

Costantino Sigismondi

Lo Gnomone Clementino

Astronomia Meridiana in Basilica



1



SIGISMONDI, Costantino

Lo Gnomone Clementino: Astronomia Meridiana in Basilica / Costantino Sigismondi.

Roma : Ateneo Pontificio Regina Apostolorum, 2008.

24 p. ; 15x21 cm. ; (Scienza e Fede - GeoAstroLab Manuali e Didattica ; 3).

ISBN 978-88-89174-85-2

1. Astronomia di Posizione, Coordinate Celesti. II. Sigismondi, Costantino.

522 - ASTRONOMIA PRATICA E SFERICA

Figura in copertina:

Prima edizione: 22 Dicembre 2008, Solstizio d'Inverno

© 2008 Ateneo Pontificio Regina Apostolorum

Ateneo Pontificio Regina Apostolorum

Dipartimento Pubblicazioni

via degli Aldobrandeschi, 190 - 00163 Roma

E-Mail: pubblicazioni@upra.org

L'indirizzo del nostro sito web è <http://www.upra.org/>

Finito di stampare nel mese di dicembre 2008 da RSB International srl

Lo Gnomone Clementino

Astronomia Meridiana in Basilica

Prefazione

L'astronomia meridiana è alla base dell'astrometria e dell'astrofisica moderna. Lo Gnomone Clementino sta oggi all'astronomia, come il veliero "Amerigo Vespucci" sta alla Marina Italiana. E' possibile svolgere ogni genere di osservazione e studio su questo strumento, e dal 2002 vi tengo lezioni teorico-pratiche del corso di Storia dell'Astronomia e La Terra nel Sistema Solare della Sapienza, Università di Roma, Facoltà di Lettere e Filosofia. Questo testo aggiunge alcuni tasselli alla ricerca storica sulla meridiana, appoggiandosi, com'è naturale, sulle spalle di giganti che mi hanno preceduto in questi studi.

In particolare la misura dell'azimut della meridiana, ed il suo inquadramento tra gli strumenti simili ed alcuni studi di astrometria sui dati del 1701-1703 di Bianchini, che sono apparsi fin'ora soltanto su riviste specializzate ed in Inglese vengono qui proposti in Italiano e semplificati, per valorizzare sempre più questa straordinaria opera d'arte e di scienza.

Introduzione

In occasione dell'anno internazionale dell'astronomia, il 2009, in cui ricorre il quarto centenario delle prime osservazioni di Galileo Galilei con il cannocchiale, è opportuno tornare ad esaminare uno strumento di eccezionale versatilità, come lo Gnomone Clementino, inaugurato nel 1702.

Lo strumento fu fortemente voluto e poi finanziato da papa Clemente XI, tra i suoi primi atti da pontefice. Egli era stato ordinato sacerdote solo il 27 settembre 1700; il 6 ottobre 1700 aveva celebrato la sua prima messa solenne nella Basilica di Santa Maria degli Angeli, allora sede della Certosa, nel giorno di S. Bruno, fondatore dei Certosini. Eletto papa il 23 novembre chiese subito a Francesco Bianchini, astronomo e archeologo veronese, allievo di Montanari, di realizzare lo gnomone, e Bianchini cominciò i lavori il primo gennaio 1701, primo giorno utile per osservare entrambi i transiti meridiani della Polare durante la lunga notte invernale.

La storia che ne precede la realizzazione è densa di sorprese, ed in questo volumetto vogliamo avvicinare i lettori ai vari aspetti sia tecnici che culturali, rimasti sino ad ora appannaggio solo di pochi addetti ai lavori e cattedratici.

Lo Gnomone Clementino, noto anche come Meridiana di Santa Maria degli Angeli, è uno strumento che consente di raggiungere precisioni di un secondo d'arco nella posizione del Sole, pur non essendo provvisto di alcuna ottica.

Potrebbe sembrare strano che proprio nella città dove lavoravano gli ottici più all'avanguardia del XVII secolo:

Eustachio Divini e Giuseppe Campani, che aveva il suo atelier a Piazza Navona, si decida di costruire un grande telescopio solare senza lenti. Eppure ci sono delle ragioni pratiche molto forti, che andiamo ad esaminare.

D'altro canto nei telescopi solari moderni sono state adottate soluzioni tecnologiche spesso molto diverse dai telescopi dedicati alle osservazioni notturne, prima fra tutte la costruzione di Torri solari, dove l'obiettivo fosse il più lontano possibile dal suolo che si riscalda durante il giorno e genera turbolenza atmosferica, possibilmente circondate da uno specchio d'acqua.

Le premesse teorico-pratiche per lo sviluppo di uno strumento del genere risalgono ad Aristotele e alla sua cerchia quanto al fenomeno dell'immagine del Sole prodotta, a sufficiente distanza, da un foro di qualunque forma (Pseudo-Aristotele, *Problemata* III, 15). Ulugh Begh a Costantinopoli costruì nella Basilica di Santa Sofia il primo gnomone a foro stenopeico nel 1437 per uso astronomico. Non si può escludere che l'orologio solare di Gerberto (poi divenuto papa Silvestro II 999-1003) realizzato a Magdeburgo potesse essere dello stesso genere. Paolo del Pozzo Toscanelli a Firenze realizzò nel 1475 lo gnomone nella lanterna del Duomo a 90 metri d'altezza, che resta ancora oggi il più alto del Mondo. Un secolo dopo Egnazio Danti, domenicano, poi vescovo di Alatri, realizzò strumenti simili a Santa Maria Novella a Firenze e a S. Petronio a Bologna, dove nel 1655 Cassini tracciò la sua celebre meridiana con cui "domò i cavalli del Sole" e si conquistò la fiducia del Re Sole che lo chiamò a dirigere l'Osservatorio di Parigi.

La fortuna degli strumenti a foro stenopeico, in principio realizzabili in qualunque epoca storica, ebbe un sussulto subito dopo l'invenzione del telescopio galileiano proprio per l'osservazione delle macchie solari. Keplero stesso osservò le macchie solari senza l'uso di lenti, ma solo con un foro stenopeico che proiettava l'immagine in una camera oscura.

Per questo l'etimologia della parola telescopio, strumento con cui si può "guardare lontano" consente di applicare questo termine sia a strumenti dotati di parti ottiche rifrangenti o riflettenti, sia al nostro gnomone che non ne ha.

Mentre il termine gnomone ha la stessa radice di gnosi, "conoscenza", cioè è uno strumento mediante il quale si può conoscere il moto del Sole.

Infine possiamo citare anche il termine astrolabio, il cui significato è strumento che "prende" gli astri, misurandone quindi altezza e azimuth, e calcolandone orari di levata e tramonto.

Il foro stenopeico, etimologicamente "apertura stretta", è il cuore dello strumento, che raccoglie i raggi del Sole e ne proietta l'immagine fino al lontano tropico, "punto di svolta" del Capricorno, che nella Basilica di Santa Maria degli Angeli sta a quasi 50 metri di distanza.

La linea meridiana materializza sul pavimento la "Via Solis" che il Sole percorre per sei mesi in una direzione e per gli altri sei nella direzione opposta. Il successo della teoria Copernicana o Kepleriana nei confronti del sistema di Tolomeo poteva essere provato solo da strumenti come

questo, capaci di misurare la durata dell'anno tropico, con la precisione di un secondo e di vagliare, quindi, la bontà della riforma Gregoriana del calendario.

Con questi obbiettivi in mente, e la misura della variazione dell'obliquità dell'orbita terrestre, ovvero l'inclinazione dell'asse terrestre sul piano dell'orbita, Francesco Bianchini si mise a realizzare uno strumento, che tra tutte le meridiane a foro stenopeico, resta un *unicum* sia come soluzioni tecniche che per realizzazione artistica. Per questo da tutto il Mondo arrivano in continuazione turisti e studiosi per ammirarlo.

Gnomone Clementino

Questo è il nome che Francesco Bianchini diede allo strumento. Il ruolo chiave svolto dal papa Clemente XI, Gianfrancesco Albani, non era stato ancora messo abbastanza in evidenza nei testi pubblicati fino ad ora.



Il legame tra l'Albani e Santa Maria degli Angeli è ancora più forte di quello che oggi Benedetto XVI mostra di avere con la Basilica di S. Paolo dove sono i monaci Benedettini. Il 6 ottobre è la festa di S. Bruno, e proprio in quella data il papa venne ad inaugurare la meridiana nel 1702, secondo anniversario della sua prima messa solenne ivi celebrata. Si tratta di qualcosa di

più che puro mecenatismo illuminato. Queste notizie sono state desunte dai carteggi del Bianchini conservati alla biblioteca Vallicelliana in Roma.

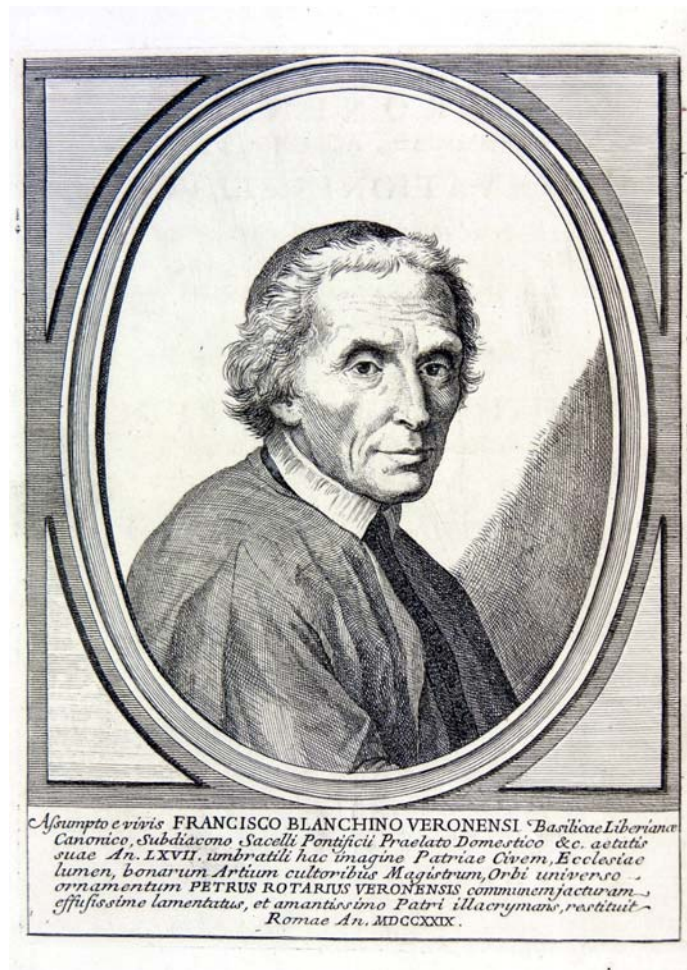
Francesco Bianchini

Veronese (1662-1729), studiò a Padova, svolse il ruolo di soprintendente dei beni archeologici di Roma. Conobbe Newton, oltre alle misure con lo gnomone clementino, pubblicò studi su Venere e contribuì alla realizzazione della prima carta geografica dello stato pontificio.

Insieme alle osservazioni fatte allo gnomone bolognese poté correggere le longitudini relative di Bologna e Roma, “raddrizzando” l’Italia tolemaica che come tutta l’Ecumène si estendeva molto di più del vero in longitudine.

Infatti in tutte le rappresentazioni antiche dell’Italia, l’asse dello stivale è molto inclinato nella direzione Est-Ovest.

FOTO ITALIA ANTIQUA



Bianchini nominato canonico di Santa Maria Maggiore, dove è sepolto, prese solo gli ordini minori di suddiacono.

Come è stata tracciata la meridiana

La scelta della Basilica di Santa Maria degli Angeli fu dettata anche da motivi di ordine pratico. La Basilica era abbastanza grande da poter ospitare una linea lunga 45 metri e le mura, che appartenevano alle Terme di Diocleziano, dopo 14 secoli non avevano più movimenti di assestamento.

Giandomenico Cassini a Bologna aveva dovuto ricollimare dopo quaranta anni il suo famoso gnomone poiché la posizione del foro stenopeico, posto nella volta di una campata laterale di San Petronio, era leggermente mutata.

Leonardo Ximenes, gesuita, che ripristinò nel 1761 con gli auspici del granduca di Toscana lo gnomone del Toscanelli, verificò gli stessi problemi per la cupola di Santa Maria del Fiore: questa si muoveva leggermente nel corso delle stagioni, quanto bastava per influire sulle misure fatte con lo gnomone.

Per tracciare la meridiana, una volta collocato il foro stenopeico in un vano apposito a 20.344 m di quota sul pavimento della chiesa, Bianchini doveva conoscere la verticale del foro, la direzione Nord – Sud e la latitudine del luogo.

Per la verticale usò il filo a piombo, smorzandone nell'acqua le piccole oscillazioni.

Azimut

Per determinare la direzione Nord – Sud, Bianchini si valse di una meridiana ausiliaria che era a Palazzo Venezia, e quando su questa avveniva il transito del Sole egli fissava sul pavimento della Basilica la posizione del Sole. In questo modo, se la meridiana ausiliaria aveva un errore di orientamento questo venne trasferito anche a quella di Santa Maria degli Angeli.

Il metodo usato da Cassini a Bologna, quello di adoperare il transito del Sole su cerchi di uguale altezza, non era praticabile a Santa Maria degli Angeli poiché sia la conformazione del vano dove è alloggiato il foro stenopeico, sia la posizione della linea meridiana rispetto alla crociera e alle colonne, non consentono di vedere più l'immagine del Sole passati alcuni minuti dopo il mezzogiorno locale.

Il metodo dei cerchi di uguale altezza, invece, richiede l'osservabilità del Sole sia prima che dopo il meridiano, ed è per questa ragione che Bianchini usò una meridiana ausiliaria.

La deviazione dal Nord, verso l'Est, è di $4' 28.6'' \pm 0.6''$ della retta che parte dalla verticale originale del foro e giunge al punto estremo della linea nel Capricorno, e riflette l'errore già presente nella meridiana ausiliaria.

Altre meridiane storiche mostrano deviazioni anche maggiori, che tendono a diminuire man mano che il calcolo delle effemeridi Kepleriane si stabilizza.

Le misure della seguente tabella sono state prese per la prima volta o ricontrollate dall'autore, salvo per la meridiana di

Tycho di cui esiste una testimonianza della spedizione all'isola di Hven in Danimarca organizzata appositamente dall'Accademia di Francia guidata dall'astronomo abate Jean Picard. Questa stessa misura viene citata da Ruggero Boscovich, astronomo gesuita che già nel 1750 aveva valutato correttamente la deviazione dal Nord della linea clementina.

Toscanelli 1475 (Duomo Firenze)	-19' 54"
Tycho Brahe 1571 (Uraniborg, Hven)	-17'
Cassini 1655 (San Petronio, Bologna)	+2' 09"
Bianchini 1702 (Santa Maria degli Angeli)	+4' 28.6"
Celsius 1734 (Santa Maria degli Angeli)	+2'
Boscovich e Maire 1750 (S. M. degli Angeli)	+4' 30"
Ximenes 1761 (Duomo Firenze)	-27"
De Cesaris 1786 (Duomo Milano)	+0' 06"
Gigli 1817 (Piazza S. Pietro, Roma)	-5'36"

Nella tabella ho inserito anche le ricognizioni storiche del Celsius e dei gesuiti Boscovich e Maire, che studiarono a fondo la meridiana. Essi dovevano confrontare gli istanti dei passaggi del Sole con delle effemeridi (tabelle di passaggi del Sole al meridiano), che evidentemente diventavano sempre più accurate col passare degli anni. Bianchini usava quelle pubblicate a Bologna da Flaminio Mezzavacca, dove i metodi di calcolo dell'equazione di Keplero erano ancora un po' imprecisi. Boscovich e Maire riportarono che i transiti solari ai

solstizi estivi ed invernali avvenivano rispettivamente con 5 e 17 secondi di ritardo rispetto al tempo segnato da una meridiana realizzata in modo accurato partendo da principi primi, come il metodo dei cerchi di uguale altezza, corretto per le variazioni orarie di declinazione del Sole.

I ritardi della meridiana di Santa Maria degli Angeli possono essere verificati anche oggi confrontando gli istanti dei passaggi calcolati con le effemeridi con quelli misurati con un orologio radio controllato: si ritrovano valori vicini a quelli presi dai due padri gesuiti.

Latitudine

Per conoscere la latitudine del luogo Bianchini dovette realizzare la meridiana boreale, da cui osservare direttamente da dentro la Basilica la stella Polare.

Con il telescopio, durante la prima settimana di Gennaio del 1701, grazie alla lunghezza delle notti e al tempo siderale, egli poté osservare e misurare entrambi i transiti meridiani della stella Polare: quello superiore alle 6 di sera e quello inferiore alle 6 del mattino.

Utilizzando poi le tavole di Cassini per la correzione della rifrazione atmosferica, Bianchini poté valutare la posizione del Polo Nord Celeste apparente, che sta a metà tra la culminazione –o transito- superiore e quella inferiore della Polare, con una precisione che oggi sappiamo essere stata di 1 secondo d'arco, il meglio possibile per gli strumenti dell'epoca.



Il polo del mondo si eleva sopra l'orizzonte di $41^{\circ} 54' 30''$, così fece scrivere in Latino sul marmo che rappresenta le orbite quotidiane della stella Polare durante tutti gli anni giubilari dal 1700 al 2500. Il dato che pubblicò nel suo testo *De Nummo et Gnomone Clementino* (1703) era leggermente inferiore $41^{\circ} 54' 27''$, e corrisponde entro $1''$ alla posizione del polo apparente per la prima settimana di gennaio.

Ho parlato di polo apparente poiché, a causa dell'aberrazione della luce, scoperta da James Bradley nel 1727, ogni stella compie in un anno un'orbita di raggio $21''$ attorno alla sua posizione media, che sarebbe quella che vedremmo se la Terra fosse ferma al centro dell'Universo come nel modello di Tolomeo. Bianchini non conosceva ancora questo effetto, che fu la prima vera prova dinamica della rivoluzione terrestre.

Oggi con il GPS le coordinate, riferite all'ellissoide WGS84 sono:

Latitudine $41^{\circ} 54' 11.2''$ N

Longitudine $12^{\circ} 29' 51.2''$ E

Se Bianchini avesse fatto le misure dei transiti della Polare 6 mesi dopo avrebbe trovato un valore della latitudine diverso, inferiore a quello del GPS della stessa quantità di cui il dato di gennaio lo superava. Ma il primo luglio il transito superiore cadeva alle 17:38 in pieno giorno, e quello inferiore alle 5:36, al mattino, condizioni difficili per osservare la Polare.

Parti Centesime e Tangenti

Per stabilire un sistema di riferimento sulla linea meridiana, seguendo l'esempio della meridiana di Bologna, Bianchini riportò le parti centesime dell'altezza del foro stenopeico, di modo che in corrispondenza del numero 100 la linea e la verticale del foro formano un triangolo rettangolo isoscele, ed il foro visto da quel punto si eleva con un angolo di 45° .

In questo modo la linea arriva fino al numero 220, che corrisponde all'altezza del bordo inferiore del Sole nella sua culminazione più bassa di tutto l'anno: al solstizio d'Inverno.

SCHEMA IPOTENUSA ai solstizi

L'angolo formato con il pavimento, dall'ipotenusa del triangolo che ha come cateti la verticale del foro alta 100 e la linea lunga 220, vale $\text{arctangente}(100/220)=24^{\circ} 26'$.

La corrispondente distanza dallo zenit vale invece $\arctan(220/100)=65^{\circ} 33'$.

Le misure allo Gnomone Clementino si basano tutte sulla funzione trigonometrica della tangente, per questo lo gnomone è un vero e proprio monumento a questa funzione trigonometrica, insieme al corrispondente triangolo rettangolo di riferimento che è pienamente materializzato quando al momento del transito meridiano i raggi del Sole ne descrivono l'ipotenusa. Sul lato Ovest della linea meridiana (verso l'ingresso della Basilica) è tabulata proprio la distanza zenitale in corrispondenza dei gradi interi.

FOTO ECLISSI

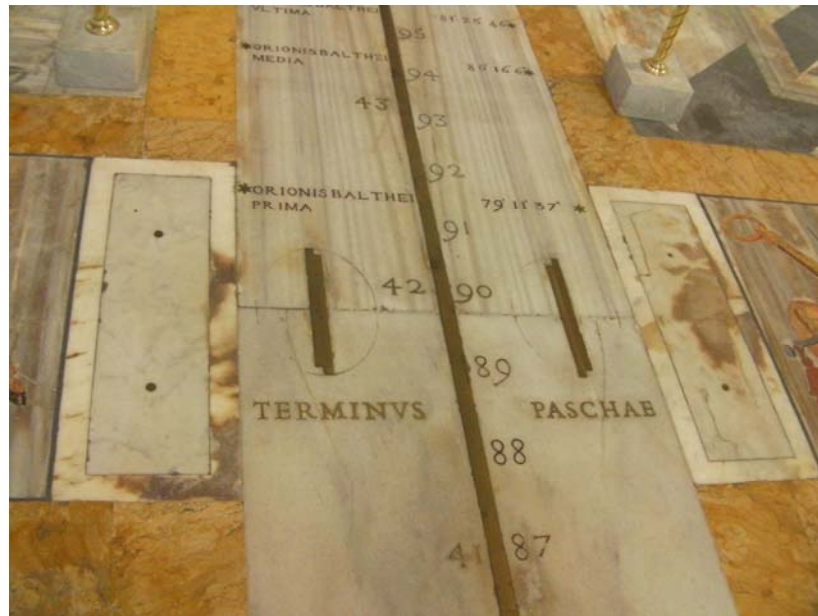
Posizione dell'Equatore Celeste

Una volta determinata la latitudine del luogo, la posizione dell'equatore è una linea perpendicolare alla meridiana che la interseca ad una distanza ben precisa.

La distanza zenitale dell'equatore è pari alla latitudine, perciò la linea dell'equatore si trova a $100 \cdot \tan(41^{\circ}54'27'')=89.75$ parti centesime dal piede della verticale del foro.

Bianchini tenne conto anche della correzione cassiniana dovuta alla rifrazione atmosferica, che innalza di circa 1' la posizione apparente dell'equatore, per cui la posizione esatta risulta $100 \cdot \tan(41^{\circ}55'27'')=89.80$ parti centesime.

L'equatore è lo zero della declinazione. Declinazioni boreali (a nord dell'equatore) sono verso il piede della verticale del foro, declinazioni australi sono verso il Capricorno.



La prima stella della cintura di Orione nel 1701 era a Sud dell'equatore, che è la linea trasversale che passa ad 89.80 parti centesime. L'ordine delle famose tre stelle della cintura di Orione, chiamate anche "i tre Re", o "las tres Marias" in America latina, è quello del passaggio al meridiano, la prima è quella che passa per prima, quindi la più a Ovest delle tre, e così via. Oggi la prima stella della cintura di Orione si è avvicinata all'equatore celeste per effetto della precessione

degli equinozi dimezzando quella che era la sua distanza del 1701, tra altri tre secoli sarà passata nell'emisfero boreale.

Posizioni dei Segni Zodiacali

I magnifici segni zodiacali, realizzati con la tecnica delle tarsie marmoree sotto la guida di Carlo Maratta (1656-1713) a riprodurre le costellazioni della celebre Uranometria di Johannes Bayer (1603).

Le posizioni dei segni sono calcolate sempre con formule trigonometriche e sono quelle corrispondenti a 12 settori uguali, di 30° ciascuno, dell'orbita che il Sole compie nel Cielo.

L'eclittica è l'orbita del Sole nel Cielo, e si chiama così perché su questo percorso avvengono le eclissi.

Per convenzione, mantenuta dal Bianchini e valida ancora oggi, si chiama Ariete il settore di 30° che segue l'equinozio di primavera, Toro il successivo e così via.

Questo fa sì che i segni siano accoppiati a due a due, salvo Capricorno e Cancro, e sul lato Ovest della meridiana sono rappresentati i segni percorsi dal solstizio invernale fino a quello estivo e sull'altro lato quelli dal solstizio estivo verso quello invernale.

Con il programma di effemeridi Ephemvga, disponibile sul sito web della Basilica www.santamariadegliangeliroma.it menù meridiana, calcolo delle effemeridi, ci si può divertire a vedere i valori della declinazione che corrispondono all'inizio

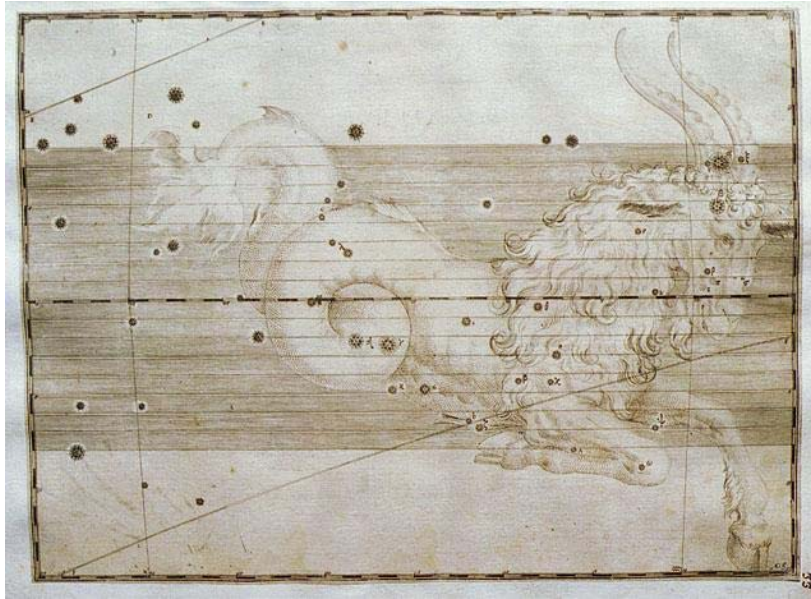
dei vari segni zodiacali, avendo l'accortezza di fissare la longitudine eclitticale (Hlong) del Sole a multipli interi di 30° .

Dalla declinazione si passa poi alle distanze zenitali, aggiungendo quella alla latitudine del luogo.



In queste immagini abbiamo il confronto tra il Capricorno in Basilica e quello di Bayer.

Mancano soltanto le stelle α e β vicino all'occhio e al corno sinistro dell'animale, ma le altre sono tutte riprodotte fedelmente al loro posto.



Posizioni delle Stelle fisse

Bianchini utilizzò il catalogo stellare di Philippe de La Hire, allievo di Jean Picard, aggiornato al 1701 per selezionare le stelle di cui rappresentare le coordinate sulla meridiana.

In realtà non ne fa menzione nel testo *De Nummo et Gnomone Clementino* quanto alla costruzione della meridiana, dove peraltro omette di descrivere molti altri dettagli, tuttavia le nomina in occasione di alcune loro osservazioni.

Nel recente restauro in occasione del grande Giubileo del 2000 le stelle presso la linea meridiana sono state ripristinate, anche se è stato commesso qualche errore di trascrizione. In

particolare per l'omissione di un segno negativo le stelle: Leonis Cauda, Pegasi Os, Geminorum Pes Lucidus e Arietis Lucida sono finite nell'emisfero opposto.

Le due coordinate per individuare una stella nel Cielo sono declinazione ed ascensione retta nel sistema equatoriale e l'origine delle coordinate è nell'equinozio di Primavera.

La precessione degli equinozi modifica gradualmente queste coordinate, poiché sposta l'equinozio di Primavera rispetto alle stelle fisse.

Inoltre, essendo rigorosi, anche le stelle hanno un loro moto proprio, che proprio negli anni in cui lo Gnomone Clementino cominciava a già funzionare veniva scoperto da Edmund Halley sulle coordinate di alcune delle stelle più brillanti.

Oggi Sirio, per effetto del suo solo moto proprio in declinazione di $1.211''$ per anno si è spostata di $373''$ verso Sud, cioè 0.65 parti centesime, più di mezza tacca.

La precessione negli ultimi 3 secoli ne ha modificato molto di più la declinazione. Se "de-precessioniamo" le coordinate attuali di Sirio, ed in particolare la sua declinazione che oggi vale $-16^{\circ}45'$ e corrisponde al numero 163.93 (con la correzione cassiniana), troviamo che nel 1701 sarebbe dovuto essere al numero 162.12, sempre con la correzione cassiniana. La stella invece è riportata nella posizione 161.2. La differenza, pari a quasi una tacca intera è dovuta al suo moto proprio.



Bianchini, nel suo testo, riporta le osservazioni dei transiti di Sirio fatte anche durante il giorno, ed il loro valore in parti centesime andava da 161.28 (d’Inverno) a 161.38 (d’Estate) a causa della diversa densità dell’atmosfera.

Data osservazione	Posizione di Sirio
01/08/1702	161340
08/08/1702	161358
23/09/1702	161330
8/1/1703	161280
3/2/1703	161280
14/3/1703	161280
12/5/1703	161320
11/7/1703	161380

Riassumendo: nel caso di Sirio abbiamo che la precessione in tre secoli ha spostato la coordinata lungo la linea meridiana di 2 parti centesime verso i numeri più alti, mentre il moto proprio (differente

da stella a stella) di poco più di metà nella stessa direzione.

Il moto proprio di Sirio è particolarmente grande perché Sirio si trova a 8.6 anni luce da noi, tutte le altre stelle, essendo molto più lontane manifestano moti propri ancora più piccoli.

Ringraziamenti

A Mario Catamo e Cesare Lucarini che mi hanno preceduto ed illuminato nello studio di questo magnifico strumento. A Mons. Giuseppe Blanda e Mons. Renzo Giuliano che mi hanno consentito ed incoraggiato per tutte le misure in Basilica, fino a collocare la S. Messa quotidiana alle 12:30, che in ora solare segue sempre il transito meridiano ed in ora legale lo precede.

Referenze

Juergen Giesen (2007)

<http://www.jgiesen.de/SiderealTimeClock/index.html> è un Applet Java per il calcolo del TS per ogni luogo con precisione al centesimo di grado di longitudine.

US Naval Observatory Time Service (2008)

<http://tycho.usno.navy.mil/sidereal.html> permette il calcolo del TS apparente istantaneo (include l'equazione degli equinozi).

Elwood Charles Downey (1992) Ephemvga 4.27, software free su www.santamariadegliangeliroma.it menù meridiana, calcolo delle effemeridi.

Cesare Barbieri (1999), *Lezioni di Astronomia*, Zanichelli (Bologna)

Elio Fabri e Umberto Penco (2003), *Lezioni di Astronomia*, Università di Pisa cap. 5-6.

<http://www.df.unipi.it/~penco/Astronomia/>

Peter Duffett-Smith (1983), *Astronomia Pratica*, Sansoni (Firenze) p. 38.

Costantino Sigismondi (2006), *Misura della declinazione magnetica a Roma usando l'azimut del Sole*, in *Meridiane e Longitudini a Roma*, Semestrale di Studi e Ricerche di Geografia, Università "La Sapienza", p. 164-169. Metodo qui applicato per misurare l'anomalia magnetica confrontando con misure di bussole.

Costantino Sigismondi (2008), *Effemeridi*, Introduzione al Calcolo Astronomico, Ateneo Pontificio Regina Apostolorum.

Costantino Sigismondi (2008), *EEEtest.xls* Simulatore di dati EEE, <http://www.upra.org/articulo.phtml?se=11&id=2644>

I parametri utilizzati sono quelli delle coordinate geografiche dell'Aquila. Lo stesso file è presente anche su www.santamariadegliangeliroma.it menù Meridiana, Studi Sigismondi: l'obiettivo dello Gnomone Clementino è fisso ed il cielo che si può vedere attraverso cambia istante per istante, perciò l'identificazione delle coordinate assolute e del tempo

siderale è utile anche per ricavare le coordinate del Sole al momento del transito. Terzo sito ospitante è www.icra.it/solar del Laboratorio di Fisica Solare "Alessandro Cacciani" nella sezione pubblicazioni.

IERS International Earth Rotation Service, bollettino C del 4/7/2008

<http://hpiers.obspm.fr/iers/bul/bulc/bulletinc.dat> in futuro questo link terminerà con /bulletin.37

Indice

Prefazione	3
Introduzione	4
Gnomone Clementino.....	7
Francesco Bianchini.....	9
Come è stata tracciata la meridiana	11
Azimut	12
Latitudine	14
Parti Centesime e Tangenti	16
Posizione dell'Equatore Celeste	17
Posizioni dei Segni Zodiacali.....	19
Posizioni delle Stelle fisse.....	21
Ringraziamenti	24
Referenze	24
Indice.....	27