

Astrometria e Meccanica Celeste alla Meridiana Clementina e calibrazione della linea d'equatore

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

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

Submitted March 8th 2021, accepted March 12th

Abstract The vernal equinox of 2021 occurs 2 hours before the meridian transit at the Clementine Gnomon in Rome. This is an opportunity for calibrating the line of the celestial equator with a precision better than one part over 10000, with a single observations, possible each 12 years.

Sommario L'equinozio di Primavera del 2021 capita 2 ore prima del transito meridiano alla Meridiana Clementina. Questa è un'opportunità per calibrare la posizione della linea dell'Equatore Celeste sul pavimento della Basilica con una precisione di ± 2 mm su 20 metri, con una sola osservazione alle 10:37:30 TMEC, possibile solo ogni 12 anni.

Introduzione: Astrometria e meccanica celeste alla Meridiana

La Meridiana Clementina è l'unico strumento storico del suo genere al Mondo che è utilizzabile con finalità scientifiche. La Meridiana di Giandomenico Cassini a Bologna del 1655 non è fruibile quotidianamente, né si possono fare foto; le Meridiane del Duomo di Milano 1782 (De Cesaris) e di Palermo 1801 (Piazzi) non sono graduate con la scala delle tangenti; la Meridiana di Saint-Sulpice a Parigi 1649 (Le Monnier) ha il foro oscurato; la Meridiana di Jacques Cassini all'Observatoire de Paris 1711 si può visitare, ma ha una sola lente che mette a fuoco l'immagine solo per qualche giorno.

Il database delle osservazioni fatte con il nuovo setup del foro stenopeico da 25 mm di diametro e 6.11 mm di spessore in opera dal 27 ottobre 2018, è prezioso perché quando la Meridiana non fosse più utilizzabile per un motivo qualsiasi, è l'unico modo per vedere come si potevano utilizzare questi strumenti per verificare la teoria Newtoniana e per definire,

indipendentemente da questa la rifrazione atmosferica e il moto della Terra attorno al Sole, con la misura dell'eccentricità dell'orbita. Questo database è disponibile in parte su youtube 2018-2020, e in parte su un dominio di icra.it, in attesa di una sistemazione definitiva.

La meccanica celeste è un campo molto vasto dell'Astronomia, la missione su satellite GAIA, dopo quella HIPPARCOS, è finalizzata allo studio della dinamica della Galassia a partire dalla conoscenza della posizione delle Stelle fino al micro arcosecondo. A Santa Maria degli Angeli possiamo misurare effetti atmosferici, precessionali e anche relativistici grazie alla grande precisione ottenibile con lo strumento ben calibrato (Sigismondi, 2021).

Dal 2018 usiamo un foro stenopeico di 25 mm, che ha consentito di osservare anche le macchie solari più grandi, durante l'autunno inverno 2020/21. Senza lente non ci sono aberrazioni ottiche, in particolare sui 47° di altezza meridiana tra l'inverno e l'estate, per cui l'orbita del Sole (e quindi della Terra) è conoscibile con elevata precisione.

Nell'aula romana delle Terme di Diocleziano, Michelangelo realizzò la Basilica (1561-1564) e Francesco Bianchini (1701-1702) la Meridiana lunga 45 metri. Video girati a 30 e 60 fps consentono, analizzati con Quicktime7.1, risoluzioni temporali di 30 e 60 Hz, poi con il programma IRIS si possono fare istogrammi di intensità.



Fig. 1 L'immagine del Sole il 2 febbraio 2021 presso una delle otto stelle del cammino di Sirio sul pavimento della Basilica.

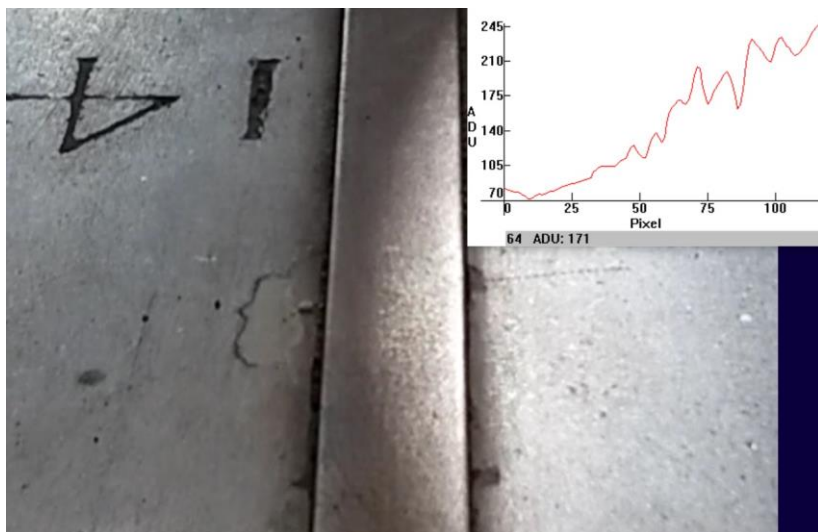


Fig. 2 La penombra il 14 feb 2021 al 1° contatto meridiano, con l'istogramma d'intensità preso sulla linea di ottone larga 3 cm.

Calibrazione astrometrica della meridiana con le effemeridi

Le effemeridi del Sole sono disponibili su Stellarium 0.20.2, e sui siti SPA, Horizons NASA e IMCCE. Le osservazioni e le effemeridi insieme servono a controllare le misure geometriche prese con il LASER, la stazione totale e il metro. Nulla sfugge all'astrometria: dagli errori del distanziometro LASER fino alla variazione secolare dell'obliquità dell'eclittica, ricordandoci che la meridiana è stata pensata *AD ANNOS OCTINGENTOS ANNOS*, per effettuare comparazioni su scale temporali di secoli. L'immagine del Sole al solstizio estivo del 1702 è stata fissata nel bronzo sul pavimento della Basilica presso il riquadro del Cancro (nostra scoperta del 2018), e gli istanti degli *ANNI CARDINES* del 1703 sono scolpiti nella pietra di una lapide nel presbiterio, presso il Capricorno.

L'equinozio di Primavera del 2021 e l'anno tropico medio

L'equinozio vernale del 1703 fu calcolato per il mercoledì 21 marzo 1703 alle 9:03 dopo la mezzanotte locale, con i dati osservativi presi a questa meridiana (transiti del Sole e della stella Sirio per calcolare la coordinata eclittica λ). Quello del 2021 il 20 marzo è alle 10:37:30 TMEC, secondo l'IMCCE.

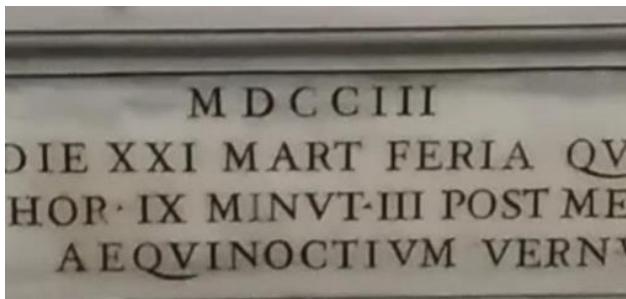


Fig. 1
Lapide con
gli ANNI
CARDINES
del 1703.
AEQ.
VERNVM

Per calcolare l'anno tropico medio con incertezza ± 10 min/319 dal numero di anni trascorso, cioè ± 2 s, occorre valutare l'istante dell'equinozio nel 2021, ma non possiamo osservare Sirio alla meridiana, come nel 1703, perché la finestra sopra il foro stenopeico non si apre più. Quindi fino ad ora abbiamo stimato l'istante dell'equinozio interpolando i dati dei transiti meridiani rispetto alla linea dell'equatore, presa per buona. Quest'anno prendiamo le effemeridi per trovare la posizione della retta dell'equatore sul pavimento, rispetto a quella ideale. Simon Newcomb trovò che l'anno tropico medio è funzione lineare del tempo T misurato in secoli giuliani dal 1900 (Barbieri, 1999 e 2020).

Calibrazione dell'equatore: gli studi precedenti

Il Sole passa vicino alle quattro stelle (tre grandi e un dischetto di bronzo) della retta dell'equatore celeste sul pavimento della Basilica. In passato abbiamo verificato che la linea tra le quattro stelle è retta, che forma un angolo retto con la linea

meridiana (test del teorema di Pitagora) e che forma con la proiezione del vero equatore celeste un angolo di $2'$ (settembre 2019). La presente *proposal* per il 20 marzo 2021 h 10:37 si fonda sul fatto che l'equinozio vernale in tempo reale capita ogni 12 anni sul pavimento della Basilica (il Sole attraversa il pavimento da circa 2 ore prima del transito).

Nelle osservazioni del 2 e 5 febbraio 2021 sulle stelle del pavimento della Basilica poste sul cammino di Sirio, abbiamo già verificato che la loro posizione differisce da quella teorica, anche considerando l'effetto refrattivo e quello precessionale da oggi al 1701, o al 1750 se consideriamo le eventuali modifiche apportate dal Vanvitelli durante l'installazione del pavimento marmoreo.



Fig. 3 Sole nei Pesci ♈ il 18/2 h 12:15.

Il significato in astrometria del segno zodiacale è legato all'orbita solare divisa esattamente in 12 parti uguali a cui corrispondono longitudini $\lambda_{\text{♈}} = 330^\circ$ e declinazioni $\text{sen}(\delta_{\text{♈}}) = \cos(\lambda_{\text{♈}})\text{sen}(\epsilon)$ con $\epsilon_{2021} = 23^\circ 26.2'$. $\lambda_{\text{♈}}$ è la longitudine eclitticale dell'ingresso nei Pesci, che nel settecento veniva

misurata per confronto diretto (interpolazione lineare) col transito meridiano (anche osservato in serie di più giorni) di una stella (ritengo che fosse sempre Sirio, visto che Bianchini la osservò in tutte le stagioni dell'anno, anche di giorno).

È presente anche l'effetto di rifrazione atmosferica, tale che

$h_{\text{senza atmosfera}} = h_{\text{colatitudine}} + \delta$

$h_{\text{corretta Cassini}} = h_{\text{s.atm.}} + 60'' \tan(90^\circ - h_{\text{s.atm.}})$

Oggi tanto l'equinozio vernale $\lambda=0^\circ$, quanto tutti gli altri segni zodiacali, possono essere "osservati" solo dalla posizione dell'immagine del Sole sulla meridiana e non dal confronto tra i tempi di passaggio sulla meridiana del Sole e di Sirio.

Ma il 20 marzo 2021 una foto alle 10:37:30 può fissare la posizione dell'immagine del Sole all'istante dell'equinozio vernale (il calcolo di IMCCE è la predizione più accurata al Mondo) e così appuriamo esattamente dove passa la proiezione dell'equatore (per il centro dell'immagine solare). Alle 12:17:38 il passaggio meridiano avverrà col centro dell'immagine del Sole $1'40''$ a Nord dell'equatore, così la retta reale dell'equatore si può tracciare e confrontare direttamente con quella delle stelle collocate da Bianchini nel 1702 e ricollocate da Vanvitelli nel 1750. Dalla separazione tra le due rette presa nella posizione dell'equinozio 2021 si può risalire alla deviazione rispetto alla vera linea EST-OVEST delle stelle sul pavimento. Nell'ipotesi che Bianchini abbia mutato la direzione originale della Meridiana Clementina dopo l'intervento in corso d'opera di Giacomo Filippo Maraldi, rispetto alle sue misure fatte con la stella Polare tra il settembre 1700 (prima dell'elezione di Clemente XI) e il gennaio 1701, potremmo trovare che l'equatore conserva ancora l'orientamento della meridiana "boreale".

Referenze

C. Sigismondi, Gerbertus 7, 3-81 (2014) e [ECU 2021](#) (Febbraio 2021)