

Il primo solstizio d'inverno alla meridiana di Santa Maria degli Angeli in Roma

Costantino Sigismondi*

Sunto: *La linea meridiana nella Basilica di Santa Maria degli Angeli in Roma fu costruita, per volontà del papa Clemente XI, tra il 1701 e il 1702 con lo scopo di misurare l'obliquità dell'asse terrestre nei successivi otto secoli. Durante il solstizio d'inverno del 1701 le prime misure utili per calcolare l'obliquità furono realizzate da Francesco Bianchini, l'astronomo che progettò la linea meridiana migliorando lo strumento simile realizzato da Giandomenico Cassini in San Petronio a Bologna. In questo articolo l'accuratezza dei dati registrati da Francesco Bianchini è discussa e comparata con le moderne effemeridi. Si presenta anche l'attuale situazione di questo storico strumento.*

Parole Chiave: Meridiana, Santa Maria degli Angeli, Solstizio, Effemeridi, Francesco Bianchini, Clemente XI, Pio IX, Terme di Diocleziano, Michelangelo.

Abstract: *The great meridian line in the Basilica of Santa Maria degli Angeli in Rome was built in 1701/1702 with the scope to measure the Obliquity of the Earth's orbit in the following eight centuries, upon the will of pope Clement XI. During the winter solstice of 1701 the first measurements of the obliquity have been realized by Francesco Bianchini, the astronomer who designed the meridian line, upgrading the similar instrument realized by Giandomenico Cassini in San Petronio, Bononia. In this paper the accuracy of the data observed by Francesco Bianchini is discussed and compared with up-to-date ephemerides. The modern situation of this historical instrument is also presented.*

Keywords: Meridian line, Santa Maria degli Angeli, Solstice, Ephemerides, Francesco Bianchini, Clemente XI, Pio IX, Terme di Diocleziano, Michelangelo.

Citazione: Sigismondi C., *Il primo solstizio d'inverno alla meridiana di Santa Maria degli Angeli in Roma*. «ArteScienza», Anno 1, N. 1, pp. 103-111.

* ITIS G. Ferraris e ICRANet, Roma; Observatório Nacional Rio de Janeiro; sigismondi@icra.it.

1. Arte e Scienza nella basilica di Santa Maria degli Angeli in Roma: la meridiana Clementina

La basilica di Santa Maria degli Angeli sorge nelle Terme di Diocleziano per volere del papa Pio IV e su disegno di Michelangelo (1564), il quale ha adattato la più grande aula voltata romana ancora esistente a Roma a transetto di una chiesa con pianta a croce greca.

L'orientamento di questa di questa croce è a Sud-Ovest poiché ricalca quello originale delle Terme, la cui idea originale è attribuita ad Apollodoro di Damasco che collocava il *calidarium* nel lato più caldo della giornata, cioè proprio il Sud-Ovest, per ridurre i tempi del riscaldamento.

Oggi proprio sulla base di queste considerazioni e sul ritrovamento delle condotte per l'aria calda sotto il pavimento del Lucernario d'ingresso, si ritiene che l'ingresso della Basilica coincidesse con il *calidarium*.

Il *frigidarium* era invece una grande piscina collocata dove sta l'attuale chiostro michelangiolesco, sede del Museo Nazionale Romano delle Terme di Diocleziano.

Fino al 1750 la Basilica appariva senza i *marmi che ornano il pavimento e le trabeazioni* di Luigi Vanvitelli, volute da Benedetto XIV per quel giubileo.

Sola, inserita tra i mattoni di cotto fiorentino spiccava, dal 1702, una striscia di marmo bianco Pentelico di circa 1 metro di larghezza e 45 metri di lunghezza, circondata da marmo giallo di Numidia, accompagnata da 12 riquadri con le raffigu-

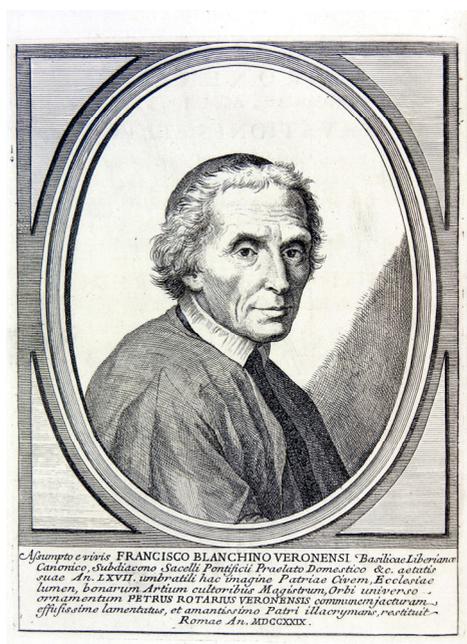


Fig. 1 - Francesco Bianchini in una stampa dell'epoca.

sito di veder il mare vicino, o la parallela
 a se. Etta a se medesima. In questo modo
 d'inscrivere la figura & fare. & il tempo non
 seruirà, Et. Ilmo uera la bontà di compasso
 1702 - C. M. - & fatto le mani.

Observatio Meridiani in Sancto Petronio Romano
 ad Tomas Disertiani
 anni MDCCII et MDCCIII.

1701	Januarii	Decembris	Novembris
Decembris	22 03 23	53 25 20	
	21 29 53	53 2 18	
Nov 20	22 02 20	53 38 27	
	21 51 18	53 4 19	
Nov 24	22 02 40	53 35 40	
	21 49 40	53 2 20	
Nov 29	22 02 10	53 28 10	
	21 51 15	53 34 11	
Dec 31	21 70 00	53 45 20	
	21 11 10	54 41 27	
1702			
Januarii			
Jan 6	21 52 40	53 3 44	
	21 02 20	54 32 30	

Fig. 2 - Dati solstiziali nel manoscritto di Francesco Bianchini.

trimenti introvabile a quei tempi.

Le osservazioni astronomiche per determinare la latitudine durarono dal 1° all'8 gennaio 1701, e per la fine di quell'anno la meridiana era già parzialmente funzionante, almeno per quanto riguarda la zona del solstizio invernale in Capricorno, come attestano i documenti che andremo ad analizzare nel seguito dell'articolo.

La meridiana fu visitata da papa Clemente XI il 20 agosto e il 6 ottobre 1702 in occasione delle feste di San Bernardo e San Bruno, fondatori dei Certosini.

¹ G. Paltrinieri, *La Meridiana della Basilica di San Petronio in Bologna*, Bologna, Inchiostri Associati Editore, 2001.

Il legame tra papa Clemente e Santa Maria degli Angeli, la Certosa di Roma, risale al 6 ottobre 1700, quando, prima del conclave che seguì la morte di Innocenzo XII, appena consacrato sacerdote (27 settembre) vi celebrò la sua prima messa solenne.

Dunque la volontà di costruire una linea meridiana in Santa Maria degli Angeli era propria del nuovo pontefice; forse proprio nell'intento di rafforzare il legame tra scienza e fede, a settant'anni dal "caso Galileo".

La scelta della Basilica alle Terme per costruire uno strumento di questo genere risolveva anche uno dei problemi riscontrati già nel 1695 sulla meridiana di San Petronio a Bologna dallo stesso Cassini padre, dal figlio Jacques e da Domenico Guglielmini: l'instabilità del foro stenopeico, ovvero l'obiettivo circolare da cui entrano i raggi del Sole e ne disegnano l'immagine sul pavimento.

La precisione necessaria per le misure della variazione dell'inclinazione (obliquità) dell'asse terrestre sul piano dell'orbita (eclittica) non permetteva nemmeno le piccole variazioni stagionali dovute alla fluttuazione della temperatura della muratura, amplificate dalla struttura delle volte ancora in assestamento.²

A Santa Maria degli Angeli il foro era stato praticato in una nicchia scavata nelle mure dioclezianee, ormai prive di ogni movimento di stabilizzazione per la vetustà di ben 1500 anni.

Ragioni tecniche e affetti spirituali del papa si incontravano nella scelta di Santa Maria degli Angeli, che il veronese Francesco Bianchini, canonico di Santa Maria Maggiore, insignito degli ordini minori del lettorato e dell'accollato, realizzò in quasi due anni di lavori.

² Costantino Sigismondi, *Misura del ritardo accumulato dalla rotazione terrestre, $\Delta UT1$, alla meridiana clementina della Basilica di Santa Maria degli Angeli in Roma*, in «Mensura Caeli» Territorio, città, architetture, strumenti, a cura di M. Incerti, p. 240-248, Ferrara, Unife-Press, 2010. www.imcce.fr; J.Laskar, http://www.neoprogrammics.com/obliquity_of_the_ecliptic.

2. L'arte di misurare l'immagine solare³

Nella Basilica di Santa Maria degli Angeli durante le osservazioni astronomiche venivano calate delle tende esterne che coprivano i finestroni romani, come testimoniano i ganci delle stesse visibili ancora oggi all'esterno.

In questo modo la Basilica diventava un'enorme camera oscura, dove si poteva formare con il massimo contrasto possibile l'immagine del Sole, che al momento del transito meridiano si stagliava sopra il marmo bianco Pentelico, che ne favoriva la visione.

L'astronomo segnava la posizione dei due lembi superiore e inferiore dell'immagine solare, e l'assistente segnava i tempi di contatto del lembo precedente e quello seguente con il centro della linea meridiana materializzata da una lista di ottone.

Ancora oggi è possibile ripetere questa procedura, anche se la Basilica resta illuminata dai finestroni e il contrasto non arriva al livello delle osservazioni settecentesche.

I tempi di questi fenomeni possono essere rilevati con una precisione molto maggiore grazie alle tecniche video che sono state sviluppate dallo scrivente nel corso degli ultimi dodici anni, sulla base di analoghe tecniche in uso nell'astrometria solare con transiti meridiani e durante eclissi di Sole. È già stata provata l'accuratezza raggiungibile con queste riprese video, dell'ordine di un decimo di secondo di tempo, e con il metodo di segnare i bordi Nord e Sud (inferiore e superiore) del Sole che raggiunge il secondo d'arco in declinazione.

In questo articolo presentiamo la prova che questa precisione era la stessa già nel primo anno di funzionamento della meridiana, ancora prima dell'inaugurazione con il papa Clemente XI il 6 ottobre 1702.⁴

³ H. Andrei, C. Sigismondi and V. Regoli, *Recent developments and prospects in ground-based and space astrometry*, in JOURNÉES 2014 SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE SPATIO-TEMPORELS, Pulkovo Observatory, St. Petersburg, Russia 22-24 September 2014.

⁴ Costantino Sigismondi, *Pinhole Solar Monitor tests in the Basilica of Santa Maria degli Angeli in Rome, in Solar Activity and its Magnetic Origin*, "Proceedings of the 233rd Symposium of the International Astronomical Union", Cairo, Egypt, March 31 - April 4, 2006,

3. Il primo solstizio d'inverno alla meridiana: 1701

In calce a una lettera che Bianchini scrisse al papa Clemente XI nel 1702 sono riportati i dati delle osservazioni compiute durante il solstizio invernale del 1701 dal 19 dicembre 1701 al 2 gennaio 1702.⁵

Riportando in grafico questi dati si tracciano le parabole che meglio si adattano a descrivere le intersezioni dei bordi Sud e Nord del Sole; dai loro parametri si ricavano gli istanti del solstizio d'inverno e le posizioni dei due bordi.

Il fit quadratico dà 22.17 dicembre per il bordo Sud e 21.94 dicembre per il bordo Nord, la media è 22 dicembre alle ore 00:26 UT. Le effemeridi del Bureau de Longitudes (oggi IMCCE) danno per quel solstizio 21 dicembre ore 23:35 UT in ottimo accordo con il calcolo sui dati di Bianchini.

Lo stesso fit quadratico fornisce i valori delle intersezioni Sud e Nord dell'immagine solare al momento del solstizio:

Sud: 220.595
Nord: 215.228



Fig. 3 - La Meridiana Clementina presso il Capricorno

Edited by Volker Bothmer; Ahmed Abdel Hady. Cambridge: Cambridge University Press, 2006, p.521-522.

⁵ Francesco Bianchini, *Lettera a Papa Clemente XI*, Roma Biblioteca Vallicelliana, 1702; Francesco Bianchini, *De Nummo et Gnomone Clementino*, Roma, 1703; V. Regoli, *Monsignor Francesco Bianchini e papa Clemente XI: Scienza e cultura nella Roma del settecento*, tesi di Master in Scienza e Fede, Roma, Ateneo Pontificio Regina Apostolorum, 2014.

La posizione del centro del Sole calcolato al momento del solstizio si ricava scorpendo prima l'effetto della rifrazione su ciascuno dei due bordi; questo effetto nell'approssimazione al primo ordine della formula di Laplace, che a quel tempo veniva chiamata "rifrazione Cassiniana".

La formula di Laplace è:

$$(1) \quad z' = z - 60'' \cdot \tan(z)$$

dove z è la distanza zenitale in gradi come sarebbe senza l'effetto atmosfera e z' è il valore rifratto dall'atmosfera.

Il risultato per il nostro calcolo trova il centro del Sole a una declinazione di $-23^\circ 28' 48''$.⁶

Per ottenere il corrispondente valore dell'obliquità media dell'eclittica occorre tenere ancora conto della fase della nutazione a quel tempo, che l'IMCCE calcola in $\Delta\epsilon = -6.3''$.

Conseguentemente l'obliquità media per il 1702.0 osservata a Santa Maria degli Angeli vale $23^\circ 28' 54''$; il valore calcolato da J. Laskar è $23^\circ 28' 40''$.

La differenza di $14''$ ottenuta con la formula di Laplace che è approssimata al primo ordine, corrisponde a 7 millimetri sul pavimento della meridiana nei pressi del Capricorno.

Si noti che questa differenza è tra un valore osservato ed uno stimato da una teoria, tra le cui verifiche osservative va incluso anche questo valore osservato.

4. Calibrazione della meridiana⁷

La quota del foro stenopeico determina tutta la calibrazione della meridiana, e una sua minima variazione comporterebbe uno

⁶ Costantino Sigismondi, *Measuring the position of the center of the Sun at the Clementine Gnomon of Santa Maria degli Angeli in Rome*, arXiv 1201.0510, (2012).

⁷ Costantino Sigismondi, *Le Meridiane nella Chiesa*, Amici dei Musei 105-106, 119, (2006).



Fig. 4 - Immagine del Sole alla stessa declinazione di Altair, la "Lucida dell'Aquila". Foto del 2 settembre 2014.

spostamento dell'immagine solare tanto maggiore quanto più vicina fosse al solstizio invernale.

Ad esempio: un millimetro di differenza nella quota corrisponde a 2.2 mm di spostamento dell'immagine lungo la linea meridiana.

Il coefficiente di espansione lineare del calcestruzzo romano (opus coementitium) è compreso tra $\alpha \approx 10^{-5} - 10^{-6} / ^\circ\text{C}$; considerando un'escursione termica di 30 °C tra inverno ed estate abbiamo per 20 m di altezza del foro, una variazione di quota compresa tra 1 e 6 mm.

Questa differenza può influire anche sul risultato appena trovato,

in quanto la meridiana potrebbe essere stata calibrata nell'estate del 1701. Ciò implicherebbe un'altezza invernale del foro minore e la misurazione conseguente di una declinazione meno australe.

Immaginando la meridiana calibrata d'estate, la quota del foro era 20.35 m, il punto 220 della linea meridiana si trova a 44.77 m dalla verticale del centro del foro. D'inverno la quota è diventata 20.344 m (misura del febbraio 2006) e il punto 220 dovrebbe quindi trovarsi 13.2 mm più indietro.

Di conseguenza ogni misura espressa in parti centesime di altezza del foro presa d'inverno ha una sistematica differenza rispetto al valore reale segnato sulla meridiana come se la quota del suo foro fosse esente del tutto da espansione termica.

Nel caso ipotetico massimo di 6 mm di escursione estate inverno questa differenza sarebbe di 13.2 mm sulla linea meridiana. Questo significa che leggendo 220 stiamo in realtà 13.2 mm oltre il

punto 220 come sarebbe ottenuto moltiplicando 2.2 volte l'altezza del foro stenopeico invernale.

Quindi sarebbe $220 + 13.2/203.44 = 220,065$, ovvero 26" più a Sud.

Adottando per il coefficiente di espansione termica il valore estremo inferiore $\alpha \approx 1.2 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ si ottiene 0.72 mm di variazione di quota, e 1.6 mm di "accorciamento" della meridiana.

Le misure invernali di declinazione avrebbero così un errore sistematico di 3": i dati corretti devono essere più australi di 3".

Questa correzione va ad aumentare di 3" la discrepanza tra l'osservazione fatta da Bianchini nel dicembre 1701 e la teoria di Jacques Laskar degli anni novanta del novecento.

Manca ancora una misurazione estiva dell'altezza del foro stenopeico, con la quale sarà possibile valutare con maggiore precisione il coefficiente di espansione lineare dell'opus coementitium delle mura diocleziane.

