

Misura del diametro solare ad almucantarato zero

Abstract: Among several methods for accurate measurements of solar diameter, there are transits at fixed almucantarats used in solar astrolabes. The almucantarats are circles of given height. The horizon circle is the zero almucantarats, and data from four sunsets on the Tyrrhenian sea are discussed. The angular diameter of the Sun is recovered with subarcsecond accuracy using 60 fps video of sunsets.

Introduzione: diametro ed almucantarato, gli astrolabi solari

Si vuol mettere in evidenza che i principi su cui si basano gli astrolabi solari sono applicabili anche ai tramonti sull'orizzonte marino (intento didattico) e possono fornire risultati che opportunamente trattati diventano interessanti di per sé e per il metodo di analisi dati per essi sviluppato (come nel trattamento di un effetto di tipo "black drop" riutilizzabile per i futuri transiti planetari sul Sole).

L'idea di misurare il diametro del Sole cronometrando il transito attraverso un cerchio di uguale altezza [1] è stata messa in opera realizzando i cosiddetti astrolabi solari. Questi astrolabi, dal punto di vista etimologico, sono strumenti atti a "prendere" le dimensioni del Sole, nella fattispecie. L'inventore di questi strumenti, usati per l'astronomia di posizione, è stato André Danjon [2], [3].

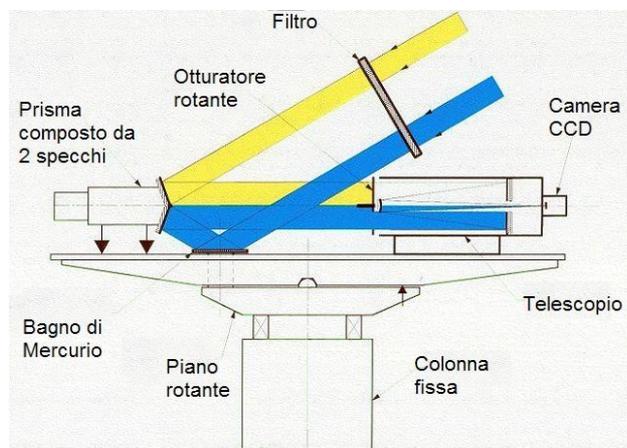


Figura 1. Schema ottico dell'astrolabio DORAYSOL, Définition et Observation du RAYon SOLaire (esperimento francese operativo dal 1990 al 2008) [4].

DORAYSOL è l'ultima generazione degli astrolabi solari, altrimenti muniti di una serie di prismi intercambiabili al posto dei due specchi. L'inclinazione degli specchi è cambiata con continuità da un motore apposito per servire per tutte le distanze zenitali z entro cui lavora lo strumento ($30^\circ < z < 60^\circ$). Il bagno di mercurio costituisce lo specchio di garantita orizzontalità. Al mattino l'immagine diretta (gialla) sale, mentre la riflessa (blu) scende.

Un otturatore rotante consente di formare alternativamente l'immagine diretta e quella riflessa sulla camera.

Il loro incrociarsi determina gli istanti di prima t_1 e seconda t_2 tangenza con l'almucantarato (linea orizzontale in figura 2) di data altezza.

Almucantarato zero con immagini diretta e riflessa

L'orizzonte del mare è sicuramente orizzontale. Con una ripresa video a 60 fps si possono riprendere con 1/60s di precisione t_1 e t_2 . Data la velocità di rotazione della sfera celeste di circa $15''/s$, 1/60 s corrisponde a $0.25''$ di accuratezza angolare nominale.

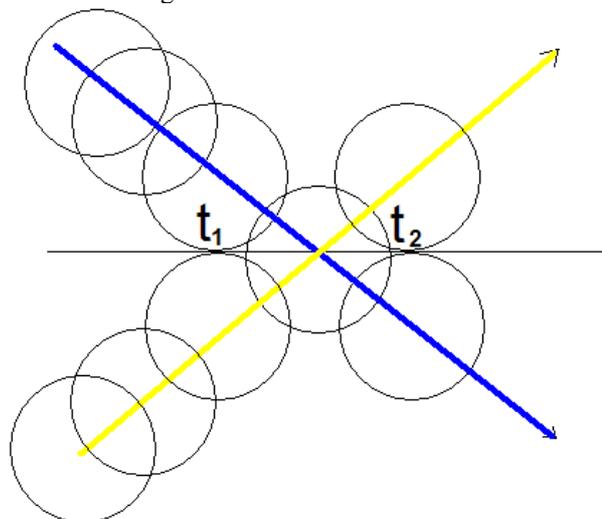


Figura 2. Immagini diretta (gialla) e riflessa (blu) al mattino, riprese da DORAYSOL. L'intervallo di tempo $t_2 - t_1$ è proporzionale al diametro verticale del Sole.

Al tramonto, analogamente con DORAYSOL, si può osservare anche l'immagine solare riflessa ed il contatto tra le due immagini da t_1 . Il tempo t_2 è l'ultimo bagliore di Sole, essendo un segnale di tipo SI/NO, questo è quello determinato in modo più preciso ± 1 frame cioè $\pm 1/60s$.



Figura 3. Primo contatto con l'orizzonte al tramonto del 13 agosto 2009 da Ostia (Idroscalo, foce del Tevere). L'immagine è estratta da un video a 60 fps, preso con una videocamera Sanyo CG9 a 5x posta dietro un monocolo 8x21, la sensibilità è stata impostata a 50 ISO. Si noti, al centro, l'effetto "black drop" di anticipato collegamento

luminoso tra le due immagini diretta e riflessa, risultato della combinazione tra ottica strumentale e funzione di luminosità del Sole, che cambia rapidamente d'intensità nei pressi del bordo [8].

Trasmittanza e proprietà dell'atmosfera lungo la linea di vista all'orizzonte

L'ultimo contatto t_2 è un segnale SI/NO simile alla sparizione di un grano di Baily durante un'eclissi solare [5], e non è influenzato dal seeing atmosferico, ma solo dal valore della rifrazione all'orizzonte, che si assume costante durante tutto il tempo del tramonto $\Delta t = t_2 - t_1$, poiché è una proprietà integrale lungo tutta la linea di vista che all'orizzonte intercetta più di 5 masse d'aria [6], che aumentano di $\Delta m \approx 0.36 \sqrt{h}$ in caso di osservazione da una certa quota h [m] sul livello del mare.

Alla formula precedente si giunge calcolando la distanza dell'orizzonte $d \approx \sqrt{2Rh}$ e dividendola per l'altezza di una massa d'aria $h \approx 10$ km, tuttavia la foschia è responsabile del calo di luminosità del Sole presso l'orizzonte, e questa corrisponde ad uno strato (cfr. fig. 4) di circa 30 m: questo strato influisce poco sulla trasmittanza atmosferica a piccole distanze zenitali, ma diventa importante presso l'orizzonte, determinando facilmente 10 magnitudini di caduta dell'intensità, e poiché [7] $I/I_0 \approx 0.855^m$, con m il numero di masse d'aria, la foschia corrisponde all'effetto di 60 masse d'aria!



Figura 4. La parte inferiore del Sole (circa 15 arcminuti) è molto meno intensa della parte superiore, che satura il rivelatore. 15' alla distanza dell'orizzonte sono 30 m. Ostia 11.8.2009, immagine estratta da video a 60 fps preso con videocamera Sanyo HD10 impostata a 50 ISO e zoom 50 x.

Definizione del tempo di primo contatto con l'orizzonte

In definitiva tutto il problema della misura del diametro solare all'orizzonte sta nella determinazione dell'istante di primo contatto del Sole con l'orizzonte.

Nel caso del tramonto, la funzione $f(t)$ è l'intersezione tra il disco solare che scende e la linea dell'orizzonte.

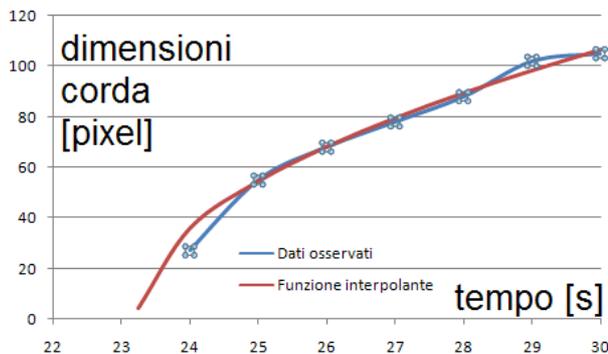


Figura 5. La funzione interpolante $f(t)$ calcola lunghezza della corda tagliata sul disco solare dall'orizzonte: è una radice quadrata, che minimizza il χ^2 dei dati osservati.

Al valore corrispondente a dimensione nulla della corda si associa un'incertezza nominale data da $\Delta \chi^2 = 1$. Nei dati del tramonto dell'11 agosto 2009 [in fig. 4] abbiamo $t_1 = 23.23 \pm 0.04$ s, con un $\chi^2/\nu \approx 2.9$ ($\nu = 7$).

Analisi dati

L'osservazione il 15.7.09 è fatta ad occhio nudo, il 9.8.09 col binocolo ed il tramonto era con riflesso, l'11.8 video del tramonto senza riflesso, mentre il 13.8 con riflesso. Nella tabella seguente si riassumono i risultati; solo i due video sono di fatto *diffraction limited*; la diffrazione qui vale 5" ed allarga in modo sistematico il diametro.

Data	Δt calc [s]	Δt oss [s]	$\Delta \theta$ ["]
15.7.09 occhio	194.19	204 \pm 0.4	+137 \pm 6
9.8.09 binocolo	178.38	182 \pm 0.4	+52 \pm 6
11.8.09 video	180.64	180.95 \pm 0.05	+4.5 \pm 0.8
13.8.09 video	180.02	180.10 \pm 0.05	+1.1 \pm 0.8

Tabella 1. La tabella indica le correzioni $\Delta \theta$ ["]-delta diametro- rispetto a 1919.26", il doppio del raggio standard del Sole di 959.63". Si vede che pure con questi strumenti relativamente modesti (meno di 2cm di diametro) quanto a risoluzione angolare si ottengono dei valori estremamente interessanti, che convergono a zero all'aumentare della precisione del metodo. La durata del tramonto è calcolata col programma Ephemvga [9] inserendo le coordinate del luogo di osservazione, in assenza di atmosfera e sull'almucantarato corrispondente all'istante di sparizione del Sole. La rifrazione infatti modifica l'altezza apparente dell'astro [10], ma non il tempo di transito su un dato almucantarato.

Discussione

La videocamera deve restare fissa durante tutto il tramonto altrimenti uno spostamento di 3 cm in verticale corrisponde alla distanza dell'orizzonte di 7 Km a 0.1". La luminosità del Sole, fino alla tangenza, limita la precisione della misura di t_1 . Se non c'è abbastanza foschia è utile filtrare il Sole con 2 polarizzatori rotanti che riducono l'intensità luminosa con continuità secondo la legge di Malus. Le videocamere commerciali hanno degli algoritmi che tendono a simulare la risposta dell'occhio umano, nel caso di forte contrasto luce-buio come per il lembo solare, questo è sensibilmente spostato verso il buio. Insieme alla diffrazione questo effetto tende

ad anticipare la misura del tempo t_1 . L'interpolazione con la funzione $f(t)$ della corda riduce questo effetto.

La corda comunque è definita tra i primi pixel non illuminati, laddove la definizione classica di lembo solare [11] è il massimo della derivata della curva di luce.

Il valore migliore del diametro è stato quello ottenuto con il tramonto con riflesso ed il Sole con diametro di 300-400 pixel. Questo risultato con obbiettivi di 2 cm di diametro incoraggia a proseguire con telescopi maggiori.

Le misure di diametro solare del satellite SOHO, calibrato per questo scopo con il transito di Mercurio del 7.5.2003[12] sono ottenute a partire dai pixel (dimensione dell'immagine); mentre nei metodi con transiti (su cerchi orari o di altezza) è il tempo che fornisce la misura del diametro.

Nel caso qui esaminato il metodo è certamente accessibile a tutti, e se fatto con telescopi di 10-20 cm promette ottimi risultati.

Bibliografia

[1] Débarbat, S. e B. Guinot, *La Méthode des Hauteurs Égales en Astronomie*, Gordon & Breach, Paris Londres New York (1971).

[2] Danjon, A., *Astronomie Générale*, Sennac Paris (1959), p. 53.

[3] Danjon, A., *The Impersonal Astrolabe*, in Kuiper, G. e B. M. Middlehurst eds., *Telescopes*, The University of Chicago Press (1958) p. 115-137.

[4] <http://www.oca.eu/gemini/equipas/ams/doraysol>

[5] Sigismondi, C., P. Oliva, *Osservare le eclisse solari dal bordo della fascia di totalità*, *Astronomia UAI*, **3**, 14-18 (2006).

[6] Garstang, R.H., *Publ. Soc. Astron. Pacific.*, **101**, 306 (1989).

[7] Barbieri, C. *Lezioni di Astronomia*, Zanichelli Bologna (1999)

[8] Schneider, G.; J.M.Pasachoff e L. Golub, *Space Studies of the Black-Drop Effect at a Mercury Transit*, astro-ph/0310379 (2003).

[9] Downey, E. C., *Ephemvga*, (1992). reperibile su www.santamariadegliangeliroma.it menù meridiana-calcolo delle effemeridi

[10] De Donà, G., *La Misura della Rifrazione Astronomica all'Orizzonte*, *Astronomia UAI* **1**, 4-11, (2003).

[11] Hill, H. A., R. T. Stebbins e J. R. Oleson, *The FFT Definition of an Edge on the Solar Disk*, *Astrophys. J.* **200**, 484-498 (1975).

[12] Kuhn, J. R., R. I. Bush, M. Emilio and P. H. Scherrer, *On the constancy of the solar diameter. II*. *Astrophys. J.*, **613**, 1241-52 (2004).