

Eclissi di Luna dell'8 novembre 2022 agli antipodi

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

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

Submitted November 19th 2022, accepted November 21st 2022

Abstract The total lunar eclipse of 8 Nov 2022 occurred at 11 UT, so it was invisible in Rome. The local sunrise and the sunset of the same day occurred at 6 UT and 16 UT: the azimuthal difference between Sun and Moon is measured to verify the eclipse geometrical conditions.

Sommario L'eclissi totale di Luna dell'8 Novembre 2022 alle 12 locali era invisibile a Roma. La misura della differenza in azimuth tra Sole e Luna al sorgere e al tramonto del Sole prova le condizioni geometriche per l'eclissi.

Keywords: Celestial Mechanics, Lunar eclipses, Azimuth, Spherical Astronomy, Lunar parallax.

Introduzione: L'eclissi totale di Luna vede la Terra interposta tra il Sole e la Luna: la condizione geometrica è che il disco della Luna cada entro il disco centrato nella posizione dell'"anti-Sole" di raggio pari all'ampiezza del cono d'ombra della Terra. Poiché le distanze tra Sole, Terra e Luna e Terra variano in continuazione per effetto dell'ellitticità delle orbite, questa condizione è più articolata rispetto alla semplice somma di 180° alle due coordinate che individuano il centro del Sole nel cielo, tuttavia è bene notare che questa condizione implichi che le due coordinate possono essere sia declinazione ed ascensione retta, che longitudine e latitudine eclittica, che azimuth e altezza. Mentre nelle prime due coppie di coordinate il punto di vista è sempre geocentrico, per azimuth e altezza è necessariamente topocentrico, e l'effetto di parallasse deve essere tenuto in conto.

Parallasse lunare: alla distanza di 60 raggi terrestri circa, la Luna ci appare in posizione diversa rispetto al geocentro, fino ad $1/60$ di radiante, cioè 1° , a meno che non la avessimo esattamente allo zenit, dove non c'è parallasse. Noi osserviamo la Luna dal nostro topocentro (topos=luogo in Greco), e alla levata o al suo tramonto la parallasse è massima. Il centro della

Terra è sotto di noi, ad un raggio terrestre di distanza, e la Luna è a 90° dalla verticale, a 60 raggi terrestri circa di distanza: quindi è 1° più in alto sull'orizzonte "geocentrico".

Rifrazione atmosferica: l'aria "alza" i corpi celesti per rifrazione, e all'orizzonte l'effetto medio, al livello del mare, è di $35'$, ossia poco più dei diametri angolari della Luna e del Sole ($32'$). Questo fa sì che quando la Luna o il Sole appaiono all'orizzonte, la loro "altezza geocentrica" sarebbe diminuita di 1.5° . L'effetto della rifrazione cambia velocemente nei primi gradi di altezza sopra l'orizzonte, mentre la parallasse varia più lentamente, entrambi tendono a zero allo zenit.¹ Come corollario di questo teorema –mi si passi l'espressione– abbiamo che se Sole e Luna sono entrambi sulla linea dell'orizzonte, ed il loro azimut è opposto, nel geocentro l'elongazione è 178° perché parallasse e rifrazione hanno sollevato la Luna, mentre solo la rifrazione ha sollevato il Sole di mezzo grado.² Per la dimensione del cono d'ombra della Terra, con 178° di elongazione l'eclissi è appena parziale di penombra. Nel caso dell'8 novembre 2022 la distanza angolare tra i centri del Sole e della Luna è stata di 179° al momento dell'inizio della fase parziale, ed è culminata a $179^\circ 28'$ al centro della totalità. Tolomeo considerò la rifrazione proprio per spiegare come fosse possibile vedere contemporaneamente Sole e Luna all'orizzonte durante un'eclissi. Si tratta di un'osservazione fatta da Cleomede tre secoli prima di lui, che gettò le basi dello studio della rifrazione atmosferica.³

¹ La rifrazione allo zenit resta $0.20''$ perché i bordi di Sole e Luna non possono essere allo zenit contemporaneamente. Questo è anche il valore della parallasse orizzontale (Dionis DU SEJOUR, *Traité Analytique des Mouvements Apparent des Corps*, Paris, 1786-89).

² Il Sole pure ha parallasse, ma di soli $8.8''$.

³ <https://www.reinventore.it/approfondimenti/la-rifrazione-della-luce>

Eclissi citata da Dante nella Quaestio Aqua cum Terra

Nam, ut comuniter ab omnibus habetur, hec habitabilis extenditur per lineam longitudinis a Gadibus, que supra terminos occidentales ab Hercule positos ponitur, usque ad hostia fluminis Ganges, ut scribit Orosius. Que quidem longitudo tanta est, ut occidente sole in equinoctiali existente illis qui sunt in altero terminorum, oritur illis qui sunt in altero, sicut per eclipsim lune compertum est ab astrologis. Igitur oportet terminos predictae longitudinis distare per clxxx gradus, que est dimidia distantia totius circumferentie.

Dante al § 54 di questa sua opera in latino⁴ riporta la notizia da Paolo Orosio di un'eclissi di Luna osservata contemporaneamente alle colonne d'Ercole all'alba e alla foce del Gange al tramonto, che quindi devono trovarsi a 180° di longitudine tra loro. Le fonti di Dante sono gli "astrologi" Alfragano e Campano da Novara, che a loro volta citano notizia di un'eclissi osservata nell'antichità col Sole all'equatore celeste (equinoziale). Questo dato e la relativa analisi potrebbero essere alla base del problema della sottostima del raggio terrestre che sembra sia avvenuta da parte di Paolo dal Pozzo Toscanelli (1397-1482) e Cristoforo Colombo (1451-1506). La distanza in longitudine tra il Gange e Gades non poteva superare i 100°. La posizione del Sole sull'equinoziale garantiva che 12 ore erano corrispondenti a 180°. Quindi come spiegare un errore tanto grande? La parallasse e la rifrazione contribuirebbero per 2°, non certo per i restanti 78°.

Eclissi di Luna dell'8 novembre da misure di azimut: come misurare l'elongazione Sole-Luna a mezzogiorno dell'8 novembre con la Luna sotto l'orizzonte, a partire dalle misure al tramonto del giorno prima e alla levata del Sole del giorno dopo, oppure mediando levata e tramonto dello stesso giorno.

⁴ <https://www.danteonline.it/italiano/opere.asp?idope=10&idlang=OR>

Il video del 7 novembre ore 17 <https://youtu.be/DRyPDXjIIuw> ci mostra la Luna rispetto all'azimut del Sole che tramonta (individuato tramite l'ombra di me che osservo)

quello del 9 novembre ore 7 https://youtu.be/CEnqepQ_OwY ci mostra la Luna rispetto all'azimut del Sole che sorge (individuato tramite l'ombra del telefonino che riprende)

La media dei due orari è proprio 8 novembre alle 12, quando la Luna "sarebbe sorta" esattamente opposta al Sole.

Una **prima analisi dati** ha portato al risultato che vi allego come figura: il 7 novembre la Luna è sorta circa 10 suoi diametri $\emptyset$ verso Sud rispetto all'ANTISOLE (dove sta la mia ombra al momento del tramonto del Sole), mentre il 9 novembre la Luna è tramontata poco più di 6 suoi diametri $\emptyset$ verso Sud rispetto all'ANTISOLE (al momento della levata del Sole). Trascuriamo, per semplicità- che la Luna è sorta 22 minuti prima del tramonto del Sole il 7 novembre ed è tramontata 60 minuti dopo la levata del Sole il 9 novembre.



Fig. 1 Luna all'orizzonte il 7 e 9 novembre 2022 a Ostia e Roma
La media tra 7 novembre alle 17 e 9 novembre alle 7 dà 8 novembre alle 12 e la differenza in azimut della Luna sarebbe

stato la media tra (10Ø Sud e 6Ø Nord) , cioè 2Ø Sud (-10Ø+6Ø)/2=-2Ø con la convenzione segno negativo = Sud.

La Luna, dunque, alle ore 12 dell'8 novembre sarebbe sorta 2Ø diametri a Sud rispetto all'anti Sole, cioè circa 1° dall'opposizione perfetta.

Le effemeridi per le ore 12 dell'8 novembre (massimo dell'eclissi) indicano 179°25' di elongazione. La nostra misura è stata precisa ad 1/4 di grado, ma abbiamo considerato solo l'azimut, e non anche l'altezza della Luna.

Il metodo è stato di usare il diametro Ø della Luna come unità di misura nelle foto, oltre a localizzare al meglio la posizione dell'*antiSole* con l'ombra mia o della telecamera. Inoltre l'angolo che la traiettoria della Luna forma con l'orizzonte è stato tracciato a 48°, così come risulta dalle effemeridi (di cui allego anche una foto).

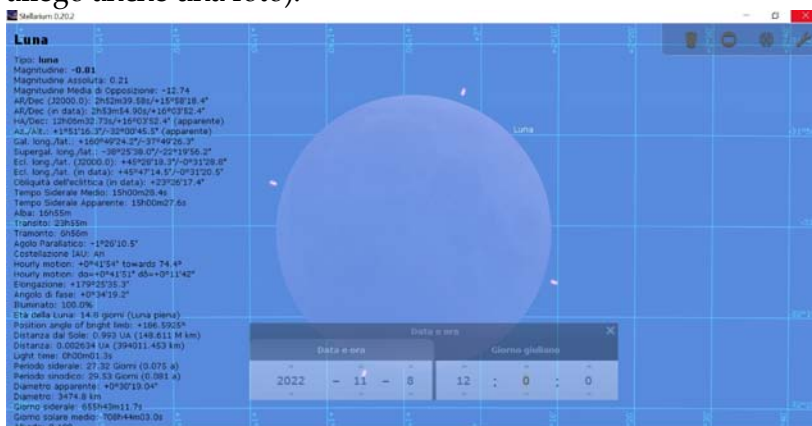


Fig. 2 Effemeridi della Luna alle 12 dell'8 Novembre 2022.

Ecco un modo per capire che c'è stata un'eclissi di Luna osservando i punti di levata e tramonto di Luna e Sole, senza avere un osservatorio attrezzato come poteva essere quello di Nicolò Copernico (1473-1543), qui nella bella immagine creata

dal pittore polacco Jan Matejko⁵ nel 1873 in occasione del quarto centenario della nascita dell'astronomo.



Fig. 3 Copernico rappresentato col suo Triquetrum, strumento per le misure angolari, da Jan Matejko (1873), dialoga con Dio.

La Luna osservata il giorno 8 novembre a Roma

Alle 5:57:20 ho osservato l'ombra della Luna (opposta alla Luna, a $284^{\circ}11'$, quindi a $104^{\circ}11'$) ad una distanza angolare di $\frac{3}{4}$ del campo di vista del monocolo 7x18, pari a 10.1° , dal punto dove sarebbe sorto il Sole, individuato esattamente il 7 novembre ($112^{\circ}00'$). Risulta che $104^{\circ}11' + 7^{\circ}35' = 111^{\circ}46'$ con una differenza di soli $14'$ dalle effemeridi. Questa misura angolare di azimut è stata eseguita un'ora prima della levata del Sole.

Il Sole si è poi levato $46'$ più a Sud del punto del 7 nov, individuato tramite la lanterna di una cupola a 3 km.

⁵ <https://culture.pl/en/work/astronomer-copernicus-or-conversations-with-god-jan-matejko>



Fig. 4 Levate di 7, 8 e 9 novembre osservate dallo stesso punto. Senza rifrazione il Sole era solo 5', 4' e 10' sopra l'orizzontale.

Al tramonto è stata fatta un'altra misura di azimuth della Luna, relativo all'*AntiSole* delle 16:43:34 $az=245^{\circ}58'35''$, Luna che è sorta alle 17:05 dopo il tramonto del Sole, dal monte Velino. La differenza di azimuth è stata di 2.86 diametri lunari (1.454°), da fotogramma delle 17:05:40 $az=67^{\circ}15'42''$. Nelle effemeridi, che ho riportato, la differenza è $1^{\circ}17'07''$. Il diametro lunare era di $30' 31.6''$, il rapporto è $77'$ a $30.5' = 2.524$ diametri lunari. L'errore risulta di $10.23'$, e dipende dal puntamento dell'*AntiSole*, da identificare con l'ombra della telecamera e non dell'asse del corpo, come avevo fatto. Fin qui abbiamo calibrato il metodo della misura dell'azimut da foto e osservazioni, ed abbiamo verificato che vale entro un raggio lunare di precisione.

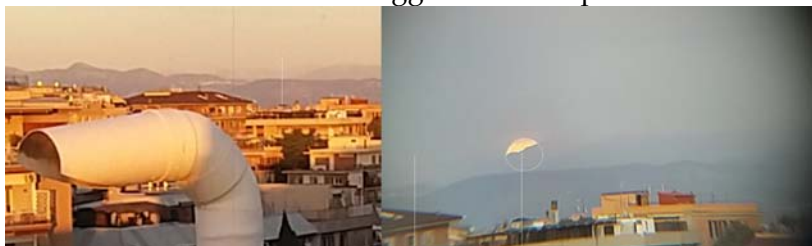


Fig. 5 Tramonto dell'8 novembre (foto h 16:43:34) e levata della Luna alle 17:05:40.

Riduzione col Sole all'orizzonte Ci si concentra sulla differenza di azimuth tra la Luna ed il punto di levata/tramonto del Sole all'orizzonte, calcolata al momento della levata/tramonto. La Luna scende e sale formando un angolo di

48° con l'orizzonte. Questo angolo, chiamato "parallattico" su Stellarium, cambia leggermente da un giorno all'altro, e con la latitudine; è stato quello per l'8 novembre.

L'ora osservata di levata e tramonto è stata 6:54:30/16:54:50 con la durata del dì di esattamente 10 ore. La Luna osservata alle 5:57:20 in 57 minuti ha compiuto in azimut $57/60 \cdot 15^\circ \cdot \cos(48^\circ) \cdot \cos(16.5^\circ) = 9.142^\circ$. Quindi il suo azimut passa da $-7.5^\circ + 9.142^\circ = 1.642^\circ$ relativo all'*AntiSole*, col segno + da E verso S. La Luna osservata alle 17:05:40 ha compiuto $11/60 \cdot 15^\circ \cdot \cos(48^\circ) \cdot \cos(16.5^\circ) = 1.764^\circ$ dopo il tramonto del Sole. Quindi il suo Δ azimut quando il Sole era all'orizzonte vale ora $+1.454^\circ - 1.764^\circ = -0.310^\circ$.

Correzione per la velocità della Luna, che viaggia al suo diametro apparente percorso in un'ora, cioè $\approx 30'/\text{ora} = 0.5^\circ/\text{h}$ verso Est. Tramonto 8 nov. circa $-11/60 \cdot 0.5^\circ \cdot \cos(48^\circ) \cdot \cos(16.5^\circ) = -0.058^\circ$, totale Δ az = -0.368° . Levata 8 nov. circa $-57/60 \cdot 0.5^\circ \cdot \cos(48^\circ) \cdot \cos(16.5^\circ) = -0.305^\circ$, totale Δ az = 1.337° .

Altezza della Luna col Sole all'orizzonte dell'8 novembre

Per il calcolo dell'elongazione serve anche l'altezza della Luna, che con i nostri metodi era 5 dita (7°) sopra l'orizzonte all'alba e alla levata devo togliere $57/60 \cdot 15^\circ \cdot \sin(48^\circ) \cdot \cos(16.5^\circ) = 10.15^\circ$ ottenendo $h = -3.15^\circ$ sotto l'orizzonte alla levata e togliere $11/60 \cdot 15^\circ \cdot \sin(48^\circ) \cdot \cos(16.5^\circ) = 1.96^\circ$ all'altezza sull'orizzonte al tramonto. Avvistata la Luna ad 1° di altezza sopra il Velino, era, al momento del tramonto, -0.96° sotto l'orizzonte.

Rifrazione il Sole all'orizzonte è alzato tra 40' e 44' (avendo osservato da 25 e da 87 m sul livello del mare). L'*antiSole* topocentrico è sopra l'orizzonte di 40'-44' e la Luna reale è 40'-44' sotto, nel caso del tramonto, mentre all'alba devo considerare solo 12' per la Luna in quanto la sua posizione alle 5:57 era meno rifratta, essendo a 7° di altezza, rispetto all'orizzonte. Quindi Alba: $\Delta h' = \Delta h + 52'$ Tramonto: $\Delta h' = \Delta h + 88'$.

Elongazione dall'antiSole con il teorema di Pitagora calcolo $e^2 = \Delta az^2 + h \Delta^2$ ponendo il segno negativo al risultato dell'alba e positivo a quello del tramonto per trovare il minimo avvicinamento tra i centri. Alba: $-e^2 = 1.337^2 + (-3.15 + 52/60)^2 = 7.0$, Tramonto $e^2 = 0.368^2 + (-0.96 + 88/60)^2 = 0.4$. Con questi numeri l'eclissi sarebbe avvenuta poco prima del tramonto del Sole

Trigonometria sferica il centro della Luna in eclissi non passa quasi mai per l'*antiSole* e quindi il calcolo per valutare l'istante in cui l'elongazione si annulla non corrisponde ad un fenomeno che accade realmente. Occorrerebbero altre misure di elongazione per disegnare la traiettoria del centro della Luna rispetto all'antiSole e trovarne il punto di minima distanza. La traiettoria, localmente, è una retta, ma la sua determinazione osservativa presenta non poche difficoltà, come abbiamo visto. In questo testo abbiamo usato la trigonometria piana, sul piano dove si trova l'antiSole, entro pochi gradi da quel punto.

Conclusioni Poiché il nostro scopo era quello di misurare quando l'angolo tra il Sole, l'Osservatore e la Luna diventava piatto, abbiamo eseguito delle osservazioni della Luna alla levata e al tramonto del Sole dei giorni 7, 8 e 9 novembre. Con i dati del 7 e del 9 novembre abbiamo impostato il metodo osservativo che si è valso dell'*antiSole*, materializzato dalla nostra ombra e, ancor meglio, dall'ombra della telecamera. Anche l'*antiLuna* è servita, vedendosi bene l'ombra della Luna all'alba, un'ora avanti la levata del Sole. La posizione in azimut del Sole alla levata e al tramonto è stata definita con buona precisione, grazie al cielo sereno e all'orizzonte libero fino a pochi minuti d'arco sopra l'orizzontale, anche dentro Roma, mentre a Ostia avevamo l'orizzonte marino perfettamente libero da nubi.

Applicando ai dati osservativi, che peccano di precisione nelle

misure di altezza della Luna raggiungendo anche 1° di errore, si è visto che l'algoritmo impostato per verificare il cambio di segno dell'elongazione applicato alle effemeridi richiede la correzione in altezza dovuta alla parallasse lunare per trovare i dati dell'eclissi, ossia occorre trasformare l'altezza topocentrica della Luna in altezza geocentrica, che è -all'orizzonte- circa 1° più alta, per la parallasse lunare. Gli errori sperimentali su *antiSole* e *antiLuna*, senza vedere l'orizzonte reale, la rifrazione, che solleva di oltre mezzo grado entrambi, la parallasse lunare e la depressione dell'orizzonte hanno determinato 5 ore di differenza nell'opposizione, pur avendo "materializzato" il Sole nell'orizzonte opposto a pochi gradi dalla Luna. La correzione geocentrica, poiché l'eclissi di Luna, come gli equinozi, i solstizi e gli ingressi nei segni zodiacali, sono fenomeni geocentrici, tiene conto della parallasse lunare.

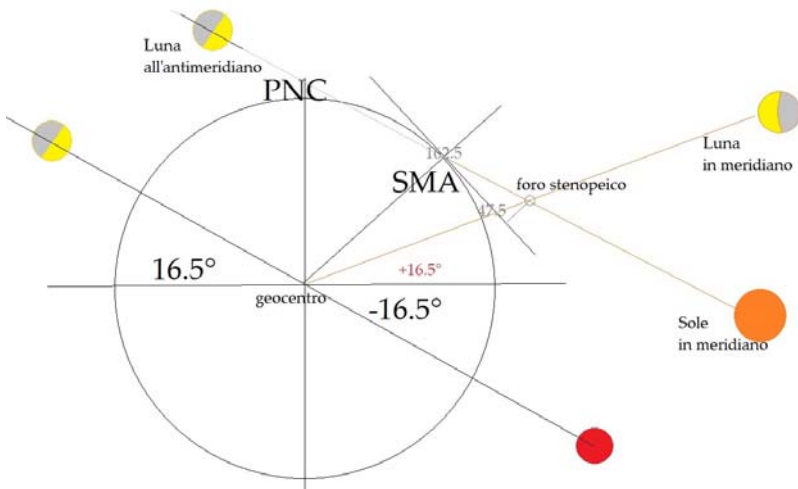


Fig. 6 Eclissi dell'8 novembre e passaggi meridiani a s. Maria degli Angeli-SMA di Sole e Luna, 12 ore prima e dopo. Le parti centesime sono ottenute dalla formula $100 \cdot \tan(41.9^\circ \pm 16.5^\circ)$.