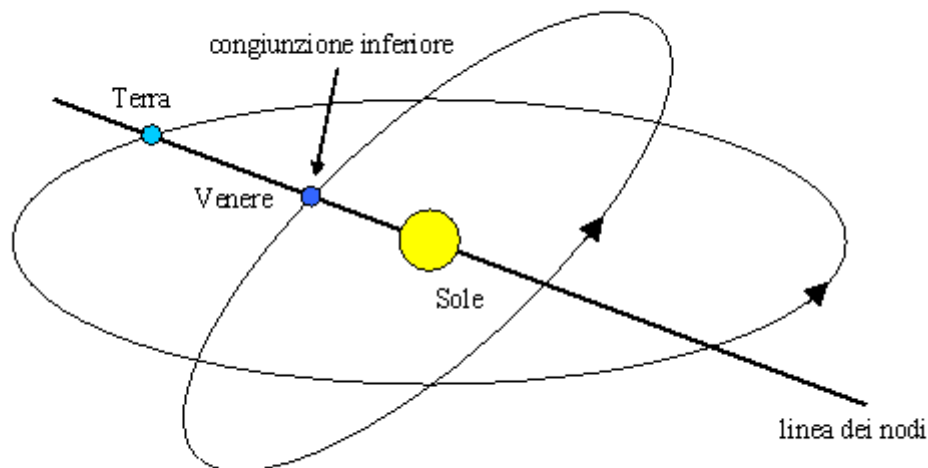


Calcolo della distanza Terra-Sole dall'osservazione del transito di Venere

Sin dal primo suggerimento di Keplero di seguire il transito di Venere sul disco solare nel 1631, fu chiara l'importanza del fenomeno per scoprire le dimensioni del Sistema solare, a sua volta base di partenza per definire le distanze galattiche. Infatti, fino all'inizio del Novecento, l'osservazione del transito di Venere era l'unica occasione di conoscere con buona precisione il valore della distanza tra la Terra ed il Sole, che gli astronomi chiamano *Unità Astronomica (UA)*. Nota la distanza dal Sole anche di uno solo dei pianeti, è possibile risalire alle distanze degli altri pianeti mediante la *terza legge di Keplero*, che stabilisce una relazione costante tra distanza e periodo di rivoluzione, cioè il tempo impiegato dal pianeta per percorrere la sua orbita.

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. A partire dall'anno 1631 si è verificato 7 volte, suddiviso in coppie di eventi separati otto anni, ripetute ogni 121,5 anni, o alternativamente 105,5 anni.

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

2004, 8 giugno.

Il prossimo transito sarà il:

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.

METODO SEMPLIFICATO PER IL CALCOLO DELL'UNITÀ ASTRONOMICA

Il calcolo della *Unità Astronomica (UA)*, 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.

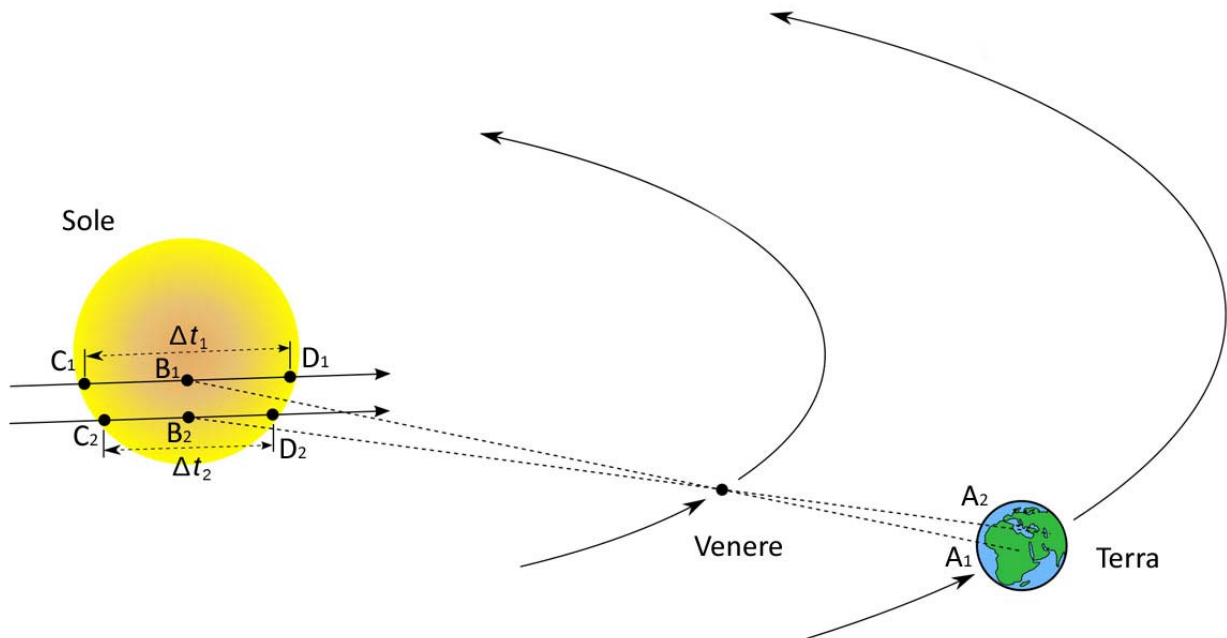


Fig. 1

Un osservatore posto in A₁ (fig. 1) vedrà il pianeta descrivere la corda C₁D₁, mentre un osservatore posto in A₂ lo vedrà transitare sulla corda C₂D₂, cosicché, ad uno stesso istante, Venere apparirà in due punti diversi, rispettivamente B₁ e B₂. La separazione angolare tra B₁ e B₂ viene chiamata *angolo di parallasse* e può essere ottenuta dalla differenza della durata del transito nei due luoghi di osservazione; nota la distanza in chilometri tra i due punti A₁ e A₂ sulla superficie terrestre, è possibile risalire alla distanza B₁B₂ ed infine alla distanza Terra-Sole cercata.

Cerchiamo ora di eseguire i calcoli utilizzando un metodo semplificato.

Per prima cosa determiniamo il rapporto tra le distanze dal Sole di Venere e Terra. L'elongazione massima di Venere - ovvero la sua massima distanza apparente dal Sole, vista dalla Terra - varia da 45° a 48°: per comodità, ipotizziamo orbite circolari e prendiamo un valore medio dell'elongazione massima di Venere pari a 46° (fig. 2):

$$SV/ST = \sin 46^\circ = 0,72$$

$$SV = 0,72 ST$$

da cui **ST = 1 UA** **SV = 0,72 UA** **TV = 0,28 UA**

(quando Venere è in congiunzione inferiore)

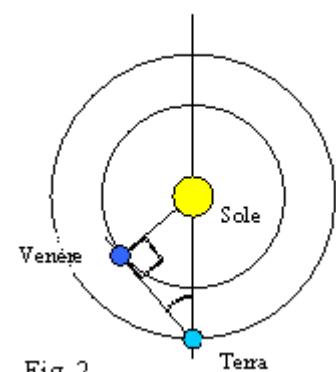


Fig 2

Sempre nell'assunzione di orbite circolari, ricaviamo la velocità con cui Venere transita sul Sole. 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.

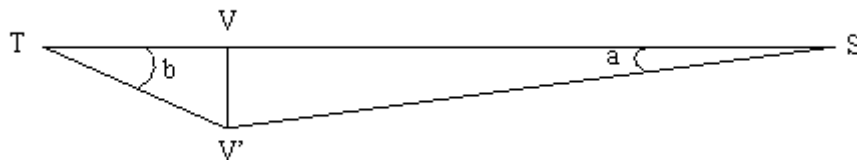


Fig. 3

Nella figura 3:

T = Terra

S = Sole

V = Venere in congiunzione inferiore

V' = Venere un'ora dopo la congiunzione

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

poiché gli angoli sono piccolo il rapporto tra i seni è uguale al rapport tra gli angoli:

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

$$b = a (0,72/0,28)$$

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

$$a = (360^\circ \times 60') / (584 \text{gg} \times 24 \text{h})$$

da cui l'angolo "b" rispetto alla Terra:

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

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 A_1A_2 sia perpendicolare al piano dell'eclittica e che la distanza tra i due osservatori sia nota. Ipotizziamo, inoltre, che il transito di Venere davanti al Sole abbia una durata Δt_1 per l'osservatore posto in A_1 e Δt_2 per l'osservatore posto in A_2 .

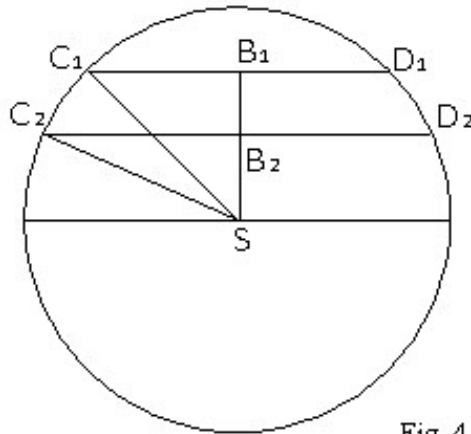


Fig. 4

Nella figura 4 è rappresentato il disco solare con i due tracciati del transito C_1D_1 e C_2D_2 , osservati, rispettivamente, dalle due postazioni A_1 e A_2 . Ne calcoliamo le estensioni osservate dalla Terra, in primi d'arco:

$$\begin{aligned} C_1D_1 &= \Delta t_1 \times 4' && \text{da cui si ricava } C_1B_1 = C_1D_1/2 \\ C_2D_2 &= \Delta t_2 \times 4' && \text{da cui si ricava } C_2B_2 = C_2D_2/2 \end{aligned}$$

Il diametro del Sole apparente visto dalla Terra è pari a $32'$ d'arco, il raggio è $SC_1 = SC_2 = 16'$, per il teorema di Pitagora:

$$\begin{aligned} SB_1 &= \sqrt{[(16')^2 - (C_1B_1)^2]} \\ SB_2 &= \sqrt{[(16')^2 - (C_2B_2)^2]} \end{aligned}$$

da cui **$B_1B_2 = (SB_1 - SB_2) / 60 = \text{angolo di parallasse in gradi (della Terra vista dal Sole, da non confondere con l'angolo di parallasse di Venere)}$**

Ma possiamo risalire anche alla misura in chilometri di B_1B_2 :

$$B_1B_2/A_1A_2 = B_1V/A_1V = 0,72 \text{ UA} / 0,28 \text{ UA}$$

da cui **$B_1B_2 = 72/28 A_1A_2 \text{ km}$**

Quindi la distanza Terra-Sole, ovvero A_1B_1 , oppure A_2B_2 è:

$$A_1B_1 = B_1B_2 / \text{sen (angolo di parallasse)}$$

Si tratta di un metodo semplificato e, di conseguenza, il valore che si ottiene della distanza Terra-Sole non è molto accurato. Al giorno d'oggi il valore dell'UA accettato dall'International Astronomical Union (IAU 1976) è pari a 149.597.870 km ed è stato ottenuto con l'ausilio di satelliti e segnali radar. Già nell'Ottocento, l'astronomo statunitense Newcomb, partendo dalle misure

compiute in occasione dei transiti settecenteschi e secondo un metodo trigonometrico simile (ma più rigoroso) a quello esposto in queste pagine calcolò un valore pari a 149.668.465 km.

Come esercizio da svolgere con gli studenti si propone di eseguire il calcolo sulla base dei dati previsti per il fenomeno del 6 giugno 2012.

Al seguente indirizzo Web <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/transit/venus/city12-1.html>, sono disponibili gli istanti di inizio e fine del transito di Venere in diverse città del mondo, calcolati con estrema precisione grazie all'attuale accurata conoscenza dell'orbita dei pianeti. In passato questi dati sarebbero stati disponibili solo grazie alle misure in loco di astronomi avventurosi!

Si richiede quindi di applicare il metodo esposto a partire da due luoghi della Terra in cui il transito sia visibile dall'inizio alla fine e di cui si conosca la distanza.

Un esercizio ulteriore da far svolgere agli studenti è il calcolo del diametro del Sole.

Altri link utili

<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/transit/venus0412.html>

<http://www.scienzagiovane.unibo.it/venere.html>

<http://www.transitofvenus.org/>

<http://www.transitofvenus.nl/>

<http://www.sil.si.edu/exhibitions/chasing-venus/intro.htm>

<http://www.bo.astro.it/universo/venere/transito.htm>

<http://www.marcomenichelli.it/sole.asp>

Contatti

Francesco Poppi

INAF-Osservatorio Astronomico di Bologna

francesco.poppi@oabo.inaf.it

Tel. +39 051 2095753

ESEMPIO DI CALCOLO

Si prendano due osservatori posti uno ad Adelaide (Australia) ed uno a Pechino (Cina).

I tempi di contatto calcolati in *Tempo Universale* sono:

(<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/transit/venus/city12-1.html>)

	<i>contatto interno iniziale</i>	<i>contatto interno finale</i>	Δt
Adelaide	22:34	4:27	5:53 = 5,88 h
Pechino	22:27	4:31	6:04 = 6,07 h

La distanza tra Adelaide e Pechino è pari a **8.629 km**

(<http://www.horlogeparlante.com/it/distance.php>)

Tale valore è la misura dell'arco della superficie terrestre che divide le due città, ma ai fini del calcolo è interessante avere la corda sottesa da questo arco. Per calcolarne il valore facciamo una semplice proporzione:

$$\text{raggio della Terra} = 6.378 \text{ km}$$

da cui circonferenza della Terra = $2\pi \times 6.378 \text{ km} = 40.074 \text{ km}$

la proporzione $360^\circ : 40.074 \text{ km} = X : 8.629 \text{ km}$

da cui $X = (360 \times 8.629) / 40.074 = 77^\circ$

dalla formula della corda = $2 \text{ raggio} \times \text{sen}(\text{angolo sotteso} / 2)$

$$\text{corda} = A_1A_2 = 2 \times 6.378 \text{ km} \times \text{sen } 38,5^\circ = \mathbf{7.940 \text{ km}}$$

Calcoliamo l'ampiezza della tragitto di Venere sul disco solare dalla durata del transito osservato dai due luoghi in esame:

$$C_1B_1 = C_1D_1/2 = (\Delta t_1 \times 4') / 2 = 11,76'$$

$$C_2B_2 = C_2D_2/2 = (\Delta t_2 \times 4') / 2 = 12,14'$$

da cui $SB_1 = \text{sqrt}(256 - 138,2976) = 10,85'$

$$SB_2 = \text{sqrt}(256 - 147,3796) = 10,42'$$

quindi $B_1B_2 = (SB_1 - SB_2) / 60 = \mathbf{(\text{angolo di parallasse}) = 0,0072^\circ}$

ma anche $B_1B_2 = 72/28 A_1A_2 \text{ km} = 72/28 \times 7.940 = \mathbf{20.417 \text{ km}}$

ed infine $A_1B_1 = B_1B_2 / \text{sen}(\text{angolo di parallasse}) = \mathbf{162.478.115 \text{ km}}$

Una migliore approssimazione si ottiene se si considera solo la componente perpendicolare al piano dell'eclittica della distanza tra i due osservatori.

Distanza osservatore dal piano dell'eclittica = $R_{\text{Terra}} \times \text{sen}(90^\circ - \text{altezza max Sole})$

(altezza del Sole su: <http://www.marcomenichelli.it/sole.asp>)

$$\text{Adelaide} = 6.378 \text{ km} \times \text{sen } 58^\circ = 5.421 \text{ km}$$

$$\text{Pechino} = 6.378 \text{ km} \times \text{sen } 18^\circ = 1.977 \text{ km}$$

da cui, $\text{Adelaide-Pechino} = 5.421 + 1.977 = 7.398 \text{ km}$

Sostituendo questo valore al valore della corda A_1A_2 si ottiene la distanza Terra-Sole:

$$\mathbf{UA = 151.396.466 \text{ km}}$$

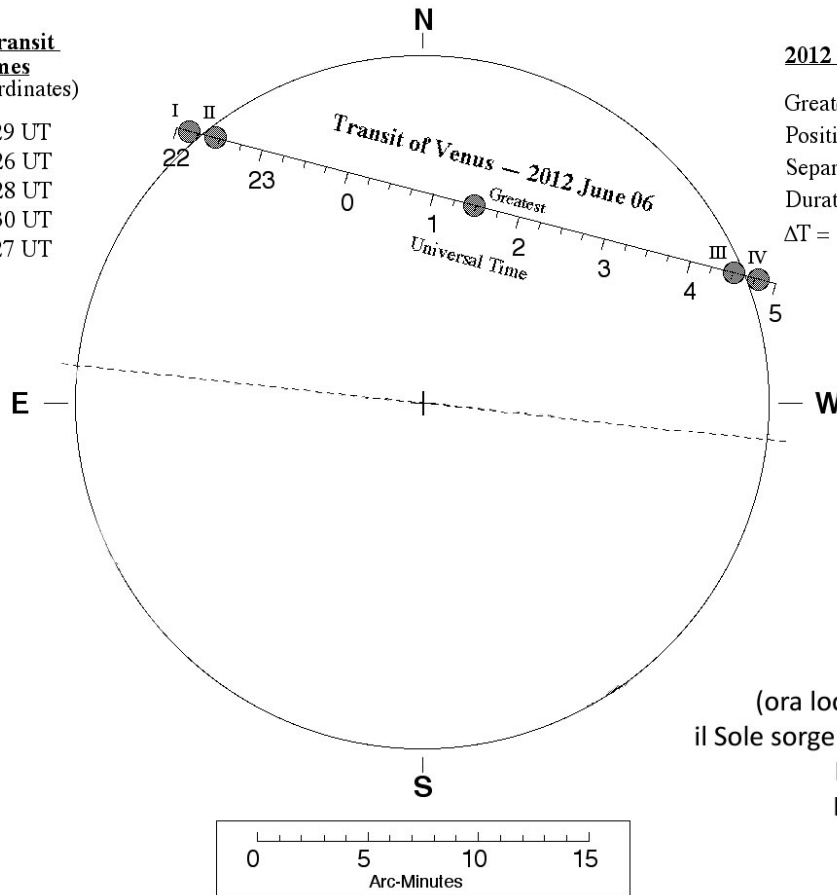
2012 Transits of Venus

2012 Venus Transit Contact Times (Geocentric Coordinates)

- I = 22:09:29 UT
- II = 22:27:26 UT
- Greatest = 01:29:28 UT
- III = 04:31:30 UT
- IV = 04:49:27 UT

2012 Geocentric Data

- Greatest = 01:29:28 UT
- Position Angle = 345.4°
- Separation = 554.4"
- Duration = 06h40m
- $\Delta T = 75.0$ s

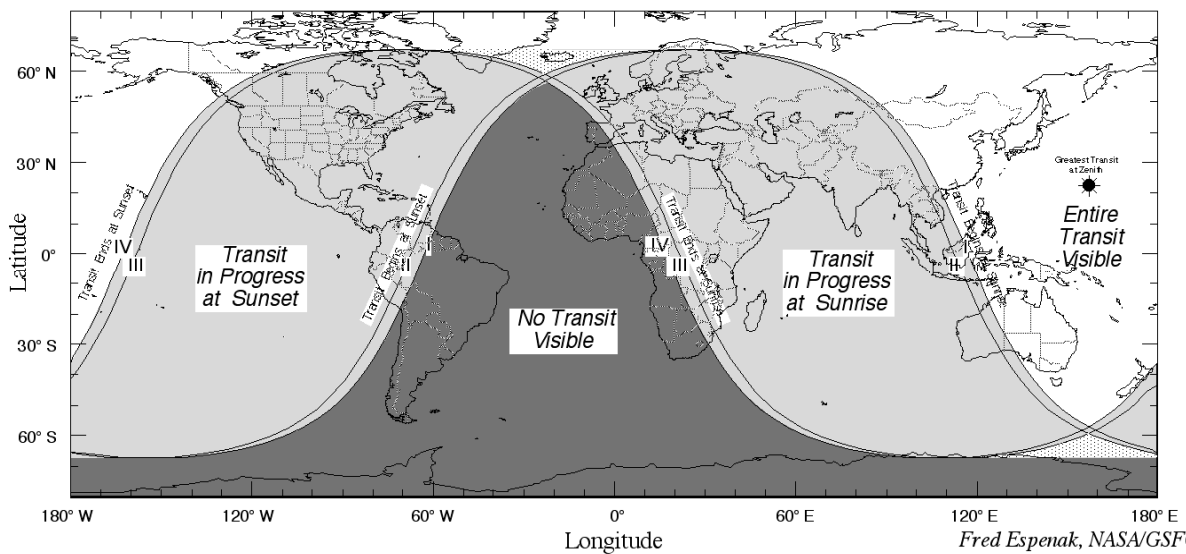


Roma
(ora locale, GMT+1)
il Sole sorge alle ore 5:33
III = 06:37:47
IV = 06:55:26

Fred Espenak, NASA/GSFC

ATTENZIONE ALLA VISTA: non guardare mai il Sole direttamente

2012 Transit of Venus



Fred Espenak, NASA/GSFC

Figure 3 - World Visibility of the Transit of Venus — 2012 June 06