



**Fabio
Arcidiacono**

Liceo Scientifico
"G. Torelli" – Fano
acono@libero.it

La bottega degli esperimenti

Proviamo a misurare la distanza Terra-Sole

(Pervenuto il 11.12.2017, approvato il 19.1.2018)

ABSTRACT

Photographs of the last transits of Venus across the Sun, shot by amateur astronomers in 2004 and 2012, can be used to measure the mean distance between the Earth and the Sun (AU – Astronomical Unit).

The method is simpler – although less precise – than the one proposed by the famous astronomer Edmond Halley about 300 years ago.

This method allows students to perform many amusing computer and laboratory activities. If the work is done carefully a measure of the AU in good agreement with the accepted value can be obtained.

Nel 1716 il famoso astronomo Edmond Halley mise a punto un metodo sperimentale per misurare in modo accurato la distanza media della Terra dal Sole, definita *Unità Astronomica*. Oggi sappiamo che il suo valore medio risulta essere di $1,496 \cdot 10^8$ km, misura importante poiché punto di partenza per misurare le distanze delle stelle più vicine con il metodo della parallasse.

EDMOND HALLEY... NON SOLO ASTRONOMO



Figura 1. Il francobollo commemorativo emesso nel 1986 dalle Isole Mauritius, sito dove erano migliori le condizioni di visibilità della famosa cometa, in occasione dell'ultimo passaggio.

Halley è ricordato da tutti per l'omonima cometa da lui identificata ma sono tantissimi i contributi all'astronomia e alla scienza elargiti dallo scienziato vissuto a cavallo tra il 1600 e il 1700. Per primo identificò nel 1686 i moti atmosferici come dovuti all'energia proveniente dal Sole. Compì studi dettagliati sul campo magnetico terrestre e compilò la prima carta delle declinazioni magnetiche nel 1701. Nel 1684 spinse Newton a pubblicare i suoi studi sulla gravità aiutandolo con un finanziamento e fu grazie anche ad Halley che quindi venne alla luce uno dei libri più importanti della storia della scienza, i *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* del 1687 dove prese corpo la meccanica newtoniana e la teoria della gravitazione universale. Grazie ai suoi studi sulla gravitazione Halley riuscì nel 1705 ad identificare gli avvistamenti delle comete del 1531, del 1607 e del 1682 come relativi allo stesso oggetto celeste e ne predisse il ritorno nel 1758; questo avvenne puntualmente ma Halley era morto da 16 anni. In ricordo del suo scopritore la cometa prese il suo nome.

Il metodo proposto da Halley [1] si basava sul fenomeno della parallasse che può essere misurata in occasione del transito del pianeta Venere davanti al Sole quando l'osservazione viene compiuta da due punti molto distanti in latitudine sulla superficie terrestre. Cosa significa tutto questo?

La Terra e Venere orbitano intorno al Sole su orbite ellittiche. L'eccentricità della Terra (cioè il rapporto tra la semidistanza tra i due fuochi dell'ellisse e il semiasse maggiore dell'orbita) è di 0,017 mentre per Venere risulta essere di 0,0068. Considerare l'orbita della Terra come una circonferenza avente come raggio il valore medio tra i semiasse maggiore e minore significa commettere un errore del 3%. Per Venere considerare l'orbita circolare comporta un errore di poco maggiore dell'1%. Questi errori sono molto più piccoli rispetto agli errori insiti nel metodo di misura adottato e quindi considerare le orbite dei due pianeti delle circonferenze risulta essere una buona approssimazione.

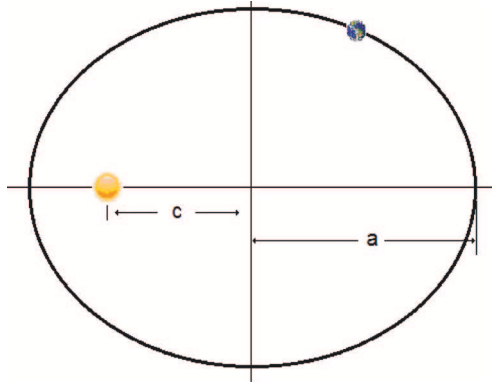


Figura 2. Orbita ellittica di un pianeta. L'eccentricità è definita come il rapporto tra la semidistanza focale c e il semiasse maggiore a dell'orbita:

$$e = \frac{c}{a}$$

Nel caso di un'orbita circolare il Sole occupa il centro della circonferenza e l'eccentricità dell'ellisse risulta nulla ovvero $c = 0$.

Ora i piani orbitali della Terra e di Venere non sono coincidenti (Fig. 3): il piano dell'eclittica (il piano dove giace l'orbita della Terra) e il piano orbitale di Venere si intersecano nella linea nodale formando un angolo ϕ di $3,39^\circ$. I due punti dove l'orbita di Venere interseca il piano dell'eclittica si chiamano nodi. Quando Sole, Venere e Terra si trovano allineati lungo la linea nodale dalla Terra si osserva un transito di Venere davanti al Sole.

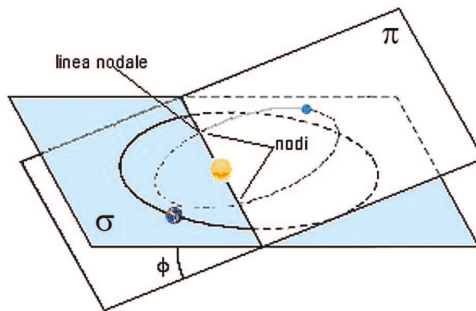


Figura 3. In azzurro il piano dell'eclittica σ e in bianco il piano π dell'orbita di Venere. Quando Venere e la Terra si trovano lungo la linea dei nodi dalla stessa parte, dalla Terra si osserverà un transito di Venere davanti al Sole. Tale allineamento risulta però piuttosto raro poiché i due piani formano tra loro un angolo ϕ di $3,39^\circ$.

Il fatto che i due piani però siano inclinati fa sì che questo allineamento risulta essere piuttosto raro: tenendo conto dell'inclinazione dell'orbita, delle dimensioni apparenti del Sole, e dei periodi di rivoluzione dei due pianeti, possono aver luogo due transiti a distanza di soli 8 anni (come avvenuto in questi tempi), ma poi occorre aspettare oltre 100 anni. Nell'epoca attuale infatti il fenomeno si ripete seguendo la serie temporale di $8 - 105,5 - 8 - 121,5 - 8 - 105,5 \dots$ anni. Il primo transito osservato ebbe luogo nel 1639, trent'anni dopo che per la prima volta era stato puntato un cannocchiale verso il cielo; i successivi passaggi si sono verificati negli anni 1761, 1769, 1874, 1882, 2004 e 2012. Il prossimo avverrà nel 2117.

Cosa succede allora se il transito viene osservato contemporaneamente da due punti diversi della Terra posti a grande distanza?

Consideriamo le Fig. 4 e 5. Siano P e P' le due postazioni osservative sulla Terra. Per il **fenomeno della parallasse** Venere durante il transito si presenterà come un cerchietto scuro che attraverserà il disco solare dal punto A al punto B visto dalla postazione P, dal punto A' al punto B' visto dalla postazione P'. Indichiamo con CC' la distanza tra i due percorsi AB e A'B'.

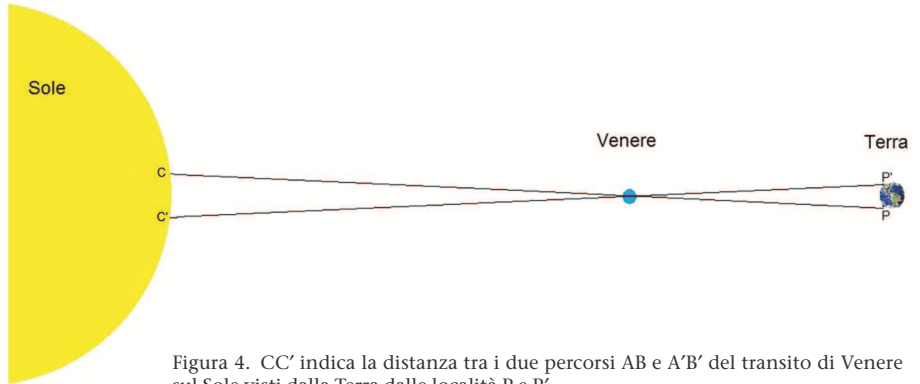


Figura 4. CC' indica la distanza tra i due percorsi AB e A'B' del transito di Venere sul Sole visti dalla Terra dalle località P e P'.

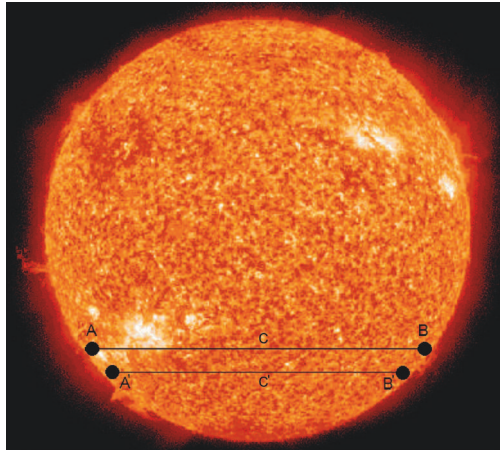


Figura 5. Il percorso di Venere A'B' sul Sole visto dall'osservatore P' e il percorso AB visto dall'osservatore P. Le due traiettorie rettilinee non sono coincidenti a causa del fenomeno della parallasse.

Ora misurando la distanza angolare tra AB e A'B', possiamo, in linea di principio, applicare delle semplici nozioni di trigonometria per poter arrivare ad una misura dell'Unità Astronomica.

Nella realtà le cose non sono semplici, anzi ancora più difficili se pensiamo di affrontare la misura con i mezzi a disposizione ai tempi di Halley.

Prima di tutto la distanza angolare tra i due percorsi AB e A'B' descritti da Venere è molto piccola. Inoltre ai tempi di Halley non si poteva registrare il transito tramite delle fotografie (non erano ancora state inventate!) che avrebbero permesso

di studiare e misurare con molta più facilità le caratteristiche del transito. Halley [1] però superò tutti questi problemi proponendo di cronometrare i tempi ΔT e $\Delta T'$ impiegati da Venere durante il transito da A a B e da A' a B'. I segmenti AB e A'B' hanno diversa lunghezza e quindi saranno diversi anche ΔT e $\Delta T'$. Ora si può dimostrare che la differenza tra ΔT e $\Delta T'$ è collegata alla distanza angolare tra AB e A'B' dalla quale poi è possibile ricavare la misura dell'Unità Astronomica. L'idea di Halley era estremamente ingegnosa poiché, in linea di principio, la differenza tra ΔT e $\Delta T'$ si poteva misurare in modo molto accurato con i cronometri a disposizione nella sua epoca.

Illustreremo invece un procedimento più semplice che utilizzando diverse approssimazioni permette di misurare l'Unità Astronomica attraverso elementari conoscenze di geometria e trigonometria. Per la sua semplicità il procedimento non ha pretese scientifiche rigorose ma è didatticamente istruttivo e divertente grazie ai diversi momenti sia sperimentali che teorici.

Cominciamo affrontando teoricamente il problema ponendo attenzione alla Fig. 6.

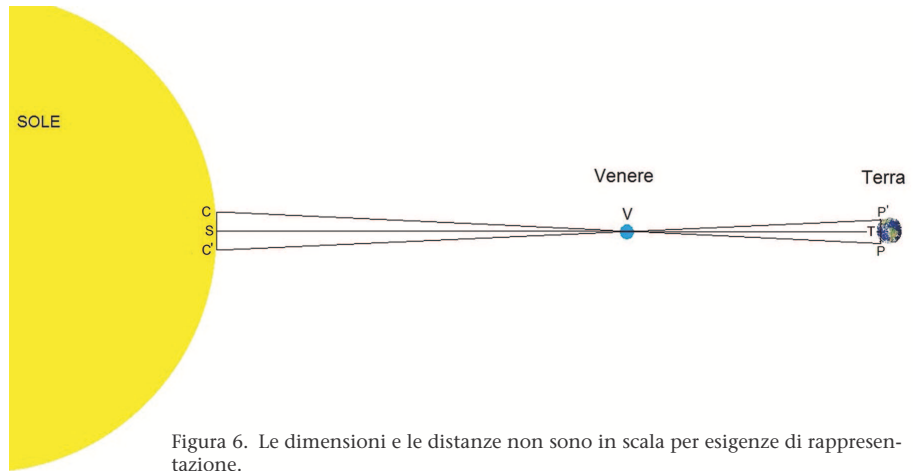


Figura 6. Le dimensioni e le distanze non sono in scala per esigenze di rappresentazione.

I triangoli PVP' e CVC' sono simili in quanto entrambi isosceli e con gli angoli $\hat{V}P'$ e $\hat{C}V'$ opposti al vertice e quindi uguali. I lati dei due triangoli sono allora in proporzione e potremmo scrivere:

$$PP' : TV = CC' : SV \quad (1)$$

dove abbiamo indicato con:

PP' = la distanza tra le due postazioni osservative scelte;

TV = la distanza tra la Terra e Venere;

CC' = la distanza reale tra i due percorsi descritti da Venere sul Sole visti dalle due località P e P' ;

SV = la distanza tra il Sole e Venere.

Se indichiamo la distanza Terra-Sole, cioè l'Unità Astronomica, con TS sempre per la Fig. 6 potremmo scrivere che

$$TV = TS - SV$$

e quindi la proporzione (1) diventerà:

$$PP' : (TS - SV) = CC' : SV \quad (2)$$

Nella proporzione (2) è contenuto il termine TS (quello che vogliamo misurare) ma sono presenti anche altre incognite non facilmente misurabili direttamente. Queste però possono essere espresse tramite altri termini misurabili sperimentalmente.

Consideriamo la distanza Sole-Venere (SV). Possiamo esprimere questa distanza in funzione di TS cioè dell'Unità Astronomica misurando l'angolo α di massima elongazione (orientale o occidentale) di Venere. Abbiamo detto che la Terra e Venere descrivono con buona approssimazione delle orbite circolari. Se analizziamo la Fig. 7 che schematizza questa situazione il triangolo TVS è un triangolo rettangolo, retto in V, dato che il segmento TV è tangente alla circonferenza e SV è il raggio nel punto di tangenza. La trigonometria ci insegna che

$$SV = TS \operatorname{sen} \alpha$$

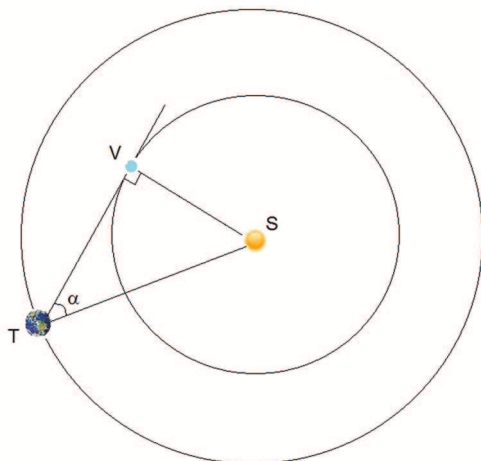


Figura 7. La Terra (T), Venere (V) e il Sole (S) al momento della massima elongazione α di Venere cioè alla massima distanza angolare di Venere dal Sole, visto da Terra. Il triangolo TVS è rettangolo in V e il segmento VS è la distanza tra il Sole e Venere mentre il segmento TS è la distanza tra la Terra e il Sole.

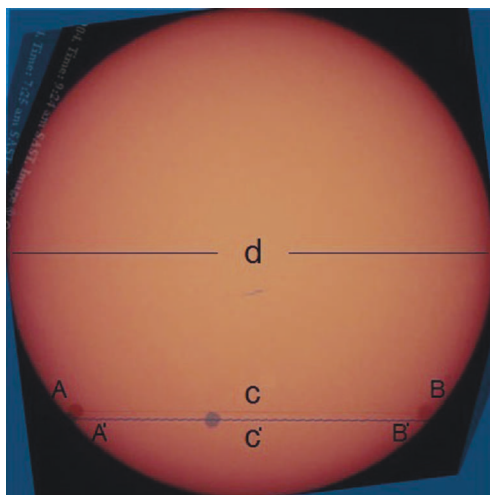


Figura 8. Il percorso AB di Venere sul Sole visto dall'osservatore P (Pesaro) e il percorso A'B' di Venere sul Sole visto dall'osservatore P' (Johannesburg). Le due traiettorie rettilinee non sono coincidenti a causa del fenomeno della parallasse evidenziato anche in Figura 4. cc' è la distanza misurata in *pixel* tra le due traiettorie rettilinee, d è il diametro del Sole in *pixel*.

Quindi misurando α è possibile esprimere la distanza Sole-Venere in funzione dell'Unità Astronomica. La proporzione (2) diventerà quindi:

$$PP' : (TS - TS \operatorname{sen} \alpha) = CC' : TS \operatorname{sen} \alpha \quad (3)$$

Riguardo CC' ovviamente è impossibile ottenere direttamente tale misura. Ma utilizzando le registrazioni fotografiche effettuate dalle due postazioni P e P' dopo averle opportunamente elaborate (vedi più avanti) possiamo esplicitare CC' utilizzando altre grandezze questa volta misurabili. Le registrazioni fotografiche ottenute dalle postazioni P e P' possono essere riportate in un'unica immagine (Fig. 8) dove indicheremo con:

- D = diametro reale del Sole
- d = diametro del Sole nell'immagine misurato in *pixel*
- CC' = distanza reale tra i due percorsi descritti da Venere sul Sole visti dalle due località P e P';
- cc' = la distanza tra i due percorsi descritti da Venere sul Sole nella fotografia, visti dalle due località P e P', misurata in *pixel*.

Possiamo allora scrivere la semplice proporzione

$$CC' : cc' = D : d$$

dalla quale possiamo ricavare

$$CC' = \frac{cc' \cdot D}{d} \quad (4)$$

Ora in questa relazione rimane il diametro reale del Sole D che potremmo ottenere dalla letteratura scientifica oppure deducendolo dal diametro angolare β che è facilmente misurabile, come vedremo più avanti.

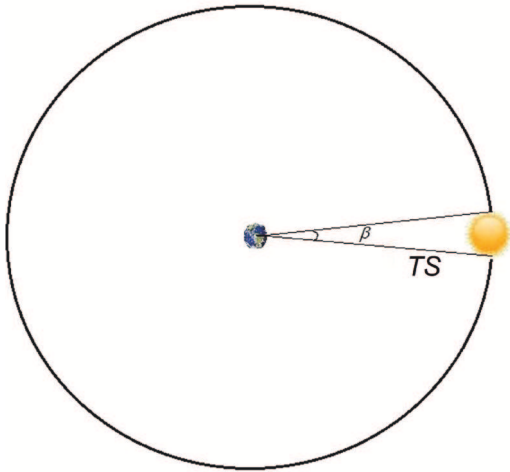


Figura 9. Il Sole visto dalla Terra sotto un angolo β , facilmente misurabile.

Allora proviamo a guardare la Fig. 9. In essa è disegnata la Terra e il Sole posto alla distanza TS . Indichiamo con β l'angolo in radianti sotto il quale possiamo osservare il Sole dalla Terra (o diametro angolare del Sole). Possiamo allora scrivere la proporzione:

$$\beta : 2\pi = D : (2\pi \cdot TS)$$

essendo 2π l'angolo giro e $2\pi TS$ la lunghezza dell'orbita circolare terrestre.

Ricaviamo allora $D = \beta \cdot TS$.

Ora sostituendo nella (4) e poi nella (3) otteniamo:

$$PP' : (TS - TS \text{sen} \alpha) = \left(\frac{cc'}{d} \beta \times TS \right) : TS \text{sen} \alpha$$

Con una serie di semplici passaggi algebrici possiamo ricavarci finalmente TS :

$$TS = \frac{\text{sen} \alpha}{1 - \text{sen} \alpha} \frac{PP' \cdot d}{\beta \cdot cc'} \quad (5)$$

Quindi per misurare l'Unità Astronomica TS dobbiamo ottenere sperimentalmente le seguenti misure:

PP' = distanza tra le due postazioni osservative scelte;

d = diametro del Sole in una registrazione fotografica misurato in pixel (vedi Fig. 8)

cc' = la distanza tra i due percorsi descritti da Venere sul Sole in una registrazione fotografica misurata in pixel (vedi Fig. 8)

β = diametro angolare del Sole in radianti da misurare nei giorni prossimi a quello del transito

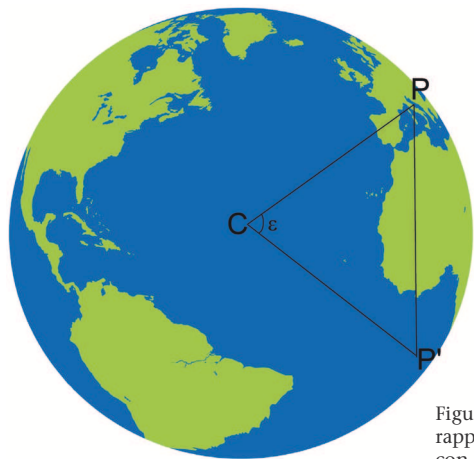
α = angolo di massima elongazione di Venere in gradi o radianti

Misurare la distanza PP'

PP' è un segmento ideale che unisce le due postazioni. È opportuno che le due località vengano scelte in modo da avere una notevole differenza di latitudine e magari aventi all'incirca la stessa longitudine. La scelta inoltre è vincolata dal poter disporre di registrazioni fotografiche di un transito, o quello dell'8

giugno 2004 oppure quello del 6 giugno 2012. L'attività laboratoriale degli studenti riguarda la ricerca su *internet* (utilizzando le indicazioni delle mappe riportate in Fig. 11 e 12) di riprese fotografiche eseguite dagli astrofili e osservatori astronomici che soddisfano le richieste sopra riportate. Nel nostro esperimento abbiamo scelto come località P (Pesaro) poiché disponevamo di un'ottima registrazione fotografica del transito dell'8 giugno 2004 (Fig. 13) mentre per P' abbiamo scelto Johannesburg in Sud Africa dato che abbiamo rintracciato su *internet* delle riprese di buona qualità (Fig. 14). La misura di PP' può essere eseguita utilizzando le rispettive latitudini φ delle località e il raggio R medio della Terra. Facendo riferimento alla Fig. 10 e applicando semplici formule di trigonometria al triangolo isoscele PCP' possiamo scrivere:

$$PP' = 2R \text{sen} \left(\frac{\varepsilon}{2} \right) \quad \text{con } \varepsilon = \varphi - \varphi' \quad (6)$$



Nel nostro esperimento $\varphi = + 43,917^\circ$ mentre $\varphi' = -26,1917^\circ$ e prendendo come raggio medio della Terra il valore $R = 6370 \text{ km}$ (anch'esso misurabile sperimentalmente se si vuole con il metodo di Eratostene) otteniamo dalla (6) il valore $PP' = 7300 \text{ km}$.

Figura 10. La Terra e la distanza PP' che rappresenta una corda del globo terrestre con angolo al centro ε.

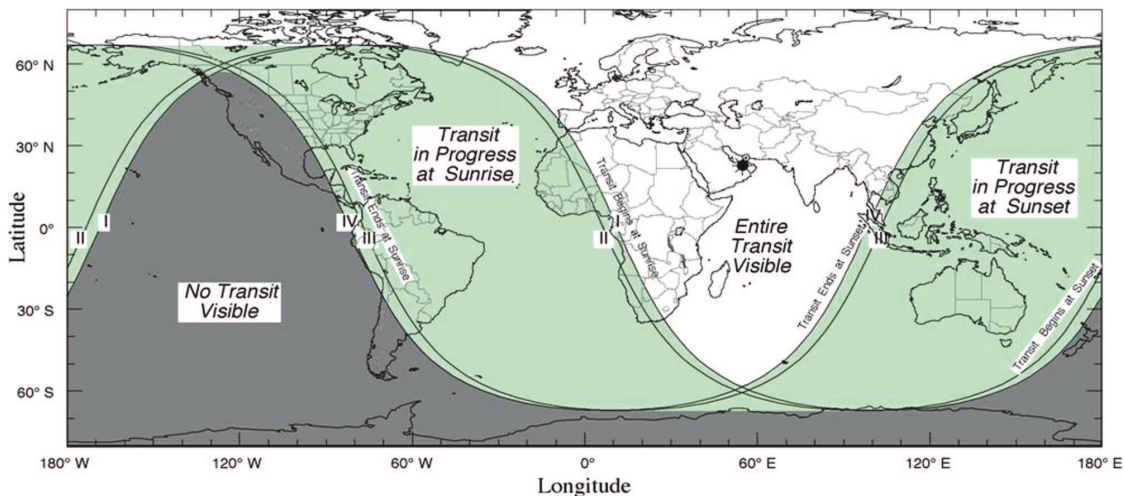
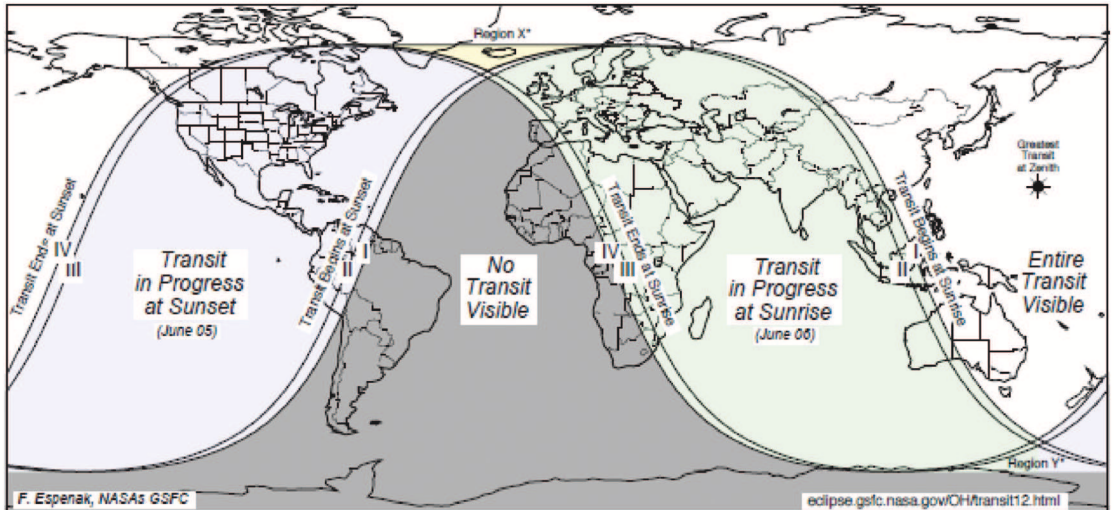


Figura 11. La mappa del globo terrestre pubblicata dalla NASA che mostra le zone della Terra dove era possibile osservare il transito di Venere dell'8 giugno 2004. Questa mappa è utile per far scegliere agli studenti le località P e P' e cercare su *internet* delle registrazioni fotografiche relative alle località scelte.

Global Visibility of the Transit of Venus of 2012 June 05/06



* Region X - Beginning and end of Transit are visible, but the Sun sets for a short period around maximum transit.

* Region Y - Beginning and end of Transit are NOT visible, but the Sun rises for a short period around maximum transit.

Figura 12. La mappa del globo terrestre pubblicata dalla NASA che mostra le zone della Terra dove era possibile osservare il transito di Venere del 6 giugno 2012, utile per trovare le località adeguate nel caso in cui si scegliesse questo transito per ripetere l'esperimento.

Misurare d e cc'

Dobbiamo utilizzare le riprese fotografiche del transito effettuate dalle due località scelte P (vedi Fig. 13) e P' (vedi Fig. 14).

Figura 13. Due immagini riprese dal sottoscritto da Pesaro (località P) relative al transito dell'8 giugno 2004. Da sinistra la prima immagine del secondo contatto è stata ripresa alle ore 5h 39min TU, la seconda immagine del terzo contatto è delle ore 11h TU.

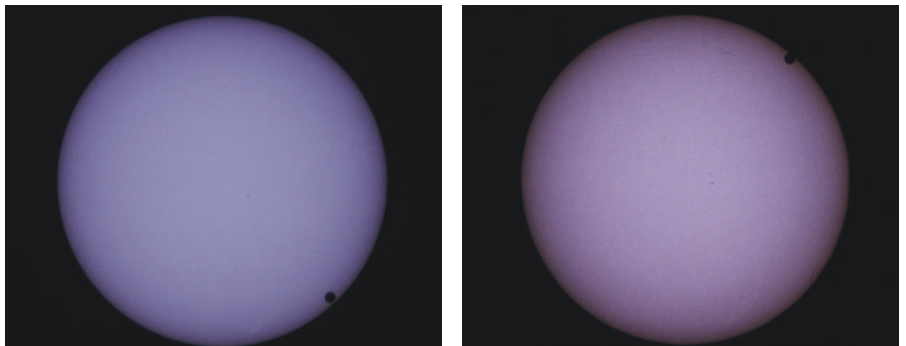
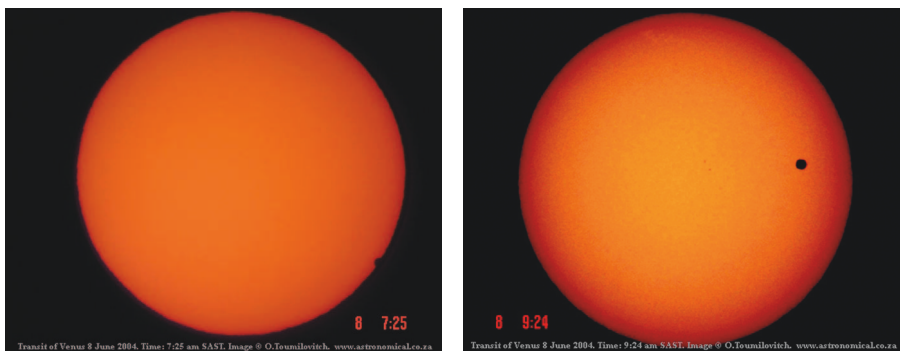


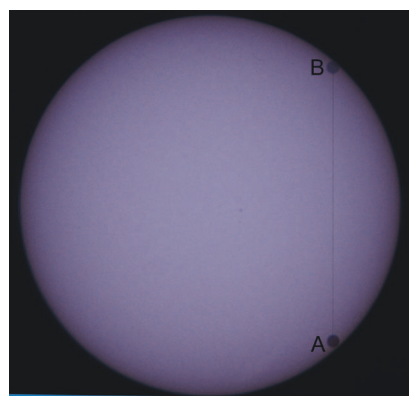
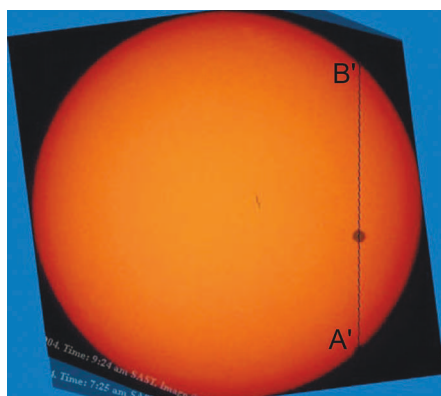
Figura 14. Due immagini trovate su internet relative sempre al transito dell'8 giugno 2004 riprese da Johannesburg (località P'). Da sinistra la prima immagine è stata ripresa alle ore 5h 25min TU, la seconda ripresa delle ore 7h 24min TU.



La prima cosa da fare è sovrapporre e allineare le foto riprese dalla prima località P in modo da avere in un unico fotogramma le due posizioni di Venere e quindi tracciare il percorso AB. Per eseguire questa operazione con *Photoshop* bisogna sovrapporre i due fotogrammi scattati dalla stessa località in modo che le due immagini del Sole siano perfettamente coincidenti. Successivamente con *Paint* bisogna ingrandire l'immagine ottenuta fino ad evidenziare i singoli *pixel* e poi tracciare il segmento AB unendo i *pixel* al centro dei due dischi di Venere. Successivamente, ancora con *Photoshop* ed utilizzando lo strumento *righe*, abbiamo ruotato l'immagine ottenuta in modo da avere il percorso AB perfettamente in verticale.

Abbiamo ripetuto gli stessi procedimenti sopra esposti anche per le due foto scattate dalla località P' tracciando quindi il percorso A'B'. I risultati ottenuti sono visibili nella Fig. 15.

Figura 15. I percorsi seguiti da Venere sul disco solare come osservato da Pesaro (a sinistra) e da Johannesburg (a destra).



A questo punto bisogna sovrapporre le due immagini di Fig. 15 in un'unica immagine finale che permetterà di mostrare entrambi i percorsi AB e A'B'. Questa è l'operazione più delicata poiché determina la bontà della misura finale introducendo errori di tipo accidentale. La cosa più difficile in questo procedimento di elaborazione delle immagini (tutte eseguite con *Photoshop*) è quello di avere immagini con un disco solare avente lo stesso diametro quando vengono visualizzate con lo stesso ingrandimento. Nel nostro caso, con un po' di pazienza, modificando le dimensioni delle immagini ed allineandole utilizzando le due macchie solari presenti nella parte centrale della superficie solare (nelle immagini pubblicate in bassa risoluzione le macchie solari sono poco visibili) si riesce ad ottenere un buon risultato, sufficiente per il nostro scopo (vedi Fig. 8. L'immagine ottenuta è stata ruotata di 45° in senso orario).

Per effettuare le misure di d e cc' in figura 8 abbiamo utilizzato il programma *Paint* ingrandendo l'immagine fino a visualizzare i singoli *pixel* per poi effettuare la misura utilizzando le coordinate x e y in *pixel* del cursore. Abbiamo ottenuto i seguenti valori:

$$\begin{aligned}d &= 415 \text{ pixel} \\ cc' &= 7 \text{ pixel}\end{aligned}$$

Nel nostro esperimento eseguito in classe abbiamo realizzato una sola elaborazione (la Fig. 8) e quindi la stima dell'errore risulta essere piuttosto difficile ma sicuramente almeno di ± 1 pixel con un errore relativo del 20%. Un sicuro mi-

glioramento si potrebbe ottenere provando a stimare l'effetto degli errori accidentale nella misura di d e cc' utilizzando più elaborazioni eseguite da coppie di studenti diversi e magari lavorando anche su immagini diverse. In questo modo si potrebbero raccogliere una quindicina o più di coppie di valori per d e cc' che comporterebbero altrettante misure dell'Unità Astronomica per poi elaborarle statisticamente calcolando il valore medio e la deviazione standard della media come errore assoluto.

Misurare β

È una misura piuttosto facile da ottenere e con una buona precisione. È necessario però realizzare uno strumento, tipo camera oscura, come quello costruito per l'occasione e rappresentato in Fig. 16 e 17.



Figura 16. La camera oscura utilizzata per misurare il diametro angolare β del Sole, fissata sulla piccola montatura equatoriale EQ1, utile per puntare facilmente il Sole utilizzando i movimenti micrometrici. Si noti l'estremità inferiore chiusa con una plastica semitrasparente alla quale è stato fissato un righello.

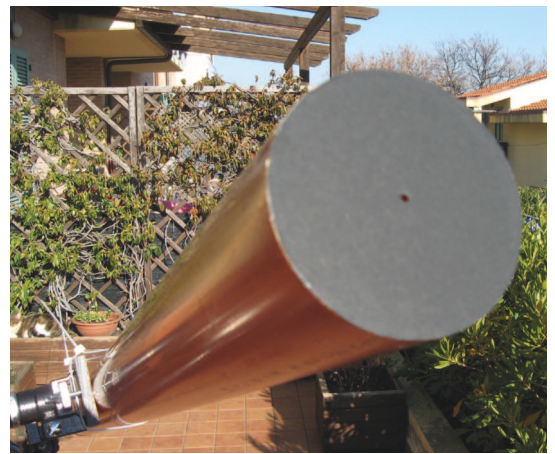


Figura 17. Il foro praticato centralmente ad un cartoncino nero fissato ad una estremità del tubo.

È stato utilizzato un tubo in PVC da 8 cm di diametro e lunghezza $L = 130$ cm. Non è consigliabile utilizzare lunghezze minori poiché il diametro del Sole ottenuto sarebbe troppo piccolo. Ad una estremità è stato incollato un disco nero di cartone (Fig. 17) con un foro centrale di poco superiore al 1 mm di diametro. Fori più piccoli causano fenomeni di diffrazione ed immagini del Sole troppo deboli mentre un foro troppo grande riduce la nitidezza dell'immagine. La misura ottimale è calcolabile dalla formula di Rayleigh:

$$\text{diametro del foro (in mm)} = 1,9 \cdot \sqrt{L \cdot \lambda}$$

Nel nostro caso con $L = 1300$ mm e $\lambda = 550 \cdot 10^{-6}$ mm otteniamo un valore di 1,6 mm di poco superiore a quello realizzato.

L'altra estremità è stata chiusa con una plastica semitrasparente opaca; un righello in plastica trasparente fissato con del nastro adesivo permette infine di ottenere con una certa precisione le misure necessarie.

La misurazione del diametro angolare è molto semplice. Guardando lo schema in Fig. 18.

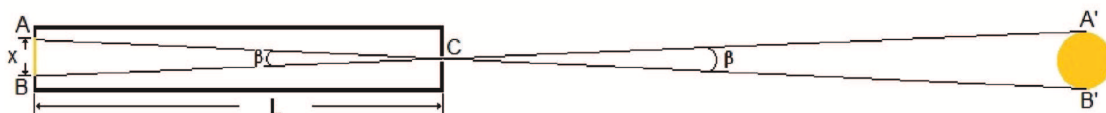


Figura 18. Schema della camera oscura con la quale è stato misurato il diametro angolare del Sole. Il valore di $L = 130,6$ cm è fisso e rappresenta la distanza tra il foro e l'altra apertura del tubo.

Il diametro angolare del Sole (β) è l'angolo $A'\hat{C}B'$ del triangolo $A'B'C$. Ora gli angoli $A'\hat{C}B'$ e $A\hat{C}B$ sono uguali poiché opposti al vertice. Quindi misurando abbiamo direttamente il diametro angolare β del Sole. Dalla trigonometria otteniamo che:

$$\tan \frac{\beta}{2} = \frac{x}{2L}$$

Dato che l'angolo β è sempre molto piccolo possiamo approssimare $\tan \frac{\beta}{2}$ con $\frac{\beta}{2}$ e quindi

$$\beta = \frac{x}{L} \text{ in radianti} \quad (7)$$

Con la camera oscura sopra realizzata abbiamo ottenuto il seguente valore per $x = (1,3 \pm 0,1)$ cm eseguendo la misura il 9 gennaio 2017 (vedi Fig. 19). In realtà la misura dovrebbe essere effettuata intorno ai giorni relativi al transito di Venere (avvenuto a giugno del 2004 e del 2012) ma didatticamente costringerebbe ad effettuare questa esperienza nei giorni finali della scuola. Eseguire le misure nel mese di maggio potrebbero essere un buon compromesso. La lunghezza del tubo è $L = (130,6 \pm 0,1)$ cm. Il diametro angolare del Sole applicando la (7) risulta essere $\beta = (0,0100 \pm 0,0008)$ rad che trasformato in gradi $\beta = (0,57^\circ \pm 0,05^\circ)$ e in primi $\beta = (34' \pm 3')$, perfettamente compatibile con il valore di $32,5'$ calcolato utilizzando il planetario Stellarium [4].

Questa misura è piuttosto accurata discostandosi dal valore calcolato dell'8% ed è l'unica misura per la quale è possibile stimare facilmente l'errore di misura. La stima dell'errore per le altre grandezze presenti nella formula (5) è ben più difficile. Per β ci accontenteremo del suo valore centrale pari a $0,0100$ rad.

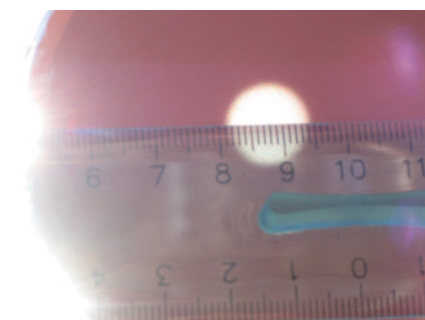
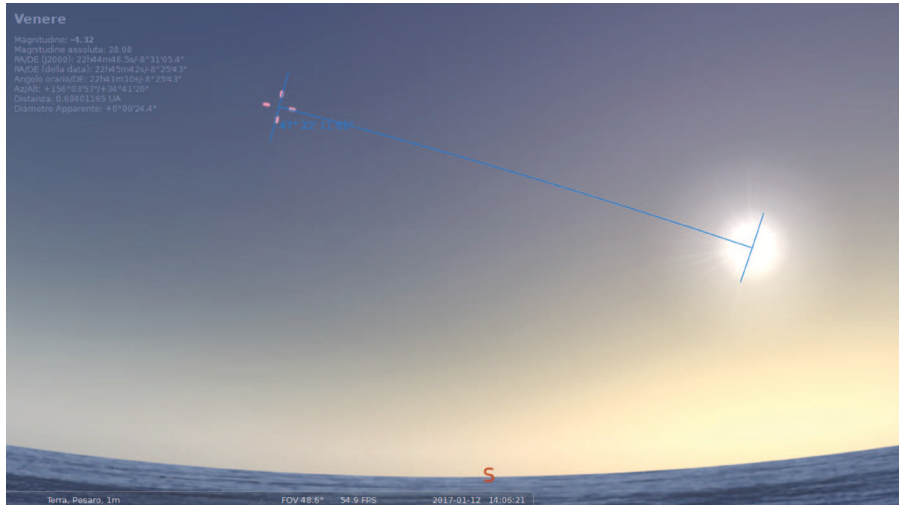


Figura 19. L'immagine del Sole proiettata sullo schermo semitrasparente. Il righello permette di misurare il diametro del Sole. È consigliabile fotografare l'immagine del Sole in modo da poter comodamente (e con precisione) prendere la misura del diametro.

Misurare α

Non è affatto semplice ottenere una misura dell'angolo con strumenti facilmente reperibili. Forse si potrebbe provare ad effettuare la misura utilizzando un sestante, strumento propriamente dedicato per effettuare misure di distanza angolari. Oppure è possibile utilizzare ancora un *software* planetario che calcoli direttamente l'angolo α nel giorno di massima elongazione rinunciando alla misura sperimentale. Ottimo è il planetario *Stellarium* [4] che dispone di uno strumento apposito per determinare le distanze angolari (vedi Fig. 20).

Figura 20. La distanza angolare tra Venere e il Sole il giorno 12 gennaio 2017 alle ore 14, momento della massima elongazione orientale, come simulato da *Stellarium*.



Dato che in realtà le orbite di Venere e della Terra sono ellittiche l'angolo α non assume sempre lo stesso valore ad ogni massima elongazione. Con *Stellarium* abbiamo simulato alcune massime elongazioni relative a date diverse ottenendo diversi valori di α :

29 ottobre 2013	$\alpha = 47^{\circ}15'$	12 gennaio 2017	$\alpha = 47^{\circ}22'$
26 marzo 2014	$\alpha = 46^{\circ}40'$	4 giugno 2017	$\alpha = 46^{\circ}4'$
4 giugno 2015	$\alpha = 46^{\circ}3'$	20 agosto 2018	$\alpha = 46^{\circ}21'$
29 ottobre 2015	$\alpha = 46^{\circ}51'$		

Quindi decidiamo di prendere come angolo di massima elongazione il valore medio che risulta essere pari a $46,7^{\circ} \cong 47^{\circ}$.

Finalmente abbiamo ottenuto tutti i parametri presenti nella formula (5) e possiamo quindi calcolare la distanza Terra – Sole:

$$TS = \frac{\text{sen} \alpha}{1 - \text{sen} \alpha} \frac{PP' \cdot d}{\alpha \cdot cc'} = \frac{\text{sen} 47^{\circ}}{1 - \text{sen} 47^{\circ}} \frac{7300 \text{ km} \cdot 415 \text{ pixel}}{0,0100 \cdot 7 \text{ pixel}} \cong 1,2 \cdot 10^8 \text{ km}$$

valore che si discosta dal valore medio attualmente accettato, pari a $1,5 \cdot 10^8$ km, del 20% circa. Un buon risultato!

Conclusioni

Misurare il valore dell'Unità Astronomica con il metodo sopra descritto permette agli studenti delle scuole superiori di realizzare diverse esperienze teoriche e di laboratorio integrando l'astronomia, la più antica delle scienze, con gli studi di fisica e matematica. Inoltre misure più accurate, rispetto a quella ottenuta utilizzando i dati riportati nell'articolo, sono realizzabili rintracciando immagini del transito di Venere sul Sole di miglior qualità e risoluzione dato che l'errore più grande che si commette è nella misura della distanza cc' in *pixel* tra i due percorsi di Venere sul Sole: un piccolo cambiamento del valore di questo parametro comporta grosse variazioni nella misura della distanza Terra-Sole.

Bibliografia

- [1] <http://www.phy6.org/stargaze/Ivenus1.htm>
- [2] Romeni, C. *Realtà e fisica.blu*, Zanichelli, Bologna, 2013, 40-41.
- [3] Romeni, C. *Realtà e fisica.blu*, Zanichelli, Bologna, 2013, 26.
- [4] <http://www.stellarium.org/it/>

57° CONGRESSO NAZIONALE A.I.F.



GIARDINI NAXOS, 24-27 OTTOBRE 2018 HOTEL CAESAR PALACE

Il 57° Congresso Nazionale dell'AIF si terrà dal 24 al 27 ottobre 2018 in Sicilia, a Giardini Naxos (ME). La sede del Congresso sarà presso l'hotel Caesar Palace (www.hotelcaesarpalacenaxos.it).

Il programma prevede relazioni e comunicazioni su invito, la fiera delle idee (poster e presentazione di esperimenti), le comunicazioni dei soci e i *workshop*.

L'assemblea dei soci si terrà giovedì 25 ottobre nel pomeriggio presso la sede congressuale e sarà seguita dalla cena sociale.

Il programma di massima sarà disponibile a breve sul sito dell'AIF e sulla pagina *Facebook*.

IL SITO DELL'AIF: REGISTRATI!

Registrandosi nel nuovo sito (in linea dal 29 gennaio al consueto indirizzo www.aif.it), i visitatori possono avere accesso a un numero maggiore di risorse: come **regalo di benvenuto**, è disponibile a tutti gli utenti registrati il libro ***I fondamenti sperimentali e storici dell'elettricità***, di Andre Koch Torres Assis (Quaderno 26, 223 pagine).

Con un nuovo *design*, adattabile alla visualizzazione sia sullo schermo del computer che su *tablet* e *smartphone*, il nuovo sito presenta tutti i contenuti usuali: le informazioni, i numeri e gli articoli di La Fisica nella Scuola, il Fisico della settimana – ma anche cose nuove!

I soci hanno ora una vera e propria **area riservata**, nella quale possono vedere e gestire la loro posizione associativa; chi entra come socio, inoltre, può leggere e scaricare tutti i materiali pubblicati (gli articoli della Fisica nella Scuola, le relazioni ai Congressi, ecc.), consultare i verbali del Direttivo e i documenti dell'AIF.

I soci già registrati nel vecchio sito possono accedere al nuovo ambiente con le stesse credenziali – nome utente e password – usate in precedenza.



Abbonati a Sapere!

abbonamenti@edizionidedalo.it



questo mese
in omaggio



www.saperescienza.it

Seguici anche su

