

Il Sole nell'Acquario, trigonometria sferica in meridiano

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)

Submitted January 17th 2023, revised and accepted January 21st 2023

Abstract With the solar transit measured in Local Sidereal Time through the Vatican obelisk meridian line, and the differential measure of the solar declination, we calculate the ingress of the Sun in Aquarium zodiacal sign.

Sommario Misurando il transito meridiano del Sole, convertendolo in Tempo Siderale Locale, e la sua declinazione alla meridiana dell'obelisco Vaticano, calcoliamo l'ingresso nel segno zodiacale dell'Acquario del Sole.

Keywords: Meridian line, San Pietro in Vatican, Tropic, Solstice, Refraction, Earth's Rotation, Positional Astronomy, azimuth

Introduzione: L'ingresso del Sole nei segni zodiacali, è uno degli eventi che si capiscono veramente solo con la meccanica celeste e la trigonometria sferica. *Domare i cavalli del Sole*, è un'espressione che prendo da Giandomenico Cassini (1625-1712), che nel 1656 dopo il primo anno di osservazioni alla meridiana di san Petronio a Bologna, ottenne la formula $\Delta z = 60'' \tan(z)$ con cui quantificava l'influenza rifrattiva dell'aria sulla posizione osservata del Sole e di qualunque stella nella fascia tra 20° e 70° di altezza sopra l'orizzonte.

Sole nell'Acquario

L'Ingresso nell'Acquario, avviene con il Sole 30° di longitudine eclittica dopo il solstizio invernale e 60° prima dell'equinozio vernale (di primavera), il punto ♈ d'Ariete. Una meridiana ci permette di misurare 1) l'istante di passaggio in meridiano del Sole e 2) quello di una stella "fissa" 3) l'altezza meridiana del Sole e della stella fissa. Tramite questi dati esaminiamo gli algoritmi che portano alla determinazione dei 12 settori dell'orbita solare che prendono il nome di segni zodiacali. Cerco di partire dai dati sperimentali di piazza s. Pietro, perché sono sempre interessato agli strumenti storici e a come si è sviluppata la precisione della meccanica celeste.

Dati del 19 e 21 gennaio 2023: L'istante in cui il Sole è centrato rispetto al monte più alto di quelli araldici è compreso tra le 12:20:09 (osservazione in proiezione senza mediare su due

tempi, normalmente è quella con più errori) e le **12:20:13** (osservazioni tramite ghost image).¹ La meridiana è in anticipo di 32 secondi, poiché le effemeridi danno il passaggio in meridiano alle 12:20:45. Quelle calcolate per la sommità della croce davano le 12:20:23, quindi alla sommità dei tre monti abbiamo trovato ulteriori 10 secondi di anticipo, dovuti alla pendenza verso Ovest della croce sommitale. Il 21 gennaio 2023 è passato sulla stella alle 12:20:52.6 in anticipo di 29.1 s.²



Fig. 1 Posizioni del Sole al meridiano in giallo rispetto ai finimenti dell'obelisco Vaticano il 19 e 21 gennaio 2023 e 20 XI.

¹ https://youtu.be/Cip_AwMfVpc video del transito del 19 gennaio 2023

² <https://youtu.be/Kkxbzb3j3vA> transito 21 gen 2023 con telescopio 14x25

La foto è delle 12:45 del 18 gennaio 2023, 6.6° offaxis rispetto alla meridiana, serve ad avere il confronto col diametro angolare del Sole senza sovraesposizioni. L'asimmetria dei finimenti bassi complica le misure di tempo. La posizione che il Sole avrebbe se fosse in meridiano all'ingresso in Acquario è in bianco. L'osservazione di riferimento è quella del 20 novembre 2021 col telescopio posto sulla meridiana e la sua ombra sulla stella.



Fig. 2 Transit del 20 novembre 2021 11:55:17 con Sole a $28^\circ 20.3'$ di altezza; il 19 gennaio 2023 è stato a $27^\circ 47.3'$, ed il 21 gennaio a $28^\circ 13.5'$. Lo 0° dell'Acquario avrebbe $28^\circ 11.9'$ e sarebbe raggiunto alle 10:52 del 21 gennaio per interpolazione. Disegnando le immagini del Sole osservate il 20 XI 21 ed il 19 I 23 la loro distanza angolare risulta $33.1'$ da foto, e $33'$ da effemeridi. La massima incertezza stimata: se la differenza di posizione con 14 mesi fa fosse attorno ai 5 cm lungo la linea meridiana. Ciò corrisponde a circa 2.5 cm perpendicolarmente alla linea di vista che fino alla stella sommitale è lunga 80 m. L'angolo sotteso è $\theta = \arctan(2.5/8000) = 1'$ ciò significa che la direzione della stella 3-D nel video del 19 gennaio 2023 è entro $\pm 1'$ da quella del 20 novembre 2021.

Questo ci permette di misurare l'altezza meridiana del Sole con una precisione di $1'$ utilizzando la tecnica delle misure differenziali, cioè prese dallo stesso punto della meridiana,

Tempo siderale e punto Υ Martedì 20 dicembre 2022 abbiamo avuto il passaggio di Giove in meridiano alle ore 18:14:50 . Giove era $1^{\circ} 20'$ a Sud del punto Υ e ne visualizzava la posizione, ed è transitato alle 18:10:54 $\pm$ 1s. Mentre Giove è un pianeta, il punto Υ è come una stella fissa, quindi passa in meridiano ogni 23h 56m 4.09 s. Il Tempo Siderale Locale³ al momento del passaggio in meridiano del Sole va sottratto a 24h e convertito in gradi (24h=360°) per ottenere il tempo che manca al passaggio in meridiano del punto Υ .

Triangoli rettangoli sferici da risolvere e interpolare

Il punto Υ è il vertice del triangolo rettangolo sferico di cui dobbiamo calcolare l'ipotenusa, ossia la distanza in gradi lungo l'eclittica del Sole al momento del suo passaggio in meridiano. Gli altri lati sono la declinazione e la distanza sull'equatore celeste, che è appunto 24h-TSL espresso in gradi.

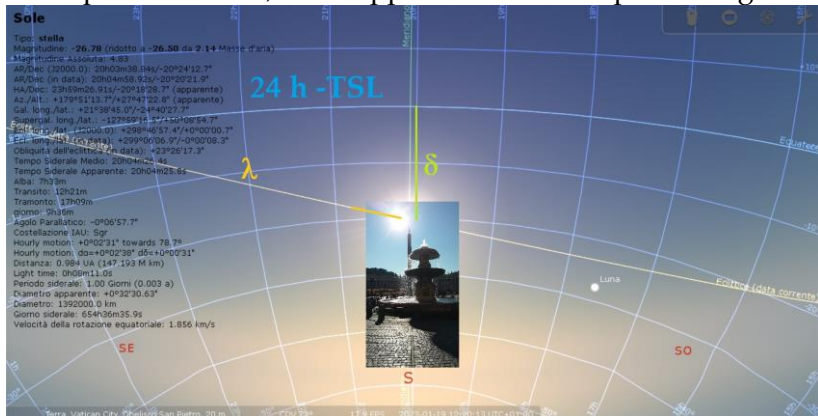


Fig. 3 Il 19 gennaio il transito solare è avvenuto alle 20:04:58 del TSL, cioè ad un angolo di 301.24126°.

360°-TSL=58.75874°, cateto 1. La declinazione $-\delta$ è 48°06'-27°47.3'-2' (correzione di Cassini)=20°16.7' , cateto 2.

Le formule per i triangoli rettangoli sferici sono le più semplici della trigonometria sferica. I due triangoli rettangoli sferici

³ <https://www.neoprogrammics.com/sidereal-time-calculator/index.php>

sono retti nell'angolo formato dalla linea meridiana e dall'equatore. Vale la formula dei coseni:

$$\cos(\text{ipotenusa}) = \cos(\text{cateto1}) \times \cos(\text{cateto2})$$

$$\cos(\lambda) = \cos(58.75875^\circ) \cdot \cos(20^\circ 20.5') = 0.48630; \lambda = 60.90231^\circ$$

Alla **velocità media** di $360^\circ/365.25$ giorni, 0.90231° vengono percorsi in 21 h 58 minuti, dopo il transito meridiano. Quindi con questi dati l'ingresso nell'Acquario avverrebbe alle 10:18 del 20 gennaio 2023, 49 minuti dopo di quanto dicono le effemeridi (9:29). L'ipotenusa del triangolo sferico del 21 gennaio vale $\cos(\lambda) = \cos(56.64112^\circ) \cdot \cos(19^\circ 54.3') = 0.51703$; $\lambda = 58.86660^\circ$. **Più precisa risulta l'interpolazione** tra 19 e 21 gennaio, che porta ad avere $\lambda = 60^\circ$ alle ore 9:37 del 20 gennaio, solo 8 minuti dopo il valore delle effemeridi, un risultato molto accurato: corrisponde ad una precisione di localizzazione del Sole sulla sua orbita pari a $20''$ in longitudine.

Curiosità: la fontana copre con la sua ombra una buona parte della linea meridiana vicino al disco del Sagittario, ma al momento del passaggio meridiano in Acquario/Sagittario il disco è illuminato per quei minuti che servono per fare la misura, dopo di che entra in "eclissi".



Fig. 4-5-6 Il disco dell'Acquario entra in eclissi 5 minuti dopo il passaggio del Sole in meridiano. Foto 19 gen h 12:25:15. E il Sole passa dietro la stella 3D 21 gen 2023 foto delle h 12:20:41.

Chi ha pensato questa cosa era un vero genio, forse è stato proprio il progettista, il vescovo domenicano padre Egnazio Danti nel 1586, ma non poté vederla realizzata, perché morì 40 giorni dopo che l'obelisco era stato spostato, e di conseguenza la meridiana fu fatta fare soltanto nel 1817 dal Cardinale Pietro Maccarani e dall'astronomo don Filippo Luigi Gigli. Danti, dato che la fontana era già in sito nel 1490, può aver progettato i finimenti superiori dell'obelisco in modo che fossero visibili da quel pertugio triangolare che si forma tra le due vasche della fontana e la sommità dell'obelisco stesso.

Sorgenti di errori in questi dati La meridiana non giace né sull'asse di simmetria del monolito né c'è un asse realmente verticale dei finimenti superiori. 32 secondi di anticipo sulle effemeridi sono stati determinati nelle calibrazioni 2020-2022. Il transito può essere determinato entro ± 1 s. La declinazione, disponendo di immagini precedenti e sullo stesso punto della meridiana, può essere determinata al meglio di $1'$, applicando la correzione di Cassini alle altezze meridiane osservate. Queste incertezze portano a ± 5 min per $\pm 1'$ in altezza e ± 5 min per ogni secondo di tempo ± 1 s di incertezza sul transito meridiano che corrisponde a $\pm 24''$ di angolo (24-TSL). Questo è perché la velocità angolare del Sole media di 1° al giorno, è pari a $2.5''/\text{minuto}$ lungo l'eclittica.

Conclusioni: abbiamo determinato l'ingresso nel segno nell'Acquario a partire dai tempi di transiti meridiani del Sole e da un solo transito del punto Υ (che determina il Tempo Siderale Locale), e dalla misura della declinazione del Sole, fatta a partire dalla sua altezza meridiana. E' stata utilizzata l'equazione del teorema dei coseni in un triangolo sferico rettangolo.

Referenze C. Sigismondi, [Gerbertus 14, 240](#) (2021) SCO SGR; [Gerbertus 14, 123](#) (2021)TAU; [Gerbertus 14, 240](#) (2021) GEM <https://www.neoprogrammics.com/sidereal-time-calculator/index.php> con $\Delta T=0$.