quindi, in certi momenti assai vicino alla Terra, offre il vantaggio di possedere un grande angolo di [parallasse](#); inoltre, le sue ridotte dimensioni facilitano l'individuazione della sua posizione apparente sul disco solare.

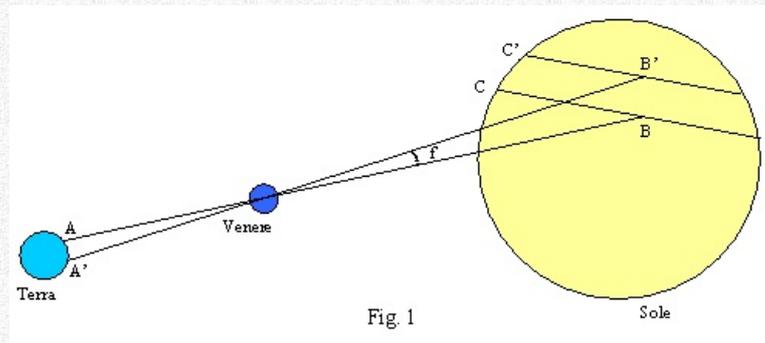
Le misure più recenti dell'Unità Astronomica, compiute mediante l'utilizzo di segnali radar e di satelliti artificiali, hanno portato al valore di 149.597.870 km, dato accettato dall'*International Astronomical Union* (IAU 1976); ma il risultato a cui era giunto Newcomb nell'Ottocento - pari a 149.668.465 km - partendo dalle misure compiute in occasione dei transiti settecenteschi, non era molto diverso.



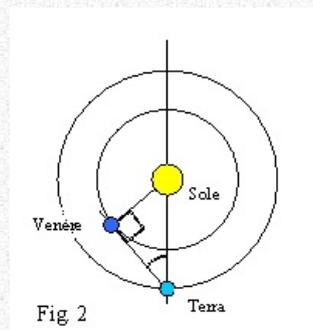
Transito di Mercurio del 7 novembre 1631 (P. Gassendi, *Mercurius in Sole visus et Venus invisus*).

Calcolo della distanza Terra-Sole dal transito di Venere

Il calcolo della Unità Astronomica, ovvero della distanza che separa la Terra dal Sole, mediante le osservazioni dei transiti dei pianeti interni richiede l'applicazione di un metodo geometrico basato sulle misure dei tempi di transito presi da due punti diversi della superficie terrestre, lontani il più possibile secondo la direzione perpendicolare al piano dell'eclittica.



Un osservatore posto in A (fig. 1) vedrà il pianeta descrivere la corda C, mentre un osservatore posto in A' lo vedrà transitare sulla corda C', cosicché, ad uno stesso istante, Venere apparirà in due punti diversi, rispettivamente B e B'. La separazione angolare tra B e B' (angolo f) può essere ottenuta dalla differenza della durata del transito nei due luoghi di osservazione; d'altra parte la distanza tra i due punti A e A' è nota, così che è possibile risalire alla distanza BB' ed infine alla distanza Terra-Sole cercata.



Cerchiamo ora di eseguire i calcoli utilizzando un metodo semplificato. L'elongazione massima di Venere - la sua distanza apparente dal Sole, vista dalla Terra - varia da 45° a 48° : per comodità, ipotizziamo orbite circolari e prendiamo il valore medio di elongazione massima di Venere, pari a 46° (fig. 2):

$$SV/ST = \text{sen } 46^\circ = 0,72$$

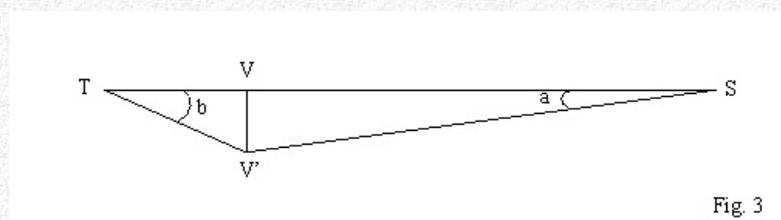
da cui

$$SV = 0,72 \times ST$$

$$ST = 1 \text{ UA}$$

$$SV = 0,72 \text{ UA} ; TV = 0,28 \text{ UA}$$

Sempre nell'assunzione di orbite circolari, cerchiamo di ricavare la velocità apparente di Venere. Il periodo sinodico di Venere ovvero il tempo che il pianeta, osservato dalla Terra, impiega per tornare in una stessa posizione rispetto al Sole, è di 584 giorni.



Nella figura 3:

T = Terra

S = Sole

V = Venere in congiunzione inferiore

V' = Venere un'ora dopo la congiunzione

$$VV' = TV \times \text{sen } b = SV \times \text{sen } a$$

$$\text{sen } b / \text{sen } a \approx b/a = SV/TV = 0,72 / 0,28$$

L'angolo a descritto da Venere attorno al Sole in un'ora sarà (in primi d'arco):

$$a = 360 \times 60 / 584 \times 24$$

$$b = a \times (0,72 / 0,28) = 360 \times 60 \times 0,72 / 584 \times 24 \times 0,28 = 4'$$

Dunque, la velocità con la quale Venere transita davanti al Sole è di circa 4 primi d'arco all'ora.

Tornando alla figura 1, supponiamo che AA' sia perpendicolare al piano dell'eclittica e che la distanza tra i due osservatori sia di 5.000 km. Ipotizziamo, inoltre, che il transito di Venere davanti al Sole duri 6 ore per l'osservatore posto in A' e 6 ore e 8 minuti per l'osservatore posto in A.

Nella figura 4 è rappresentato il disco solare con i due tracciati del transito I'U' e IU, osservati, rispettivamente, dalle due postazioni A' e A:

$$I'U' = 6\text{h} \times 4'/\text{h} = 24'$$

$$I'B' = 12'$$

$$IU = 6\text{h } 8\text{m} \times 4'/\text{h} = 24,53'$$

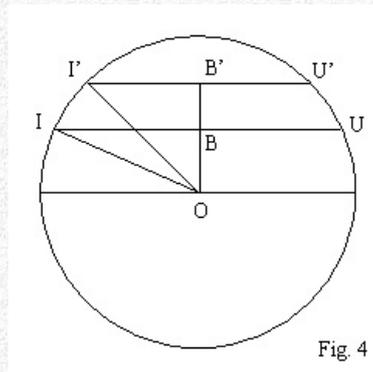
$$IB = 12,27'$$

Il raggio del Sole sappiamo essere $OI' = OI = 16'$, da cui, per il teorema di Pitagora:

$$BO = 10,269' \text{ e } B'O = 10,583'$$

quindi

$$B'B = 0,314' = 0,00523^\circ$$



Ma possiamo risalire anche alla misura in km di BB':

$$BB'/AA' = BV/AV = 0,72 \text{ UA} / 0,28 \text{ UA}$$

da cui

$$BB' = 72/28 \times 5.000 \text{ km} = 12.857 \text{ km}$$

Quindi la distanza Terra-Sole, ovvero AB, risulterà:

$$\text{sen } 0,00523 / 2 \times AB = 12.857 / 2$$

$$AB = 6.429 / \text{sen } 0,00262 = 140593346 \text{ km}$$

che, considerando il raggio della Terra pari a 6378 km, corrisponde ad una [parallasse](#) solare di 9,36 secondi d'arco.

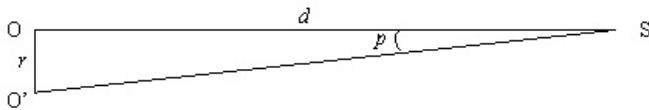
Si tratta, come abbiamo detto, di un metodo semplificato e, di conseguenza, il risultato che abbiamo ottenuto non rappresenta il valore corretto della distanza Terra-Sole. Le odierne misure dell'Unità Astronomica, realizzate con l'ausilio di satelliti e segnali radar, hanno portato al valore di 149.597.870 km, accettato dall'*International Astronomical Union* (IAU 1976); ma il valore calcolato da Newcomb nell'Ottocento, partendo dalle misure compiute in occasione dei transiti settecenteschi e secondo un metodo trigonometrico simile (ma più rigoroso) a quello esposto in queste pagine, non era molto diverso e, precisamente, di 149.668.465 km.

L'angolo di parallasse

Le distanze astronomiche degli oggetti celesti vicini vengono comunemente espresse secondo l'angolo di parallasse. Esistono due sistemi di riferimento, di diversa scala: la *parallasse geocentrica*, per la misura delle distanze planetarie, e la *parallasse annua*, per la misura delle distanze stellari.

L'angolo di parallasse non è altro che l'angolo che si forma tra le due linee di vista di due osservatori che guardano uno stesso oggetto, posti ad una certa distanza tra loro.

Si parla di parallasse geocentrica, quando la distanza tra i due osservatori è definita uguale al raggio terrestre, mentre di parallasse annua, quando la distanza tra i due osservatori è uguale al semiasse maggiore dell'orbita della Terra attorno al Sole (ovvero l'Unità Astronomica, proprio la distanza misurata per mezzo del transito di Venere).



Nella figura, O e O' sono i due osservatori, S è l'oggetto osservato, r il raggio terrestre (= 6378 km) nel caso della parallasse geocentrica, oppure il semiasse maggiore dell'orbita della Terra (= 149597870 km) nel caso della parallasse annua, p l'angolo di parallasse e d la distanza dell'osservatore dall'oggetto.

La relazione tra la distanza e la parallasse è data dalla semplice formula:

$$d = r / \text{sen } p$$

Spesso viene usato il *parsec* come unità di misura delle distanze stellari. Una stella si trova alla distanza di 1 parsec quando la sua parallasse annua è di un secondo d'arco. Dalla relazione sopra enunciata, 1 parsec corrisponde a 30.856.775.670.469 km, ovvero, dato che la luce viaggia nel vuoto a 299.792 km al secondo, 3,26 anni luce.

La prima misura di parallasse annua delle stelle fu effettuata nel 1838 da Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) per la stella 61 Cygni, che risultò avere una parallasse di 0,3136 secondi d'arco. Le stelle più vicine a noi, e quindi caratterizzate da un angolo di parallasse maggiore, sono:

<i>Proxima Centauri</i>	=	0,76"
<i>alfa Centauri</i>	=	0,75"

Alla ricerca del valore più preciso della distanza Terra-Sole

Sin dal primo suggerimento di Keplero di seguire il transito di Venere del 1631, ci si accorse della possibilità di sfruttare l'occasione per definire la scala delle dimensioni del Sistema solare, base di partenza, a sua volta, per le distanze galattiche. Al giorno d'oggi vi sono nuovi e più precisi metodi di misura dell'Unità Astronomica (UA), frutto delle moderne tecnologie, mentre all'epoca dell'ultimo transito non esisteva sistema migliore di quello offerto dal fenomeno in questione.

Keplero, nelle sue effemeridi, non aveva previsto il transito del 1639, cosa che invece fece Jeremiah Horrocks (1618-1641). Questi compì le osservazioni, ma non ebbe il tempo di analizzare i risultati a causa della sua scomparsa prematura. Si dovette, così, attendere più di un secolo per poter avere i primi dati per il calcolo della distanza Terra-Sole con questo metodo e, precisamente, l'anno 1761, quando gli astronomi di tutto il mondo non vollero più lasciarsi sfuggire un'occasione tanto importante.

Ricordiamo che per giungere alla misura cercata era necessario compiere le osservazioni da più punti sulla superficie terrestre, per questo motivo furono organizzate numerose spedizioni scientifiche in tutti gli angoli del globo, con tutti i rischi e pericoli che comportava un lungo viaggio per mare e la permanenza in luoghi sconosciuti. Oltre ai diari d'osservazione, ricchi di importanti dati astronomici, ai nostri giorni rimangono le affascinanti storie di coraggiosi astronomi-viaggiatori alle prese con tempeste, arrembaggi, epidemie o, "semplicemente", con un cielo coperto proprio nelle ore in cui doveva verificarsi il tanto inseguito ed atteso transito. Storie di scienziati che data la lunga lontananza dalla patria - i viaggi avevano una durata imprecisata e comunque non inferiore ad alcuni anni - vennero, talora, considerati dispersi e che, sopravvissuti, in realtà, alle numerose insidie della spedizione, una volta tornati alle loro case, dovettero ancora faticare per riacquistare i propri beni spartiti tra gli eredi. Tutto questo avvenne tra gli anni 1761 e 1769 ed ancora tra il 1874 e il 1882. Tra i tanti personaggi che attraversarono incredibili vicissitudini alla ricerca del valore più preciso della distanza Terra-Sole, qui ricordiamo alcune storie singolari ed emblematiche, quali quelle vissute da [A.G. Pingré \(1711-1796\)](#), [J. Chappe \(1722-1769\)](#), [Le Gentil \(1725-1792\)](#) e [J. Cook \(1728-1779\)](#).



Replica della *Endeavour*, imbarcazione capitanata da James Cook durante le esplorazioni che portarono all'osservazione del transito del 1769 (crediti: www.barkendeavour.com.au).

L'elaborazione dei dati ottenuti fu terminata solo nel 1890 da Simon Newcomb (1835-1909) e portò ad un valore assai preciso della [parallasse](#) solare pari a 8,79 secondi d'arco, che corrisponde ad una distanza Terra-Sole di 149.668.465 km.

Alexandre-Gui Pingré (1711-1796)

Transito del 6 giugno 1761

Il 17 novembre 1760 Pingré lasciò Parigi in grande trepidazione, consapevole dei pericoli a cui sarebbe andato incontro durante il lungo viaggio verso la piccola isola di Rodrigues, situata a est del Madagascar e oggi appartenente alla Repubblica di Mauritius.

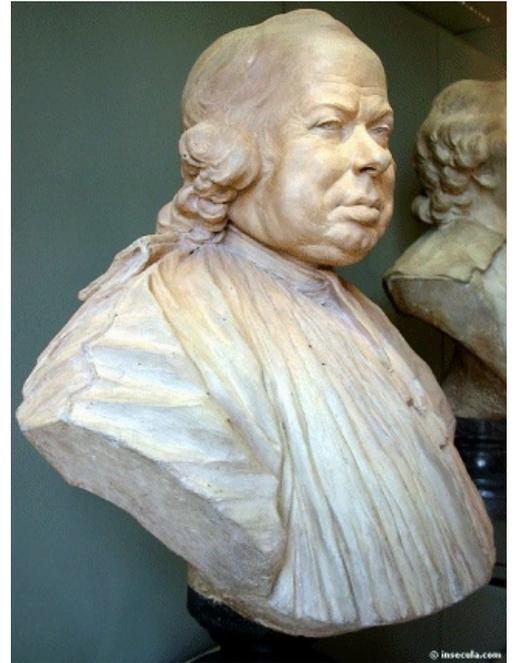
All'epoca, Francia ed Inghilterra erano in lotta tra loro per il predominio sulle rotte marine, il che comportava violente battaglie in mare e alti costi in termini di vite umane ed imbarcazioni. In vista del transito di Venere del 1761, era stato promosso un accordo dalle Accademie delle due nazioni affinché non fossero ostacolati gli scienziati impegnati nei viaggi per osservare il tanto atteso fenomeno celeste. Ciononostante, gli astronomi non si sentivano al sicuro e a ragione, dato che le navi in guerra prima sparavano e poi, eventualmente, controllavano i lasciapassare.

Già il giorno dopo la partenza, la nave francese con a bordo gli uomini e la strumentazione della spedizione di Pingré si trovò in vista di cinque navi da guerra britanniche. L'abilità del capitano, nonché le favorevoli condizioni meteorologiche, favorirono la fuga dei francesi. L'incontro ravvicinato non fu però senza conseguenze per l'astronomo, il quale dovette proseguire il viaggio in condizioni meno agevoli, essendosi visto ridurre ampiamente lo spazio a disposizione per lasciare posto ai cannoni in assetto da battaglia.

Durante il viaggio vi fu una disputa tra Pingré ed il navigatore dell'equipaggio, su quale fosse il metodo migliore per calcolare il punto nave, in particolare, la longitudine. Ne nacque una sfida: i due dovevano determinare le coordinate secondo il proprio metodo e poi confrontarle, con risultati, spesso, fortemente discordanti. Quando si giunse nei pressi delle isole di Capo Verde, mentre l'uno sosteneva che, continuando sulla stessa rotta, si sarebbe passati ad est delle isole, l'altro era sicuro del passaggio a ovest. Il comandante, per evitare brutte sorprese, decise di fermare la nave di notte e di proseguire a vista fino al doppiaggio delle isole.

Superato il capo di Buona Speranza e trovatisi nell'Oceano Indiano, l'arrivo all'isola di Rodrigues sembrava cosa fatta, quando fu intercettata una nave francese. L'euforia, dovuta al pensiero di poter ottenere viveri freschi, fece subito posto allo sconforto nel constatare che l'imbarcazione era fortemente danneggiata e necessitava di essere scortata fino all'isola di Mauritius. Il tempo perso rischiava di mandare a monte la spedizione scientifica, ma Pingré, dopo insistenti lamentele e rischiando di essere messo ai ferri, riuscì ad ottenere di essere trasferito da Mauritius a Rodrigues a bordo di una veloce corvetta.

Nonostante il maltempo che prolungò il viaggio di qualche giorno, il 6 giugno 1761 Pingré poté finalmente seguire il transito dal luogo prestabilito, ma le avventure non finirono qui. A fine giugno, una nave corsara inglese giunse a Rodrigues; l'imbarcazione su cui era arrivato l'astronomo fu catturata e, dopo essersi visti razzare tutto il possibile, Pingré e compagni furono abbandonati sull'isola. A trarli in salvo arrivò una nave francese che portò gli sventurati sull'isola Bourbon (l'attuale Reunion, nelle isole Mascarene) e da lì, su di una nuova imbarcazione, Pingré partì per la Francia. Sennonché, sulla rotta del rientro l'imbarcazione francese fu abbordata da una nave della marina britannica e dirottata in Portogallo. Qui, stanchi e lungi dal voler riprendere la via del mare, Pingré ed i suoi decisero di raggiungere Parigi su di un carro trainato da buoi.



Busto di Alexandre-Gui Pingré, conservato al Louvre (crediti: www.insecula.com).

Jean Chappe d'Auteroche (1722-1769)

Transito del 6 giugno 1761

Su invito dell'Accademia Imperiale Russa, l'*Académie des Sciences* inviò Chappe ad osservare il transito di Venere del 1761 a Tobolsk, nel bassopiano siberiano occidentale, a 5000 km da Parigi.

Il viaggio presentava non poche difficoltà, il tempo stringeva ed occorreva muoversi in pieno inverno, inoltre, la spedizione francese doveva passare per San Pietroburgo a rendere omaggio all'Accademia russa, allungando così il tragitto. Chappe pensò allora di compiere parte del viaggio per mare su di una nave olandese che avrebbe navigato lungo le coste del nord Europa. Un ritardo nella preparazione del corredo di strumenti scientifici impedì l'imbarco; questo si rivelò un evento incredibilmente favorevole per la spedizione, dato che la nave naufragò sulle coste svedesi prima di giungere a destinazione.

Chappe e i suoi partirono sul finire di novembre del 1760 alla volta di Strasburgo. Le tappe successive sarebbero state Vienna e Varsavia, poi da San Pietroburgo avrebbero continuato verso Mosca per giungere, infine, in Siberia. Pochi giorni di percorrenza in carrozza su strade alquanto scomode portarono alla decisione di raggiungere Vienna lungo il Danubio. Le intense nebbie invernali ritardarono la navigazione, il che permise a Chappe di realizzare una mappa della parte superiore del Danubio; inoltre, quando l'imbarcazione era costretta a fermarsi, egli scendeva a terra e scalava le montagne per misurare l'altezza mediante il barometro.

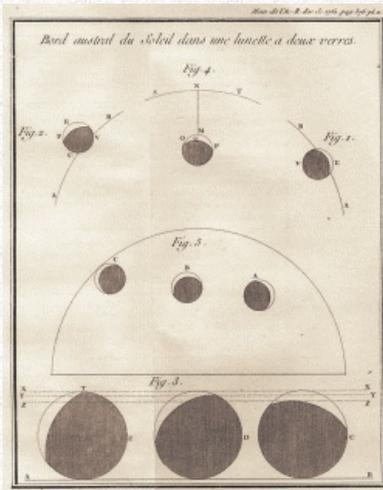
Da Vienna il viaggio continuò nuovamente in carrozza e poi in slitta, le difficoltà maggiori erano legate al passaggio dei fiumi semighiacciati: i ponti erano inesistenti e passare sul ghiaccio era assai pericoloso. Quando Chappe arrivò a San Pietroburgo, gli astronomi russi avevano organizzato spedizioni in luoghi più vicini per osservare il transito, ritenendo impossibile raggiungere la meta originaria in tempo utile. Chappe, però, non era dello stesso avviso e, con la grande tenacia e spirito d'avventura che lo avevano sempre contraddistinto, all'inizio di marzo partì alla volta di Mosca diretto a Tobolsk, in Siberia.

Era indispensabile avanzare di gran fretta per precedere il disgelo che avrebbe reso impossibile la prosecuzione del viaggio. A pochi passi dalla meta, Chappe dovette superare una nuova prova. Bisognava attraversare il fiume Tobol, ma i suoi accompagnatori si rifiutavano di passare sul ghiaccio oramai troppo sottile e fragile. Chappe, allora, si comportò da stregone; disse che il termometro era uno strumento magico, lo scaldò con le mani e poi, esposto nuovamente all'aria, disse che, se il liquido al suo interno fosse sceso, allora avrebbe permesso il guado e così fu. Giunti sull'altra sponda del fiume, Chappe fu colpito da convulsioni per aver preso coscienza del grande rischio che aveva fatto correre a sé e ai compagni.

La spedizione giunse a destinazione il 10 di aprile, quasi due mesi prima del transito previsto per giugno ed osservato interamente grazie a condizioni meteorologiche favorevoli.



J. Chappe, *Voyage en Sibérie*, Parigi, 1768.



J. Chappe, "Addition au Mémoire précédent", *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1761.

Transito del 3 giugno 1769

Abbandonato il freddo della Siberia, Chappe guidò una nuova spedizione in occasione del transito di Venere del 1769, questa volta nel nuovo continente, in un luogo a sud della California.

Partiti nel marzo del 1768, dopo due mesi e mezzo di navigazione nell'Atlantico, sbarcarono nel porto di Vera Cruz. Da qui dovettero percorrere mille chilometri per raggiungere la costa sul Pacifico; un cammino lungo due mesi tra montagne, deserti e un caldo insistente che compromise anche le loro riserve alimentari. Da San Blas, sulla costa orientale del Messico, navigarono più di un mese verso il golfo della California, diretti a San José del Cabo.

Raggiunta con fatica la meta, era passato più di un anno dalla partenza e mancavano solo tredici giorni al transito. Appena sbarcati, furono informati dalle tribù indigene della presenza di una spaventosa epidemia, forse di tifo, che stava decimando la popolazione. Le alternative che si presentavano a Chappe e compagni erano di rinunciare alle osservazioni del transito per sfuggire al contagio, oppure di rischiare la propria vita per amore della scienza. Decisero di fermarsi, seguirono il transito del 3 giugno e rideterminarono la longitudine del luogo sfruttando l'eclisse di Luna del 18 giugno. Due giorni dopo, l'epidemia iniziò a colpire anche i componenti della spedizione: Chappe morì il primo di agosto, mentre di tutto il gruppo rimase un

solo superstite.

Guillame Joseph Hyacinthe Jean-Baptiste Le Gentil de La Galaisière (1725-1792)

Transito del 6 giugno 1761

Le Gentil fu designato dall'*Académie des Sciences* a guidare la spedizione diretta a Pondichéry, sulla costa indiana, per osservare il transito di Venere del 1761. Egli si imbarcò con discreto anticipo, sul finire del marzo 1760.

Il viaggio nell'Atlantico e nell'Oceano Indiano passò senza gravi problemi, ma, arrivato all'isola di Mauritius nel luglio dello stesso anno, seppe che Pondichéry era assediata dagli inglesi. Le Gentil prese in considerazione l'idea di raggiungere Pingré nell'isola di Rodrigues. Nel marzo del 1761, il governatore di Isle de France (Mauritius) decise di mandare una nave militare in soccorso a Pondichéry e, nonostante i venti contrari, fu garantito a Le Gentil che, se si fosse imbarcato, sarebbe giunto in tempo per osservare il transito.

Dopo un inizio favorevole, la nave fu spinta in direzione contraria a quella prevista e si trovò a vagare lungo le coste dell'Arabia. A fine maggio seppero che Pondichéry si era arresa e il comandante decise di rientrare a Mauritius, contro le insistenze di Le Gentil che voleva raggiungere la costa.

Il 3 giugno Le Gentil seguì il passaggio di Venere sul disco del Sole dalla nave, senza poter fare nessuna misura, poiché da una imbarcazione non potevano essere condotte osservazioni con una precisione sufficiente.

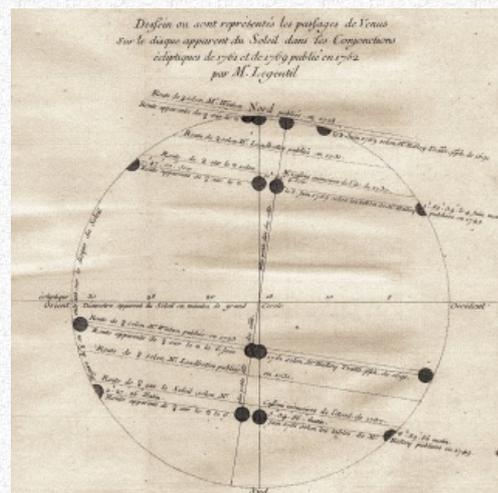


Crediti: H. Sawyer Hogg, "Out of old Books. Le Gentil and the Transit of Venus", *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 1951.

nave e marinai in balia del vento.

Le Gentil arrivò a Pondichéry nel marzo 1768, più di un anno prima del transito. Pondichéry era tornata sotto il controllo francese, Le Gentil godette di un'ottima accoglienza e ci fu tutto il tempo di allestire la stazione osservativa nel modo migliore. Ma, ironia della sorte, dopo un lungo periodo di clima sereno, il cielo si coprì proprio il giorno del transito rendendo impossibili le osservazioni, mentre a Manila il Sole era splendente!

Come se non bastasse, il rientro in patria di Le Gentil fu lento e travagliato. Giunto finalmente a Parigi sul finire del 1771 seppe che il suo posto all'*Académie* era stato dato ad un altro scienziato, poiché da molto tempo nessuno aveva più sue notizie, e i suoi beni spartiti tra gli eredi. La storia di Le Gentil ha però un lieto fine, egli infatti ebbe indietro quanto perduto e si costruì una nuova vita.



G. Legentil, "Observation de la conjonction inférieure de Vénus avec le Soleil", *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1753.

Transito del 3 giugno 1769

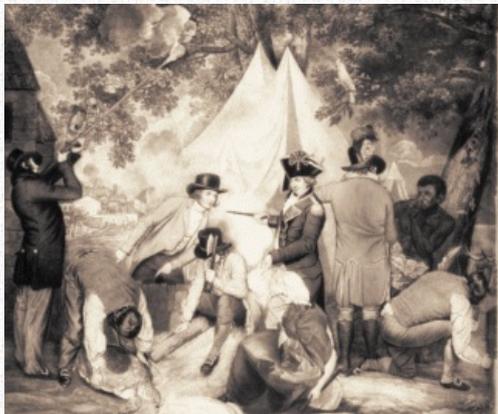
Le Gentil non si perse d'animo e ottenne l'autorizzazione dall'*Académie* a rimanere sull'isola di Mauritius per compiere osservazioni cartografiche e naturalistiche, nell'attesa del transito del 1769. Nel maggio del 1766, partì alla volta di Manila, nelle Filippine. Giunto a destinazione in agosto, in poco tempo capì che non era il luogo migliore in cui svolgere le osservazioni e, sia per timore delle possibili avverse condizioni climatiche nel periodo in cui si sarebbe verificato il transito, sia per ragioni politiche (pare che il governatore di Manila non amasse i francesi), decise di reimbarcarsi. La navigazione attraverso le isole del mar di Cina fu assai avventurosa: comandante e piloti spesso dibattevano su quale fosse la rotta da seguire e, dopo i litigi più violenti, erano soliti ritirarsi nelle proprie cabine, lasciando

James Cook (1728-1779)

Transito del 3 giugno 1769

Oltre a essere uno dei più grandi navigatori di tutti i tempi, James Cook possedeva notevoli conoscenze scientifiche nel campo dell'idrografia e dell'astronomia.

La *Royal Society* era desiderosa di organizzare una spedizione per osservare, dall'oceano Pacifico, il transito di Venere del 1769 e Cook era la persona giusta per compiere un'impresa simile; ad esso fu affiancato l'astronomo Charles Green. Mentre si discuteva su quale fosse il luogo preferibile per le osservazioni, rientrò l'imbarcazione di Samuel Wallis, che, partito alla ricerca del continente australe, aveva incontrato Tahiti, il "paradiso terrestre". Questa fu dunque la destinazione della spedizione di Cook.



Acquarello di T. Gosse del 1770 in cui è raffigurato l'accampamento di Cook presso Botany Bay nel Nuovo Galles del sud.



Francobollo commemorativo della viaggio di James Cook in occasione del transito del 1769.

Il viaggio ebbe inizio nell'agosto 1768, doppiato Capo Horn, la spedizione arrivò nella baia di Matavai due settimane prima del transito del 3 giugno 1769. Compiuta l'osservazione, Cook continuò l'esplorazione di quelle terre scoprendo la Nuova Zelanda. La nave fece rientro dopo due anni con l'equipaggio dimezzato dalla malaria, tra i deceduti vi era anche l'astronomo Green.



Matavai Bay, Tahiti, da cui James Cook osservò il transito del 1769 (crediti: E. Schreur, *Kalamazoo Valley Museum*).

La Specola astronomica di Bologna e il transito di Venere

Transito del 6 giugno 1761

In occasione del transito del 1761, anche Bologna ricadeva nella fascia di visibilità e gli astronomi della Specola dell'Istituto delle Scienze non si fecero cogliere impreparati, ma anzi seguirono l'evento con ben sei diversi telescopi posizionati in due ambienti della torre astronomica (oggi visitabili all'interno del [Museo della Specola](#)), assicurando così il loro contributo all'ingente mole di dati che fu poi utilizzata per calcolare il valore della distanza che separa la Terra dal Sole.



Tra quegli strumenti, vi era anche un quadrante mobile di eccellente qualità, realizzato dall'artigiano bolognese Sante Menini ai primi del Settecento (nell'immagine a sinistra). Tutte le osservazioni vennero accuratamente registrate nei *Quaderni di osservazione*, ancora oggi conservati nell'Archivio del Dipartimento di Astronomia di Bologna. L'immagine a fianco mostra una delle pagine con le osservazioni del transito del 6 giugno 1761.



Transiti seguenti

I tre transiti successivi, negli anni 1769, 1874 e 1882, non furono visibili da Bologna, ma quello che era all'epoca lo strumento maggiore dell'Osservatorio bolognese, un rifrattore delle officine tedesche *Steinheil* da c. 16cm di diametro, fu prestato alla spedizione italiana in India organizzata da Pietro Tacchini (1838-1905) nel 1874. La foto ritrae Tacchini alle prese con lo strumento di Bologna nella stazione osservativa allestita a Muddapur.

Sia gli strumenti usati da Zanotti che il telescopio di Steinheil sono oggi esposti al [Museo della Specola](#).

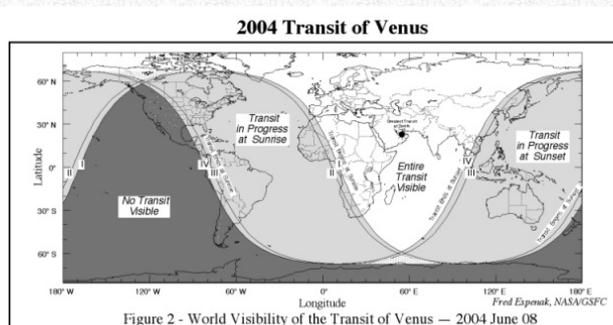
Crediti: Dipartimento di Astronomia, Università degli Studi di Bologna.



Crediti: Osservatorio Astronomico di Palermo.

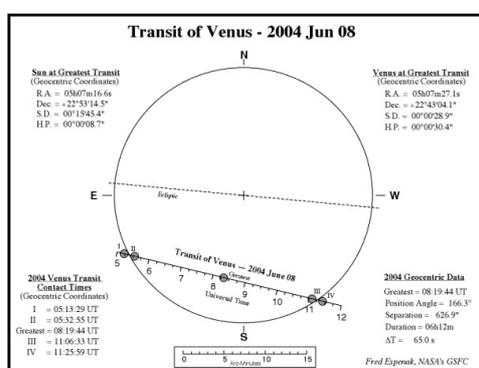
Il transito imminente

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



Crediti: [Fred Espenak, NASA/GSFC](#).

Per un osservatore che, ipoteticamente, si trovi al "centro" della Terra, il transito avrà inizio alle 5:13:33,2 e si concluderà alle 11:25:53,8 del Tempo Universale. Questi tempi vanno corretti fino ad un massimo di 7 minuti in più o in meno, a seconda della posizione del luogo di osservazione sulla "superficie" terrestre, per l'effetto di parallasse di Venere; inoltre, ricordiamo che all'epoca del transito in Italia sarà in vigore l'ora legale estiva, quindi, per convertire i tempi all'orario dei nostri orologi è sufficiente aggiungere 2 ore.



Crediti: [Fred Espenak, NASA/GSFC](#).

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). Nella seguente tabella sono riportati i tempi di questi istanti per alcune città italiane, **già trasformati all'ora legale estiva italiana**:

	INGRESSO		USCITA	
	contatto esterno	contatto interno	contatto interno	contatto esterno
	h m s	h m s	h m s	h m s
Bologna	7 20 11,5	7 39 47,1	13 04 24,5	13 23 38,0
Cagliari	7 20 25,5	7 40 0,7	13 05 07,7	13 24 17,8
Catania	7 20 19,7	7 39 50,1	13 04 56,2	13 24 03,4
Firenze	7 20 13,2	7 39 48,6	13 04 29,2	13 23 42,2
Milano	7 20 11,3	7 39 48,5	13 04 24,6	13 23 39,4
Napoli	7 20 15,5	7 39 47,9	13 04 38,1	13 23 48,1
Padova	7 20 08,7	7 39 44,5	13 04 17,4	13 23 31,4
Palermo	7 20 21,4	7 39 53,0	13 04 58,1	13 24 06,2
Roma	7 20 15,8	7 39 49,7	13 04 37,2	13 23 48,4
Teramo	7 20 12,7	7 39 46,2	13 04 28,7	13 23 40,2
Torino	7 20 13,6	7 39 51,5	13 04 31,2	13 23 46,0
Trieste	7 20 05,9	7 39 40,7	13 04 10,4	13 23 24,2

Crediti: [Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides et du Bureau des longitudes](#).

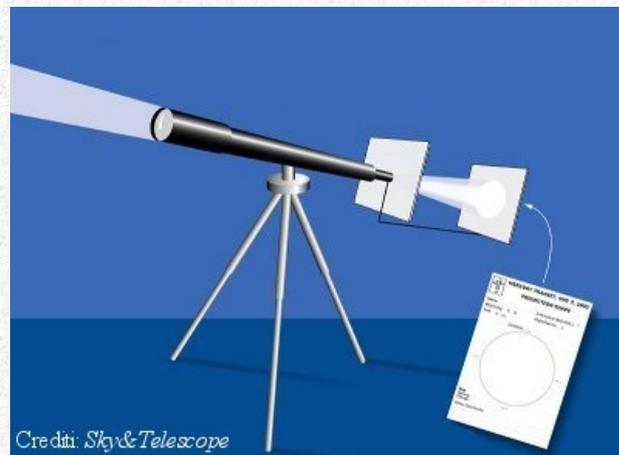
CONSIGLI PER LE OSSERVAZIONI

Il disco apparente del pianeta Venere ha un diametro di circa un primo d'arco, dimensioni sufficienti perché la sua immagine, proiettata sul disco solare, sia appena visibile "ad occhio nudo".

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

Per un'adeguata protezione per l'osservazione diretta, senza l'utilizzo quindi di alcun tipo di strumento ottico, assolutamente **non bastano** un semplice paio di occhiali da Sole, negativi fotografici o vetri anneriti da fiamma, bensì occorre, ad esempio, un vetro da saldatore di gradazione non inferiore a 14 o, se qualcuno li ha conservati, gli speciali occhiali utilizzati per l'osservazione dell'ultima eclissi solare.

I pericoli crescono enormemente qualora si decida di osservare il fenomeno con l'ausilio di un **telescopio** o anche solo con un **piccolo cannocchiale** o un **binocolo**. In questo caso, è **assolutamente necessario utilizzare degli appositi filtri solari**, a tutta apertura e di buona qualità, da posizionarsi davanti all'obiettivo, in modo da ridurre la radiazione prima che questa passi attraverso il sistema ottico e venga concentrata nel fuoco, e non dietro all'oculare, in quanto, in quest'ultimo caso, può accadere che il filtro si rompa improvvisamente a causa dell'accumulo di calore, con conseguenze gravissime per chi in quel momento fosse impegnato nelle osservazioni. Bisogna sapere che anche il piccolo cercatore, di cui spesso sono dotati i telescopi, può rivelarsi molto pericoloso ed è dunque importante ricordarsi di coprirlo prima di iniziare qualunque operazione.



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.

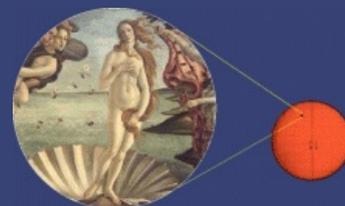


Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Astronomia
INAF - Osservatorio Astronomico di Bologna
in collaborazione con il Comune di Bologna
presentano

Il passaggio di Venere sul Sole dell'8 giugno 2004 a Bologna 243 anni dopo ...

Il transito di Venere sul disco del Sole è un fenomeno che si verifica con varia periodicità: l'ultimo passaggio risale al 1882, il prossimo avverrà l'8 giugno 2004, poi ancora nel 2112. L'appuntamento successivo sarà nel 2117.

Gli astronomi bolognesi lo hanno osservato nel 1761, dalla Torre della Specola, in via Zamboni. I successivi passaggi hanno impegnato gli astronomi in spedizioni rivolte a paesi lontani, all'insegna di scienza e avventura.



Per osservare il transito del 2004, ecco alcuni appuntamenti:

CONFERENZE

6 maggio 2004

Aula della Specola, Via Zamboni 33, 3° piano, Bologna, ore 16

Conferenza pubblica: "Il transito di Venere"

Relatore: prof. Pierluigi Battistini (Dipartimento di Astronomia, Università di Bologna).

20 maggio 2004

Aula della Specola, Via Zamboni 33, 3° piano, Bologna, ore 16

Conferenza pubblica: "La determinazione delle distanze stellari"

Relatore: prof. Bruno Marano (Direttore Dipartimento di Astronomia, Università di Bologna).

7 giugno 2004

Dipartimento di Astronomia, Viale Berti Pichat 6/2, ore 21

Conferenza pubblica "Occhio al passaggio di Venere sul Sole! Nel Settecento dalla Specola, oggi dai satelliti"

Relatori: prof. Fabrizio Bòboli (docente Storia dell'Astronomia, Università di Bologna), prof. Flavio Fusi Pecci (Direttore Osservatorio Astronomico di Bologna).

OSSERVAZIONE

(immagini dell'evento)

8 giugno 2004

Piazza VIII Agosto, ore 7-14

Osservazione pubblica del Transito di Venere, alla presenza di astronomi, mediante un telescopio solare collegato con camera e proiezione su schermo per la visione al pubblico del fenomeno.

Inoltre, per chi desidera osservare direttamente il fenomeno - con l'occhio all'oculare del telescopio - dalle 7 alle 14, altri telescopi solari consentiranno la visione del transito alla cittadinanza, alla presenza di esperti dell'**Associazione Astrofili Bolognesi**.

MOSTRA

(fotografie della mostra)

26 maggio - 20 giugno 2004

Oratorio di Santa Cecilia, Via Zamboni 15

Mostra su Il transito di Venere e la misura delle distanze astronomiche

Pannelli con testi e immagini, ipertesti e strumenti narrano la vicenda del Transito di Venere e delle sue osservazioni nei secoli, spiegando come si sia giunti alla determinazione della distanza tra la Terra e il Sole.

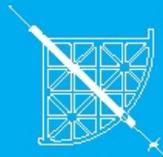
Orari di apertura: per il mese di maggio 10-13 e 14-18; giugno 10-13 e 15-19.

Tutti giorni, eccetto sabato e domenica, alle ore 16.30 visita guidata alla mostra.

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

È sempre necessario usare appositi filtri solari per l'osservazione diretta, assolutamente non bastano occhiali da sole, negativi fotografici, vetri anneriti, etc.

Venere SUL Sole



UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
DIPARTIMENTO DI ASTRONOMIA



ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA
OSSERVATORIO ASTRONOMICICO DI BOLOGNA

8 giugno 2004, ore 7 - 14

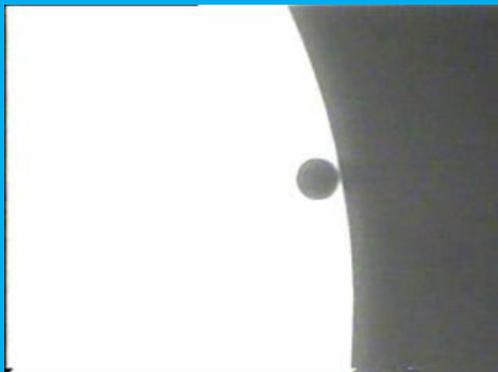
Piazza VIII Agosto

Osservazione pubblica del passaggio di Venere sul disco del Sole

filmati dei contatti interni (in formato mpg, gif animato e wmv)

strumentazione: Meade LX90 Ø 20cm f10, telecamera b/n Mirtron, filtro solare in Mylar

II contatto



III contatto



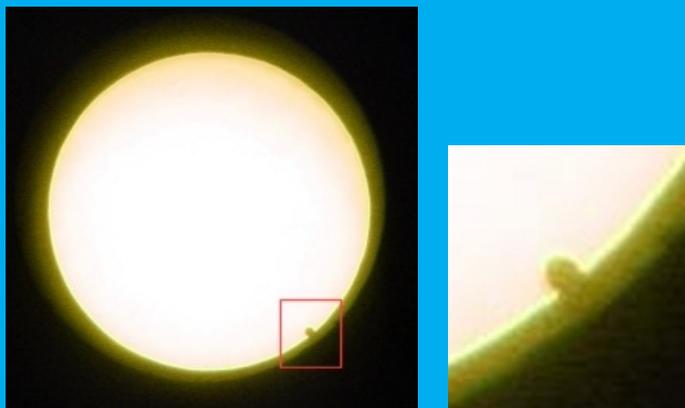
Alcune fotografie dell'evento



Osservando nel dettaglio la fotografia sottostante risulta chiaramente visibile il fenomeno della "black drop", spina nel fianco degli astronomi che nei secoli passati cercavano di misurare con estrema precisione gli istanti di contatto del disco di Venere con il bordo interno del disco solare al fine di calcolare la distanza Terra-Sole (il fenomeno della

"goccia nera" e l'astigmatismo).

Ringraziamo Enrico Billi, autore dell'immagine e studente del terzo anno di Fisica presso l'Università di Bologna, che, con il suo telescopio newtoniano ed una fotocamera digitale, è riuscito a catturare il particolare effetto.



Hanno collaborato:

Corrado Bartolini, Roberto Bedogni, Fabrizio Bònoli, Ivan Bruni, Costantino Ciattaglia, Federico Delpino, Roberto Di Luca, Olga Diodato, Flavio Fusi Pecci, Andrea Gualandi, Roberto Gualandi, Giancarlo Innocenti, Giorgio Palumbo, Gianluigi Parmeggiani, Claudia Pavan, Francesco Poppi, Maurizio Ravaglia, Luca Rossi, Franco Tinti, Franco Zavatti, Valentina Zitelli, i soci dell'Associazione Astrofili Bolognesi e l'Associazione Culturale Scena 398.

GUIDO HORN D'ARTURO *Il fenomeno della "goccia nera" e l'astigmatismo.*

(Pubblicazioni dell'Osservatorio astronomico della R. Università di Bologna, vol. I, n.3, 1922)

The Venus transit on the Solar disc was for the first time observed in 1639, using "modern" instruments, by Gassendi. Yet since the following transit, an effect was perceived which modified Venus and Sun profiles at the moments of the first and second visual contact between the two celestial bodies. This effect was called "gutta nigra", i.e. black drop. Horn d'Arturo was widely interested in studies on the vision and on its effects on astronomical observations. In the following paper, he suggested what probably was the first correct explanation of the black drop effect. As stated on the Dictionary of Scientific Biography (ad vocem), Horn "clarified the effect on vision, especially in the astigmatic eye, of the suture of the eye lens and the formation of the so-called black drop".

For information: [Marina Zuccoli](#)

CAPO I: ORIGINE DEL FENOMENO DELLA "GOCCIA NERA" E SUE FASI

Teorie precedenti - Questo fenomeno di deformazione dei profili, che l'occhio vede, in maggiore o minor misura e col voluto favor della luce e della distanza, intorno al luogo del contatto apparente o reale di due corpi qualsivoglia, si cominciò a studiare, per quanto se ne sa, nell'anno 1761, dopo il primo transito di Venere sul disco solare, osservato con mezzi strumentali adeguati (1).

Quei primi osservatori lo chiamarono: «gutta nigra», (dark ligament, black drop, ligament noir, Tropfen, ecc.) e varie furono le ipotesi proposte per spiegarlo; molti, credendo che il fenomeno fosse confinato nel cielo, gli attribuirono cause celesti, altri imputarono la sua origine agli strumenti d'osservazione: avrò occasione nel corso di questo studio, di ricordare ora l'una, ora l'altra delle dette cause, che m'accontento per ora di enumerare: 1) Irradiazione della luce solare; 2) Atmosfera del Pianeta; 3) Agitazione dell'atmosfera della Terra; 4) Diffrazione della luce e suoi effetti sulle immagini che si formano negli strumenti ottici; 5) Aberrazioni sferiche di obbiettivi ed oculari; 6) Imperfetto accomodamento dell'oculare; 7) Poliopia.

Dico subito che queste cause non vanno trascurate nello studio della «goccia», poiché ciascuna di esse, può produrre parzialmente qualcuno dei numerosi aspetti, che si riassumono con quell'unica parola, ma d'altro canto affermo, che la loro azione, pur simultanea, non è in grado di giustificare il complesso, ma logico succedersi di *tutte* le fasi, di cui più d'una sempre si sottrasse all'attenzione degli osservatori; quindi, per ricostruire interamente il fenomeno, conviene adoperare dati di varie provenienze, scegliendo dalle descrizioni degli astronomi questo o quel particolare, che essi videro con chiarezza, a detrimento di tutti gli altri.

Per compensare la rarità del fenomeno, reso ancor più raro dalle non sempre favorevoli condizioni atmosferiche, e dare agio all'astronomo di studiarne la natura, lo Struve suggerì di riprodurlo artificialmente, collocando lontano dall'osservatore dischi illuminati e dischi oscuri, sovrappoventisi convenientemente. Il più autorevole degli sperimentatori di questo metodo, G.van de Sande Backhuyzen (2), concluse dalle sue osservazioni *telescopiche* del transito artificiale, che la «goccia» dipendeva dalla diffrazione subita dalla luce nell'attraversare l'obbiettivo; il suo modo d'interpretare la cosa trovò tosto numerosi imitatori e seguaci ed oggi ancora, dopo quasi cinquant'anni, è accettato generalmente (3) il principio, che il fenomeno sia dovuto essenzialmente alla causa additata dal Backhuyzen. Alla mente del quale balenò anche l'idea della poliopia, ma egli la ricorda solamente per annettervi un'importanza secondaria: Ich glaube mich deshalb berechtigt, zu constatieren, dass für mein Auge und für die von mir angewandten Fernrohre die Polyopie nur eine untergeordnete Rolle bei der Bildung des schwarzen Tropfens spielt » [Trad: « ... perciò mi credo autorizzato a constatare che, per il mio occhio e per i cannocchiali da me utilizzati, la poliopia giochi solo un ruolo subordinato per quanto riguarda la figura della goccia nera »] (4), e più innanzi: «.... glaube ich doch, dass die Diffraction die Hauptursache ist, und will deshalb auch bei den anderen Phasen des Venusvorüberganges seinen Einfluss bestimmen». [Trad: «... Io credo che la causa principale sia la diffrazione, e voglio perciò determinare il suo influsso anche durante le altre fasi del transito di Venere»] (5)

Ma se le esperienze fossero state eseguite senza il soccorso del telescopio, cioè coi dischi a portata dell'occhio nudo ed abolito così l'intervenire della diffrazione strumentale, il fenomeno si sarebbe veduto ugualmente, ed i fautori della teoria della diffrazione sarebbero stati costretti a cercare un'altra causa, che come ora mi proverò a dimostrare, consiste in un difetto comunissimo della vista, cioè nell'astigmatismo.

Teorema di Sturm - L'effetto totale dei mezzi rifrangenti dell'occhio astigmatico può essere fornito, come per l'occhio sferico, da un'unica superficie ideale, collocata a 2 mm. circa dietro alla faccia anteriore della cornea (occhio ridotto). Questa superficie ideale presenta solitamente, nell'occhio astigmatico, il raggio di curvatura massimo in una sezione non molto inclinata rispetto la linea degli occhi, il raggio minimo, nella sezione normale alla precedente; è più raro il caso, in cui la sezione di raggio minimo giaccia nel piano della linea degli occhi: si riscontrano naturalmente anche le direzioni oblique, ferma restando generalmente l'ortogonalità tra le sezioni di curvatura massima e minima. La teoria delle caustiche dovuta allo Sturm (6) insegna, che, se il raggio principale d'un fascio, emanato da un punto infinitamente lontano, incide normalmente nel punto *O* (fig. 1) di una superficie torica, limitata circolarmente da un diaframma, pur esso centrato in *O*, ove s'incontrano ad angolo retto le sezioni di curvatura massima *AB*, e minima *CD*, i raggi del fascio si rifrangono in modo, da convergere in due rette focali, passanti per *f* ed *F*, tra loro ortogonali, e giacenti, l'una nel piano della sezione di curvatura minima *CD* e contenente il fuoco della sezione di curvatura massima *AB*, l'altra, giacente nel piano della sezione di curvatura massima *AB* e contenente il fuoco della sezione di curvatura

minima CD . In piani perpendicolari a PP' ma non passanti per F le immagini saranno generalmente ellissi con l'asse maggiore parallelo a CD , se a sinistra del punto T ; con l'asse maggiore parallelo ad AB , se a destra del punto T . Nel piano passante per T l'immagine sarà circolare, trovandosi il punto T a metà strada circa tra f ed F , ma più vicino ad f . Ora, tenendo conto che nel mirare la luce vivissima il diametro della pupilla si riduce automaticamente al minimo, avvicinandosi così alla condizione ideale del teorema di Sturm, questo potrà esser applicato al caso materiale d'un occhio astigmatico, e se la superficie dell'occhio considerato ha la curvatura massima parallela alla verticale, la minima all'orizzontale, (come nella fig. 1) sulla sua retina l'immagine del punto luminoso infinitamente lontano assumerà la forma d'un segmento rettilineo, e precisamente: se la retina, normale a PP' , passerà per F , il segmento sarà verticale, se per f , sarà orizzontale.

Deformazione apparente di corpi celesti - Veduta la forma che assume sulla retina dell'occhio astigmatico l'immagine d'un punto, sarà facile costruire quella d'un astro, che si proietti sulla sfera come un disco circolare. Invece d'un circolo l'immagine di esso sarà la fig. 3, o la fig. 4, a seconda che la retina contenga la retta focale F oppure la f . Le due semicirconferenze DBD' e DCD' , che costituiscono una circonferenza unica, quando abbiano il centro comune in O , concorrono con tutta la loro lunghezza e senza deformazione alcuna, a costituire il profilo dell'immagine deformata, quando i loro centri sieno portati rispettivamente in O' ed O'' ; ciò che manca per chiudere il profilo dell'immagine deformata, consiste in due rette RS ed $R'S'$, aventi la lunghezza della retta focale, e tangenti al circolo nei punti D e D' ; in altre parole l'immagine deformata $ARSA'S'R'$ si ottiene immediatamente dal circolo, supponendo che ogni punto di esso, dilatandosi, sia in un senso, sia nel senso opposto, parallelamente alla retta AA' (che diremo linea della deformazione radiale massima), si trasformi in un segmento rettilineo, lungo quanto la retta focale.

Ma un esame più attento del fenomeno dimostra, che la deformazione provocata dall'astigmatismo, è subordinata ancora al rapporto tra l'intensità luminosa dell'immagine e quella dello sfondo, su cui si proietta, ed ecco perché: nella fig. 5, quale apparirebbe all'occhio sferico un disco luminoso su sfondo nero, distinguiamo un'area bianca ed una scura, confinanti nel circolo comune $BDCD'$. La dilatazione prodotta dall'astigmatismo, la cui linea di deformazione radiale massima sia AA' , porterà il circolo $BDCD'$, tanto in $BECE'$ fig. 6, e sarà il nuovo confine esterno dell'area chiara dilatata, quanto in $BFCF'$, e sarà il nuovo confine interno dell'area scura, *pur essa dilatata*, cosicché avremo la regione interna $BFCF'$ dotata della bianchezza originale, e la regione esterna a $BFCF'$ della nerezza originale, mentre quella compresa tra le due curve $BECE'$ e $BFCF'$ presenterà una tinta mista in parti uguali del bianco e del nero; e se lo splendore del disco luminoso vincerà la scurità dello sfondo, l'occhio astigmatico, mirando alla fig. 5 la vedrà deformarsi nella fig. 7, se viceversa sul debole lume della regione interna prevarrà immensamente la nerezza circostante, il medesimo occhio vedrà la fig. 5 deformarsi nella fig. 8. Soltanto occhi particolarmente sensibili riusciranno a distinguere anche la regione di tinta intermedia, contenuta tra il nero dello sfondo ed il chiaro dell'immagine.

Di questo prevalere della luce sull'oscurità, l'astronomo ha due esempi insigni, sia nell'immagine solare che si disegna sullo sfondo scuro (attraverso l'oscuratore) del cielo, sia nella faccia scura dei pianeti inferiori, proiettantisi sul disco solare: in entrambi i casi la prepotente luminosità solare soverchia le adiacenze buie, e per la medesima causa il disco del Sole appare dilatato, e quello del Pianeta contratto. Ed affinché questo fenomeno non si confonda con quello volgarmente chiamato della "irradiazione", ripeto che le deformazioni di cui io parlo presentano, in senso radiale, i loro massimi ed i loro minimi, disposti simmetricamente secondo l'astigmatismo dell'osservatore.

Contatti apparenti di corpi celesti - Sia AA' fig 11 (7) la linea della deformazione massima e coincida con la congiungente dei centri del Sole e del Pianeta; i limiti reali dei due dischi sono tracciati con le linee continue S e V , i limiti apparenti, con i terminatori S' e V' , i latenti con le segmentate S'' e V'' . Chiamo limiti apparenti, quelli veduti dall'occhio astigmatico (in luogo dei limiti reali, veduti soltanto dall'occhio sferico), e chiamo limiti latenti S'' e V'' quelli che non si vedono, finché i due dischi sono distanti tra loro, come nella fig. 11, ma che si manifesteranno nel corso del passaggio, come precursori, o come postumi del contatto, come ora dirò. I quattro spessori SS' , SS'' , VV' e VV'' sono identici nel caso di corpi, ad uguale distanza dall'osservatore, o praticamente tali, come quelli celesti.

Sappiamo che le zone comprese tra i limiti $S'S''$ e $V'V''$ hanno un'intensità luminosa che gareggia con quella del disco solare, ma quando, avviandosi i due corpi verso il contatto, il limite latente V'' abbia superato il latente S'' , fig. 14, la lunula compresa tra questi due limiti, essendo mista di due parti di scuro e d'una sola di chiaro, risulterà notevolmente più scura del suo intorno (pur non riuscendo ad uguagliare in oscurità né lo sfondo del cielo, né la faccia non illuminata del Pianeta) e questa lunula, limitata, a sinistra di chi guardi la fig. 14, dal profilo del Pianeta, a destra, dal profilo del Sole, sarà tutta circondata dalla luce.

Seguendo il Pianeta nel suo moto di egresso dal disco solare, arrivato che sia il punto più avanzato del limite latente V'' a contatto con S (e per conseguenza V con S'') fig 18, vedremo istantaneamente stabilirsi la continuità tra le tre regioni scure: 1) sfondo del cielo, 2) lunula o lembo staccato, 3) disco del Pianeta, per il simultaneo apparire di due segmenti rettilinei identici "a", che hanno conferito a questa fase, e con essa a tutto il fenomeno che trattiamo, il nome di «legamento nero» o «goccia nera». Questa fase è giustificata perfettamente dal teorema di Sturm, secondo il quale, ogni punto luminoso produce sulla retina dell'astigmatico, non già un'immagine puntiforme, ma rettilinea, e per conseguenza, il punto più avanzato del lembo staccato del Pianeta, coprendo un punto del bordo reale del Sole, sulla retina verrà a mancare non già un punto luminoso, ma un segmento luminoso di lunghezza $2a$, giacente sulla linea di deformazione massima AA' e col punto di mezzo dove V'' tocca S ; lo stesso dicasi, sia per ciò che riguarda la lunghezza, sia la giacitura, del segmento luminoso, col punto di mezzo dove V tocca S'' che verrà a scomparire, quando il punto più avanzato del bordo reale del Pianeta, sarà occultato dal profilo destro del lembo staccato.

Progredendo il Pianeta nello stesso senso, un numero sempre maggiore di punti luminosi dei bordi reali dei due corpi S e V , verranno occultati, ed alle corrispondenti immagini di segmenti luminosi si sostituiranno altrettanti segmenti oscuri, come lo mostra la fig. 24; finché il Pianeta, prima d'esser giunto col suo centro al lembo vero del Sole fig. 25, assumerà la forma caratteristica della "D" maiuscola; e volendo scortare il Pianeta fino al suo estremo nereggiare sul disco del Sole, si giungerà, attraverso varie fasi di facile costruzione geometrica, all'occultazione d'un punto unico del

lembo vero solare, fig. 25 bis, in cui riappare uno dei segmenti rettilinei della fig. 18.

Nelle ultime sei figure testé descritte, s'era ammesso che la linea della deformazione massima passasse per i centri di ambidue i dischi, ma questo non sempre si verificherà, ed ammettendo che la retta AA' sia comunque inclinata rispetto alla congiungente dei centri, in una fase avanzata del fenomeno, il legamento assumerà l'aspetto obliquo della fig. 33, che ritroveremo in seguito nelle descrizioni degli osservatori

Un caso speciale si presenterebbe con la posizione ortogonale della linea delle deformazioni massime rispetto alla congiungente dei centri, fig. 31; allora, trovandosi il Pianeta emerso dal Sole per più di mezza circonferenza, si comincerebbe a notare, meglio che col Pianeta tutto immerso nel Sole, la forma schiacciata, della porzione ancora visibile, fig. 31.

Aureole - Finora avevamo immaginato che lo sfondo del cielo e la faccia non illuminata del Pianeta, apparissero d'un egual grado di nerezza, attraverso il vetro oscuratore, con cui si protegge l'occhio dall'eccessiva luce del Sole, ma in alcuni casi, p. e. usando un oscuratore leggero, o togliendolo del tutto, quando il Sole sia molto basso sull'orizzonte, o velato da nebbia, lo sfondo del cielo appare notevolmente meno scuro della faccia non illuminata del Pianeta, e in questi casi, trovandosi parte del disco del Pianeta immerso, parte emerso dal disco solare (tutto fuori del Sole, il Pianeta non fu mai visto con sicurezza, per quante ricerche siano state fatte), intorno alla porzione emersa si formerà per l'occhio astigmatico una lunula, di luce mista, più chiara del Pianeta e più scura dello sfondo, come nella fig. 37, tale da dare all'osservatore l'impressione, che il disco del Pianeta sia circondato da una atmosfera.

Per la lunula opposta a quella ora considerata, VV", fig. 37 abbiamo sempre ammesso che la luce del Sole fosse tanto viva da annullare l'effetto della tinta scura del Pianeta, ma in alcuni casi, occhi astigmatici sensibilissimi, riusciranno a distinguere la differenza pur lieve tra la luce solare e quella della lunula V'V", e riterranno il Pianeta, specialmente quando sia tutto immerso nel disco solare, circondato da un'aureola, che come vedremo, altri giudicarono più debole, altri più viva dello splendore stesso del Sole, tanto da brillare sopra di esso.

Quando naturalmente la linea della deformazione massima AA' sia inclinata rispetto alla congiungente dei centri, allora l'aspetto dell'aureola, che cinge il Pianeta nella parte emersa, è quello della fig. 38.

CAPO II: CONFRONTO CON LE OSSERVAZIONI

Lembo staccato - Questa fase, a differenza di tutte le altre, è quella che fu riconosciuta distintamente da un numero esiguo di osservatori; il primo accenno che se ne incontra è dovuto al Pingré, il quale, avendo assistito tanto al passaggio di Venere del 1761, quanto a quello del 1769, si meraviglia di non rivedere in quest'ultimo, le medesime apparenze ond'era stato spettatore nel primo. Ecco le sue parole (8): « At the exit of Venus in 1761, the limbs, being not yet in contact, and even sensibly distant asunder, I saw as it were a dark spot detach itself from Venus, and gain the limb of the Sun; ... at which instant I estimated the internal contact. Many have this year seen the same phaenomenon at the total entry of Venus. I was in expectation of it; neither I or my associates perceived any such thing ».

Sebbene la descrizione di questo salto della « dark spot » lasci un po' perplessi il lettore, tuttavia si direbbe che egli abbia veduto precisamente il lembo staccato, e, tosto dopo, nel subitaneo formarsi della goccia, abbia giudicato che la « spot » raggiungesse il lembo solare, per moto proprio.

La seconda testimonianza, in ordine di tempo, e questa molto più esplicita e confermata anche da un disegno, che riproduco nella Tav. III fig. 15 è dovuta al Wilson, osservatore del passaggio di Venere del 1874 a Mornington (Australia). Il lembo staccato è raffigurato da un segmento rettilineo che egli descrive così: (9) « there first appeared a small dark object flickering backwards and forwards between Venus and the edge of the Sun ».

Nel passaggio successivo dell'anno 1882, osservarono la fase del lembo staccato Stuyvaert e Lagrange, astronomi belgi, operanti l'uno nel Texas, l'altro nel Cile (10). Il disegno dello Stuyvaert (11) non accompagnato da descrizione verbale è riprodotto nella fig. 16 e mostra chiaramente il lembo del Pianeta, interamente circondato dalla luce solare; lo stesso dicasi del disegno del Lagrange (12) fig. 17, accompagnato dalle parole (13): « Un filet lumineux vient couper la goutte noire. Le disque de Venus semble se separer du bord du Soleil, mais entre ce disque et le bord il y a un filet noir à peu près concentrique avec le Soleil ».

In questi due ultimi disegni, pregevolissimi per la loro rarità e che confermano, senza lasciare ombra di dubbio, l'apparenza del lembo staccato, si aspetterebbe, secondo la teoria, che essi mostrassero nel bordo convesso della lunula la curvatura del Pianeta, ed in quello concavo la curvatura del Sole, mentre l'uno e l'altro presentano entrambi i bordi della lunula ugualmente curvi, e cioè nel primo disegno tutt'e due curvature equivalgono a un di presso a quella del Pianeta; nel secondo, tutt'e due a quella del Sole.

Finalmente l'ultimo accenno a questa fase che, nessuna delle teorie proposte sarebbe in grado di giustificare, proviene da J. Tebbutt, infaticabile osservatore di transiti, il quale, senza tuttavia illustrare le sue parole con un disegno, descrive le apparenze del I° contatto interno così (14): « ... Just at the time, when I expected geometrical internal contact to take place, the planet became somewhat pear-shaped, its limb being connected with that of the Sun by a triangular black ligament, whose base was on the planet, and its apex on the solar limb.... The ligament suddenly broke at the same time and for fully 14 seconds the vibrations were so great that the triangular ligament was repeatedly seen *separated both from the disc of the planet and the limb of the Sun* ». Io inclino a credere piuttosto che sia stato precisamente lo spettacolo straordinario e quasi incredibile del lembo staccato a suscitare nell'osservatore l'impressione d'un'atmosfera tanto agitata; altrimenti, in tale perturbamento meteorologico, gli dovrebbe esser riuscito impossibile l'osservare, pochi secondi prima, con tanta precisione, la fase del legamento, e rilevarne anche la forma triangolare, e la posizione della base e del vertice.

V'è poi un gran numero d'osservatori, forse la metà di quelli la cui descrizione ho potuto vedere, (vedi la Tabella di pag. 43), che, pur distinguendo almeno due fasi del fenomeno, cioè: 1) contatto *geometrico*, 2) apparire (o scomparire) del filetto luminoso, (vale a dire la definitiva separazione dei due dischi) e dando per esse fasi, momenti diversi, talora con intervalli superiori al minuto primo di tempo, non parlano nè di goccia, nè di legamento, ma soltanto di ombre, che tentano di spiegare in varie guise e che io classificherei nella fase del lembo staccato, la cui vera natura i pochissimi di sopra citati ebbero la fortuna di riconoscere. Ecco alcuni saggi di queste descrizioni delle cui analoghe si potrebbero riempire pagine e pagine.

H. C. Vogel, osservando nel 1882 a Potsdam l'ingresso di Venere sul disco solare con un refrattore di 30 cm. d'apertura

ed ingr. 120 (15), dopo aver notato tra il Sole ed il Pianeta il filetto luminoso (ein ganz feiner Lichtfaden) continua: «Von Trübung zwischen Venus und Sonnenrand war zu der Zeit keine Spur sichtbar; sie bildete sich erst kurze Zeit darauf, war breit und dunkel am Sonnenrande, weniger breit und weniger intensiv an der Peripherie der Venus. Diese Trübung verschmaelerte sich in dem Maasse als die Venus weiter eintrat, und verschwand ziemlich rasch. Eine Tropfenbildung fand nicht statt ». E questa non è altro che la definizione del lembo staccato, che s'assottiglia a mano a mano che scema l'area formata dalla sovrapposizione dei lembi latenti.

Simile alla precedente la narrazione di Jas. Williamson, Direttore dell'Osservatorio di Kingston, che osservò nello stesso anno l'ingresso di Venere sul disco solare, ad un Equatoriale di Alvan Clark di 6 1/4 poll. (16): «For a little while after», (dopo cioè quello che egli aveva giudicato il contatto geometrico), « the limbs seemed slightly to separate, a dark shade occupied the narrow interval between them, extending a little way on each side of the former points of apparent contact.... there was nothing of the so called black drop, but only the dark shade already referred to ». E dell'egresso dice: « The dark haze seen at ingress in the morning began at this time to be again observed at egress, but the interval during which it continued, and discontinuity was noted, was much shorter than in the forenoon ».

La dichiarazione di non aver veduto, nè la goccia, nè distorsioni dei dischi si legge chiaramente anche nel cenno di Dunér e Lindsted sul passaggio di Mercurio del 6 maggio 1878 (17), Osservato a Lund: « Eine Verzerrung des Bildes oder cine Tropfenbildung war diesmal ebenso wenig zu sehen wie bei den Durchgange von 1868 ». Però entrambi danno per il momento del contatto interno due tempi:

	Lindstedt	Dunér
Contatto geom.	4h 6m 39s, 0	6h 41s, 0
Filetto luminoso . . .	6 52, 0	6 52, 0

Evidentemente se il contatto geometrico ebbe luogo a 6m 39s rispettivamente a 6m 41s, esso, tredici od undici secondi dopo era già superato, ma gli osservatori non avendo ancora veduta luce tra i due dischi, s'indugiavano nel dichiarare avvenuta la separazione. E si potrebbe citare tanti altri casi con intervalli maggiori, durante i quali, tra i due bordi, gli Osservatori vedevano ombre incerte, che prolungarono la durata del contatto financo a 3 minuti primi di tempo (18).

"Goccia,, e "Chinaman's cap,, - Ogni forma od ombra, apparentemente estranea, che si mostri tra i due dischi e ne perturbi il contatto geometrico, vien chiamata dagli osservatori genericamente: « legamento », ma questa espressione spetterebbe in realtà ai segmenti rettilinei della fig. 18, poichè essi soltanto hanno un effetto congiuntivo dei due dischi e sembrano veri e propri vincoli, tesi improvvisamente tra le regioni più vicine dei due astri, quando venga occultato, per l'occhio astigmatico, un punto luminoso dell'una o dell'altra periferia. All'istantaneità di questa fase fu assegnato giustamente dai primi osservatori il nome di « fulmen », tanto più rimarchevole, in quanto il rimanente del fenomeno si svolge con notevole lentezza, e senza salti.

Delle numerosissime illustrazioni della « goccia », alcune consistono nel solo segmento rettilineo, altre, in una barretta per lo più ingrossata all'estremità più vicina al Pianeta; quest'estremità viene a fondersi col lembo avanzato del Pianeta, conferendo a tutta l'immagine quella forma di *pera*, più volte ricordata nelle narrazioni dei diversi passaggi di Venere e di Mercurio.

Generalmente la direzione del segmento rettilineo è giudicata dagli osservatori giacere sulla congiungente dei centri dei due astri, ma ciò, se qualche volta può verificarsi, non è per nulla necessario, poichè dipende dalla direzione della linea di deformazione massima dell'occhio osservante, che può giacere comunque; tuttavia io non conosco altro disegno che quello del Weinek (19), qui riprodotto nella fig. 19 in cui il legamento sia inclinato notevolmente rispetto alla congiungente dei centri, come nella figura teorica 33, della Tav. IV.

La fase del lembo staccato attraversato da parte a parte dal segmento rettilineo, fig. 18, fu vista e disegnata quasi esclusivamente da astronomi inglesi, che a quest'aspetto imposero il nome di "Chinaman's cap". Scelgo dai disegni del Morris (20), che osservò il passaggio di Venere del 1874 a Glenrowan (Australia), (con un riflettore di Browning di 8 1/2 poll) la fig. 20, qui alquanto ingrandita; essa è l'unica nella letteratura. rispondente esattamente alle esigenze della teoria astigmatica, per questa fase. Peccato che il Morris sia stato così parco di parole e non si sia indugiato a commentare questo suo eccellente disegno, eloquentissimo del resto per se medesimo.

Più simili al *cappello alla cinese*, ma meno al vero aspetto della fase, sono i disegni di Ellery, Moerlin, e Russell, anche essi osservanti in Australia lo stesso passaggio del 1874 (21). Vedi le fig. 21, 22, 23, in parziale accordo con la teoria. Nelle fig. 21, 22, si nota l'assenza del segmento più vicino al bordo solare, nella fig. 23 quello più vicina al Pianeta. quest'ultima mostra però meglio il lembo staccato.

Alla stessa fase della fig. 18 allude senza dubbio l'astronomo Leygue, che nel passaggio di Venere del 1882 rilevò tra i due dischi delle frangie scure (22): « Ces franges etaient traversées par un ligament noir tante que le contact n'avait pas lieu et elles devenaient continues à ce moment ».

Ottundersi ed acuirsi del lembo planetario - Queste due fasi che potrebbero chiamarsi opposte, sono raffigurate nelle fig. 25 e 31 (Tav. IV) e si ottengono con semplice costruzione, tenendo conto dell'astigmatismo dell'osservatore, la cui linea di deformazione massima s'immagina, per la fig. 25 lungo la congiungente dei due astri, per la fig. 31 invece, normale ad essa. Della prima forma, che qualcuno chiamò la "D" majuscola, si trovano vari esempi; la fig. 29 è dovuta al Huggins che la rilevò durante il passaggio di Mercurio dell'anno 1868 e la descrive così: (23) " The spot (cioè il disco del Pianeta) appeared distorted, spreading out to fill up partly the bright cusps of the Sun's surface between the planet's disc and the sun's limb. This appearance increased as the planet went off the sun, until when the disc of the planet had passed by about one third of its diameter, it presented the form represented in the diagram in which the margin of the disc, from points at the end of a diameter parallel to the Sun's limb, instead of continuing its proper curve appeared to go in straight lines up to the limb, thus entirely obliterating the cusps of light, which would otherwise have been seen between the planet and the limb ». Dalla quale descrizione risulta molto chiaramente la progressiva invasione delle cuspidi solari luminose da parte della "goccia", sempre più grossa durante l'egresso del Pianeta. Dello stesso passaggio di Mercurio (1868) riproduco altri quattro disegni della forma "D", dovuti a W. T. Lynn (24), G. S. Criswick (25), J Carpenter (26) e E. J. Stone (27) fig 30, 26, 27, 28; i tre ultimi, più conformi alla teoria, mostrano come nella costruzione geometrica, le rientranze al loro posto.

Altri accennano alla fase senza descriverla più minutamente, p. e. il Russell (28) (Mercurio 1881): Mercury assumed a "D" shape » Si noti che le osservazioni fin qui citate della forma "D" si riferiscono a Mercurio, però il Liversidge (29) notò la stessa apparenza anche durante il passaggio di Venere del 1874: " ... Venus appeared to be nearly one third off

the Sun's limb; there was just the slightest trace of distortion or tending to the D-form, retained until the planet was half off; hardly perceptible ».

Più rara è l'osservazione della fase opposta, illustrata nella fig. 31. Nel passaggio di Mercurio del 1878 essa fu veduta, all'ingresso, dal Geelmuyden (30) dell'Osservatorio di Cristiania con un rifrattore di 7 poll. Egli la descrive così: « Einschnitt als Spitze gesehen, nach einer Skizze einen Winkel von etwa 120° einschliessend ». Nel passaggio di Mercurio del 1868 con uno strumento di 4 poll. la vide invece all'egresso l'Oppolzer (31) e dice « Den Ausschnitt den die Scheibe des Mercurus eine Minute vor der auesseren Beruehrung in der Sonnenscheibe bildete, schien nicht entsprechend einer runden Scheibe, sondern sehr merkbar conisch, und blieb so, kleiner werdend, bis zum Moment des Verschwindens ».

La fig. 32, illustra l'osservazione eseguita a Woodford dal Vessey (32), (Venere 1874); oltre allo schiacciamento, in questa si vede anche l'aureola, che egli chiama « halo », di cui si discorrerà nel prossimo capitolo.

Il Morso di Faravella che partecipò alla spedizione italiana in India, guidata dal Tacchini (33), riscontrò il fenomeno da noi rappresentato nella fig. 25 bis: « In questo istante (primo contatto esterno) non mi parve di vedere un segmento circolare sul bordo del Sole, ma un'intaccatura a guisa di punta che ben presto si convertì in un arco circolare ». E parlando dell'estremo lembo del Pianeta, avviandosi ad uscire dal disco solare: «... la fase diminuì gradatamente e, ridotta piccolissima, pareva riprendere la forma di punta come nel primo contatto, ecc.».

Aureola del Pianeta immerso - Il disco del Pianeta, tutto immerso nel Sole, pur deformandosi per effetto dell'astigmatismo, non cessa di essere una immagine simmetrica, fig. 11; la sovrapposizione dei lembi scuri del Pianeta e dello sfondo luminoso del Sole dà luogo ad una specie d'aureola, di spessore massimo lungo la linea di deformazione massima e nullo in direzione ortogonale ad essa. Quest'aureola non può avere lo splendore del Sole, ed è notevolmente meno scura del Pianeta, tanto che da molti fu presa per la sua atmosfera, illuminata posteriormente dalla luce solare. Qualcuno la giudicò anzi più luminosa del Sole, mentre al contrario altri non la videro affatto ed altri infine, meno lucida del Sole o di colori diversi, arancione, violetto, ecc.

Che l'aureola potesse sembrare più lucida del Sole, lo attesta con tutta la sua autorità l'Huggins (34), che ebbe occasione di vederla, con un telescopio di 8 poll. (ingr. 120-220) durante il passaggio di Mercurio del 1868: « Whilst carefully examining the immediate neighbourhood of the spot (il disco del Pianeta) for the possibile detection of a satellite, I perceived that the planet was surrounded with an aureola of light, a little brighter than the solar disc ». E più innanzi: « The aureola was not sensibly coloured, and was only to be distinguished from the solar surface by a very small increase of brilliancy ».

Cito ancora il periodo con cui l'Huggins chiude il suo commento all'osservazione dell'aureola e ricorda fenomeni simili, apparsi in transiti precedenti al 1868: « Similar phaenomena have been observed at some former transits. A sort of ring of faint light was seen by Plantade at the transit of 1736; also by Proserpin; also by Flaugergues in 1786, and in 1789 and 1799. He calls it « an anneau lumineux ». Mechain, Messier, Fritsch, and Seyffler observed a similar phaenomenon. It is also described by Schroeter and Harding during the transit of 1799. In 1832 Dr Moll saw it as « a nebulous ring of a darker tinge approaching to a violet colour ». Some of these observers appear to have considered the aureola to be slightly brighter, and others as in a small degree darker than the sun ».

L'aureola più lucida fu veduta anche dal Browning (35) « slightly brighter than the solar disc ». Così pure il Downing nel passaggio del 1878: « An appearance of a ring slightly brighter than the sun was visible round the planet ». (36) Non solo intorno a Mercurio come i precedenti, ma anche intorno a Venere; p. e. il Krone (37): « Jetzt schwebte die kleine Venusscheibe frei in der von jetzt an laengere Zeit hell leuchtenden Sonnenscheibe, rings umgeben von einem heller als die Sonnenfläche leuchtenden Lichtkreise ».

Karlinsky (38) e Pohl (39) la videro meno lucida del Sole, Borrelly (40) « grisâtre », Gilbert (41) « violetta ».

Evidentemente, se il fenomeno dipende dall'astigmatismo, l'aureola deve apparire più chiara del Pianeta e meno lucida della superficie solare; tra 63 astronomi che accennano ad essa, nove soltanto la videro più lucida; ad undici si mostrò decisamente meno lucida, mentre gli altri si astengono da ogni apprezzamento sull'intensità luminosa della medesima.

Soltanto il Vessey illustrò con la fig. 32 la diversità degli spessori dell'aureola digradanti simmetricamente dal massimo al minimo; Walter Pye (42) trovò che l'aureola non era concentrica al disco del Pianeta, e dice: « the ring being narrower (al bordo di Mercurio) on the side next the sun's limb ».

Si noti ancora nella Tabella di pag. 43 la maggior frequenza di osservazioni dell'aureola intorno a Mercurio che non intorno a Venere, mentre si verifica l'opposto per l'aureola, onde appare circondato il Pianeta fuori del Sole, di cui si discorrerà nel prossimo paragrafo.

Ma se la luce solare soverchia decisamente il buio del Pianeta immerso, l'aureola non si distinguerà dallo sfondo luminoso ed il Pianeta apparirà deformato simmetricamente come nella fig. 11; il disco non più circolare apparirà come un ovale. Le fig. 12 e 13 dovute al Mayer (43) ed al Bayley (44) mostrano chiaramente questa forma allungata.

Nessuno meglio di B. Ferner (45), descrisse col minor numero di parole e maggior precisione lo spettacolo, cui egli stesso assistette nel 1769, dell'estremo trasformarsi dell'immagine scura di Venere, in procinto di sciogliersi dal legamento che la tratteneva e mostrarsi libera e tutta immersa nel sole: « The diameter of Venus, which was perpendicular to the sun's limb appeared the greatest while Venus was passing over the sun's limb; but after Venus had passed the Sun's limb, the same diameter appeared the smallest; so that Venus presented himself in both these cases under an oval form, but in contrary directions ». Dove si vede la medesima causa produrre successivamente le fasi della « goccia » e dello schiacciamento, rappresentate dalle fig. 24 e 11.

Nell'ultimo passaggio di Mercurio del 1914, gli astronomi dell'Osservatorio di Greenwich misurarono sotto vari angoli di posizione i diametri del Pianeta, immerso nel Sole, senza trovarvi differenze sensibili; (non dicono come tenevano la linea degli occhi, rispetto ai fili micrometrici elemento essenziale in queste misure), però il Jonckheere (46), parlando anche dei suoi colleghi dice: « At 22h 50m Mr. Bryant observed that the horizontal diameter of the planet looked the smaller. At 0h 5m Mr Furner was of the opinion that the identical diameter appeared the larger and I had personally the same impression. This may be an optical illusion ».

Delle misure micrometriche dei diametri di Mercurio, prese dagli astronomi belgi, con riguardo alla posizione della linea degli occhi si dirà più diffusamente a pag. 47.

Aureola del Pianeta emerso - Per quanti tentativi sieno stati fatti, nessuno è riuscito a vedere con sicurezza il Pianeta nella sua congiunzione inferiore, se almeno un piccolo lembo di esso, mordente il Sole, non ne abbia tradito la

presenza; guidati allora dal segmento oscuro, alcuni astronomi videro il lembo supplementare proiettarsi sul cielo, circondato da una debole luce.

L'astigmatismo dell'osservatore rende ragione di questa luce, ogni qualvolta il disco del Pianeta appaia più scuro dello sfondo del cielo, caso abbastanza frequente usando oscuratori poco intensi.

Quindi ha luogo (come s'è detto per la fig. 37) la formazione d'una regione, contigua tanto al disco quanto allo sfondo del cielo, meno scura del disco, ma meno lucida del cielo; all'astigmatico, il Pianeta apparirà allora circondato da un'aureola, che giudicherà chiara rispetto al Pianeta.

La regione dei lembi sovrapposti non è un anello circolare, ma presenta come nella fig. 37 uno spessore massimo lungo la linea di deformazione massima ed uno spessore praticamente nullo nella direzione ortogonale a quella. La forma di lunula, che rivela la vera natura del fenomeno è confermata ampiamente da moltissime informazioni che s'incontrano negli annali astronomici, ove l'apparenza è attribuita generalmente all'atmosfera del Pianeta. La fig. 40 riproduce il disegno del Lagrange (47), che si riferisce all'ingresso di Venere dal disco solare nel transito del 1882, ed è descritto con le seguenti parole: « Le bord extérieur de Venus est éclairé; l'image est admirable et les cornes parfaitement nettes ».

Ma la presenza dello spessore massimo della lunula sulla congiungente dei centri è un puro caso, mentre generalmente la linea della deformazione massima formerà con la congiungente un angolo qualsivoglia, generando aureole asimmetriche, come lo mostrano la fig. 39 dovuta ancora al Lagrange e le altre fig. 41, 42, 43 tolte dalle descrizioni dei Belfield (48) e del Barnard (49).

Della fig. 39 il Lagrange dice: « On voit le disque de Venus sur le fond du ciel, à gauche et en bas une aureole lumineuse blanche due sans doute à l'éclairage de l'atmosphère de Venus ». La linea della deformazione massima e la congiungente dei centri variano incessantemente la loro posizione reciproca ed è naturale che se nell'un contatto coincidono, non coincideranno generalmente anche nel secondo.

Anche il Langley (50), nel passaggio di Venere del 1882, fu sorpreso dalla stessa asimmetria: "The centre of this bright marginal segment was estimated, from a rough sketch made at the telescope, as being about 30° on one side of a line joining the centres of the Sun and planet, and its asymmetrical position with reference to the horns was conspicuous ». Ed il Wright (51), nella sua relazione del passaggio di Venere del 1874: « ... this halo (dopo il terzo contatto) gradually became brighter and was not so uniform as at ingress, but most distinguishable on the NE quadrant of the planet. L'Onslow (52) nello stesso passaggio del 1874 illustra con due bellissime figure, meglio che con la descrizione verbale, questo carattere di asimmetria dell'aureola fuori del Sole. Degne di nota mi sembrano pure le parole del Puiseux (53), dalle quali io desumo che l'aspetto da lui descritto possa rappresentarsi con la fig. 44: « Le fond du ciel est bleu, les images sont brillantes et calmes. Un quart environ du disque de Vénus est déjà sur le Soleil. Le cornes se terminent avec une netteté parfaite, mais de leur extrémité se détache une auréole pâle qui entoure Vénus sur une étendue de 5° à 6° vers l'extérieur, à partir des pointes d'intersection de sa circonférence avec celle du Soleil. Je m'assure à plusieurs reprises que l'arc lumineux n'est pas complet. Je substitue au grossissement de 110 employé jusqu'ici, un oculaire grossissant 160 fois. L'aspect du phénomène n'est pas modifié, non plus que par l'emploi d'une partie plus sombre du verre gradué ».

Una simile forma dell'aureola era stata veduta fin dal 1761 intorno a Venere da B. Wilson (54), fig. 45. E se ne potrebbero citare degli altri ancora. Nessun osservatore però salvo il Russell e lo Schiaparelli accennano alla temperata oscurità del cielo in paragone del Pianeta, condizione essenziale per la apparizione di quest'aureola. Il Russell (55) dieci minuti dopo il primo contatto vide: « the whole of the planet... that portion of it without the Sun, appearing on the bright sky near the Sun's limb »; e dopo altri cinque minuti vide la aureola. Ne dà la figura. E che il cielo sia stato meno scuro del Pianeta durante l'osservazione dello Schiaparelli (56) (Venere 1882), lo si deduce dal fatto, che egli osservò senza proteggere l'occhio con oscuratori: "A partire da quel punto" (cioè dopo il primo contatto) « fu attraverso il buco delle nuvole un continuo movimento di vapori più o meno densi. Quando il Pianeta fu mezzo entrato, un intervallo di maggiore lucidità mi permise di vedere l'atmosfera di Venere sotto forma d'arco luminoso nella parte oscura fuori del sole ».

I sostenitori delle teorie precedenti non hanno nemmeno tentato di spiegare la presenza di quest'aureola, mentre gli osservatori l'attribuirono senz'altro all'atmosfera del Pianeta, ipotesi sommamente improbabile, considerati i vari spessori che essa mostra.

Appendice di Stuyvaert e Lagrange - Anche questa forma, che gli scrupolosi astronomi belgi, pubblicarono coraggiosamente tale e quale avevano veduta, sebbene paradossale d'aspetto, non è che una conseguenza logica della medesima causa, che è servita a spiegare le altre fasi, e si verifica con tanta maggior evidenza quanto più la linea di deformazione massima diverge dalla congiungente dei centri. Nella fig. 33 questa divergenza è di 45°. Lo Stuyvaert (57) dice delle sue figure: « La corne septentrionale (del Sole s'intende) se termine en deux dents ed forme de scie » ed il Lagrange (58): « La corne inferieure du Soleil empîète sur Venus tout en restant parfaitement geometrique ».

"Borgia,, di Vessey - Un'inclinazione di 60° della linea di deformazione massima, rispetto alla congiungente dei centri, determina, nell'estremo lembo del Pianeta proiettantesi sul Sole, l'aspetto della fig. 46; essa mostra, in iscala esagerata, l'essenza del rigonfiamento asimmetrico che il Vessey (Venere 1864) chiamò « bulge » ed illustrò con le figure 47 e 48, descrivendole così: « fig. 47 ... the planet slightly flattened on that portion of the limb nearest the Sun's centre, and with a slight bulge near the northern termination of the limb » e: fig. 48 . . Venus was not quite circular, the curve of the planet's limb being slightly flattened on the eastern side, with a slight bulge on the western side ».

Incostanza ed intermittenza del fenomeno - Ai primi critici delle osservazioni di contatti parve strano che alcuni astronomi vedessero le fasi della goccia ed altri, pur cercandole, non le trovassero, e più strano ancora che il medesimo osservatore, veduto il fenomeno in un passaggio, non lo rivedesse nel successivo (60); ma è ancor più notevole e punto infrequente il caso (vedi la Tabella statistica di pag. 43) di uno stesso osservatore, munito dello stesso strumento, che dei due contatti interni, vede l'uno turbato dalla apparizione della goccia e l'altro perfettamente geometrico, o viceversa. La fig. 9 mostra la configurazione ideale perchè nel contatto I° il fenomeno raggiunga un massimo e nel II° sia nullo, e ciò si ottiene quando la linea della deformazione massima AA' nel primo caso coincida con la congiungente dei centri, nel secondo sia a questa ortogonale. Se queste due ultime linee formassero in entrambi i contatti un angolo identico la durata del contatto sarebbe uguale nell'uno e nell'altro; altrimenti le durate saranno diverse.

Dall' elenco delle durate dei contatti interni nei passaggi di Venere del 1761 e 1769 compilato dal Dubois (61) tolgo per esempio i seguenti tempi, relativi ad osservazioni del 1769:

	ingresso	egresso
Hell	6s	11s
Green	40	48
Cook	60	32

Maggior differenza riscontrasi nei seguenti tempi relativi al passaggio di Venere del 1874 (62):

	ingresso	egresso
Ellery	1m 30s	2m 22s
Whyte	2 2	1 52
Wilson	1 40	1 55

Abbastanza frequente è pure il caso di osservatori che videro la « goccia » in uno solo dei due contatti: l'Heraud (63), sia nel passaggio di Venere del 1874, sia in quello del 1882 la vide soltanto nel primo contatto. Il Whyte (64), durante il passaggio di Mercurio del 1881: « When about two thirds of the planet had entered on the Sun's disc, it assumed a pear shape », e quindi: « At egress the definition was exceedingly good; the contacts were formed without distortion or clinging ». Il Moerlin (65) nel medesimo passaggio notò nel primo contatto: «... a cloudiness between the edge of the Sun and the Planet, before a complete separation took place », e quindi: « the contacts at egress I consider good, no ligament or bead having been seen, but a clear and comparatively sharp contact »; e finalmente lo Storey (66), nel passaggio di Mercurio del 1914, osserva: « The first internal contact was well seen, the black drop phaenomenon being very persistent »; mentre del secondo contatto interno avverte: « the contact was noted on this occasion as quite clear, no ligament of any kind being visible ».

Prima di chiudere questo capitolo debbo accennare ad un caso d'intermittente apparizione del legamento, che prima si mostrò e poi si sottrasse alla vista dell'osservatore; questi attribuì il fatto all'agitazione dell'atmosfera, mentre l'intermittenza non può mancare per l'osservatore astigmatico, quando durante l'osservazione muti la posizione del capo e con esso la linea degli occhi, come è naturale che succeda a chi sia costretto a rimanere lungamente in posizione incomoda, col capo, e con la persona.

Il Russell (67), difatti, in due figure successive dell'egresso di Venere (1874), fa vedere chiaramente la presenza della «goccia» nell'una, mentre nell'altra il disco di Venere (più vicino al bordo solare che non nell'istante precedente), è separato da questo da un intervallo nitidissimo; e se le figure non bastassero, ecco le sue parole: « During one of these (moments of bad definition) at 3h 53m 53s, 59 the limb of the planet nearest the Sun's limb seemed to be in a state of vibration, as if portion of its blackness were jumping over to the Sun, which lasted only a few seconds, the vibrations being estimated at 6 or 7 per second (68); after this the limbs recovered their perfect definition (69) and were clearly and steadily separated by a line of light, which at 3h 54m 26s, 30 could not have been more than half a second of arc in thickness » dove non si può far a meno di meravigliarsi, che ad un'agitazione atmosferica, come quella che produsse la prima figura, potesse succedere dopo soli 32 secondi una tranquillità tale da conservare all'uno ed all'altro lembo la perfetta definizione.

Statistica delle osservazioni - La Tabella numerica della pagina seguente contiene lo spoglio statistico di 504 descrizioni di passaggi di Mercurio e di Venere sul disco solare, ed abbraccia i quattro ultimi passaggi di Venere e gli ultimi 7 di Mercurio, a partire dall'anno 1868. L'incertezza suscitata nell'osservatore dalla novità e varietà dello spettacolo si trasfonde, nel momento di stendere la descrizione, anche alla parola del narratore, e troppo spesso ci s'imbatte in affermazioni di fatti contraddittori, che ne rendono difficile la classificazione. Ricordo il caso di molti che negano d'aver veduto la «goccia», mentre d'altro canto danno due o tre tempi, comprendenti alle volte 60 sec e più, per le durate dei contatti, i quali contatti dovrebbero durare invece teoricamente un attimo, o qualche secondo al massimo, per occhi anastigmatici e dotati di sensibilità normale. Questi casi contraddittori furono compresi nella colonna con l'intestazione della « goccia veduta ». Ho tralasciato di tener conto particolare di quelli che videro la «goccia» nell'uno e nell'altro contatto poichè questi sono compresi nella colonna intestata: « maggior durata nell'uno che nell'altro », non essendomi occorso mai d'incontrare due tempi identici, per la durata dell'ingresso e dell'egresso.

La Tabella non ha bisogno d'altri schiarimenti, e si pensi che, essendo molteplici le cause naturali ed artificiali che influiscono sulla maggior o minor visibilità del fenomeno, sarebbe imprudente voler ricavare da un ragguaglio numerico conclusioni che esso non può dare.

STATISTICA DELLE OSSERVAZIONI

PASSAGGI DI MERCURIO

Anni	Num. degli osservatori	GOCCIA				AUREOLA					Forma ovale del Pianeta
		(un solo contatto interno osservato)		(entrambi i contatti interni osservati)		Pianeta immerso			Pianeta emerso		
		veduta	non veduta	veduta in uno solo	maggior durata nell'uno che nell'altro	più lucida del Sole	meno lucida del Sole	senza indicazioni d'intensità	rispetto alla congiungente simmetrica	asimmetrica	
1868	52	18	18	0	2	2	1	15	1	0	1
1878	31	15	5	0	0	2	4	0	0	0	1
1881	16	6	3	3	1	0	1	3	0	0	0
1891	65	31	7	0	0	0	0	1	6	0	0
1894	18	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1907	87	15	18	1	2	2	4	21	0	0	0
1914	47	13	15	1	8	1	0	2	0	0	5
Totale per Mercurio	316	106	68	5	13	7	10	51	7	0	7

PASSAGGI DI VENERE

1761	13	5	3	0	4	0	0	4	3	1	0
1769	49	35	0	0	1	1	0	1	4	0	1
1874	54	29	7	2	8	0	1	4	22	2	3
1882	72	31	17	2	1	1	0	3	23	14	0
Totale per Venere	188	100	27	4	14	2	1	12	52	17	4
Totale per i due Pianeti	504	206	95	9	27	9	11	63	59	17	11

CAPO III. CALCOLO DELLA DURATA DEL FENOMENO

Quantità della deformazione secondo le diottrie d'astigmatismo Nell'occhio schematico, composto di due soli mezzi, che il Listing chiamò ridotto, l'unica superficie rifrangente ha il raggio di curvatura di mm 5,117 (70). Con un tale raggio, e posti gli indici di rifrazione dell'aria e dell'umor vitreo:

$n = 1$, $n_1 = 1,3465$, si ricava dalla nota formula: $f_1 = n_1 r / n_1 - n$ la distanza del secondo fuoco: $f_1 = 19,88$ mm;

se a questa distanza dalla superficie rifrangente si troverà la retina, l'occhio sarà emmetropico ossia raggi provenienti, da un punto infinitamente lontano convergeranno senz'accomodamento sopra di essa in un'immagine puntiforme. Per l'occhio astigmatico invece, la superficie rifrangente sia torica ed il raggio di curvatura: $r = 5,117$ mm e la rispettiva distanza focale $f_1 = 19,88$ competano soltanto alla sezione orizzontale (linea degli occhi) di detta superficie; quella verticale sia dotata invece di curvatura più sensibile. Nella seguente tabellina sono considerati raggi e fuochi della sezione verticale sempre più brevi, a partire dal caso I, in cui il raggio è identico a quello della sezione orizzontale, come nella superficie ideale perfettamente sferica. Con la formola consueta (71):

$$(n_1 / x_1) - (n/x) = (n_1 - n) / r$$

si ricava il valore del raggio di curvatura "r" della sezione verticale, quando il *punctum remotum* sia, rispettivamente: $x = - 8, - 4 - \dots - 1$ metri; in questi casi si dirà che l'astigmatismo dell'osservatore, ferma restando la curvatura emmetropica della sezione orizzontale, è di 1/8, 1/4 ... 1 diottrie. Le distanze dei secondi fuochi corrispondenti ai raggi considerati, sono contenuti nella colonna, con l'intestazione f_1 .

Come si vede nella fig. 1 la grandezza del segmento rettilineo $ff' = 2 A$ è direttamente proporzionale, tanto alla lunghezza dell'arco OD (ossia al raggio della pupilla considerato qui = ad 1 mm), quanto al rapporto tra le distanze OF, Of. La tabellina precedente contiene nelle due ultime colonne i valori di A in millimetri ed in secondi d'arco, corrispondenti al difetto d'astigmatismo contemplato nei casi I ... V.

	"r" della sezione verticale	f ₁	Distanze tra i due piani focali	Diottrie	A mm.	A sec.
I	5,117 ^{mm}	+ 19,88 ^{mm}	0,00 ^{mm}	0	0,0000 ^{mm}	0'',00
II	5,106	+ 19,84	- 0,04	1/8	0,0020	20'',9
III	5,097	+ 19,81	- 0,07	1/4	0,0035	36'',7
IV	5,078	+ 19,73	- 0,15	1/2	0,0076	78'',9
V	5,041	+ 19,59	- 0,29	1	0,0148	153'',6

Durata del fenomeno - Poiché da pochissimi osservatori fu veduta la prima fase del fenomeno, vale a dire quella del lembo staccato, s'intese generalmente per durata del fenomeno nell'egresso, l'intervallo tra il formarsi istantaneo del legamento sottilissimo fig. 18 ed il cosiddetto contatto geometrico fig. 24; viceversa per l'ingresso l'intervallo tra il contatto geometrico ed il fulmineo irrompere della luce, tra il bordo del Pianeta e lo sfondo del cielo.

Il detto intervallo è rappresentato geometricamente nella fig. 10 dal segmento x, congiungente i centri O ed O' della circonferenza latente del Pianeta, nei momenti di tangenza col lembo apparente e col lembo vero del Sole. Anche in questa figura i lembi veri sono linee continue, i latenti segmentate, e gli apparenti, punteggiate. I dati per la determinazione del segmento x sono:

- R = raggio del disco solare apparente
- r = raggio del disco planetario apparente
- α = angolo racchiuso tra la linea di deformazione radiale massima e la traiettoria del Pianeta rispetto al Sole, considerato immobile
- β = angolo alla periferia del bordo vero del Sole, compreso tra il raggio R e la traiettoria

Con questi dati si calcolano gli angoli ausiliari γ, ζ, δ, ed i segmenti N ed x, ottenendosi successivamente:

$$\begin{aligned} \operatorname{sen} \gamma &= \frac{R}{R-r} \operatorname{sen} \beta \\ N^2 &= A^2 + (R-r)^2 - 2(R-r)A \cos(\gamma - \alpha) \\ \operatorname{sen} \delta &= \frac{A}{N} \operatorname{sen}(\gamma - \alpha) \\ \operatorname{sen} \zeta &= \frac{N}{R-r} \operatorname{sen}(\gamma + \delta) \\ x &= \frac{N \operatorname{sen}(\gamma + \delta - \zeta)}{\operatorname{sen} \zeta} \end{aligned}$$

e poichè è nota la velocità del Pianeta rispetto al Sole, considerato immobile, si ricava immediatamente la durata del fenomeno. Ma chi cerca l'accordo tra l'osservazione ed il calcolo bisogna che non dimentichi, che, mentre il formarsi o lo scomparire della goccia si osserva con tutta la precisione possibile e succede in un attimo, che non per nulla i primi osservatori chiamarono fulmen, invece il cosiddetto contatto geometrico, o tangenza dei dischi, è un'espressione molto meno precisa per l'occhio fortemente astigmatico, avendo perduto del tutto il Pianeta in quel momento, fig.24, l'aspetto d'un circolo; quindi anche l'indicazione di tangenza è piuttosto arbitraria e meglio si direbbe il risultato d'una congettura, che non d'una vera e propria osservazione.

Astigmatismo dell'astronomo G. Van Biesbroeck, dedotto dalle sue osservazioni

Gli astronomi dell'Osservatorio di Uccle, nel misurare i diametri del disco di Mercurio, durante il suo penultimo passaggio dei 1907, ebbero il geniale presentimento, che sulla misura di questa lunghezza, influisse in qualche modo l'inclinazione della linea degli occhi; ogni loro misura è accompagnata quindi dall'avvertimento che la linea degli occhi era parallela, oppure perpendicolare, alla coppia di fili micrometrici, tangenti al disco del Pianeta, dalla distanza dei quali si deduceva la lunghezza del suo diametro (72).

Lo scopo a cui miravano quegli astronomi era quello di scoprire se il globo di Mercurio fosse schiacciato, e per convincersene, essi misurarono parecchi diametri del Pianeta sotto vari angoli di posizione; attenendosi al programma, ogni diametro fu misurato, sia con la linea degli occhi parallela, sia perpendicolare ai fili micrometrici. E si trovò che la lunghezza d'un medesimo diametro variava, se la linea degli occhi da perpendicolare si faceva parallela ai fili micrometrici e viceversa, mentre due diametri, pur ortogonali, presentavano la medesima lunghezza, se la linea degli occhi era rispetto ad entrambi sempre parallela, oppure sempre perpendicolare; donde essi giunsero all'importante

conclusione, che il disco del Pianeta era sensibilmente circolare.

Ma essi dimostrarono oltre a ciò un fatto, non meno importante per il problema nostro, vale a dire che lo schiacciamento apparente del Pianeta, di cui abbiamo tante testimonianze fig. 12, 13 dipende dalla posizione della linea degli occhi e quindi dalla conformazione dell'occhio, od in altre parole dall'astigmatismo dell'osservatore.

Mi proposi allora di esaminare gli elementi forniti dagli astronomi belgi, per vedere se fossero sufficienti alla determinazione dei loro astigmatismi. Limitai intanto la ricerca all'astigmatismo dei Signor G. Van Biesbroeck, perché questi aveva veduto il fenomeno della goccia sia nell'ingresso che nell'egresso, ed oltre alle misure dei diametri planetari aveva eseguito una serie di misure sopra una sferetta metallica, imitante il Pianeta e collocata a 1351 metri di distanza dall'osservatore, « dans le but de rechercher les erreurs personnelles de ce genre d'observations et l'influence de l'irradiation de la lumière, qui a pour effet de diminuer le diamètre apparent de Mercure ». (73)

Trascrivo qui sotto le quattro osservazioni del doppio diametro di Mercurio, che egli eseguì all'Equatoriale di 38 cm. d'apertura (ridotto a 24,5) e l'ingrandimento 360, e da lui considerate le migliori della serie. Ad un giro 'R' della vite corrispondono 7,"842. Il segno - indica la perpendicolarità, il segno | il parallelismo della coppia dei fili micrometrici rispetto alla linea degli occhi:

Tempo medio di Uccle	Direzione della linea degli occhi	Angolo di posizione	Doppio diametro in giri della vite	Media
1907 nov. 14				
0 ^h 38 ^m	—	90° — 270°	2 ^r ,054 (2)	2 ^r ,060
1 ^h 5	—	120 — 300	2,067	
1 ^h 12		150 — 330	2,056	
1 ^h 19		180 — 360	2,045	

Ad un occhio anastigmatico il doppio diametro del Pianeta, espresso in giri della vite, sarebbe dovuto risultare di 2r, 5198 (essendone il raggio apparente in quel momento 4",99) Le differenze 2r, 5198 - 2r, 060 = 0r, 4598 e 2r, 5198 - 2r, 050 = 0r, 4698 dimostrano intanto: i) che per il Signor Van Biesbroeck la linea della deformazione massima non coincide con la linea degli occhi, o con la sua ortogonale, poichè in questo caso una delle due differenze avrebbe dovuto essere nulla; ii) che la linea della deformazione massima deve racchiudere con la linea degli occhi un angolo maggiore che con la sua ortogonale; iii) che, tenuto conto del valore d'un giro della vite = 7r, 881 il raggio di Mercurio, ingrandito 360 volte e perpendicolare alla linea degli occhi, gli appariva di 7" minore del suo ortogonale.

Dalle misure analoghe sulla sferetta artificiale (vedi a pag. 403 degli *Ann. Brux.* Tomo VI, Fasc. II) non si può ricavare il valore assoluto della differenza dei due diametri, mancando l'indicazione dell'oculare usato (il quale amplifica naturalmente soltanto il diametro dell'immagine e non la deformazione prodotta dall'astigmatismo); ma dalla considerazione dei due diametri:

Direzione - : doppio diametro 1r, 549

» | : » » 1r, 507

si vede subito che la linea della deformazione massima, come nelle misure dei diametri del Pianeta, risulta più lontana dalla linea degli occhi, che non dalla sua ortogonale. Un oculare di 90 ingr. condurrebbe anche qui al valore di 7" per la differenza tra i due diametri, identico a quello ottenuto precedentemente.

Questo metodo di misura dei diametri avrebbe condotto alla determinazione esatta dell'astigmatismo dell'osservatore, se egli avesse sperimentato il contegno della sua vista anche in posizione *obliqua* della linea degli occhi rispetto ai fili micrometrici, mentre l'osservazione delle due sole posizioni perpendicolare e parallela lasciano il problema necessariamente indeterminato, fornendo appena l'indicazione del quadrante ove giace la linea della deformazione massima, e noti l'angolo che essa racchiude con la linea degli occhi. Ma per buona sorte, in difetto delle misure in posizione obliqua, il Sig. Van Biesbroeck osservò il fenomeno della goccia, sia nell'ingresso che nell'egresso, e le durate di questo fenomeno, combinate con le misure dei diametri, nelle due posizioni perpendicolare e parallela, sono ugualmente sufficienti, come ora mostrerò, alla determinazione del suo astigmatismo, con tutto il rigore consentito dalle osservazioni.

Amesso che la linea degli occhi si sia mantenuta costantemente orizzontale durante l'osservazione dei due contatti interni, di cui si conoscono i tempi (75), coi valore della latitudine di Uccle è facile calcolare l'inclinazione della traiettoria del Pianeta rispetto al diametro orizzontale del Sole; essa risulta

nell'ingresso 34° 15'

nell'egresso 1 20.

Ora le incognite cercate, che sono: i) inclinazione della linea di deformazione massima rispetto alla linea degli occhi; 2) numero di diottrie d'astigmatismo dell'occhio osservante, dovevano risultar tali da giustificare, e la differenza di 7" tra i raggi dell'immagine di Mercurio, e la durata delle fasi della goccia (intervallo tra il contatto geometrico e la

separazione dei dischi)

nell'ingresso . . . 16 sec.
nell'egresso 7 » (76)

Con prove successive trovai che a questi valori si giunge, ammettendo che nell'occhio osservante, la linea di deformazione massima fosse inclinata di 55° rispetto alla linea degli occhi (77), l'astigmatismo uguale ad 1/4 di diottria, ed il diametro della pupilla uguale a 2 mm. Tenuto conto dunque dell'oculare di 30 ingr., usato nell'osservazione dei contatti (78), e della velocità relativa di Mercurio nella sua orbita, rispetto al Sole immobile, $v = 0'',103$ al minuto secondo (79), il calcolo condotto sulle formole di pag. 46 fornisce i dati contenuti nella tabellina seguente, a fianco dei valori osservati:

	Durata della goccia: ingresso	Durata della goccia: egresso	Diff. tra diam. - e diam.
Valori osservati	16 sec.	7''	7''
Valori calcolati	15'', 1	6 s, 0	9'', 1

L'ipotesi fatta sulle incognite rappresenta dunque con inattesa precisione i valori osservati, e si conclude che l'occhio osservante doveva essere affetto da un leggero astigmatismo, la cui correzione si sarebbe potuta ottenere con una lente cilindrica della seguente formola: (80)

$$sph? D. \odot cyl. - 0,25 D. Ax. 145^\circ$$

Il Signor Van Biesbroeck, conosciuto il risultato del mio calcolo, ebbe la cortesia di mandarmi, con lettera del 25 marzo 1922, la formola relativa alla lente, ond'è armato il suo occhio sinistro, che egli usa sempre nell'osservare:

$$sph. - 3D. \odot cyl. - 0,50 D. Ax. 150^\circ$$

Prescindendo dalle diottrie sferiche, la cui correzione si fa automaticamente con l'accomodamento dell'oculare, l'accordo nella qualità cilindrica delle due formole non lascia nulla a desiderare.

Dalla citata lettera del 25 marzo rilevo l'affermazione: «Depuis mes premières observations j'ai pris l'habitude d'employer seulement l'oeil gauche qui est meilleur, ecc.» e l'altra, in accordo con la mia ipotesi: «quant à l'observation du contact je suis presque sûr aussi que je l'ai faite dans la position ordinaire de la tête, avec la ligne des yeux horizontale. Je n'ai pas ici mes livres d'observation et doute que j'ai noté ce point, mais ie ne crois pas que ma mémoire fasse défaut », e finalmente: «Jusqu'en 1918, quoique portant des verres pendant la journée, je ne m'en suis jamais servi pendant les observations ».

Si potrebbe obiettare che le osservazioni di Mercurio risalgono al 1907, mentre il reperto dell'oculista e la formola citata è di undici anni posteriore, come dalla stessa lettera: « En 1918 mes yeux furent de nouveau examinés, cette fois avec très grand soin par un collègue de l'université », ma si sa che le sezioni di curvatura massima e minima non variano generalmente la loro posizione, mentre con l'andar degli anni si va affievolendo il potere accomodativo dell'occhio e non c'è nulla di straordinario nel fatto, che la mezza diottria d'astigmatismo, non più correggibile nel 1918 senza il soccorso di lenti, sia stata ridotta undici anni prima, col nerbo stesso del muscolo ciliare, ad un quarto di diottria.

Che nel 1907 l'occhio non fosse del tutto esente d'astigmatismo si rileva dalle parole dell'osservatore: « en 1907 je portais des verres spheriques, l'examen n'ayant pas accusé d'astygmatisme prononcé »; l'oculista non gli prescrisse lenti cilindriche perchè quella differenza di curvatura nell'uso ordinario dell'occhio è trascurabile, mentre nell'osservazione di contatti celesti produce, come s'è veduto, effetti apprezzabilissimi.

CAPO IV. CONTATTI ARTIFICIALI

Esperienze da laboratorio - L'esperienze eseguite da presso e senza il soccorso di telescopi, permettono di studiar bene la fase del lembo staccato, essenziale in questo fenomeno, con esagerarne l'effetto. Se i due corpi di cui si osservano i contatti sono a distanza identica dall'osservatore (o praticamente identica, com'è il caso di due corpi celesti) i lembi latenti dell'uno e dell'altro fig. 11 distano d'un'ugual quantità dai rispettivi lembi veri, e lo stesso dicasi degli apparenti, ma se le distanze dall'osservatore sono sensibilmente diverse, i detti lembi risultano più vicini o più lontani ai rispettivi lembi veri, a seconda della distanza dei due corpi e della qualità miopica od ipermetropica dell'occhio astigmatico osservante. Si consideri un'asse orizzontale, non illuminata limitata dallo spigolo vero SS fig- 49; all'occhio miope astigmatico essa apparirà sullo sfondo luminoso LL, col lembo apparente in S'S' mentre il lembo latente S''S'' resterà inavvertito fino all'appressarsi d'un altro corpo; se questo secondo corpo, poniamo il disco D, proiettandosi anch'esso sullo sfondo luminose LL, sarà più vicino all'occhio miope che non lo spigolo SS, l'intervallo tra il lembo apparente ed il latente dei disco apparirà minore che non sia lo stesso intervallo per il lembo apparente e latente dello spigolo, come si vede subito dalla fig. 2.

Di fatti se il punctum remotum genera le rette focali F ed f ; un punto più vicino le sposterà in F_1 ed f_1 ; ma allora i raggi estremi Af_1 e Bf_1 determineranno sulla retina del miope, il segmento MN invece del primitivo GH con $GH > MN$ e, come si doveva dimostrare i lembi apparenti e latenti del corpo più vicino saranno meno distanti dal lembo vero, che non sieno quelli del corpo più lontano;

Un ragionamento analogo dimostra che per l'occhio emmetrope, (ed a più forte ragione per l'ipermetrope), la cui retina s'immagina passante per il punto f della fig. 2, il corpo più vicino avrà i lembi più distanti, e lo spigolo (verticale in questo caso, perchè se fosse orizzontale l'effetto sarebbe nullo) più lontano, i lembi più vicini, come si vede dal confronto delle rette IK , corrispondenti al punctum remotum e QR al punto più vicino, essendo $IK < QR$. La conseguenza immediata di questi fatti è che il lembo staccato apparirà nella fig- 49 più vicina al disco, nella fig. So più vicina allo spigolo; apparenze frequentissime e che ognuno vede anche senza dispositivi speciali di laboratorio, ma badando, nel muoversi in casa o per via, ai continui contatti di spigoli verticali od orizzontali, semprechè le luci sieno favorevoli.

Che invece nelle Osservazioni celesti le distanze dei lembi appaiano identiche nei due astri, lo si desume anche dalla notevole constatazione del Baily (81): «When the ligament breaks, its motion at the moment of separation is so rapid that it is difficult, to discern, whether the broken part collapses to the planet or to the Sun's edge ». Non si può discernere se manchi prima da una parte che dall'altra, perchè manca da entrambe simultaneamente.

Le medesime esperienze da laboratorio con luci adeguate, riproducono anche la goccia e le aureole, onde appare circondato il Pianeta, sia immerso che emerso.

CONCLUSIONE

Percorrendo nelle Tavole III, IV, V, la serie osservata delle trasformazioni, che il torturato disco del Pianeta subisce, in immediata adiacenza del lembo solare, e confrontandole con gli effetti della diffrazione e dell'irradiazione, da altri invocate, si conclude che queste due cause, pur capaci di spiegare la presenza di ombre tra un lembo e l'altro dei due dischi vicinissimi, sono impotenti nel giustificare: 1) la formazione del lembo staccato coi relativi intervalli chiari, (cosa contrarissima sia alla diffrazione, sia all'irradiazione), 2) l'appendice di Stuyavaert e Lagrange, 3) la bolgia di Vessey, 4) l'aureola dentro e fuori del Sole, 5) gli spessori diversi di detta aureola e la sua asimmetria rispetto alla congiungente dei centri, 6) l'apparire e il non apparire di questi fenomeni a più osservatori, pur usanti gli identici mezzi, 7) l'apparire e il non apparire al medesimo osservatore, che usa lo stesso mezzo in transiti diversi, od anche nell'ingresso e nell'ingresso d'uno stesso transito e via dicendo.

Ancor meno efficace delle due cause or ora ricordate sarebbe il soccorso d'un'ipotetica atmosfera planetaria, la cui presenza da nessuno fu dimostrata per altra via, e che è resa sommamente inverosimile dall'esagerata altezza che dovrebbe raggiungere secondo le osservazioni; la quale altezza non risulterebbe uguale rispetto a tutte le verticali della superficie del Pianeta, ma coi massimi e minimi ad un quadrante di distanza, e per di più, massimi e minimi variabili di posizione a seconda dell'osservatore.

Lo stesso dicasi del voler attribuire al capriccio dell'agitazione atmosferica terrestre, il regolare succedersi di fasi tipiche e vedute centinaia di volte, in condizioni meteorologiche eccellenti, per dichiarazione esplicita di tanti osservatori.

Molto più vicini alla vera causa giunsero quelli che incolparono genericamente delle deformazioni osservate, gli imperfetti mezzi ottici usati: noi abbiamo attribuito quest'effetto all'astigmatismo dell'occhio, poichè del tutto privi ce n'è pochissimi, ma anche l'occhio sferico vedrebbe i medesimi effetti di deformazione, se una qualunque superficie rifrangente dello strumento usato, sia del sistema obbiettivo che dell'oculare, non fosse rigorosamente sferica; col progredire dell'industria ottica, questo caso d'imperfezione si fa sempre meno frequente, ma non è improbabile che le deformazioni osservate nei primi passaggi di Venere, del secolo XVIII, sieno dipese anche dall'astigmatismo dei vetri.

A questo astigmatismo istrumentale dovrebbero attribuirsi aspetti di legamento, fotografati, se pur si possa ammettere che tali aspetti, illustrati da qualche autore (82), abbiano qualche parentela, con le fasi di cui finora ci siamo occupati, e non derivino piuttosto dalle ben note cause di diffusione della pellicola sensibile; ma non avendo io veduto alcuna lastra riprodotte astri a contatto, non posso esprimere a questo proposito alcun giudizio.

L'astronomo deve conoscere dunque il grado del suo astigmatismo e correggerlo con lenti ben calcolate, ogni qualvolta s'accinge ad osservare contatti (sia lembi con fili micrometrici, sia lembi con lembi, occultazioni (83) eclissi (84) ecc.); allora soltanto avranno significato parole pur tanto usate, quali: « contatto geometrico », « momento del contatto » e così via.

Se il difetto d'astigmatismo è piccolo la correzione potrà farsi anche senza il sussidio di lenti, purchè l'astronomo abbia l'avvertenza, nel « mettere a fuoco », di guardare l'immagine attraverso una fessura sottile coincidente con la sezione di raggio minimo del suo occhio, il quale, con la facoltà d'accomodamento che gli è propria, porterà sulla retina, rimossa la fessura, anche il fuoco della sezione di raggio massimo.

Un astronomo che, sebbene per altro scopo, abbia corretto la sua vista durante il passaggio di Mercurio dell'anno 1891 fu il Cerasky (84); dinanzi ad un oculare galileiano di sua costruzione, egli collocò un diaframma strettissimo: « Un petit trou est percé dans le disque » (disco coprente l'oculare) « devant le centre de la lentille »; questo *trou* fungeva da foro stenopeico, onde com'è noto, si ottiene molto approssimativamente l'effetto correttivo della lente cilindrica, e difatti lo spettacolo, per dichiarazione dello stesso osservatore, fu esente da ogni deformazione: « Le contact interieur a été très bien observé ... il n'y avait acune goutte noire et le contact s'est fait avec une simplicité geometrique ».

Così la credenza diffusa generalmente (86), che strumenti di maggior potenza tolgano all'osservazione dei contatti l'imperfezione della goccia, trova la sua ragione in queste due circostanze: 1) Il fascio luminoso emergente dall'oculare, sempre più sottile col crescere dell'ingrandimento, interseca aree della pupilla e delle superficie rifrangenti dell'occhio sempre più anguste, e quindi più prossime alla forma sferica; 2) L'ingrandimento che amplifica l'immagine dell'astro e ne aumenta la velocità, non aumenta lo spessore della deformazione, dipendente soltanto dall'astigmatismo, quindi col crescere dell'ingrandimento, sempre più fugace la sovrapposizione ed il contatto dei lembi deformati.

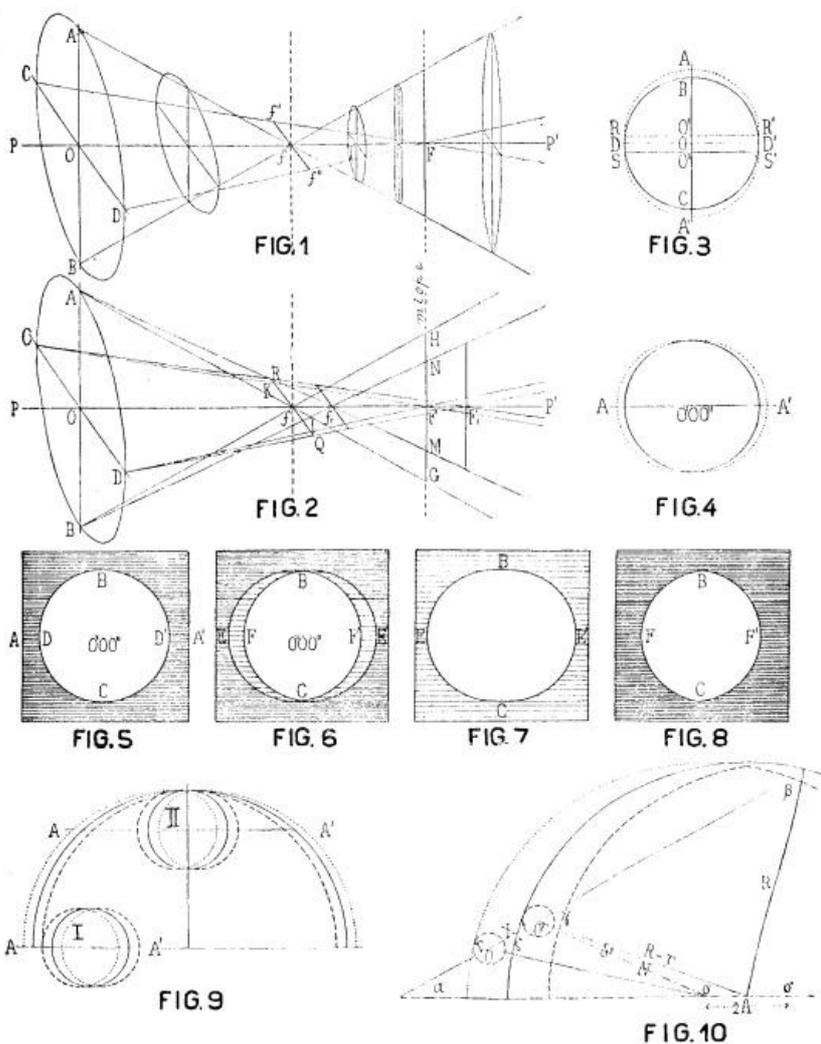
L'abitudine di liberare gli occhi dalle lenti nell'accingersi all'osservazione è dannosa per l'astronomo astigmatico; essa è servita tuttavia a mettere in luce quella, che, secondo l'opinione mia, è la causa principale del fenomeno: e qui

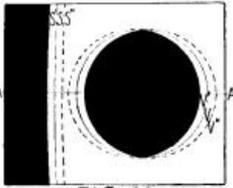
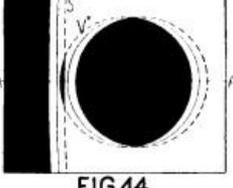
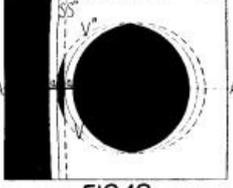
vanno rese speciali grazie a quegli scrupolosi e coraggiosi osservatori, della cui opera ho tratto il maggior profitto, i quali, noncuranti della verosimiglianza, non si peritarono di divulgare descrizioni ed illustrazioni, piene di verità, per quanto stravaganti nell'apparenza.

Bologna, li 29 maggio 1922

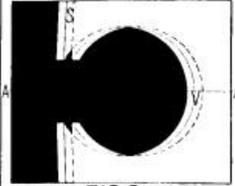
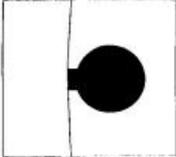
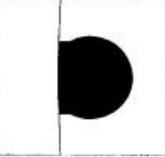
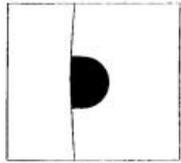
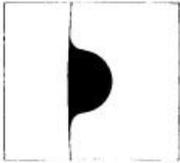
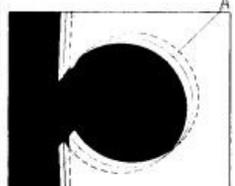
- (1) Venere fu osservata per la prima volta sul disco solare da Geremia Horrox nell'anno 1639; i passaggi successivi avvennero negli anni 1761, 1769, 1874, 1882; i prossimi avranno luogo nel 2004 e 2012. I passaggi di Mercurio, più frequenti di quelli di Venere, ricorrono 6 volte in 43 anni. Il primo fu osservato da P. Gassendi nel 1631 il prossimo si vedrà nel 1924.
- (2) *Die Bildung des sogenannten schwarzen Tropfens beim Venusübergang*. H. G. van de Sande Backhuysen, in: *A. N. Vol. 83, N. 1988 pag. 305*.
- (3) ... « Über die Entstehung dieser Erscheinung herrschten längere Zeit die verschiedensten Ansichten; heutzutage ist man sich jedoch darüber im klaren, dass es sich dabei um eine Diffraktionserscheinung handelt, die grösstenteils zum Verschwinden gebracht wird, wenn das Objektiv des benutzten Fernrohres eine nicht zu kleine Öffnung besitzt » [Trad. « ... Circa l'origine di questo fatto hanno dominato per lungo tempo le più diverse opinioni; al giorno d'oggi si è tuttavia sicuri che si tratti di una figura di diffrazione, che in massima parte scompare qualora l'obiettivo del cannocchiale adoperato abbia un'apertura non troppo piccola. ». Newcomb-Engelmann, *Pop. Astr.* VI edizione 1921, pag. 188.
- (4) e (5), *A. N. I. c. pag. 310*.
- (6) *Mémoire sur la théorie de la vision*, Ch. Sturm. *C. R. Torno XX, I sem. 1845 pag. 554*.
- (7) I disegni di p.57 e delle Tavole N. III, IV, V, furono preparati per la riproduzione dal Sig. Aldo Mazzoni, Tenente del Genio, cui si deve pure l'esecuzione ugualmente accurata delle Tav. N. I, II del fascicolo precedente.
- (8) *Phil. Trans, per l'anno 1700 p.500*. Vedi anche: *M. R. A. S. Vol. X p. 25*. Strumento acromalico di 5 piedi d. f.
- (9) *M. R. A. S. Vol. XLVII pag. 42 e Pl. I fig. 6*; obiettivo di 4,5 poll. ed ingrandimento 145.
- (10) *Ann. Brux. Nouv. Série Vol V. 1885*.
- (11) *ib. Pl. I fig. 2*. Cannocchiale di Fraunhofer di 3 poll. ingr. 90.
- (12) *Ann. Brux. 1885 Pl. I fig. 15*. Cannocchiale di 9 cm. ap.; ingr. 160.
- (13) *ib. pag. 121*.
- (14) *A. N. Vol. 128 pag. 26*; equatoriale di 4 1/2 poll. ingr. 120.
- (15) *A. N. Vol. 104 N. 2489 pag. 259*.
- (16) *Report of the Canadian Observ. of the Transit of Venus, 6 dec. 1882, pag. 15*.
- (17) *A. N. Vol. 92, N. 2202 pag. 283*.
- (18) Per quanto riguarda queste durate eccessive, vedi, p. e.: *Transit of Venus 1874, Observ. at Eden by the Rev. Wm. Scott M. A. in: M.R. A. S. Vol. XLVII pag. 79 e segg.*; ed anche: *Observ. of the Transit of Venus 1882, made at Glasgow by R. Grant in: M. N. Vol. XLIII pag.*
- (19) *Mercursdurchgang 1878. A. N. Vol. 103, pag. 100*. Rifrattore di Fraunhofer, 117 mill. ap.; ingr. 120.
- (20) *M. R. A. S. Vol. XLVII, pag. 47 e Pl. I Fig. 10*.
- (21) *M. R. A. S. ibid. Pl. I fig. 3* (Ellery) Equatoriale 8 poll. ingr. 125.
» » » 8 (Moerlin) Equatoriale 6 1/2 poll. ingr. 120.
» » II » 2 (Russell) Equat. 11 3/8 poll. (ridotto a 5 poll.) ingr. 100.
- (22) *C. R. 1883 Vol. 97, pag. 411*.
- (23) *M. N. Vol. XXIX pag. 27*.
- (24) *ib. » 14*.
- (25) *ib. » 13*.
- (26) *ib. » 14*.
- (27) *ib. » 15*.
- (28) *M. N. Vol. XLII pag. 253*.
- (29) *M. R. A. S. Vol. XLVII pag. 74*.
- (30) *A. N. Vol. 92, N. 2199 pag. 237*.
- (31) *A. N. Vol. 72 N. 1726 pag. 347*.
- (32) *M. R. A. S. Vol. XL VII pag. 64, e Pl. III fig. 2*. Rifrattore di Schroeter 4 poll. (ridotto a 4 poll.) ing. 96.
- (33) *Il passaggio di Venere (1874) osservato a Muddapur nel Bengala*.
- (34) *M. N. Vol. XXIX pag. 25*,
- (35) *M. N. Vol. XXIX pag. 57*.
- (36) *A. N. Vol. XXXVIII pag. 400*.
- (37) *A. N. Vol. 105 pag. 261*.
- (38) *A. N. Vol. q- pag. 299*
- (39) *A. N. Vol. 73 pag. 78*.
- (40) *Bull Franc. 1907 pag. 539*.
- (41) *M. R. A. S. Vol. XLVII pag. 46*.
- (42) *M. N. Vol. XXXVIII pag. 402*.
- (43) *Phil. Trans. per il 1769 pag. 284, XXXIX*.
- (44) *Phil. Trans. per il 1769 pag. 262 XXXVI Tav. XIII*.
- (45) *Phil. Trans. Per il 1769 pag. 405*.
- (46) *M. N. Vol. LXXV pag. 31*,
- (47) *Ann. Belg. Tomo V, pag. 121 e Tav. 1, Fig. II e 18*.
- (48) *M. R. A. S. Vol. XLVII pag. 85 e Pl. IV fig. i e 3*.
- (49) *A. N. Vol. 105, pag. 231*.
- (50) *M. N. Vol. XLIII pag. 72*.
- (51) *M. R. A. S. Vol. XLVII pag. 59*.
- (52) *ibid. Tav. li Fig. 14 C 15*
- (53) *C. R. 1883 Vol. 97 pag. 382*.
- (54) *Phil Trans. per il 1761 pag. 228 Tav. VIII Fig- 3*.
- (55) *M. R. A. S- Vol. XI, VII pag. 50*.
- (56) *Rend. Lomb. Serie II Vol. XV fasc. XIX*.
- (57) *Ann. Brux. Nouv. série Toino V pag. 52 Pl. I. fig. 5 C 6*.
- (58) *ibid. pag. 120 Pl. I. fig. 12 C 13*.
- (59) *M. R. A. S. Vol. XLVII, pag. 64 e Pl- III, fig. 1 C 13*
- (60) *Baily : AL R. A. S. Vol. io pag. 25*.
- (61) *E. Dubois : Les passages de Vénus sur le disque solaire Paris. 1873, pag. 210*.
- (62) *M. R. A. S. Vol. XLVII pag. 32, 40, 41*.
- (63) *C. R. 25 genn. 1875 e Vol. 97 pag. 360, 1883*.
- (64) *M.. N. Vol. XLII pag. 102*,
- (65) *ibidem*.
- (66) *M.. N. Vol. LXXV pag. 34*.
- (67) *M.. R. A. S. Vol. XLVII pag. 52 e Tav. Il fig. 2 e 3*.
- (68) *M. R. A. S. Vol. XLVII Tav. Il fig. 2*.

- (69) *ibidem* fig. 3
 (70) Vedi G. FERRARIS: *Le proprietà cardinali degli strumenti diottrici*. Torino 1877
 (71) *ibidem* pag. 12.
 (72) *Ami. Belg. Tomo XI fase. 2, 1908 pag. 400.*
 (73) *Ann. Belg. Tomo XI fasc. 2, 1908, pag. 403.*
 (74) Ciascun valore è la media di 8 misure
 (75) *Ann. Brux. Tomo XI Fase. li. 1908 PAG. 392.*
 (76) *ibidem.*
 (77) Secondo la convenzione internazionale, l'origine dell'angolo, che l'asse del cilindro correttivo dell'astigmatismo forma con la linea degli occhi, s'immagina all'estremità destra dell'occhio del paziente, e la rotazione positiva dalla detta estremità verso il basso. L'asse del cilindro forma naturalmente un angolo retto con la linea di deformazione massima.
 (78) *Ann. Brux. I. e.*
 (79) *Conn. d. T. per il 1907, pag. 535*
 (80) *Nota (3) a pag. 49.*
 (81) *M. R. A. S. Vol. 10 pag. 25.*
 (81) *CH. Andre et M. A. ANGOT: Origine 'du ligament noir dans les passages de Venus et de Mercure in Ami. Norm. Deuxieme série, Tomo X., 18(1) pag. 376; ed anche in: M N. Vol. XXXVII, pag.*
 (82) L. RESPIGHI : *Sopra alcuni straordinari fenomeni osservati nelle occultazioni delle stelle sotto il disco della Lima.* Mem. Bol. Vol. XI.
 (83) F. BAILY. *On a remarkable phenomenon that occurs in total and anular eclipses of the Sun.* in Al. R. A. S. Vol. io pag. i.
 (84) *A. N. Vol. 1 28 pag. 27.*
 (85) Vedi la nota 3.



TEORIA	OSSERVAZIONI	
 <p data-bbox="140 452 226 481">FIG. 11</p>	 <p data-bbox="443 430 523 474">MAYER FIG. 12</p>	 <p data-bbox="689 430 769 474">BAYLEY FIG. 13</p>
 <p data-bbox="140 698 226 728">FIG. 14</p>	 <p data-bbox="386 676 466 721">WILSON FIG. 15</p>	 <p data-bbox="545 676 657 721">STUYVAERT FIG. 16</p>
 <p data-bbox="140 1043 226 1072">FIG. 18</p>	 <p data-bbox="370 909 466 954">WEINER FIG. 19</p>	 <p data-bbox="593 909 673 954">MORRIS FIG. 20</p>
	 <p data-bbox="443 1146 523 1191">MOERLIN FIG. 22</p>	 <p data-bbox="689 1146 769 1191">RUSSELL FIG. 23</p>

Il fenomeno della « goccia nera » e l'astigmatismo.

TEORIA	OSSERVAZIONI		
 <p>FIG.24</p>	 <p>CRISWICK FIG.26</p>	 <p>CARPENTER FIG.27</p>	 <p>STONE FIG.28</p>
 <p>FIG.25 - 25^{bis}</p>	 <p>HUGGINS FIG.29</p>	 <p>LYNN FIG.30</p>	
 <p>FIG.31</p>	 <p>VESSEY FIG.32</p>		
 <p>FIG.33</p>	 <p>STUYVAERT FIG.34</p>	 <p>STUYVAERT FIG.35</p>	 <p>LAGRANGE FIG.36</p>

Il fenomeno della « goccia nera » e l'astigmatismo.

TEORIA

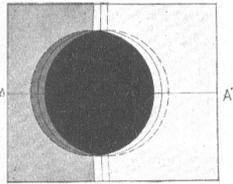


FIG.37

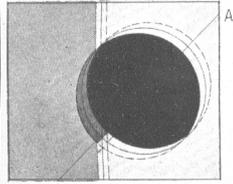


FIG.38

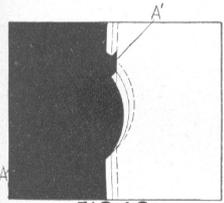
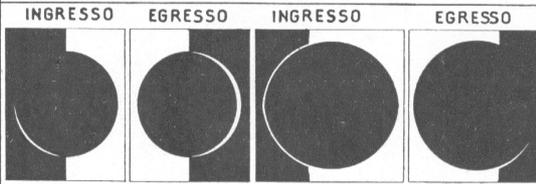
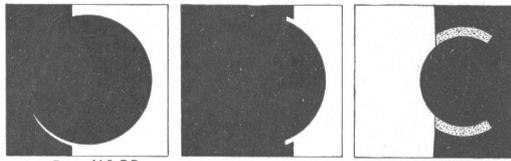


FIG.46

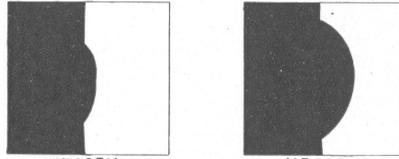
OSSERVAZIONI



LAGRANGE
FIG.39 FIG.40 BELFIELD
FIG.41 FIG.42



BARNARD
FIG.43 PUISEUX
FIG.44 WILSON
FIG.45



VESSEY
FIG.47 VESSEY
FIG.48

TEORIA

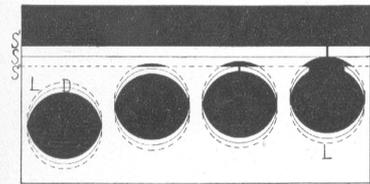


FIG.49

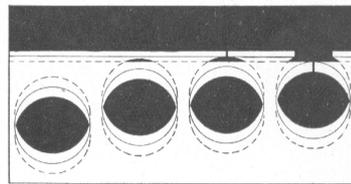


FIG.50

Il fenomeno della « goccia nera » e l'astigmatismo.