L'equatore allo gnomone clementino: ricognizione su dieci equinozi 2019-2026

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*
(ICRANet Pescara; UPRA; Istituto Scienza e Fede, Roma)
Andrea Brucato, Andrea Radano e Riccardo Iafrate
(Sapienza Università di Roma)
Submitted May 18 th, revised and published June 1st 2026

Abstract The Equinox is defined as the instant when the solar center crosses the celestial equator, as seen from the Geocenter. The measures of eight vernal and two fall equinoxes made with the Clementine Gnomon in St. Maria degli Angeli in 2019-2026 are referred to the "aberrated" equinoctial line on the floor, traced by Francesco Bianchini in 1701. All the calculated times locate the true equator about 1.3 mm South of the Bianchni's line in March and 0.65 mm South in September. The original quote of the pinhole q=20345 mm is the same of today; while the barycenter of the pinhole is now 4 mm South than the original.

Sommario L'equinozio è definito come l'istante in cui il centro del Sole attraversa l'equatore celeste, visto dal centro della Terra. Le misure di sette equinozi vernali e due autunnali prese allo Gnomone Clementino in S. Maria degli Angeli dal 2019 al 2026 sono riferite alla linea equinoziale sul pavimento, che è ancora quella originale ed "aberrata" di Francesco Bianchini (1701). L'equatore vero è 1.3 mm a Sud di quella linea a Marzo e 0.65 mm a Sud a Settembre, a causa dell'espansione termica delle mura romane. La quota originale del foro stenopeico era q=20345 mm ed il baricentro del foro attuale è spostato di 4 mm a Sud. **Keywords:** Clementine Gnomon; Francesco Bianchini (1662-1729); Equinox.

Introduzione: L'equinozio di Primavera, o Vernale secondo una parola classica, che deriva dal Latino "Ver"=Primavera, nel 2026 è accaduto alle 15:45:47 CET,[1] tempo medio dell'Europa Centrale. Si tratta di un fenomeno Geocentrico, quindi "non visibile" da Roma, ma solo calcolabile con l'opportuna correzione. A Santa Maria degli Angeli abbiamo a disposizione misure dal 16 al 25 marzo 2026 della posizione del Sole in meridiano, e del tempo di passaggio. Da queste si può ricavare, mediante un fit cubico, per tenere conto di un flesso, l'istante in cui il centro del Sole attraversa la linea "fiduciale" dell'equinozio, tracciata da Francesco Bianchini nel

[1] Effemeridi IMCCE https://ssp.imcce.fr/forms/seasons

1701. Quella linea è riferita alla latitudine λ_a=41°54′27″ del foro stenopeico; Bianchini la aveva ottenuta mediante le misure dei transiti superiore ed inferiore della Stella Polare tra il 1 e l'8 gennaio 1701, corretti dalla rifrazione, ma non dall'aberrazione stellare. Infatti la vera latitudine è λ_v=41°54′11.2″.

Aberrazione stellare, rifrazione e latitudine: la Stella Polare nella prima settimana dell'anno è affetta da un'aberrazione stellare che ne alza la posizione apparente sopra l'orizzonte di 16″ (Sigismondi, 2006). Di conseguenza la vera latitudine è λ_v=41°54′11.2″ e l'equatore celeste interseca il meridiano ad altezza a_o=90°-λ_v=48° 05′48.8″. Se aggiungiamo la correzione di rifrazione di Cassini –adottata anche da Francesco Bianchini (1703) in tutti i suoi calcoli- per tenere conto della rifrazione atmosferica, l'altezza meridiana dell'equatore vale $h'=h_o+60''\cdot\tan(z_0)$. Con la latitudine aberrata λ_a, l'altezza meridiana dell'equatore risultava 15.8″ minore, con la linea corrispondente 2.77 mm più a Nord dell'equatore vero (che è rimasto tale anche oggi, 325 anni dopo, senza modifiche alla quota e alla posizione del foro stenopeico).

L'equinozio geocentrico accade, per Roma, con il Sole sotto l'equatore topocentrico di 5.87″, che è l'angolo che la posizione di Roma, proiettata sull'asse terrestre, forma rispetto alla distanza Terra-Sole, con il Sole sul piano dell'equatore terrestre. Quindi all'istante dell'equinozio geocentrico, il centro del Sole è ancora 5.9″ sotto l'equatore topocentrico, ossia 1.04 mm verso Nord sulla meridiana. Quindi Bianchini deve aver spostato la linea che ci permette di "vedere" l'equinozio geocentrico di altri 1.04 mm verso il Capricorno.[2]

[2] La scala angolare di 5.65"/mm sulla meridiana all'equatore si ricava così: al 20 marzo 2026 il diametro del Sole misurato vale 360.8±2.2 mm, decurtato della penombra efficace (19.4 mm) vale 341.4±2.2 mm

La Linea dell'equatore di Bianchini rappresenta il cuore del programma astrometrico dell'astronomo veronese: misurare la durata media dell'anno tropico a partire dai dati di Bernard Watlher (1430-1504) con i dati equinoziali più precisi possibile. Questa non includeva l'aberrazione stellare (scoperta da James Bradley nel 1727, e inclusa nelle misure della Stella Polare del 1701), ma doveva includere lo spostamento per il Geocentro. Quindi la linea che divide sulla meridiana la porzione Nord da quella Sud corrisponde all'equatore geocentrico aberrato, ma corretto per la rifrazione Cassiniana, cioè distante dal piede del foro stenopeico $d=h\cdot\tan(41.894172°)$. Misurando $d=18250.85\pm0.15$ mm, dal centro della vaschetta quadrata al piede del foro stenopeico, otteniamo $h=20345.07\pm0.17$ mm.

Il foro stenopeico attuale è a 20.345 m di quota, un disco di acciaio di 25 mm di diametro, posto sopra il foro originale. Visto da 80 metri sul pavimento della Basilica, nella Cappella di San Bruno, il foro è completamente oscurato, come accadrebbe ad un cilindro spesso 6.22 mm.

Al di sotto di quel disco c'è il bronzo in cui Giuseppe Campani (1635-1715) ha ricavato il foro stenopeico circolare di 20.3 mm alla sua quota originale, successivamente manomesso (Sigismondi, 2009; Catamo e Lucarini 2012).

Il foro stenopeico efficace è comunque alla stessa quota di quello del 1701, perché il disco d'acciaio che lo ombreggia è tangente a quello originale sottostante. Per effetto dello spessore del disco, la sua ombra riduce il diametro meridiano d'Inverno, fino a $\varnothing$ =11.5 mm, permettendo di osservare bene le macchie solari, infatti l'angolo di diffrazione deve essere prossimo a quello sotto cui è visto il diametro dal piano focale, che in Inverno è a 50 metri (Sigismondi, 2002). In formule $\lambda/\varnothing$

corrispondenti a 1927.28" topocentrici.

≈ ø /f, con λ=550 nm e focale f≈50 m; $Ø^2=\lambda \cdot f=2.75 \cdot 10^{-5} m^2$, da cui ø =5.24 mm, per soddisfare esattamente alle condizioni teoriche. Agli equinozi il diametro efficace è 19.4 mm e solo le macchie solari più grandi possono vedersi.

L'equatore reale lo otteniamo, per gli equinozi vernali dal 2023 al 2026, calcolando il tempo che trascorre tra l'equinozio geocentrico (dato ricavato dalle effemeridi IMCCE) ed il passaggio sulla linea equatoriale di Bianchini.

Effemeridi per il 2026 (IMCCE) e confronto con il fit

L'istante dell'equinozio vernale (geocentrico) è il 20 marzo 2026 alle 15:45:57 CET. Il fit quadratico dei dati meridiani riportati in tabella 1 interseca l'equatore 1701 alle 15:38:45 CET, in anticipo di 7 minuti 12 secondi rispetto alle effemeridi, il fit cubico alle 15:40:33, in anticipo di soli 5 m 24 s.

La velocità meridiana istantanea all'equinozio è valutata da un fit lineare delle velocità medie giornaliere calcolato proprio all'istante dell'equinozio. Il valor medio su cinque equinozi dal 2022 al 2026 vale v=256.0±0.7 mm/dì.

L'anticipo di 5.4 minuti del passaggio sulla Linea Equatoriale del Bianchini, rispetto all'equinozio vero del 2026 ci dice quanto questo disti dalla Linea di Bianchini: d=256.7·(5.4/1440)=1.28 mm, verso Sud.

Data [Marzo '26]	Bordo N [mm]	Bordo S	Centro*
16.513125	912.0	1253.0	1079.5
17.51291667	629.0	1000.0	811.6
18.51270833	369.0	739.0	551.1
19.5125	112.0	472.0	289.2
20.51229167	-142.0	217.5	35.0
23.51166667	-884.0	-533.0	-711.2

24.51145833	-1127.0	-777.5	-954.9
25.51125	-1368.5	-1027.0	-1200.4

Tabella 1. Dati meridiani dal 16 al 25 marzo 2026.
Le posizioni sono tutte prese rispetto alla linea dell'equatore del 1701. * La posizione del centro è stata corretta per l'apertura efficace del foro stenopeico, a causa dell'ombreggiamento del bordo del disco metallico del foro.

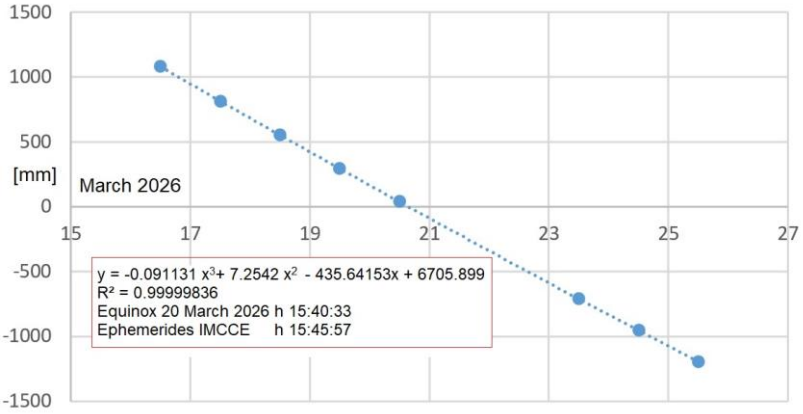


Fig. 1 Distanze del centro dell'immagine solare in mm dalla linea dell'equatore del 1701; e fit cubico. L'incertezza statistica sullo zero delle cubiche (istanti degli equinozi) in tabella 2 è ± 2.5 minuti, che corrisponde a ±2.5″ nella declinazione del centro del Sole.
Tutte queste operazioni sono state ripetute per i dati degli equinozi vernali (sette) ed autunnali (due) tra il 2019 ed il 2026

Effemeridi degli equinozi vernali e misure dal 2019 al 2026

Anno	IMCCE-CET	SMA-CET	ΔEquatore
2019- 11 gg	20/3 22:58	20/3 22:52	1.2 mm Sud
2020- 7 gg	20/3 03:50	19/3 21:45	65mm Nord
2021- 6 gg	20/3 10:37	20/3 10:34	0.6 mm Sud
2022- 12 gg	20/3 16:33	20/3 16:19	2.6 mm Sud
2023- 9 gg	20/3 22:24	20/3 22:17	1.3 mm Sud
2024- 6 gg	20/3 04:06	20/3 04:02	0.7 mm Sud
2025-.. 7 gg	20/3 10:01	20/3 09:51	1.8 mm Sud
2026- 8 gg	20/3 15:46	20/3 15:40	1.3 mm Sud

Tab. 2 Sinossi dei dati degli equinozi vernali: se valutati sulla linea dell'equatore di Bianchini, risultano sempre in leggero anticipo sulle effemeridi. SMA= S. Maria degli Angeli. L'**equatore reale di Marzo** è spostato di 1.36±0.68 mm verso Sud. Tutti gli equinozi sono stati calcolati con il fit cubico sui dati giornalieri dei centri* delle immagini solari in meridiano. I dati del 2020 sono solo precedenti all'equinozio, ultima misura posssibile il 12 marzo, per questo il risultato è affetto da un grande errore (±10 ore).

Effemeridi degli equinozi autunnali e misure 2022 e 2025

Anno	IMCCE-CEST	SMA-CEST	ΔEquatore
2022- 5 gg	23/9 03:04	23/9 03:06	0.4 mm Sud
2025-.. 9 gg	22/9 20:19	22/9 20:24	0.9 mm Sud

Tab. 3 Sinossi degli equinozi autunnali.

La velocità meridiana all'equinozio autunnale vale 246.4±0.2 mm/dì.

Le velocità meridiane sono diverse da un equinozio

all'altro, perché la Terra si trova in posizioni e con velocità diverse sulla sua orbita attorno al Sole.

Le due misure degli equinozi di Settembre sono compatibili con l'**equatore reale di Settembre** di 0.65±0.25 mm a Sud della Linea di Bianchini.

La differenza tra l'equatore reale di Marzo e quello di Settembre è dovuta all'**espansione termica** delle mura romane della Basilica, in particolare del muro dove si trova alloggiato il foro stenopeico. La variazione sulla meridiana corrisponde a 0.8±0.8 mm in quota. Il limite superiore per il coefficiente di espansione termica lineare del muro romano (mattoni e calcestruzzo) risulterebbe $0.8\pm0.8/20345/11.4°C=3.4\pm3.4\cdot10^{-6}/°C$, pari ad 1/3 di quello del calcestruzzo moderno $12\cdot10^{-6}/°C$, e a metà di quello dei mattoni, simile all'**invar** $1.2\cdot10^{-6}/°C$![3]

Lo Gnomone Clementino è stato creato proprio per questa ragione sfruttando le mura Dioclezianee, ed è un validissimo strumento astrometrico per misure differenziali.

L'Equinozio, l'equatore celeste ed il foro stenopeico originale: una possibile conclusione

Un pendolo calato da sopra al foro stenopeico consentiva in origine di verificarne la perpendicolarità, rispetto ad una vaschetta quadrata di 46 mm di lato centrata sulla verticale e posta sul pavimento della Basilica.

La linea dell'equatore oggi è irregolare, a causa dell'edacità del tempo sui bordi dei marmi bianchi che la definiscono sulla meridiana; e si trova a d=18250.85±0.15 mm dal centro della vaschetta. Considerando l'altezza

[3] https://en.wikipedia.org/wiki/Invar lega di Ferro e Nickel al 36%.

angolare dell'equatore celeste *a* corretta per la rifrazione atmosferica, ma non per l'aberrazione stellare, abbiamo ricavato la quota del foro stenopeico nel 1701 $h_{1701}=d/\tan(a)=20345.1\pm0.2$ mm.

Dalle misure meridiane fatte con l'attuale foro stenopeico, corrette per l'effetto di ombreggiamento dello stesso disco, abbiamo ottenuto che l'attuale equatore si trova 1.35 mm più a Sud della linea tracciata nel 1701, senza aver potuto tenere conto dell'aberrazione stellare della stella polare (2.8 mm verso Nord), scoperta 26 anni dopo la costruzione della meridiana. Bianchini aveva tracciato la linea equatoriale con una precisione di due parti su diecimila.

La legge del Danti afferma che vicino all'equinozio il Sole si muove, angolarmente, di 1'/ora. A Marzo, sulla Meridiana Clementina all'equatore, ciò vale 10.7 mm/ora, mentre a Settembre 10.3 mm/ora, per le diverse posizioni e velocità della Terra nell'orbita.

Tutti e nove gli equinozi (7 in Primavera e 2 in Autunno) sono stati calcolati mediante un fit cubico, su 6-12 dati di posizione meridiana media giornaliera dell'immagine solare, mentre le velocità mediante un fit lineare sugli stessi dati.

Il fit cubico è stato preferito a quello lineare, per tener conto delle deviazioni dal moto meridiano rettilineo uniforme dell'immagine solare attorno all'equinozio.

Il fit su un numero di almeno 6 date consente di limitare gli effetti della turbolenza atmosferica e basso contrasto dell'immagine che possono pregiudicare due sole misure, con le quali si potrebbe fare solo un'interpolazione od un'estrapolazione lineare.

Quanto alla posizione originale dell'equatore, abbiamo verificato che era stata calcolata bene dal Bianchini, relativamente alla latitudine "aberrata" che era stata misurata, e anche relativamente al geocentro: Oggi la differenza tra la Linea di Bianchini e l'Equatore vero vale 1.4±0.7 mm a Marzo e 0.65±0.25 mm a Settembre, evidenziando per la prima volta un movimento stagionale delle mura della Basilica, a causa dell'espansione termica. Il coefficiente di espansione termica delle mura romane, qui misurato per la prima volta, risulta migliore di quello dei mattoni moderni, ed è confrontabile con quello dell'invar 36.

Authorship: C. Sigismondi wrote the text, did the measures and performed a first data analysis with linear, quadratic and cubic fit. A. Brucato made the cubic fit analysis with Pyton. A. Radano and R. Iafrate realized the measures of 2026 equinox as part of the Laboratory of Astrophysics' work.

Referenze

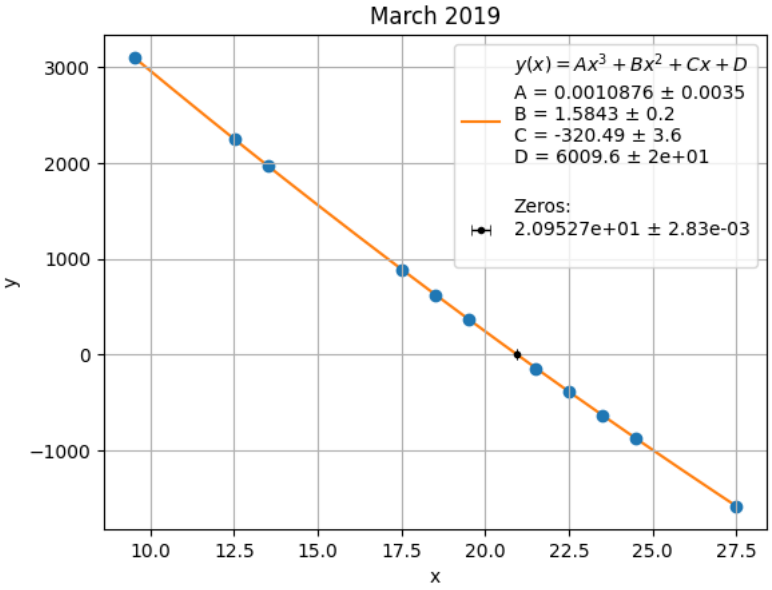
Sigismondi, C., Pinhole Solar Monitor tests in the Basilica of Santa Maria degli Angeli in Rome, IAUS No. 233, (2006) https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/2006IAUS..233..521S

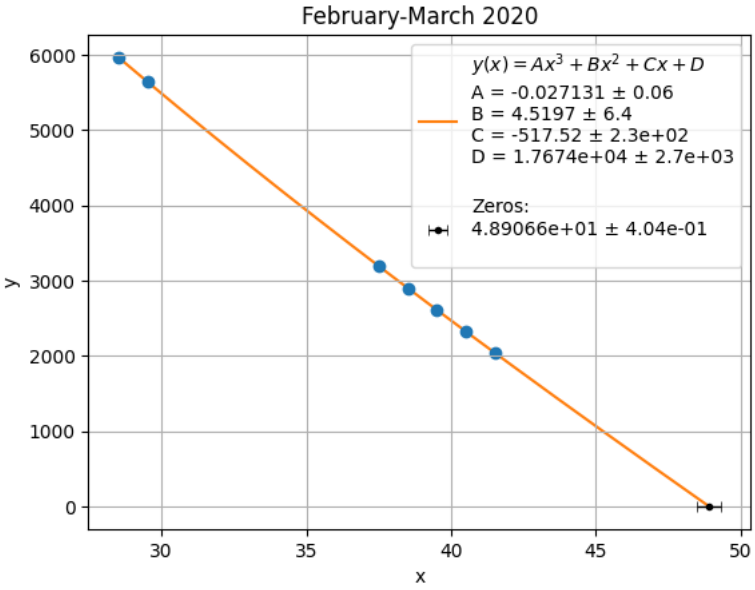
Sigismondi, C., Lo Gnomone Clementino (Roma, Tipolitografia del Trullo 2009) Gerbertus 7, 3 (2014).
https://ui.adsabs.harvard.edu/#abs/2016arXiv160706601S/abstract

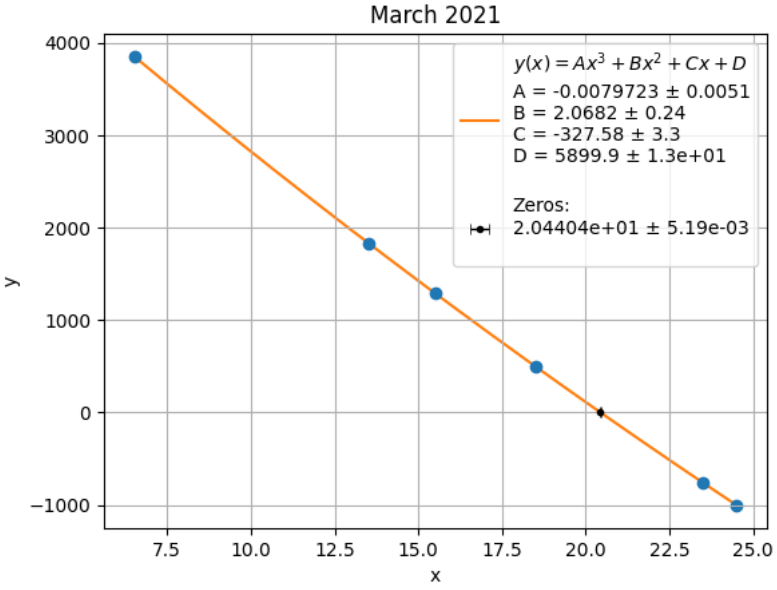
Catamo, M. e C. Lucarini, Il Cielo in Basilica, Arpa Agami, Roma, (2012).

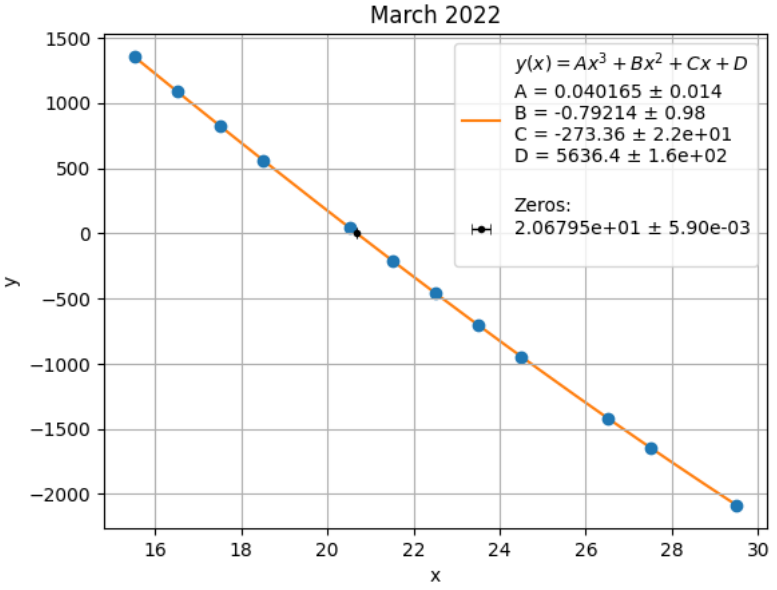
Sigismondi, C., Pinhole giant meridian lines: a review on ancient data retrieval and modern observations (IGEA-ZIA campaign), Gerbertus 16, 29 (2022).
https://ui.adsabs.harvard.edu/#abs/2022Gerb...16...29S/abstract

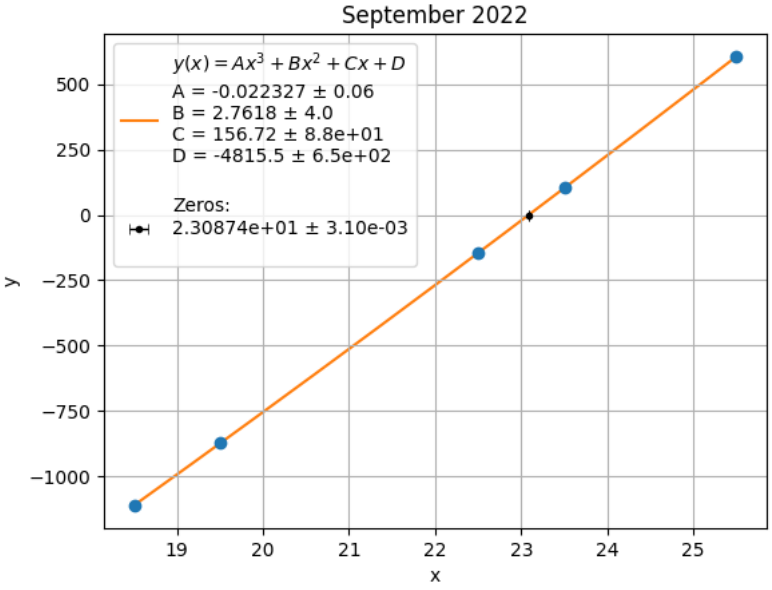
Danti, E., Tractatio et Usus Gnomoni Magni, Bononia, 1577.

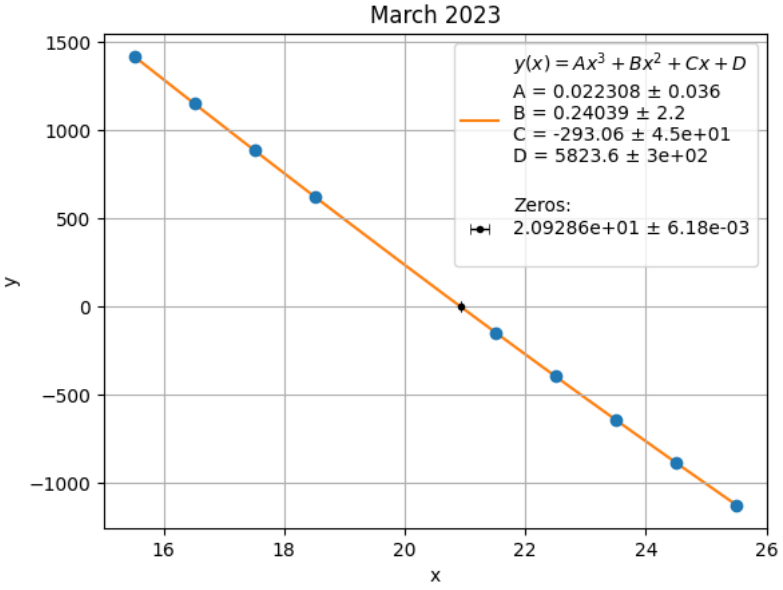

March 2019
$y(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$
A = 0.0010876 ± 0.0035
B = 1.5843 ± 0.2
C = -320.49 ± 3.6
D = 6009.6 ± 2e+01
Zeros:
2.09527e+01 ± 2.83e-03
y
x

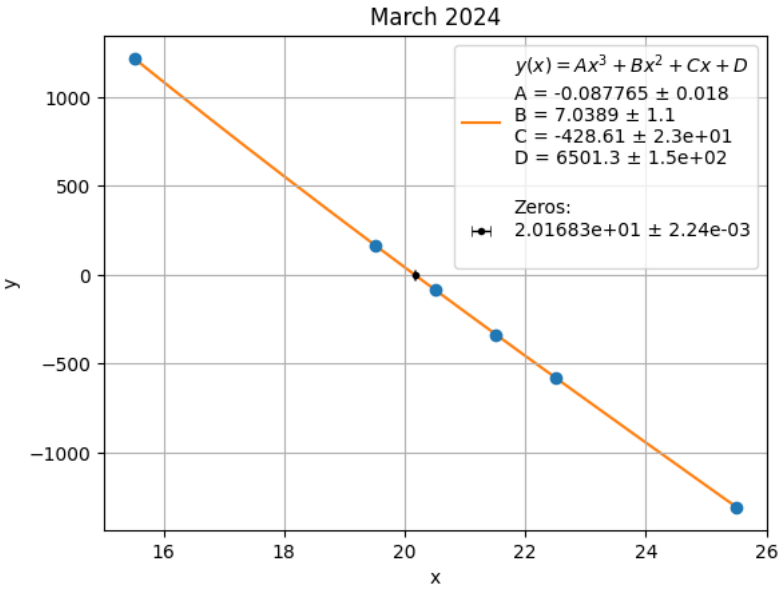

February-March 2020
$y(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$
A = -0.027131 ± 0.06
B = 4.5197 ± 6.4
C = -517.52 ± 2.3e+02
D = 1.7674e+04 ± 2.7e+03
Zeros:
4.89066e+01 ± 4.04e-01
y
x

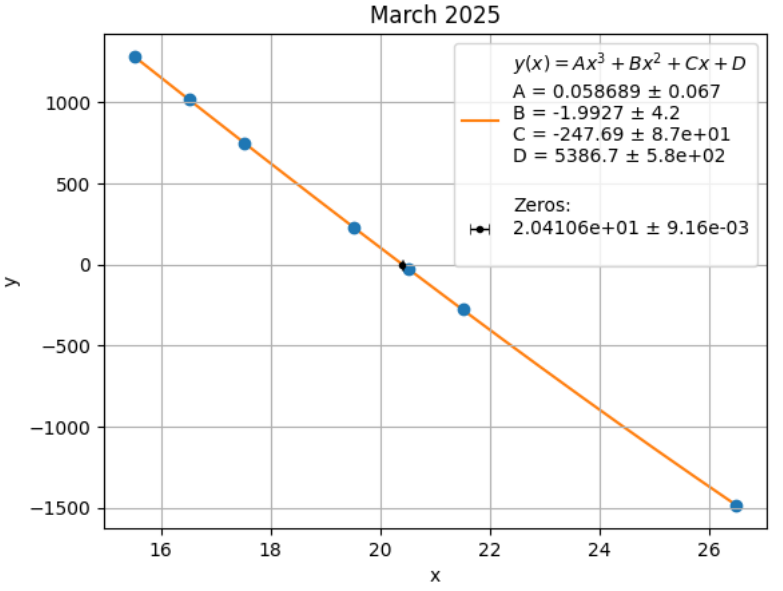

March 2021
$y(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$
A = -0.0079723 ± 0.0051
B = 2.0682 ± 0.24
C = -327.58 ± 3.3
D = 5899.9 ± 1.3e+01
Zeros:
2.04404e+01 ± 5.19e-03
y
x

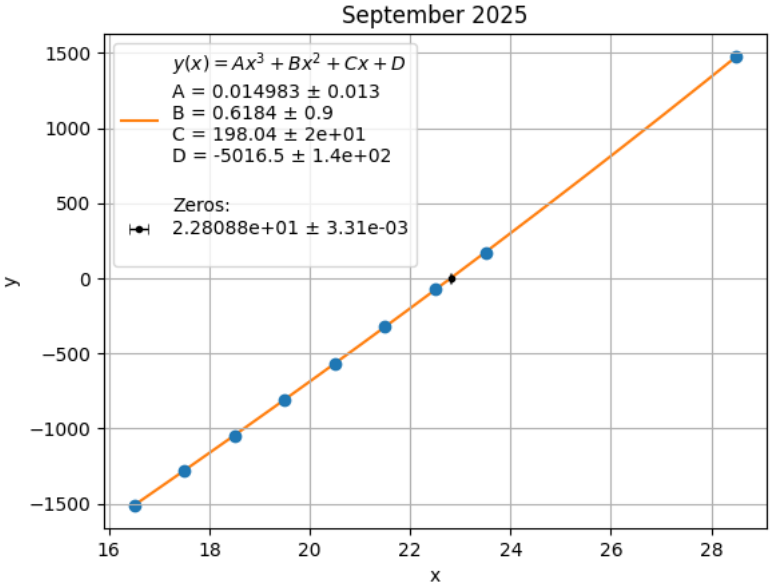

March 2022
$y(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$
A = 0.040165 ± 0.014
B = -0.79214 ± 0.98
C = -273.36 ± 2.2e+01
D = 5636.4 ± 1.6e+02
Zeros:
2.06795e+01 ± 5.90e-03
y
x

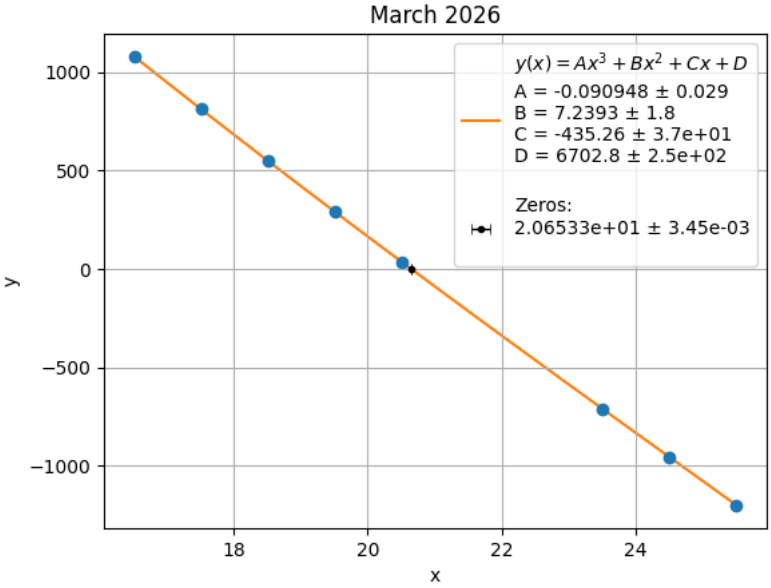

September 2022
$y(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$
A = -0.022327 ± 0.06
B = 2.7618 ± 4.0
C = 156.72 ± 8.8e+01
D = -4815.5 ± 6.5e+02
Zeros:
2.30874e+01 ± 3.10e-03
y
x


March 2023
$y(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$
A = 0.022308 ± 0.036
B = 0.24039 ± 2.2
C = -293.06 ± 4.5e+01
D = 5823.6 ± 3e+02
Zeros:
2.09286e+01 ± 6.18e-03
y
x


March 2024
$y(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$
A = -0.087765 ± 0.018
B = 7.0389 ± 1.1
C = -428.61 ± 2.3e+01
D = 6501.3 ± 1.5e+02
Zeros:
2.01683e+01 ± 2.24e-03
1000
500
0
−500
−1000
y
16
18
20
22
24
26
x


March 2025
$y(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$
A = 0.058689 ± 0.067
B = -1.9927 ± 4.2
C = -247.69 ± 8.7e+01
D = 5386.7 ± 5.8e+02
Zeros:
2.04106e+01 ± 9.16e-03
1000
500
0
−500
−1000
−1500
y
16
18
20
22
24
26
x


September 2025
$y(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$
A = 0.014983 ± 0.013
B = 0.6184 ± 0.9
C = 198.04 ± 2e+01
D = -5016.5 ± 1.4e+02
Zeros:
2.28088e+01 ± 3.31e-03
y
x


March 2026
$y(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D$
A = -0.090948 ± 0.029
B = 7.2393 ± 1.8
C = -435.26 ± 3.7e+01
D = 6702.8 ± 2.5e+02
Zeros:
2.06533e+01 ± 3.45e-03
y
x

Anno	IMCCE UTC+1	SMA UTC+1	incertezza [min]	Eq. vero (+Sud)	delta [mm]
2019	22:51:53	23:06:00	00:04:05	2,5	0,7
2020	21:45:30	03:49:37	09:41:46	-64,7	103,5
2021	10:34:11	10:37:29	00:07:28	0,6	1,3
2022	16:18:29	16:33:25	00:08:30	2,7	1,5
2022,5	02:05:51	02:03:42	00:04:28	0,4	0,8
2023	22:17:11	22:24:26	00:08:54	1,3	1,6
2024	04:02:21	04:06:24	00:03:14	0,7	0,6
2025	09:51:16	10:01:29	00:13:11	1,8	2,3
2025,5	19:24:40	19:19:21	00:04:46	0,9	0,8
2026	15:40:45	15:45:57	00:04:58	0,9	0,9

Tabella 4. Sinossi di tutti gli equinozi con le relative incertezza sulla posizione dell'equinozio vero rispetto alla linea equatoriale di Bianchini.

La posizione dell'equinozio vero è qui riportata in mm una volta moltiplicata per la velocità meridiana (246.4 mm/s in Autunno 2022,5 e 2025,5 e 256 mm/s in primavera) la differenza tra dato misurato (SMA UTC+1) e dato calcolato (IMCCE in UTC+1).

È più comodo lavorare con UTC+1 che è il fuso orario più vicino al mezzodì vero a S. Maria degli Angeli SMA.

Su tutti i dati è stata calcolata la media pesata con l'inverso delle incertezze statistiche, ottenendo che lo spostamento dell**'equinozio vero** vale **1.13±0.11 mm verso Sud** rispetto alla linea dell'equatore segnata da Bianchini. Utilizzando, invece, l'inverso del quadrato delle incertezze statistiche, lo stesso spostamento vale 0.89±0.08 mm. La conclusione che il vero equinozio sia 1 mm a Sud dalla linea sul pavimento è confermata.



Figg. 1-2 L'immagine del Sole il 19 marzo 2026 ore 12:03.47 UTC+1, e quella del 20 marzo (sotto). La Linea equatoriale di Bianchini è orizzontale, il Sud è sopra.

