Atmospheric Refraction at 999 hPa with Differential Measures at the Clementine Gnomon

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*
(ICRANet Pescara; Istituto Scienza e Fede-UPRA Roma)
Submitted Jan 22nd 2026, revised and published Jan 25th 2026

Abstract The meridian line of Santa Maria degli Angeli is suitable for assessing the atmospheric effects on the solar image? We compare theoretical estimates of errorbars and atmospheric effect with the measures made in the Basilica of St. Maria degli Angeli on 20 January (1016.5 hPa), 22 January (999 hPa) and 24 January 2026 (1002 hPa), being 999 hPa the lower value of atmospheric pressure ever recorded at the Clementine Gnomon since 2018. The differential displacements of the image correspond to 7.5”/17.5 hPa and 0.0”/14 hPa. Theoretically it is only 3”/100 hPa. Problems on the Boscovichian Sinus and the zero reference positions of the Centesimal Parts are also presented.

Sommario La meridiana di santa Maria degli Angeli può permettere di verificare gli effetti atmosferici sull’immagine solare? Compariamo le stime teoriche della rifrazione ed i tipici errori di misura allo Gnomone Clementino. Le misure fatte in Basilica ai transiti del 20 Gennaio (1016.5 hPa) 22 Gennaio (999 hPa) e 24/1 (1002 hPa) corrispondono a 7.5” per 17.5 hPa e 0.0” per 14 hPa. Teoricamente sono solo 3”/100 hPa.

Keywords: Clementine Gnomon, Refraction, Atmospheric Pressure.

Introduzione: Le misure meridiane del 20 e 22 Gennaio 2026 s mostrano un offset del centro crescente (+3.25 mm) con la diminuzione della pressione atmosferica (-17.5 hPa).

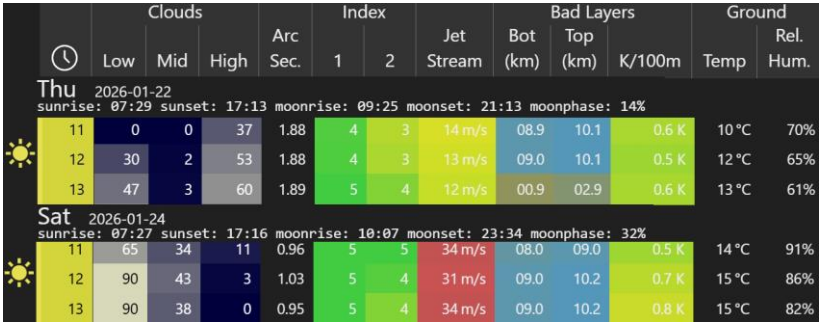
METEO/T/P/umidità	GIORNO	MESE	ANNO	TRANSITO	EFFEMERIDI	CENTRO SOLE[*]	PARAMETRI IMMAGINE
METAR LIRU 2010Z 18005KT 080V140 CAVOK 13/05 Q1017 umidità53%	20	1	2026	12:21:21.5	12:20.59.5	28,0320	arcsec/mm img reale
METAR LIRU 2011Z 12004KT 080V160 CAVOK 14/03 Q1016 umidità 48%	nuvoloso	13,5	1016,5	53	Offset lembi	28,0633	2,2714
BORDO NORD th- vs CANCRO	28,334	37739,9	185	95,0	-6,24	DIAM SOLE ' /	diam. Teorico
BORDO SUD th-vs CAPRICORNO	27,793	38611,9	185	967,0	16,09	32,5063	881,8
ΔT teorico	21,5	DEMPTA PE	OMBRA SU	11,67	tempta pen.	1950,38	diam. Misurato
velocità immagine mm/s	3,028	37740,7	shit del ce	5,83	185,4268	**Meridiana asim**	872,0
lunghezza dempta	858,7	38599,4	FORO mer	13,33	189,6456	O-C=-8.5±4.0	O-C (diametro)
ΔToss/seno: poco Negativo	22	0,535	Offset cen	-11,17	187,5362	trans. Marmo	-9,8

METEO/T/P/umidità	GIORNO	MESE	ANNO	TRANSITO	EFFEMERIDI	CENTRO SOLE[*]	PARAMETRI IMMAGINE
METAR LIRU 2210Z VRB09KT CAVOK 12/05 Q0999 umidità63%	22	1	2026	12:21:54.0	12:21:33.0	28,4809	arcsec/mm img reale
METAR LIRU 2211Z 26005KT 210V320 CAVOK 13/04 Q0999 umidità 55%	sereno	12,5	999	59	Offset lembi	28,5117	2,3161
BORDO NORD th- vs CANCRO	28,782	37041,9	185	-603,0	-7,14	DIAM SOLE ' /	diam. Teorico
BORDO SUD th-vs CAPRICORNO	28,241	37897,4	185	252,5	8,06	32,5007	857,0
ΔT teorico	21,3	DEMPTA PE	OMBRA SU	11,45	tempta pen.	1950,04	diam. Misurato
velocità immagine mm/s	2,993	37042,9	shit del ce	5,73	181,9985	**Meridiana asim**	855,5
lunghezza dempta	842,0	37884,9	FORO mer	13,55	186,1351	O-C=-1.2±4.1	O-C (diametro)
ΔToss/seno: poco Negativo	21	-0,344	Offset cen	-7,92	184,0668		-1,5

METEO/T/P/umidità	GIORNO	MESE	ANNO	TRANSITO	EFFEMERIDI	CENTRO SOLE[*]	PARAMETRI IMMAGINE
METAR LIRU 2410Z 21005KT 160V240 9000 SCT025 15/12 Q1003 umidità82%	24	1	2026	12:22:25.5	12:22:04.75	28,9541	arcsec/mm img reale
METAR LIRU 2411Z 20005KT 170V230 9999 SCT020 BKN040 15/11 Q1002 umidità 77%	nuvoloso	15	1002	79	Offset lembi	28,9842	2,4093
BORDO NORD th- vs CANCRO	29,255	36328,9	180	-298,0	-6,53	DIAM SOLE ' /	diam. Teorico
BORDO SUD th-vs CAPRICORNO	28,714	37151,9	180	525,0	15,39	32,4947	832,2
ΔT teorico	21,2	DEMPTA PE	OMBRA SU	11,23	tempta pen.	1949,68	diam. Misurato
velocità immagine mm/s	2,957	36330,2	shit del ce	5,61	178,4965	**Meridiana asim**	823,0
lunghezza dempta	809,2	37139,4	FORO mer	13,77	182,4723	O-C=-7.2±2.2	O-C (diametro)
ΔToss/seno: poco Negativo	20,75	-0,466	Offset cen	-11,11	180,4844		-9,2

Fig.1 Misure meridiane del 20, 22 e 24 Gennaio 2026. La casella blu mostra l’offset del centro del Sole al massimo di -7.92 mm.

Il primo problema che emerge è che lo zero del foro stenopeico attuale è spostato di circa 10 mm verso il Cancro. Le misure di zero con il teodolite sono risultate molto difficili sia nel 2006 (Studio Professionale) che nel 2018 (Istituto Tecnico Geometri), poiché non sono misure convenzionali: principalmente il problema è che il foro stenopeico (oggetto della misura) è una sorgente di luce e non può riflettere il LASER del puntatore.
Questo è, essenzialmente, il motivo per cui le distanze dallo zero del foro stenopeico sono state prese anche con il metro di metallo e si è scelto di verificarle quotidianamente con il Sole.
Questo è anche il motivo per cui qui l'effetto di bassa pressione viene valutato in maniera differenziale rispetto agli stessi riferimenti sul pavimento.
Le condizioni meteo del 20, 22 e 24 gennaio hanno permesso questo tipo di misure. Il 20 il cielo era pesantemente velato con pressione 1016.5 mb, mentre il 22 il cielo eravsereno con il minimo barico a 999 mb, il più basso nelle nostre misure dal 2018 (inizio della campagna IGEA-ZIA); il seeing teorico al momento del transito era 1.88". Il 24 la pressione era 1002 mb con nuvoloni disposti su due strati a 1220 m e 610 m di quota, con isolati cumulonembi; il passaggio veloce di un velo di nubi è ben visible nel video, così come una macchia solare. Il seeing teorico al transito era di 0.99".



	Clouds				Index			Bad Layers			Ground	
	Low	Mid	High	Arc Sec.	1	2	Jet Stream	Bot (km)	Top (km)	K/100m	Temp	Rel. Hum.
Thu 2026-01-22	sunrise: 07:29 sunset: 17:13 moonrise: 09:25 moonset: 21:13 moonphase: 14%											
11	0	0	37	1.88	4	3	14 m/s	08.9	10.1	0.6 K	10 °C	70%
12	30	2	53	1.88	4	3	13 m/s	09.0	10.1	0.5 K	12 °C	65%
13	47	3	60	1.89	5	4	12 m/s	00.9	02.9	0.6 K	13 °C	61%
Sat 2026-01-24	sunrise: 07:27 sunset: 17:16 moonrise: 10:07 moonset: 23:34 moonphase: 32%											
11	65	34	11	0.96	5	5	34 m/s	08.0	09.0	0.5 K	14 °C	91%
12	90	43	3	1.03	5	4	31 m/s	09.0	10.2	0.7 K	15 °C	86%
13	90	38	0	0.95	5	4	34 m/s	09.0	10.2	0.8 K	15 °C	82%

Fig. 2 Condizioni meteo e seeing elaborate da meteoblue.[1]

[1] Astronomy Seeing Roma - meteoblue fotografato il 22 e 24 gennaio 2026.

Riportando le misure in mm ad arcosecondi si ottiene che il disco solare si è abbassato di 7.5″ rispetto ad una diminuzione di 17.5 mb di pressione atmosferica (tra il 20 ed il 22 gennaio). Lo spostamento lineare è stato di 3.25 mm.

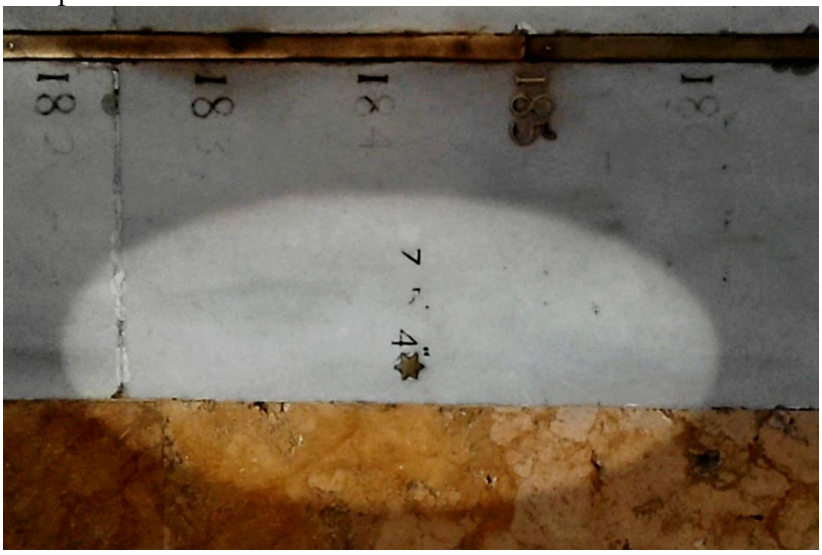


Fig. 3 Immagine solare il 22 Gennaio 2026: +3.25 mm a destra. La stella al centro è β Ceti, Diphda, con δ=-19°38′12″ nel 1701. Il Sole ha δ=-19°35′07″ in questa foto del 22 Gen 26 h 12:23.

Mentre il 24 gennaio lo spostamento differenziale del centro del Sole risultava identico al giorno 20, ma la pressione atmosferica rimaneva 14 hPa inferiore.

Errorbars della posizione dell'immagine

La posizione di un bordo del Sole in meridiano è presa trovando un fit di 8-10 posizioni del lembo prima e dopo il passaggio sulla linea di bronzo, fino al marmo giallo che si vede in basso in figura 1. Le deviazioni standard delle posizioni dei lembi sono conseguenza della turbolenza locale.

Data	σ Lembi	σ Centro	Press. Atm.	Δ con 20/1
20 Gennaio 2026	σ=±2.0 mm	σ=±2.8 mm	1016.5 hPa	[mm/hPa]
22 Gennaio 2026	σ=±1.1 mm	σ=±1.5 mm	999 h Pa	3.25/17.5
24 Gennaio 2026	σ=±2.0 mm	σ=±2.8 mm	1002.5 hPa	0/14.5

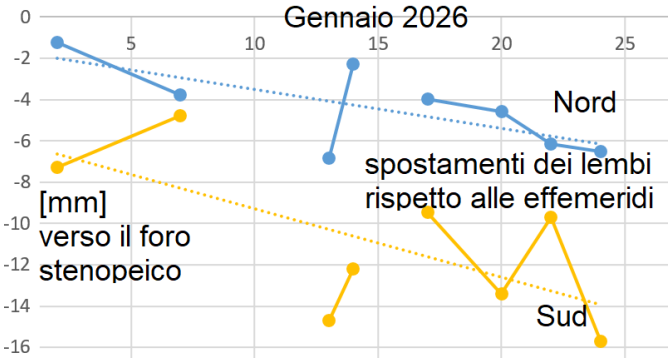


Fig. 4 Trend degli scarti dei lembi dalle effemeridi in mm.

C'è un trend sistematico, ed il bordo Sud viene osservato con un angolo di radenza inferiore rispetto al bord Nord.

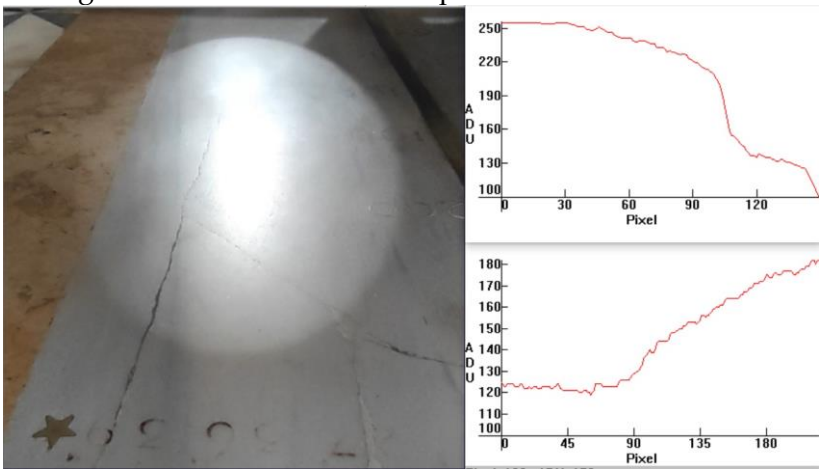


Fig. 5 Limb darkening in meridiano per i bordi N e S (sotto).

In media il bordo Nord è spostato Δ_N=-4.4±2.0 mm rispetto alle effemeridi, mentre il Sud Δ_S=-10.9±3.8 mm.

Se lo zero delle parti centesime è spostato Δ_N=-4.4±2.0 mm, la scarsa definizione del bordo S riduce sistematicamente il diametro di -6.5±3.1 mm. Il valore di scostamento dalle effemeridi del 22 Gennaio a Sud sembra una fluttuazione, mentre i valori a Nord del 22 e 24 sono più stabili: per le migliori condizioni di osservazione. Facendo un de-trend di queste posizioni per 20, 22 e 24 Gennaio possiamo evidenziare

l'effetto netto della Pressione Atmosferica.

Data	Bordo Nord	Bordo Sud	Press. Atm.	Δ con 20/1
20 Gennaio 2026	5	12,5	1016.5 hPa	[mm/hPa]
22 Gennaio 2026	5,5	13,25	999 h Pa	-3.87/17.5
24 Gennaio 2026	6	14	1002.5 hPa	-1.30/14.5
24-22 Gen 2026			Δ con 22/1	-2.57/3.5

I valori dello spostamento per un ΔP negativo sono sempre positivi (abbassamento dell'immagine solare in cielo), ma riportando a 100 hPa il gradiente di Pressione abbiamo -22, -9 e – 73 mm rispettivamente, in media 35±34 mm/100 hPa, compatibile con lo zero.

In misure angolari vale $\Delta\alpha/\Delta P$=-(15±15)"/100 h Pa.

Variazione con la pressione dell'indice di rifrazione dell'aria

La Pressione atmosferica del 20, 22 e 24 Gennaio 2026 è confermata da un archivio[2] indipendente dai codici METAR dell'Aeroporto di Roma Urbe, riportati in Fig. 1.

L'indice di rifrazione dell'aria è

$n=1+2.78\cdot10^{-4}\cdot(\varrho/\varrho_0)$ con luce a λ=520 nm.

Dall'equazione di stato dei gas perfetti (valida entro i limiti di pressione che stiamo considerando) $P=\varrho KT$, da cui $\varrho=P/KT$; e considerando la temperatura dell'aria T costante al variare della pressione, l'indice di rifrazione $n=1+2.78\cdot10^{-4}\cdot(P/P_0)$

Una variazione ΔP = -17.5 hPa corrisponde a -1.73% rispetto alla pressione standard. Così l'indice di rifrazione passa a $n= 1+2.732\cdot10^{-4}$. Applicando la legge di Cartesio-Snell $\mathbf{n_1\cdot sen(i)= n_2\cdot sen(r)}$ al raggio incidente e rifratto con i valori corrispondenti agli angoli zenitali del Sole il 22 Gennaio 2026 otteniamo, con n_1=1 (vuoto) ed $n_2= 1+2.732\cdot10^{-4}$, oppure $n_2= 1+2.78\cdot10^{-4}$, rispettivamente per 999 hPa e 1016.5 hPa.

Poniamo i=h ed h=28°28'51.4"fuori dall'atmosfera (fig. 1). Ricaviamo sen(r) applicando la legge di Snell ai due indici di rifrazione e calcoliamo la differenza negli angoli di rifrazione,

[2] https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo/Roma/2026/Gennaio/20 22 e 24

questa è pari a 0.537". Si tratta di un valore 14 volte più piccolo di quanto trovato sperimentalmente. Teoricamente $\Delta\alpha/\Delta P$=-0.537"/17.5 hPa, osssia $\Delta\alpha/\Delta P$=-3"/100 hPa, compatibile col valore sperimentale di $\Delta\alpha/\Delta P$=-(15±15)"/100 h Pa.

Conclusioni:

Gli spostamenti differenziali delle immagini in dipendenza della pressione atmosferica: con ΔP=-17.5 hPa sono stati $\Delta\alpha$=-7.5"±6.5" (20-22 Gennaio) mentre con ΔP=-14 hPa $\Delta\alpha$=0.0"±3.5" (20-24 Gennaio), compatibili con la teoria, che li dà $\Delta\alpha$=0.5". L'asimmetria delle condizioni ossevative del bordi Nord e Sud è stata considerata con un detrend dei dati.



Fig. 6 Transiti meridiani del 22 e 24 gennaio 2026. Tra 185 e 186 e tra 180 e 179 è visibile la doppia linea incisa al centro della striscia di ottone. Tra 185 e 180 non c'è nessuna incisione.

Referenze: C. Sigismondi, *I termini di Cassini e Laplace della rifrazione atmosferica misurati alla Meridiana Clementina*, Gerbertus 9, p. 103-104, 2016 (pdf). *Pinhole giant meridian lines: a review on ancient data retrieval and modern observations (IGEA-ZIA campaign)* Gerbertus 16, 29-38 (2022) (pdf).
C. Sigismondi, Gerbertus 12, 7-10 (2019) (pdf)
C. Sigismondi, BALMER 3, 31-34 (2025) (pdf)

Appendice: Il Seno Boscoviciano è una deviazione della linea di ottone dalla retta, scoperta da Ruggero Giuseppe Boscovich nel 1750, ma di cui si è persa la posizione. La linea in aggiunta rispetto a quella centrale è sul lato Ovest della meridiana. Nelle posizioni di transito del 22 e 24 Gennaio il centro della striscia di bronzo è circa 1 mm a Ovest (destra nella figura 6) rispetto al centro dei marmi bianchi. Le analisi preliminari dei transiti meridiani di Novembre 2025 e Gennaio 2026 indicano che la striscia di bronzo sia spostata verso Ovest fino a 5 mm, rispetto alla retta ideale, tra 200 e 175.
Se una delle due linee rappresentava la meridiana vera, è possibile che queste strisce di bronzo siano state ricollocate al contrario, dopo un restauro, perché la vera meridiana dovrebbe passare a Est del centro della striscia (sinistra in fig. 4-5) al massimo dell'ampiezza del seno Boscoviciano, che sta tra 200 e 180 parti centesime.



Fig. 7 Il secondo contatto del transito del 24 gennaio: a sinistra del 180 (e 61° di distanza zenitale) riprende la doppia linea sulla striscia di bronzo, mentre a sinistra la striscia è liscia.