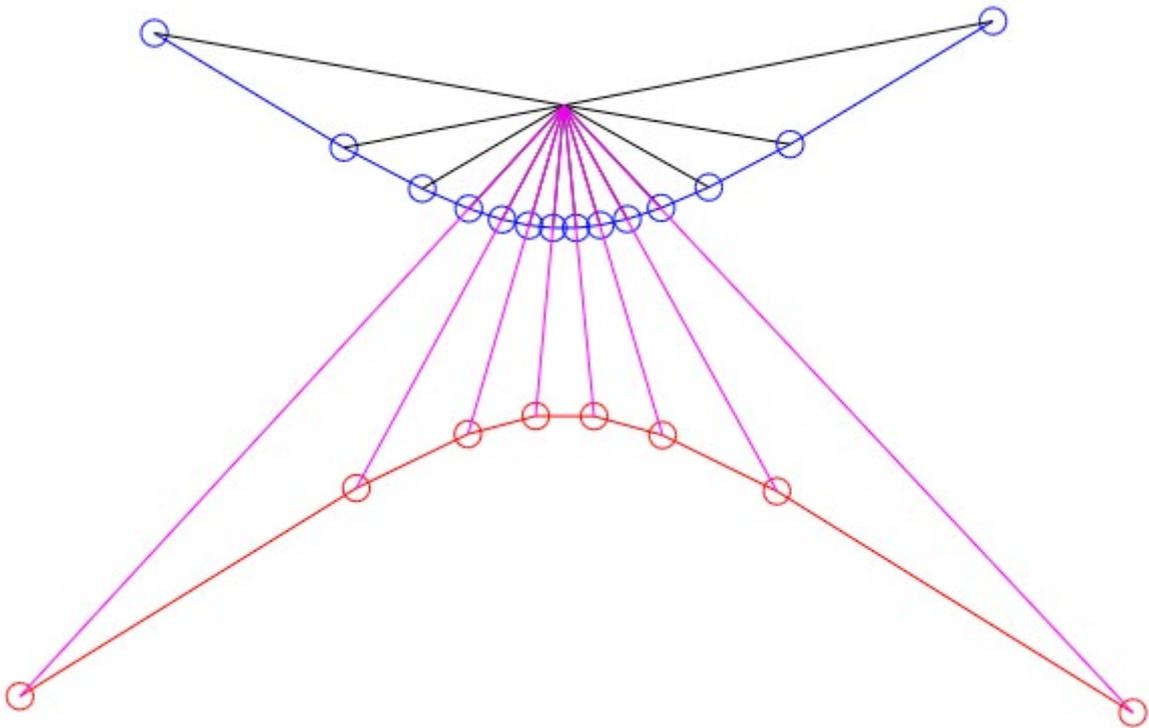


EVENTI ASTRONOMICI per l'anno 2025

Con brevi note di astronomia pratica



Daniele Mazza

Contiene Programmi e Grafici

Indice

- **Introduzione**
- 1 **Distanza Terra-Sole e flusso energetico solare durante il 2025**
- 2 **Visibilità planetarie 2025 : Mercurio**
- 3 **Visibilità planetarie 2025 : Venere**
- 4 **Visibilità planetarie 2025 : Marte**
- 5 **Visibilità planetarie 2025 : Giove**
- 6 **Visibilità planetarie 2025 : Saturno**
- 7 **La Luna nel 2025**
- 8 **Eclissi di luna nel 2025**
- 9 **Eclissi di sole 2025 – 2026**
- 10 **Congiunzioni planetarie 2025**
- 11 **Coordinate cartesiane**
- 12 **Distanza di un punto dall'origine degli assi**
- 13 **Equazione della circonferenza in coordinate cartesiane ortogonali**
- 14 **Equazione di un'ellisse in coordinate cartesiane ortogonali**
- 15 **Cerchio ed ellisse in coordinate polari**
- 16 **Moto orbitalico e leggi di Keplero**
- 17 **Coordinate sferiche**
- 18 **Misura del tempo e la Data Giuliana (JD)**
- 19 **Il sito Horizons della NASA e il suo database**
- 20 **Coordinate equatoriali**
- 21 **Il tempo sidereo e la trasformazione equatoriale-altoazimutale**
- 22 **L'equazione del tempo e la meridiana**
- 23 **La prima e più semplice meridiana**
- 24 **La meridiana verticale da muro**
- **Appendice** : La narrazione della meridiana (ChatGPT 3.5)

Introduzione

Calcolare la posizione dei pianeti e degli astri è da tempo una passione per chiunque alzi lo sguardo da terra verso la 'volta celeste'. In effetti, come l'universo di cui è un'immagine per noi terrestri, questa volta celeste è un sistema altamente dinamico, vuoi per la rotazione terrestre, che muove apparentemente la volta da Est a Ovest, vuoi per il moto del nostro pianeta, la Luna, ma anche del Sole, dei pianeti solari, delle comete e via scorrendo.

Anche le cosiddette 'stelle fisse' si muovono secondo la loro scala dei tempi, legata a sua volta alla lentissima rotazione su se stessa della nostra galassia, la Via Lattea.

Con la graduale disponibilità di strumenti di calcolo 'personali' dalle prime calcolatrici tascabili con funzioni trigonometriche ai moderni 'Personal Computer' gli algoritmi necessari per prevedere il movimento degli astri sono ormai disponibili al vasto pubblico. Non con una certa difficoltà, dovuta all'uso della trigonometria nei calcoli astronomici, delle loro trasformazioni e delle unità di misura/sistemi di riferimento, solo per citare alcuni degli aspetti critici.

Possiamo indicare alcuni (in realtà non sono molti) testi basilari con indirizzo divulgativo, partendo da *Practical astronomy with your calculator* di Peter Duffett-Smith (1979 1^a e 1981 2^a edizione). Tradotto in italiano da Sansoni ed. con il titolo di *Astronomia pratica con l'uso del calcolatore tascabile*.

Seguito da *Mathematical Astronomy with a pocket calculator* di Aubrey Jones del 1981, tradotto in italiano come *Astronomia con il calcolatore tascabile, programmi per logica polacca e algebrica* da Murzio Editore.

Uno dei testi fondamentali è stato senza dubbio *Astronomie mit dem Personal Computer*, autori O. Montenbruck e T. Pfleger, giunto alla quarta edizione in tedesco nel 2000 e regolarmente tradotto in inglese da Springer Verlag con il titolo di *Astronomy on the Personal Computer*.

Negli ultimi 40 anni, parallelamente alla divulgazione degli algoritmi di calcolo, anche gli strumenti e le piattaforme di calcolo sui PC si sono evoluti, offrendo anche ai neofiti enormi possibilità di manipolazione dei dati numerici.

Dai primi linguaggi come il *Basic* o il *Pascal* si è arrivati ai cosiddetti "linguaggi di terza generazione" come *C++*, *Python* o *Java*. Un linguaggio di terza generazione può affrontare una vasta casistica di compiti, offrendo allo sviluppatore un controllo preciso sulle variabili e la possibilità di scrivere codici eseguibili molto veloci. Comunque l'utilizzo di questi linguaggi richiede un livello di competenze non diffuso tra tutti gli appassionati di astronomia, mentre i linguaggi di quarta generazione, come *Matlab* (abbreviazione di Matrix Laboratory) o *Octave* (versione free di *Matlab*, con quasi tutte le potenzialità) sono progettati con lo scopo specifico di fornire ampie possibilità computazionali in ambito tecnico-scientifico con il minor numero possibile di istruzioni e di competenze specifiche

In questo senso *Octave* consente all'utente di lavorare con raccolte eterogenee di dati, piuttosto che con variabili individuali, rendendo più facile per l'utente concentrarsi sull'attività e la presentazione grafica dei dati, invece che sulla programmazione.

Nonostante le potenzialità offerte da *Octave*, i calcoli astronomici possono divenire molto complessi, appena si cerca di risolvere ad esempio l'equazione di Keplero o di calcolare gli elementi orbitalici di un satellite come la Luna, che orbita contemporaneamente attorno alla Terra ed al Sole.

Una gran parte di questi calcoli complessi e quindi la loro presentazione numerica sotto forma di effemeridi è svolta da un certo numero di siti web specializzati. In questo modo l'appassionato può utilizzare questi dati, di elevata precisione, come input ed elaborarli graficamente con semplici script di *Octave*.

In questo libro faremo riferimento al sito *Horizons* curato dal Jet Propulsion Laboratori (NASA)[1]. Esso offre incomparabili ed affidabili database per ogni forma di calcolo astronomico, in forma numerica (file testo) con una particolare formattazione che sarà esaminata e commentata.

Mettendo insieme le potenzialità di *Octave* e i database di *Horizons* il lettore sarà così in grado di affrontare sfide fino ad ora difficilmente proponibili per un appassionato medio, come calcolare alba e tramonto del Sole, progettare una meridiana per un luogo specifico, prevedere le eclissi lunari, calcolare le forze di marea dovute alla Luna ed al Sole, proiettare sulla volta celeste le posizioni dei pianeti altro ancora.

L'elenco dei codici (essendo brevi e compatti li chiameremo *script*) in questo libro è specificamente progettato per funzionare sulla piattaforma open source *Octave*, tuttavia, volendo, con un piccolo sforzo la maggior parte dei semplici script può essere esportata su Matlab, una piattaforma molto simile per i nostri scopi, con ampie potenzialità, ma non gratuita.

Per i lettori curiosi, la piattaforma *Octave* può essere scaricata e installata dal sito istituzionale di *Octave*, www.octave.org. Sullo stesso sito sono disponibili i manuali e la documentazione.

Attualmente (dal 14 marzo 2024) è disponibile la versione 9.1.0

Gli script utilizzati nel libro come esempi ma anche per generare le varie figure sono scaricabili dal sito dell'Autore (www.daniele-mazza.it) attraverso i *link* contenuti nel testo.

1 Distanza Terra-Sole e flusso energetico solare durante il 2025

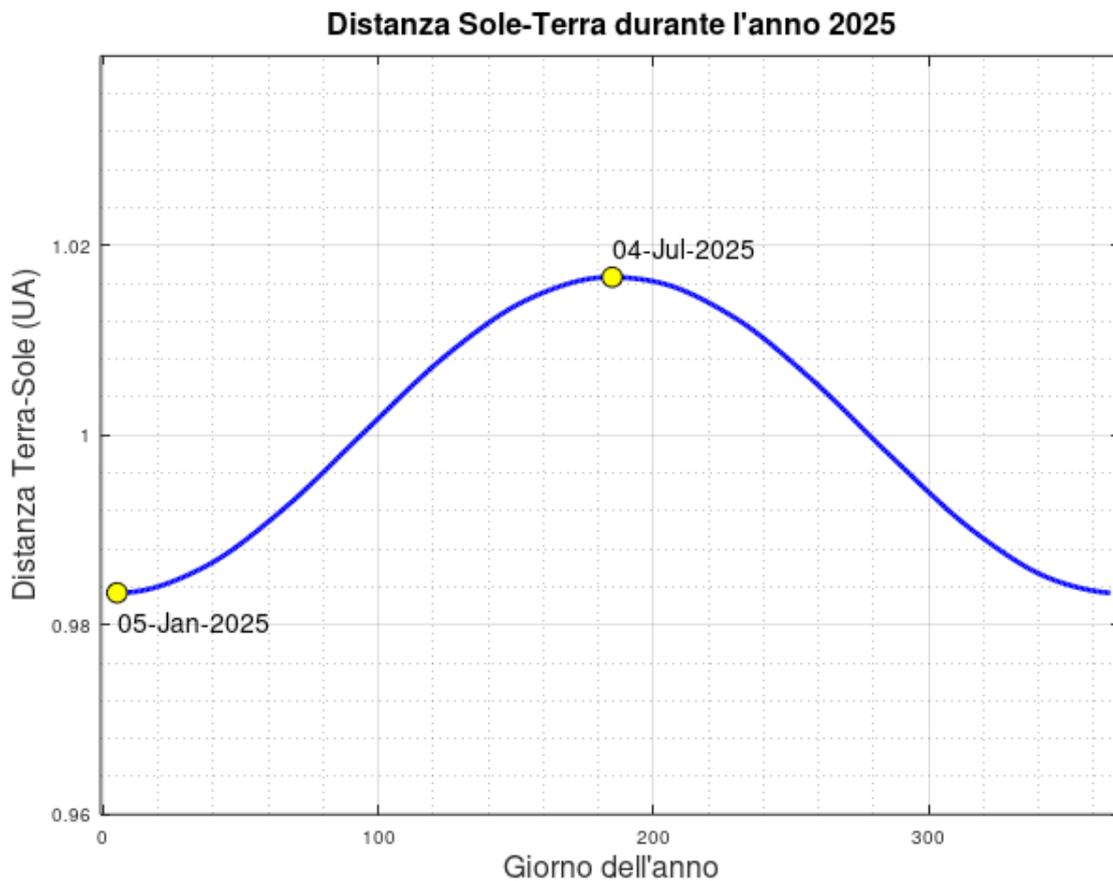
La distanza tra la Terra e il Sole non è costante durante tutto l'anno, a causa dell'orbita ellittica della Terra attorno al Sole. Questa variazione non è la ragione per cui sperimentiamo le stagioni; l'inclinazione dell'asse terrestre gioca un ruolo più decisivo in questo fenomeno.

Tuttavia la variazione del flusso solare ha notevoli implicazioni in climatologia

Ecco come varia la distanza:

Perielio: Questo è il punto in cui la Terra si trova più vicina al Sole. Si verifica di solito intorno al 3 o al 5 gennaio di ogni anno. A questo punto, la distanza media è di circa 147 milioni di chilometri.

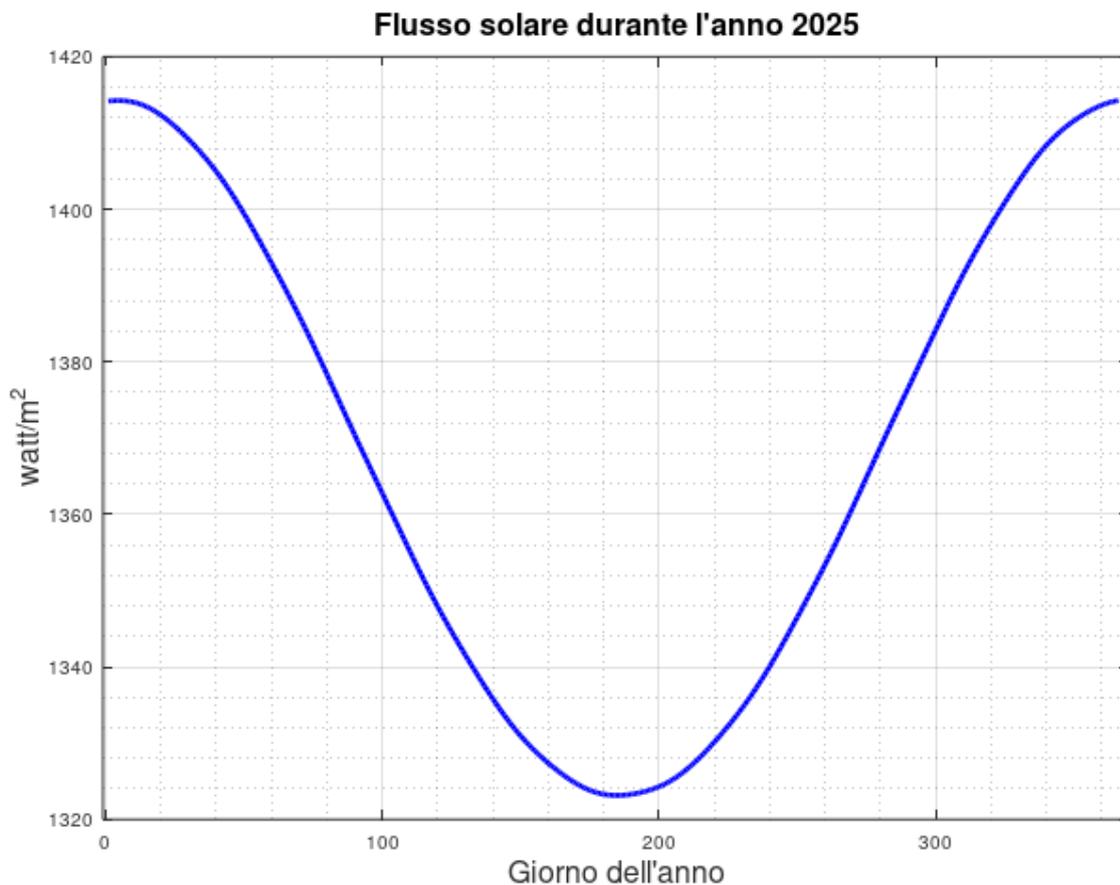
Afelio: Questo è il punto in cui la Terra si trova più lontana dal Sole. Si verifica di solito intorno al 4 o al 5 luglio di ogni anno. A questo punto, la distanza media è di circa 152 milioni di chilometri.



La differenza tra questi due punti è di circa 5 milioni di chilometri, che equivale a una variazione di circa il 3,4% nella distanza dal Sole. Nonostante questa variazione sembri significativa, come ho detto, è l'inclinazione dell'asse terrestre, e non la variazione della distanza dal Sole, a essere il fattore predominante nelle variazioni stagionali che sperimentiamo. Questa variazione di distanza influisce

maggiormente sulla leggera variazione dell'intensità della radiazione solare ricevuta dalla Terra durante l'anno.

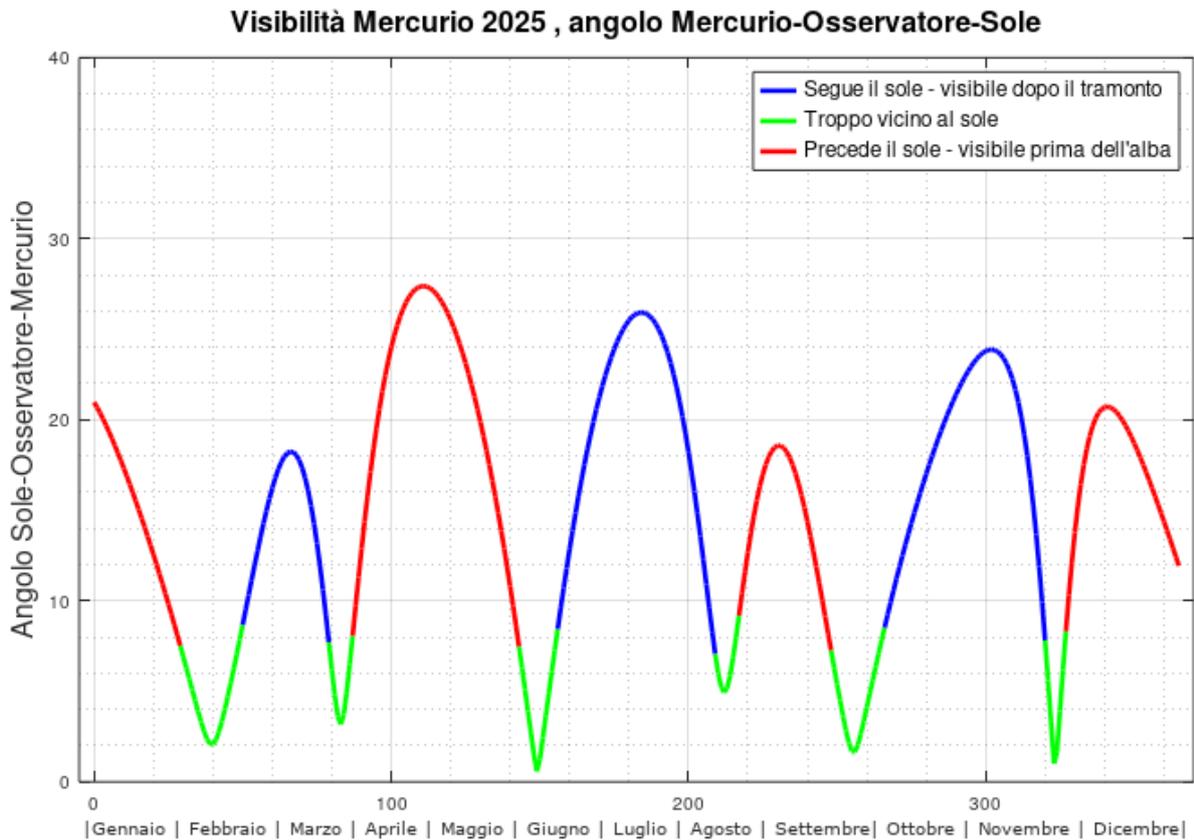
Poichè l'intensità radiante del sole varia con l'inverso del quadrato della distanza, essa è maggiore di 3,4% ed ammonta a poco meno del 7%. Per la precisione il valore massimo è 1414,3 watt/m² e si raggiunge il 5 gennaio, quando la terra si trova più vicina al sole (perielio), il valore minimo quando la terra è più lontana (afelio) il 4 luglio. Il valore medio del flusso termico radiante (che comprende quindi visibile, ultravioletto ed infrarosso) risulta 1368.7 watt/m²



Per i curiosi... [qui si trova](#) lo script relativo alle due figure

2 Visibilità planetarie 2025 : Mercurio

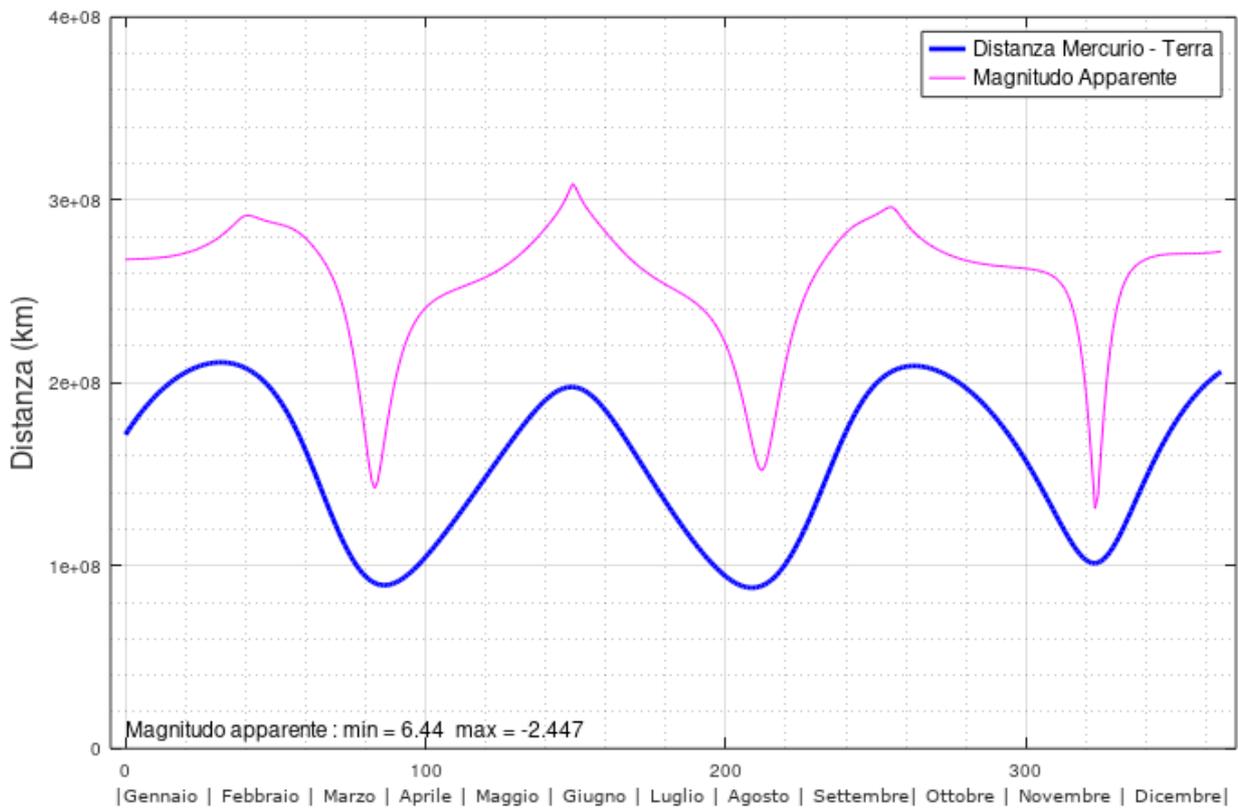
Essendo Mercurio un pianeta interno del sistema solare, l'osservazione diretta del pianeta Mercurio dalla Terra è piuttosto difficoltosa, ed è possibile solamente poco dopo il tramonto o appena prima dell'alba a causa della ridotta distanza angolare dal Sole; sempre per questo motivo, la parte del pianeta che vediamo è quella non illuminata dal Sole. Inoltre l'estrema brevità del suo moto di rivoluzione (solamente 88 giorni) ne permette l'osservazione solamente per pochi giorni consecutivi, dopo di che il pianeta si rende inosservabile dalla Terra.



La sua magnitudo apparente varia notevolmente , da 6.44 (non più visibile a occhio nudo) a -2.45 (molto visibile), quindi di 8.89. La scala delle magnitudo apparenti di un oggetto celeste è logaritmica (Pogson, 1856). Essa varia da 1 a 6 per una variazione di luminosità da 100 a 1, quindi per ogni variazione unitaria la luminosità varia di $100^{(1/5)} = 2.512$. Perciò, una stella di prima magnitudine si trova a essere 2,512 volte più luminosa di una stella di seconda e così via.

Una variazione di 8.89 quindi corrisponde ad una notevolissima variazione luminosa, pari a $2,512^{8.89} = 3599$, quasi 3600 volte !

Distanza Terra - Mercurio (km) e Magnitudo apparente



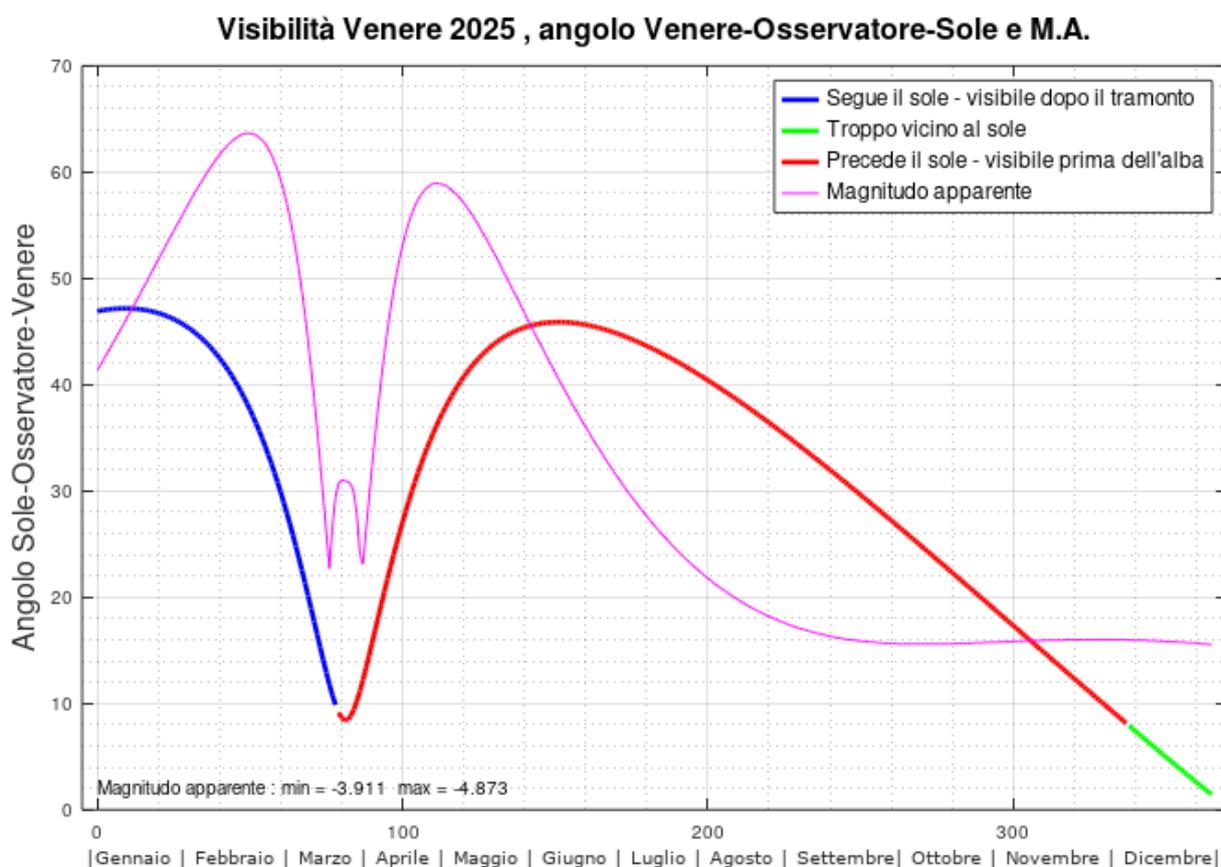
I dati delle figure qui sopra si riferiscono all'anno 2025

Per i curiosi... [qui si trova](#) lo script relativo alle due figure precedenti

3 Visibilità planetarie 2025 : Venere

Venere appare ad occhio nudo come un astro lucente di colore giallo-biancastro di magnitudine compresa tra -3.9 e -4.87, come dedotto dai dati *Horizons* per il 2025. Poiché il pianeta è interno all'orbita della Terra, appare sempre molto vicino al Sole, manifestandosi prima dell'alba o dopo il tramonto, compatibilmente con la sua posizione. Per questo è detto anche stella del mattino, Lucifero, e stella della sera, Vespero.

Alla sua elongazione massima, di circa 48° , precede l'alba o segue il tramonto di circa 3 ore, che corrispondono al massimo periodo di visibilità in una notte. Periodicamente passa davanti o dietro al Sole entrando quindi in congiunzione ed è allora non visibile, offuscato dal bagliore solare. I valori in ordinata della figura

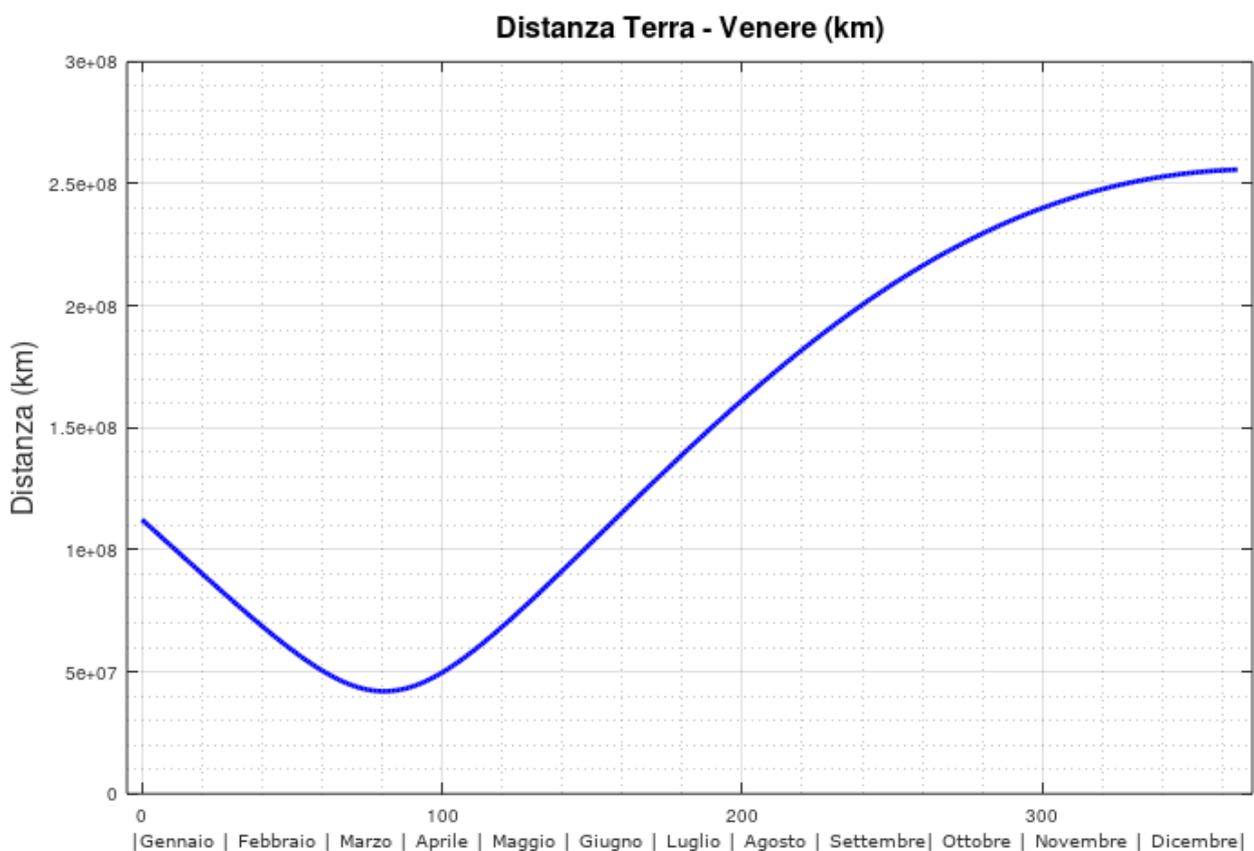


qui sopra sono in gradi sessagesimali, ma possono essere facilmente trasformati in ore dividendo per 15. In questo modo l'elongazione massima di circa 48° corrisponde a 3.2 ore (3 ore e 12 minuti)

Venere, se osservata dalla Terra, come tutti i corpi sferici presenta un'illuminazione variabile, le cosiddette 'fasi'. Diversamente a quanto accade per la Luna, tuttavia, le fasi di Venere in generale non possono essere osservate ad occhio nudo, ma è necessario almeno un piccolo telescopio.

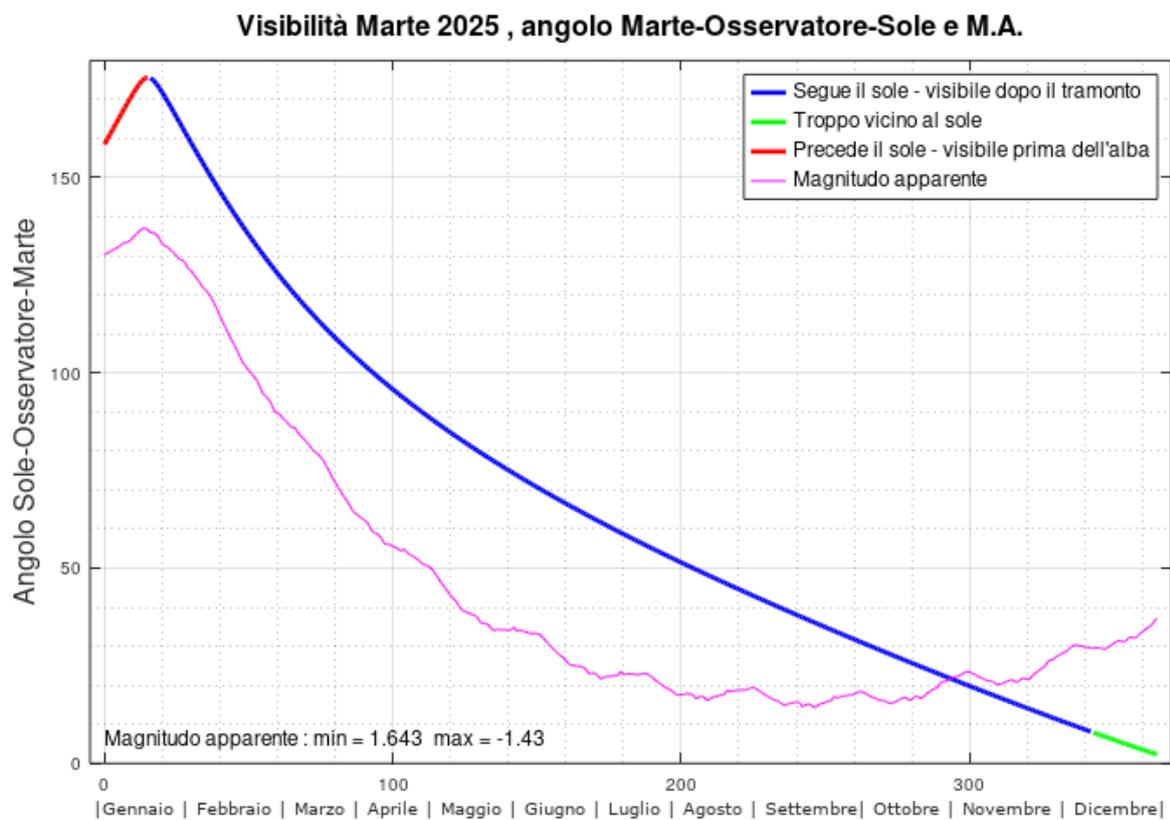
Il pianeta è in una fase "piena" (tutto il disco illuminato) quando è prossimo alla congiunzione superiore, e pertanto invisibile poiché vicinissimo al Sole. Inoltre, la distanza dalla Terra è massima (1,72 UA) e il suo diametro apparente di soli 9,9". È visibile un "quarto" del pianeta quando è alla sua elongazione massima. In tale posizione, molto più vicina alla Terra, il diametro apparente di Venere è di 37,7". La fase "nuova" si verifica, invece, alla congiunzione inferiore: Venere è a 0,28 UA dalla Terra ed il suo diametro appare di 64,5", sei volte e mezzo più grande che alla congiunzione inferiore.

La massima luminosità è raggiunta verso la fine di febbraio (nel 2025) e verso la fine di aprile, poco prima e poco dopo la congiunzione inferiore, quando la distanza dalla terra è minima.

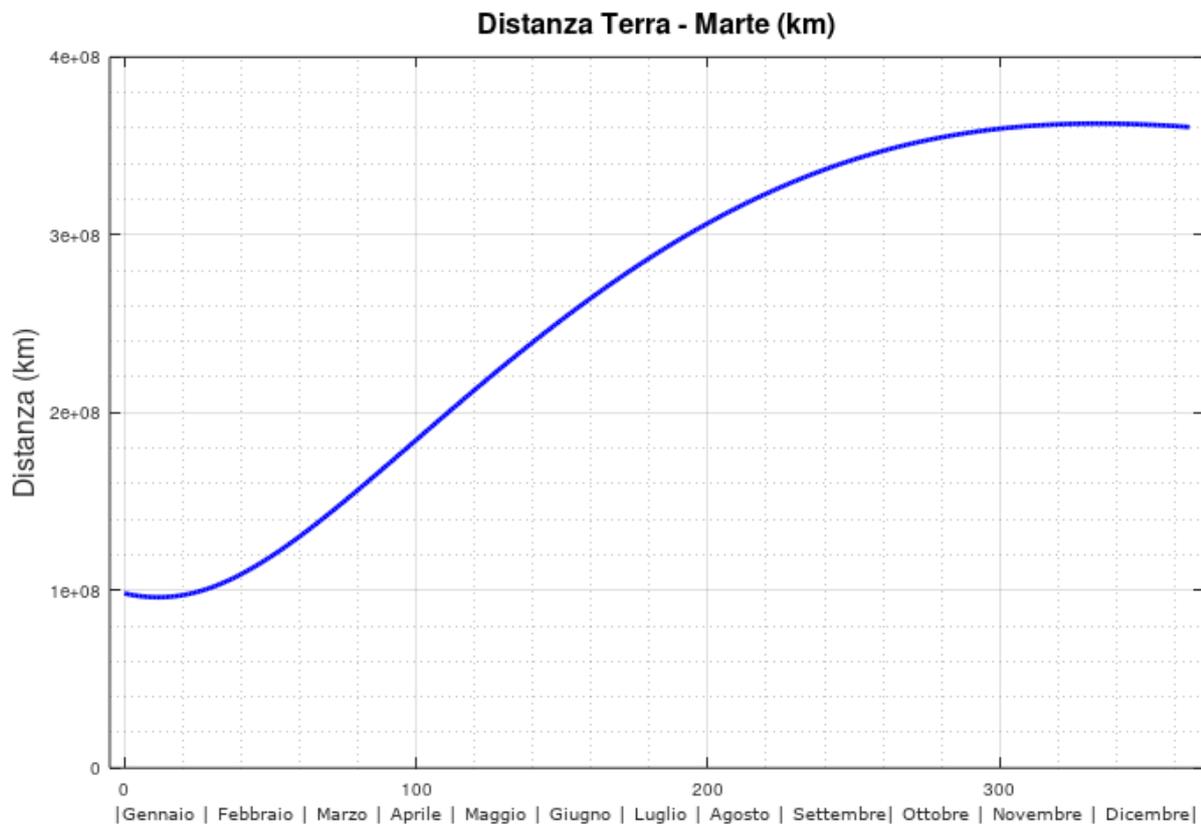


Per i curiosi... [qui si trova](#) lo script relativo alle due figure precedenti

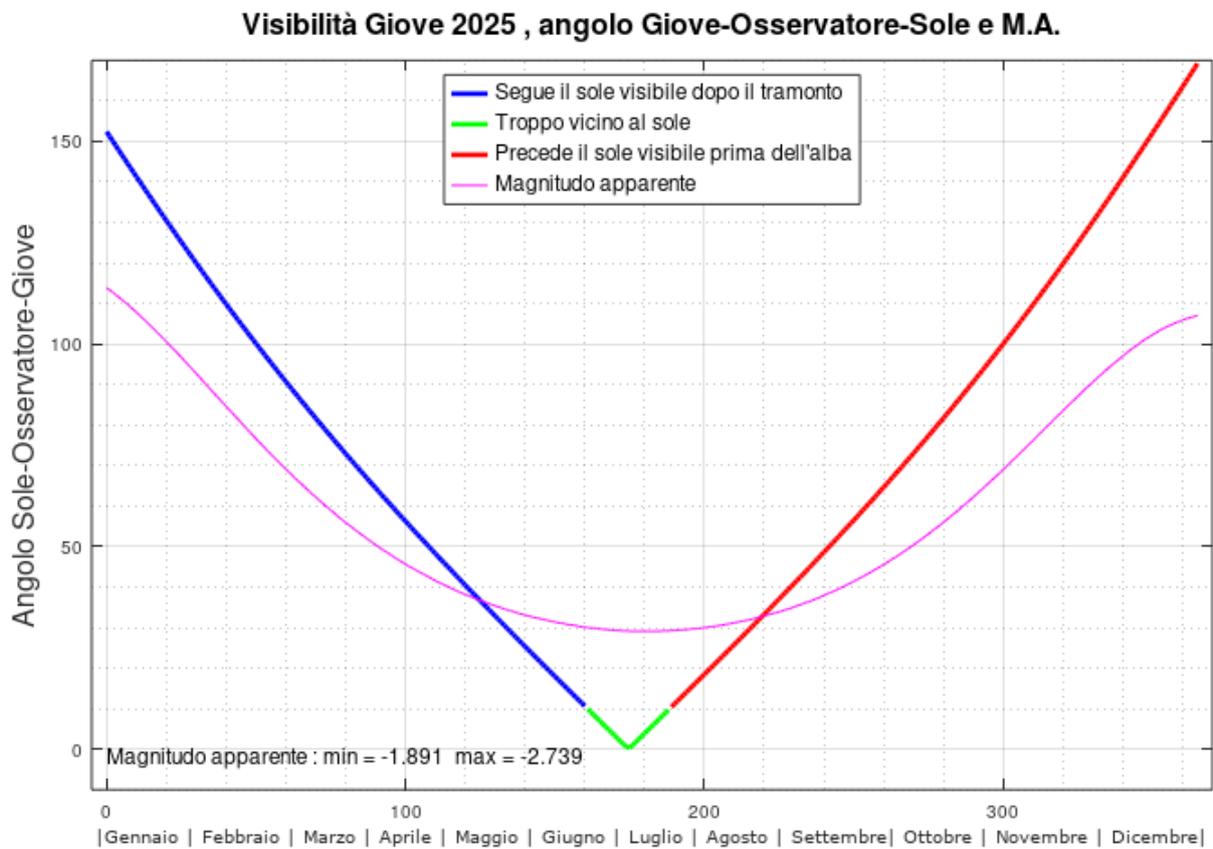
4 Visibilità planetarie 2025 : Marte



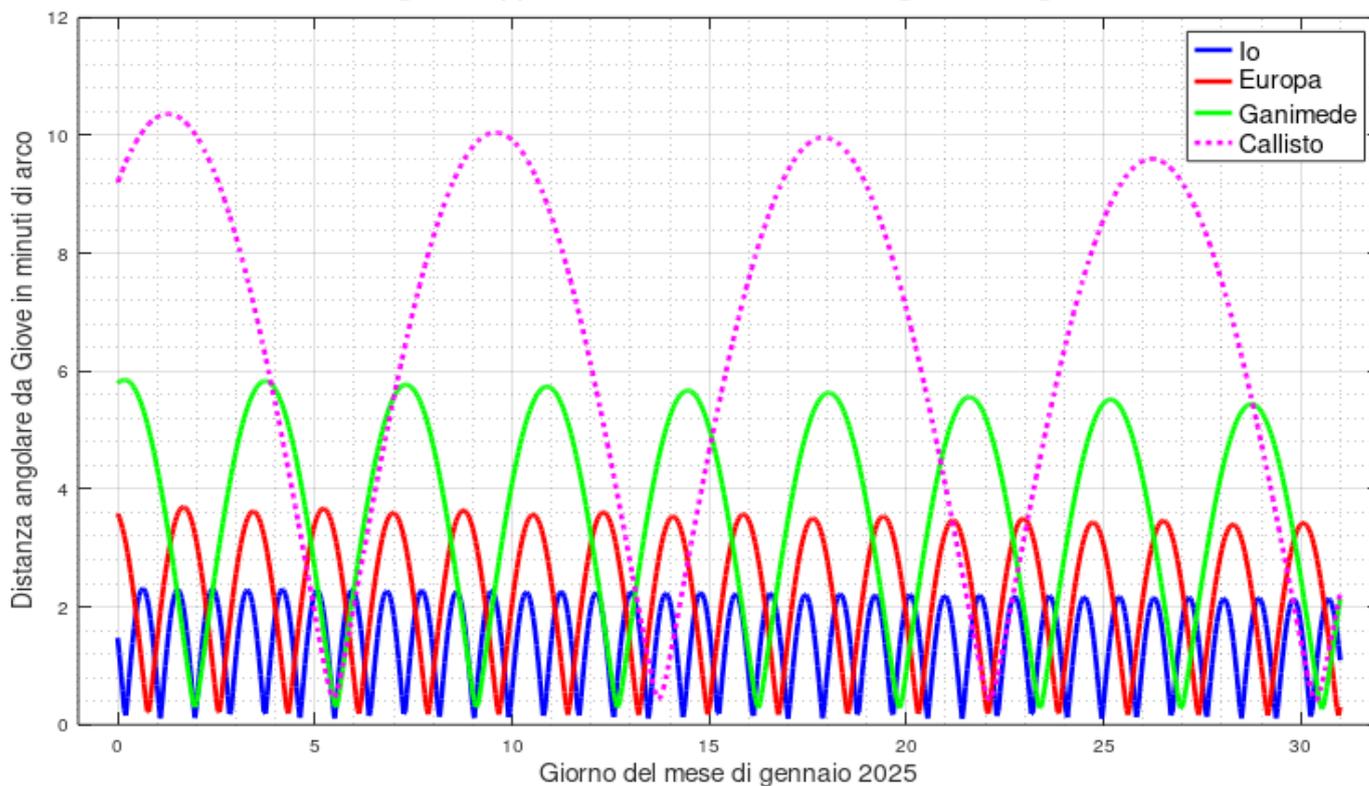
Per i curiosi... [qui si trova](#) lo script relativo alle due figure su Marte



5 Visibilità planetarie 2025 : Giove

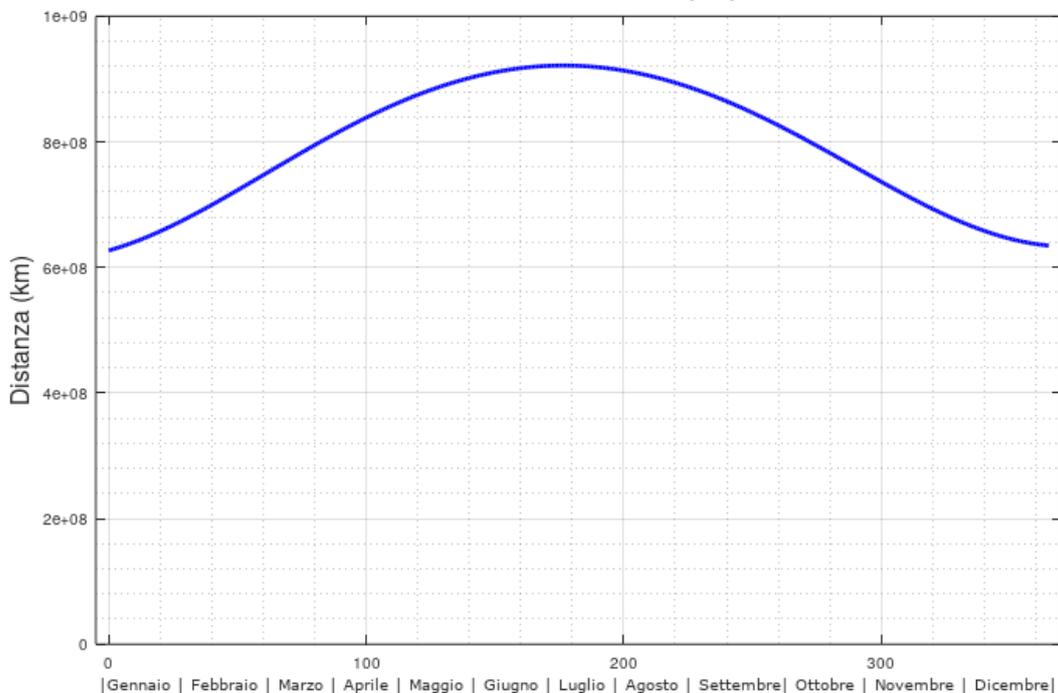


Distanza angolare apparente da Giove delle 4 lune galileiane - gennaio 2025



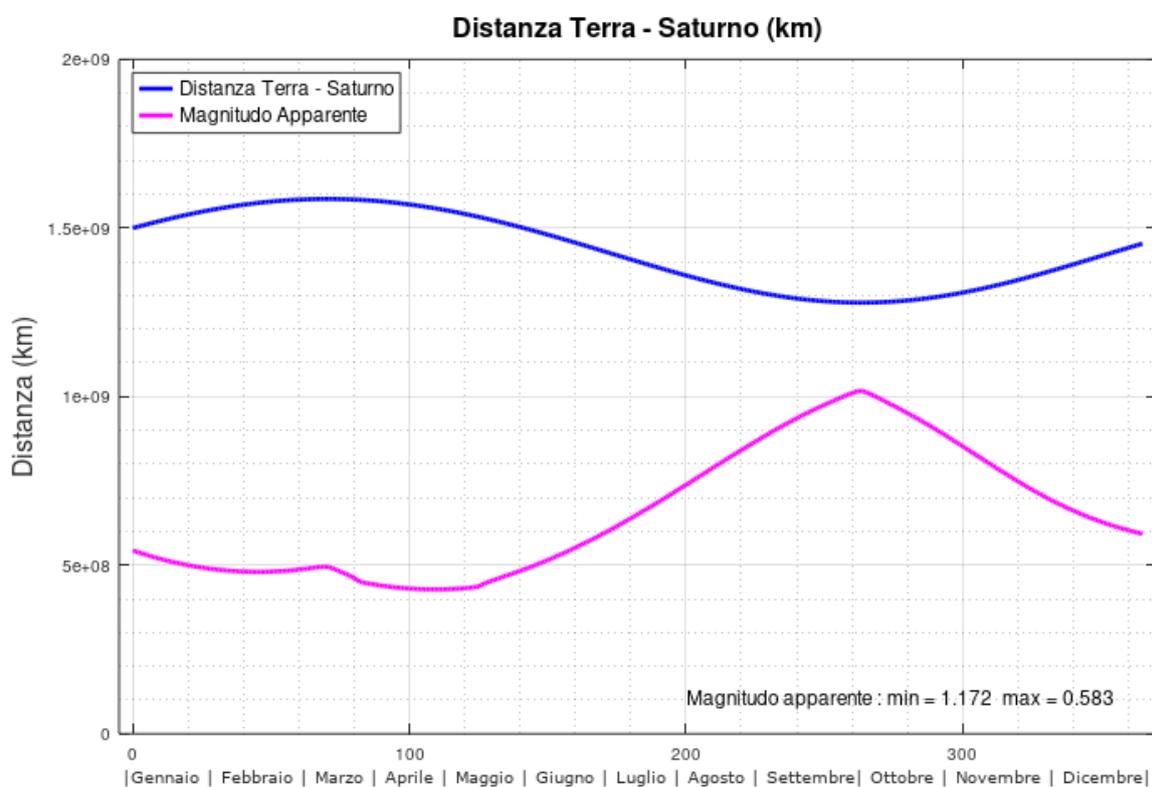
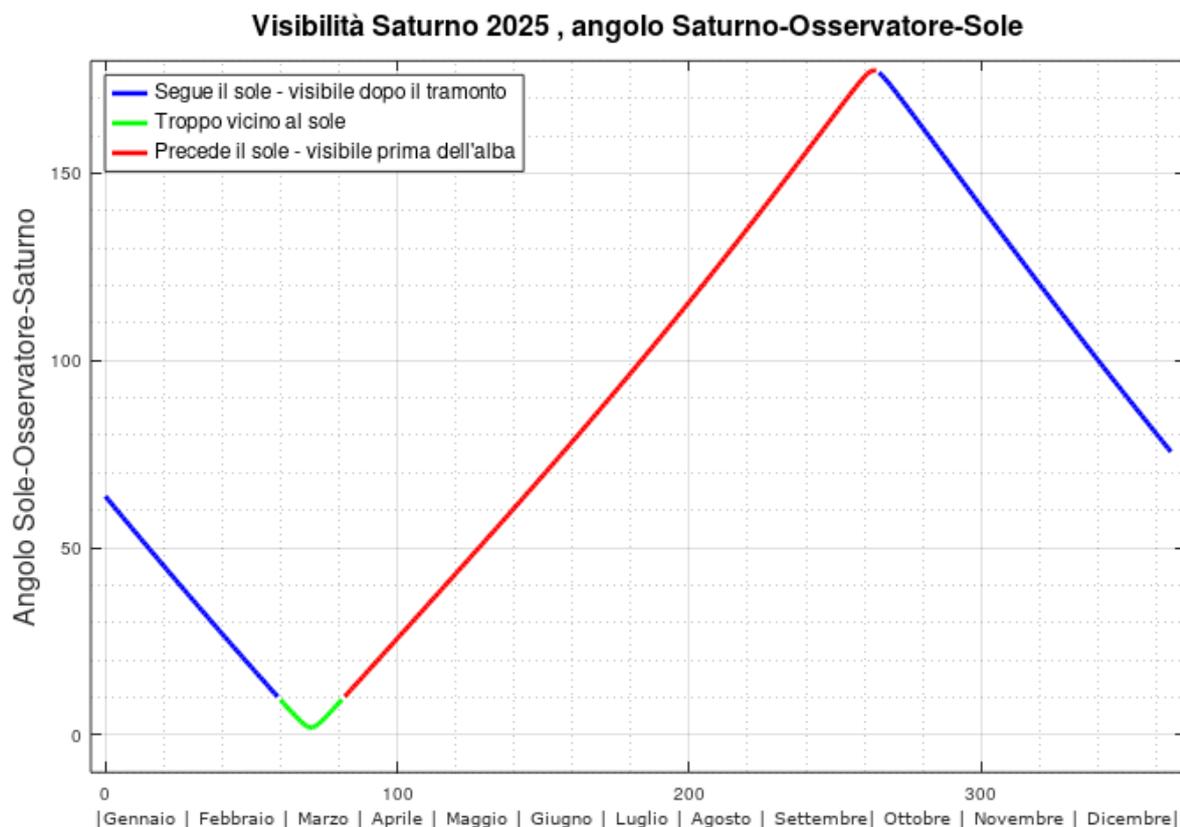
Per i più curiosi lo script può essere [scaricato qui](#).

Distanza Terra - Giove (km)



Per i curiosi... [qui si trova](#) lo script relativo alle due figure precedenti

6 Visibilità planetarie 2025 : Saturno



Per i curiosi... [qui si trova](#) lo script relativo alle due figure precedenti

7 La Luna nel 2025

Dagli ultimi mesi del 2024 fino all'inizio del 2025, la Luna potrebbe apparire, a un osservatore casuale, insolitamente bassa e alta nel cielo notturno durante il mese lunare. Il prossimo gennaio 2025 è in calendario un evento astronomico straordinario: il **“grande lunistizio”**. Questo fenomeno, che si verifica ogni **18,6** anni, rappresenta un'importante occasione per osservare il comportamento della Luna e potrebbe offrire nuove chiavi di lettura su antichi monumenti come Stonehenge.

Cos'è il lunistizio : come il Sole, la Luna sorge a Est e tramonta a Ovest. Tuttavia, la sua traiettoria cambia nel corso di un mese, spostandosi da Nord a Sud. Questo movimento raggiunge i suoi limiti estremi su un ciclo di circa 18,6 anni. Durante il lunistizio maggiore, le posizioni in cui sorge e tramonta la Luna raggiungono i punti più estremi a Nord e a Sud.

Se si tracciano i limiti del sorgere e tramontare della Luna per un mese, si noterà un limite settentrionale e uno meridionale oltre il quale la Luna non si sposta mai. Durante un ciclo di 18,6 anni, questi limiti si espandono e si contraggono come un'armonica: arrivano a un massimo durante il lunistizio maggiore (+38° di declinazione) quindi a un minimo durante quello minore(+28° di declinazione). Sebbene il nome “lunistizio” suggerisca che la Luna si fermi, ciò che rimane immobile sono in realtà i limiti estremi delle sue posizioni.

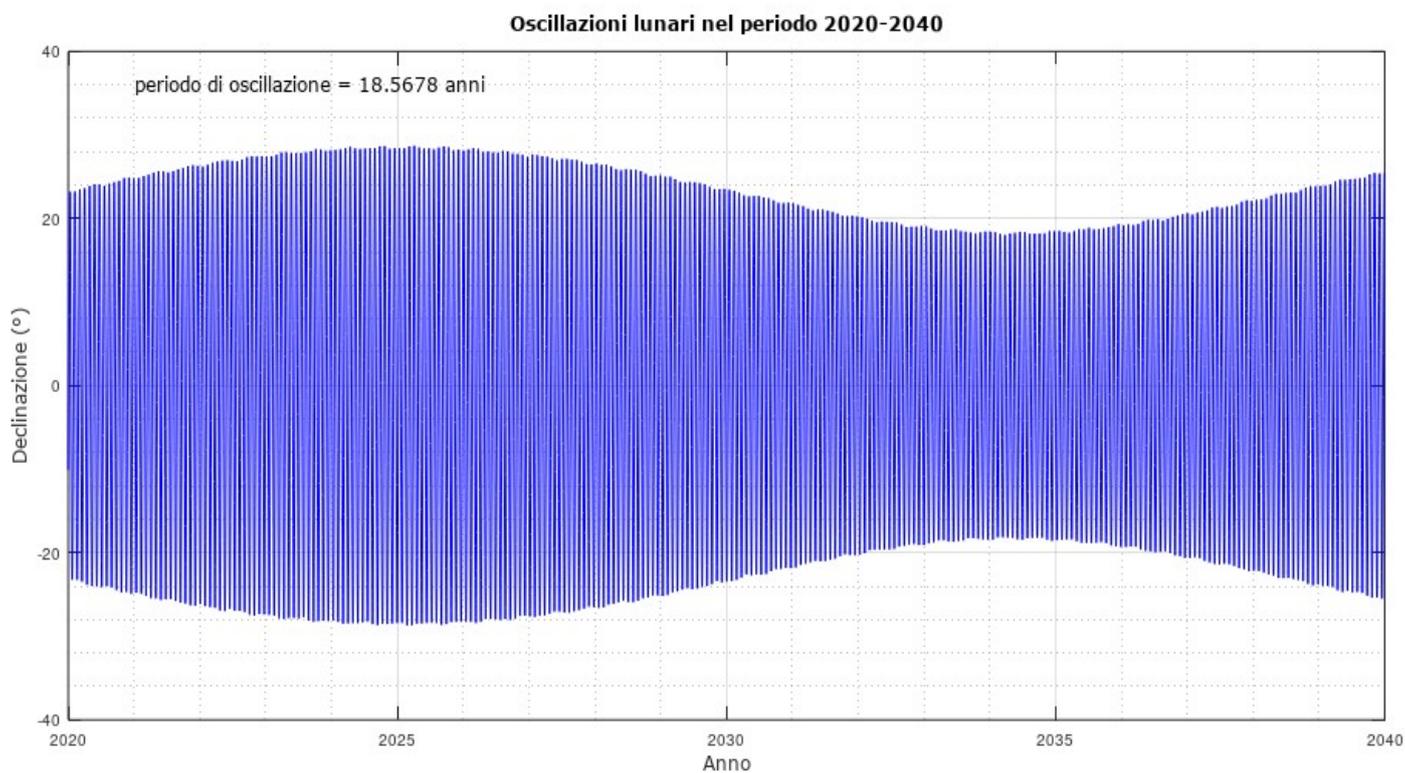
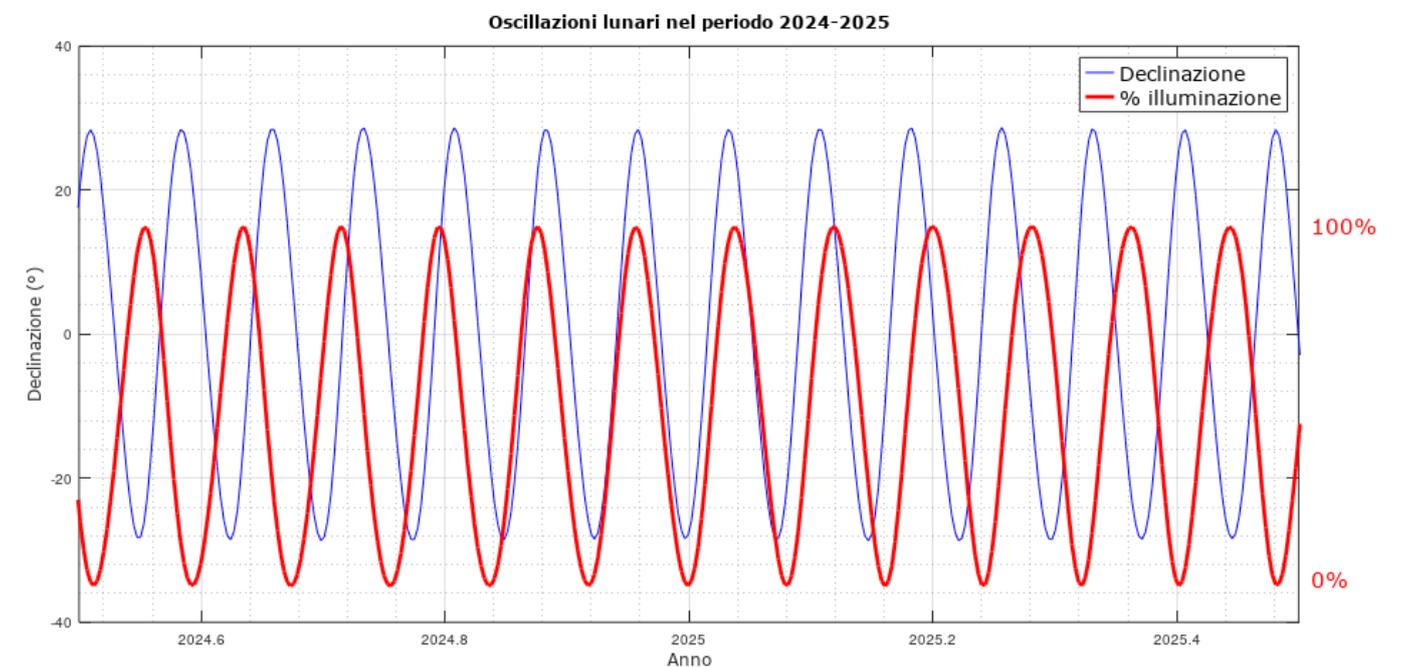
Il prossimo lunistizio maggiore sarà particolarmente evidente da ora fino a metà 2025. Durante questo periodo, la Luna apparirà insolitamente bassa o alta nel cielo notturno. La declinazione della luna (in coordinate celesti equatoriali) assieme alla sua percentuale di illuminazione solare (entrambi ricavate dal sito Horizons) ci spiegano come il fenomeno sarà praticamente percepito. In particolare nel mese di dicembre 2024 i due fenomeni saranno in fase, quindi un evento spettacolare.

Stonehenge, il monumento preistorico situato nella piana di Salisbury in Inghilterra, è strettamente legato a questo fenomeno. Le sue pietre, disposte in 2 cerchi concentrici, sono allineate con i punti estremi del sorgere e tramontare della Luna durante il lunistizio. In particolare, le “station stones” di Stonehenge formano un rettangolo che si allinea approssimativamente con le posizioni estreme della Luna durante il lunistizio.

L'idea che Stonehenge fosse costruito con una qualche relazione con la Luna ha preso piede negli anni '60. Tuttavia, questa teoria non è stata esplorata in modo sistematico fino a tempi recenti. Gli archeologi stanno ora utilizzando il fenomeno del lunistizio per indagare ulteriormente sulle ragioni della costruzione di Stonehenge e sulla sua possibile funzione come osservatorio lunare.

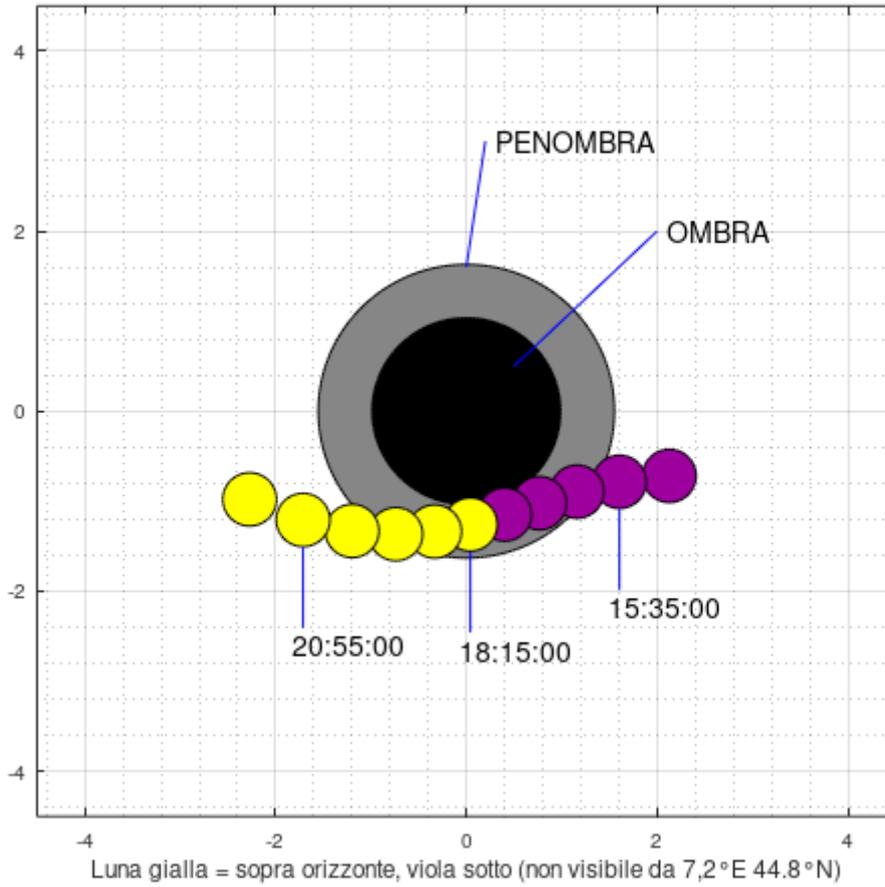
Il prossimo grande lunistizio offre dunque un'opportunità unica per approfondire la nostra comprensione di come le antiche civiltà osservassero e interpretassero il

cielo. Questo evento non solo permette di apprezzare la complessità dei fenomeni celesti, ma anche di riflettere sul profondo legame che gli antichi popoli avevano con l'osservazione astronomica e con monumenti come Stonehenge.

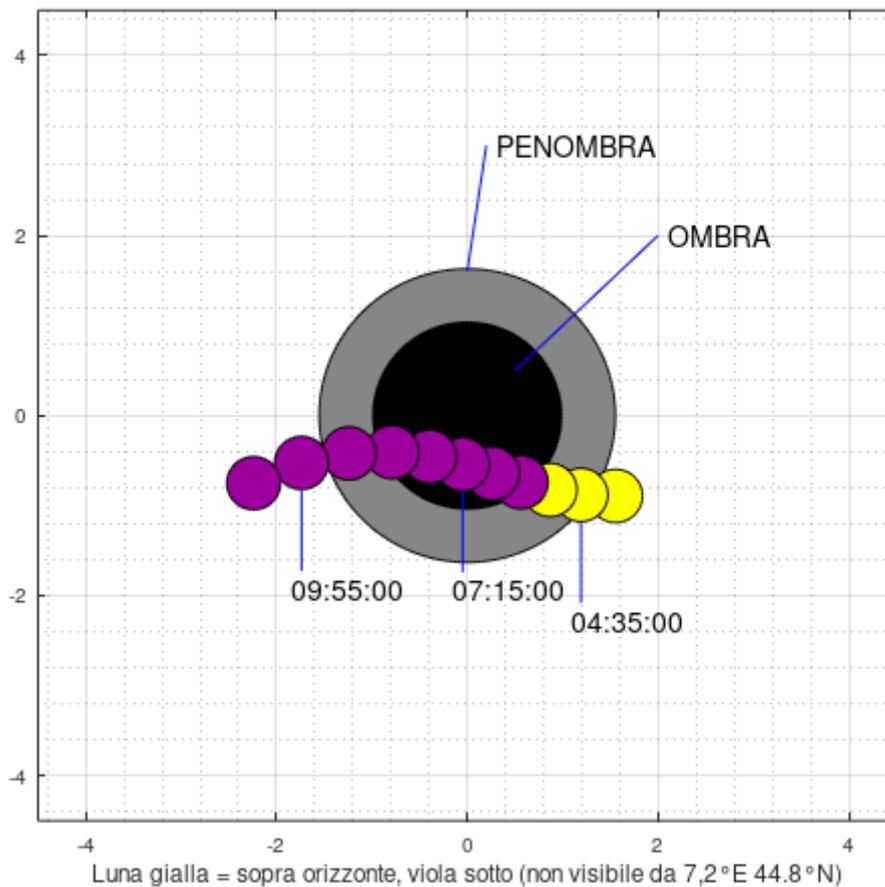


8 Eclissi di luna nel 2025

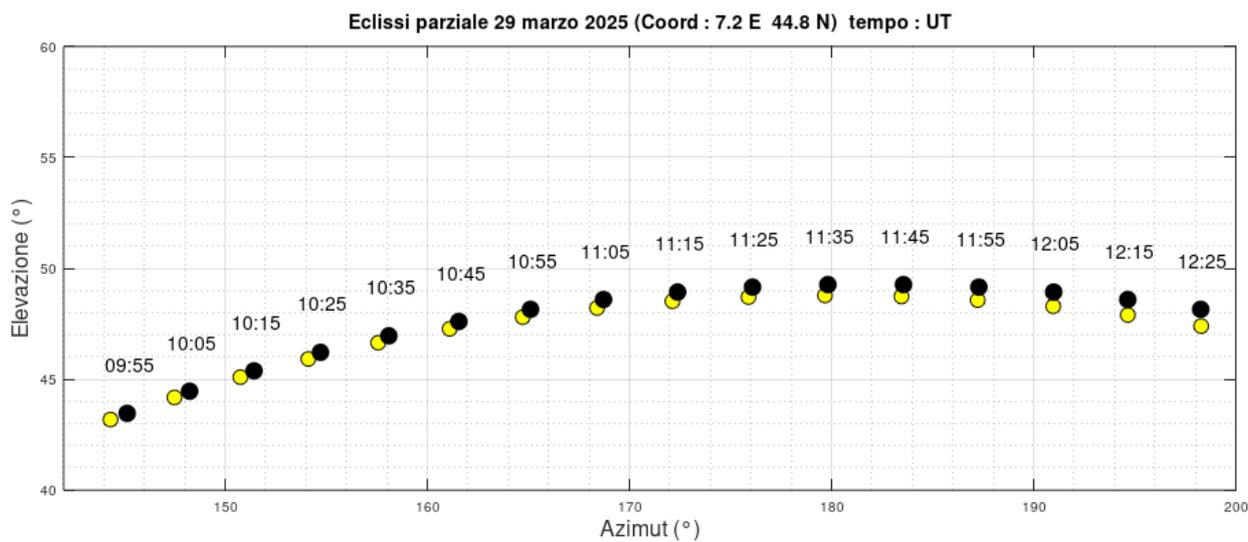
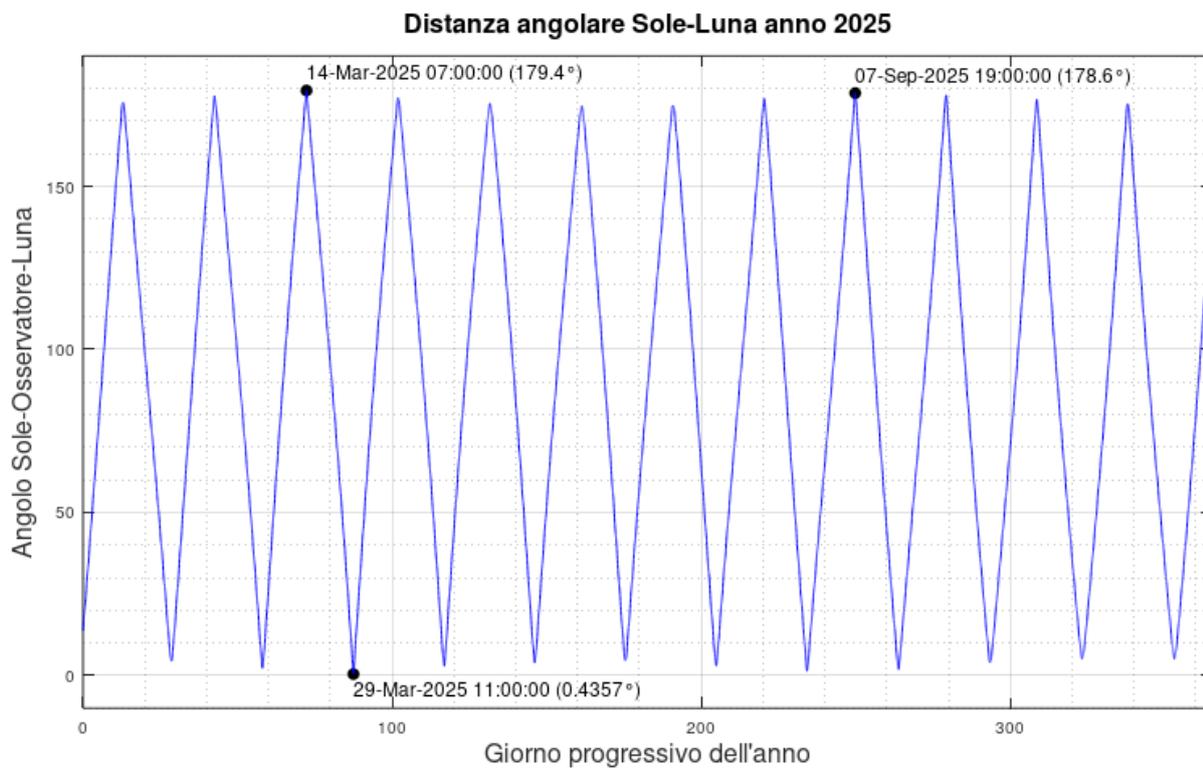
Eclissi Luna 7-sett-2025 (Coord : 7.2 E 44.8 N) tempo : UT



Eclissi Luna 14-marzo-2025 (Coord : 7.2 E 44.8 N) tempo : UT

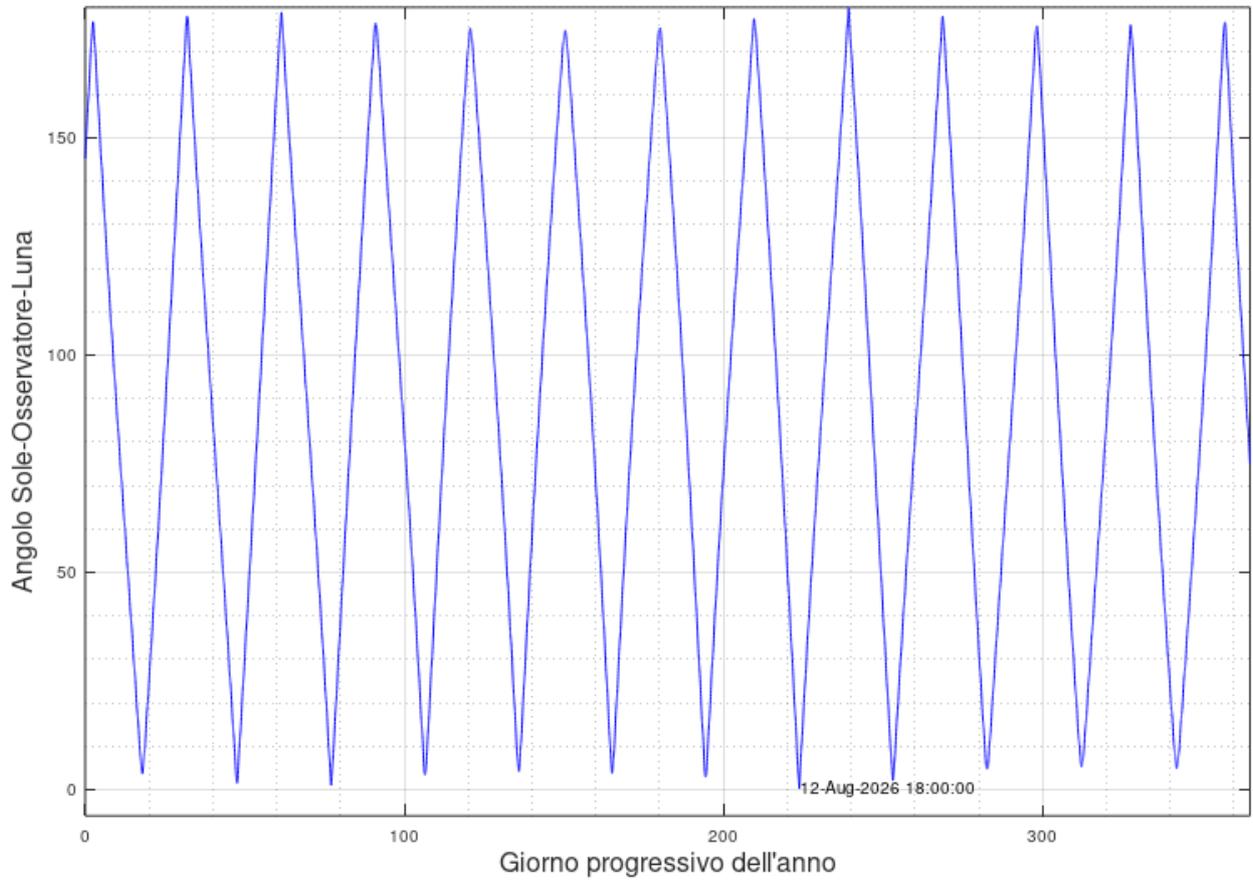


9 Eclissi di sole 2025 - 2026

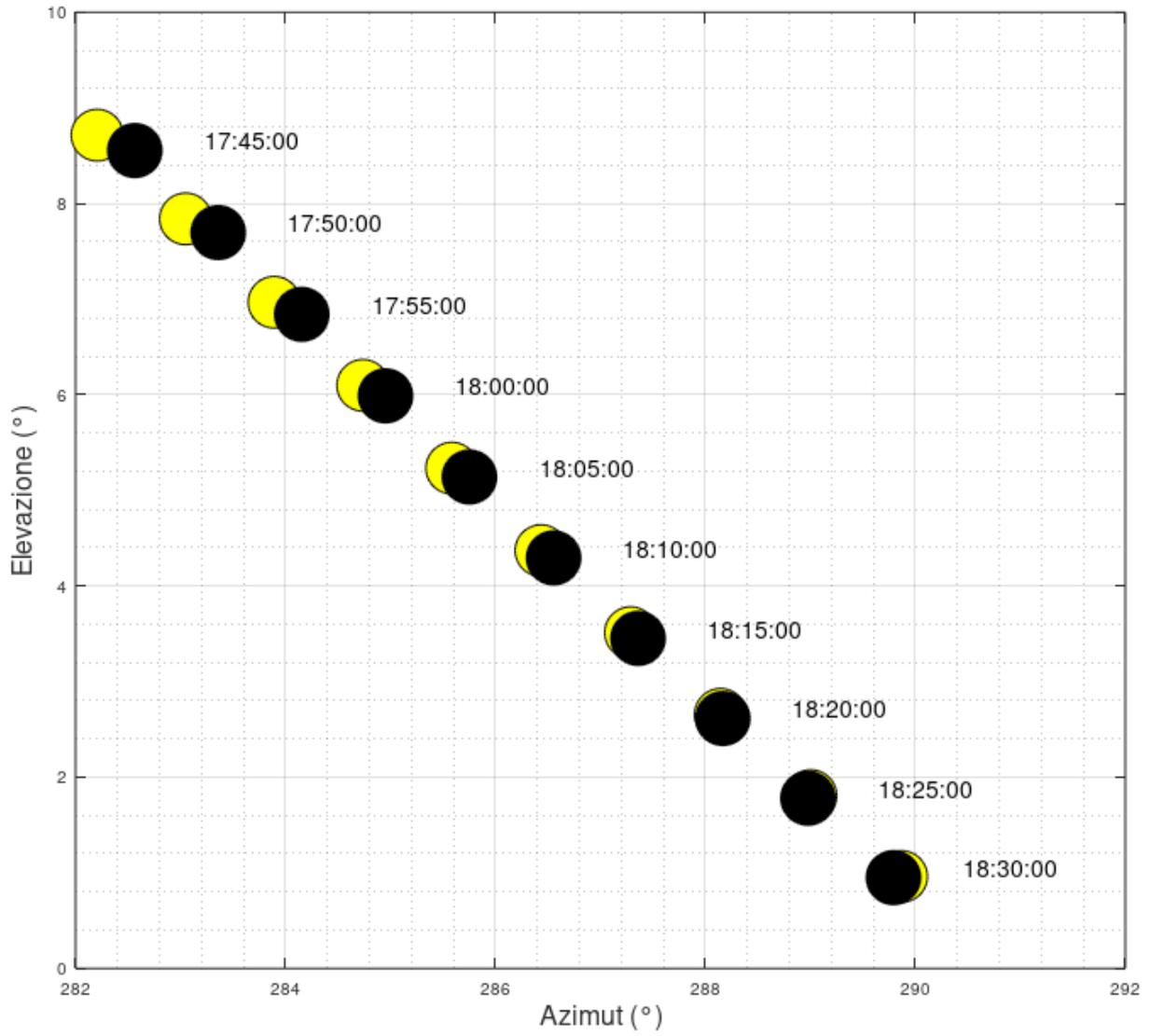


Per i curiosi... [qui si trova](#) lo script relativo alle due figure precedenti

Eclissi anno 2026

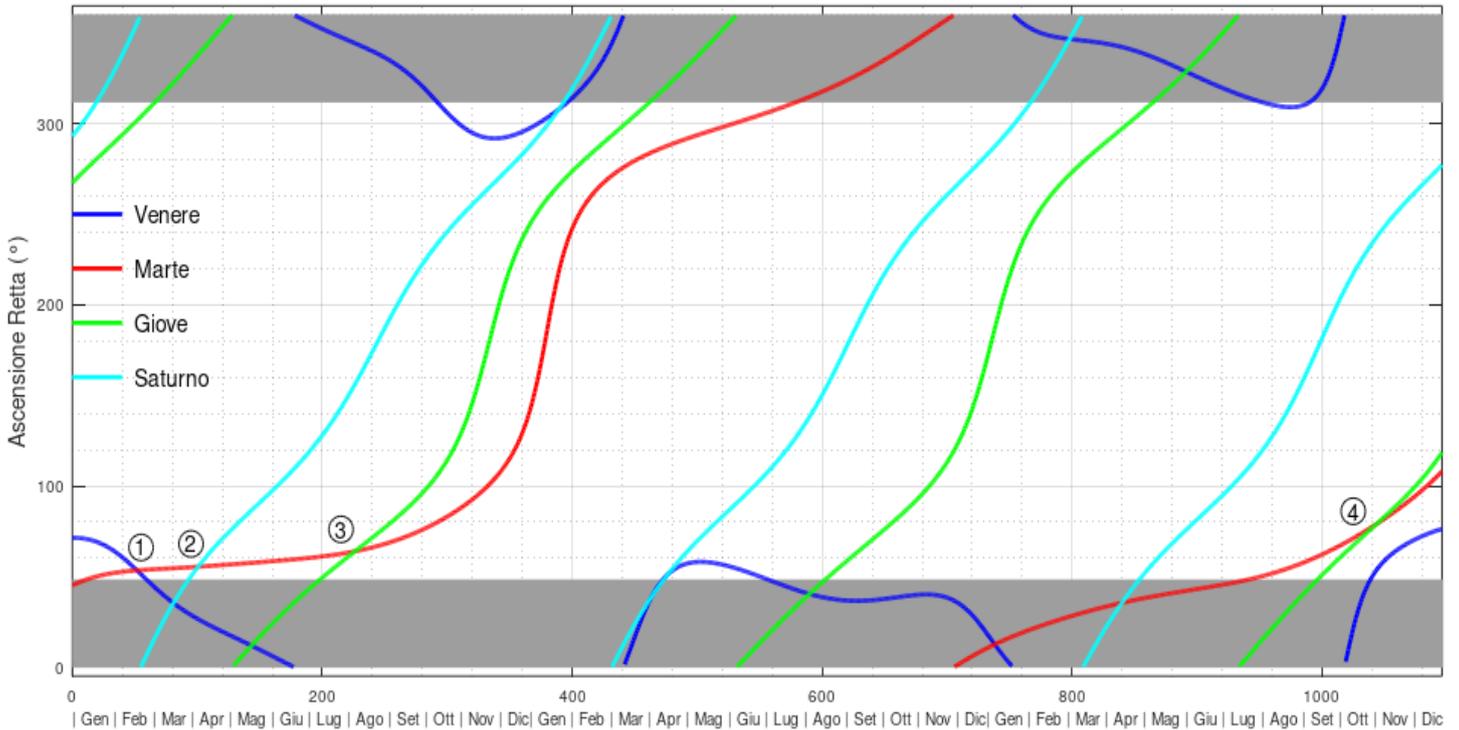


Eclissi 12 agosto 2026 (Coord : 7.2 E 44.2 N) tempo : UT



10 Congiunzioni planetarie 2025

Congiunzioni planetarie 2024-25-26 (Venere, Marte, Giove, Saturno)

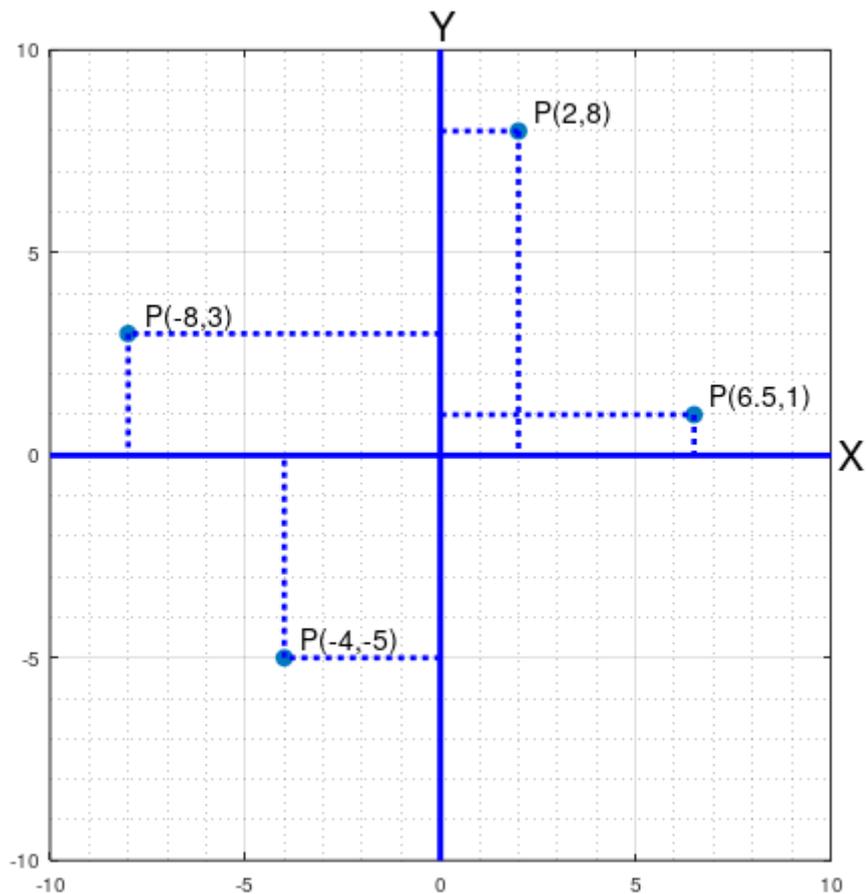


<p>[1] *** Congiunzione Marte-Venere *** Data e ora : 22-Feb-2024 00:00:00 Angolo di congiunzione (°) : 0.67158 Azimut (°) : 53.3696 Elevazione (°) : -55.0377</p>	<p>[2] *** Congiunzione Marte-Saturno *** Data e ora : 11-Apr-2024 00:00:00 Angolo di congiunzione (°) : 0.47584 Azimut (°) : 55.3893 Elevazione (°) : -38.5811</p>
<p>[3] *** Congiunzione Marte-Giove *** Data e ora : 15-Aug-2024 00:00:00 Angolo di congiunzione (°) : 0.36111 Azimut (°) : 63.9979 Elevazione (°) : 5.8508</p>	<p>[4] *** Congiunzione Marte-Giove *** Data e ora : 16-Nov-2026 00:00:00 Angolo di congiunzione (°) : 1.2159 Azimut (°) : 81.8602 Elevazione (°) : 12.8406</p>

11. Coordinate cartesiane

In geometria, un sistema di coordinate cartesiane in un piano è un sistema di coordinate che specifica ciascun punto in un piano (detto piano xy) per mezzo di una coppia di numeri reali (detti coordinate), che sono le distanze (con segno positivo o negativo) dal punto a due linee orientate perpendicolari fisse, chiamate assi del sistema. Il punto in cui si incontrano gli assi è chiamato *origine* e ha come coordinate $(0, 0)$. La distanza della proiezione del punto $P(x,y)$ sull'asse orizzontale (asse X) all'origine si chiama coordinata x o *ascissa*. La distanza della proiezione dello stesso punto P sull'asse Y (verticale) all'origine prende il nome di coordinata y o *ordinata*.

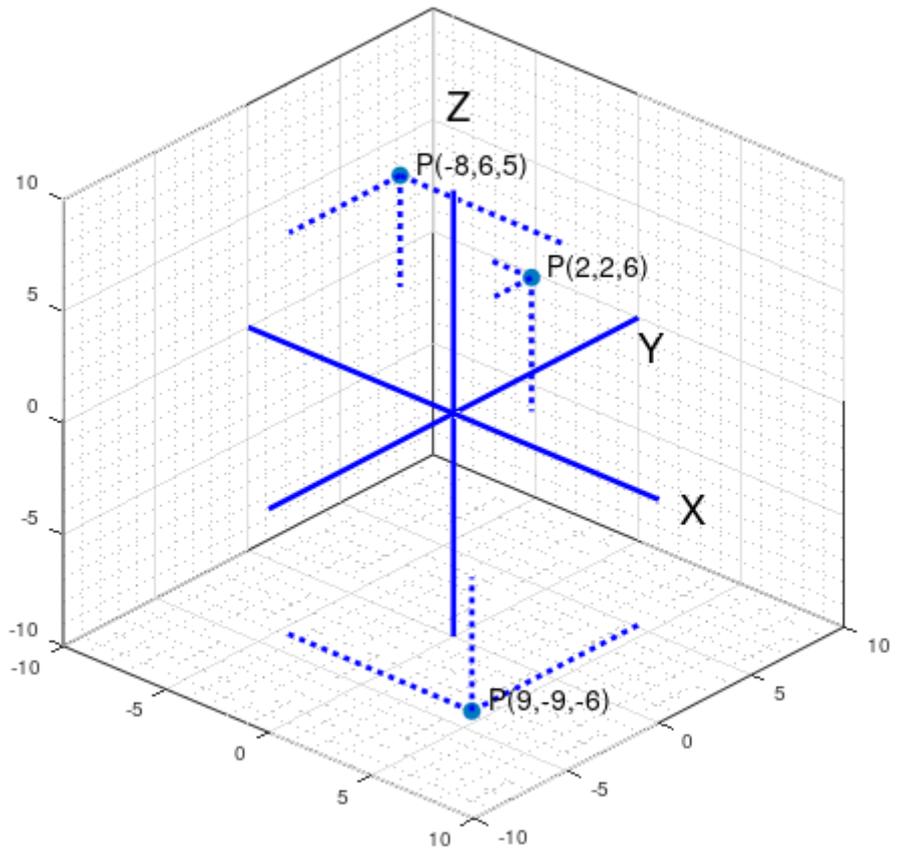
Fig.1 Coordinate cartesiane ortogonali nel piano xy . 4 punti di esempio



Detto più in generale, la distanza del punto P dall'asse Y è la sua ascissa $x(P)$, mentre la distanza di P dall'asse X è la sua ordinata $y(P)$. Quindi in perfetta analogia nelle tre dimensioni la posizione di qualsiasi punto nello spazio 3D può essere specificata da tre coordinate cartesiane, che sono le distanze con segno dal punto $P(x,y,z)$ ai tre piani reciprocamente perpendicolari.

La prima coordinata x è la distanza del punto P dal piano yz (piano verticale che passa sugli assi y e z), la seconda coordinata y è la distanza del punto P dal piano xz (verticale per x e z) e la terza z dal piano xy (orizzontale)

Fig.2 Coordinate cartesiane ortogonali nello spazio tridimensionale (3D). 3 punti di esempio



12. Distanza di un punto dall'origine degli assi

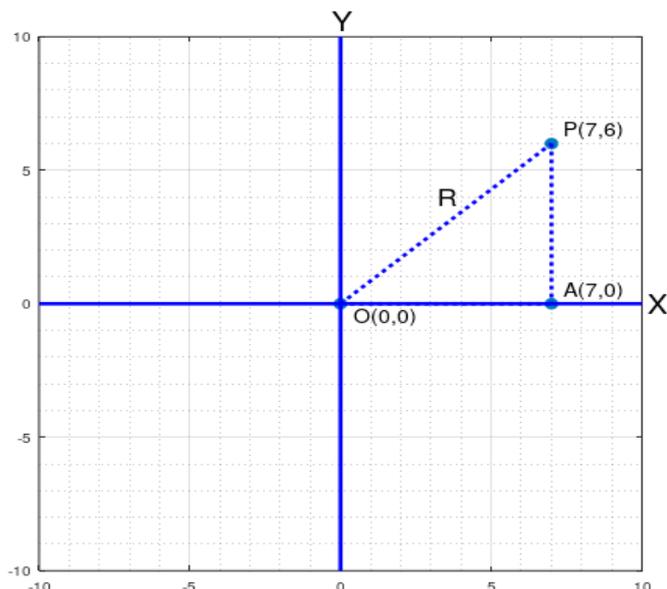
La distanza di un punto $P(x,y)$ in un sistema cartesiano ortogonale (come quelli fin qui visti) si calcola facilmente mediante il teorema di Pitagora applicato al triangolo (OAP) .

Quindi nelle due dimensioni si ha :

$OP^2 = OA^2 + AP^2$ $OP = \text{distanza} = \sqrt{OA^2 + AP^2} = \sqrt{x(p)^2 + y(p)^2}$ Nel caso specifico la distanza del punto P rispetto all'origine sarà numericamente

$$\text{distanza} = \sqrt{7^2 + 6^2} = 9.23$$

Fig.3 Distanza di un generico punto P dall'origine degli assi in 2D



Mediante analoghe considerazioni sul teorema di Pitagora, si può generalizzare esprimendo che la distanza tra due punti generici A e B in un sistema cartesiano bidimensionale vale : $\text{distanza} = \sqrt{[x(a)-x(b)]^2+[y(a)-y(b)]^2}$

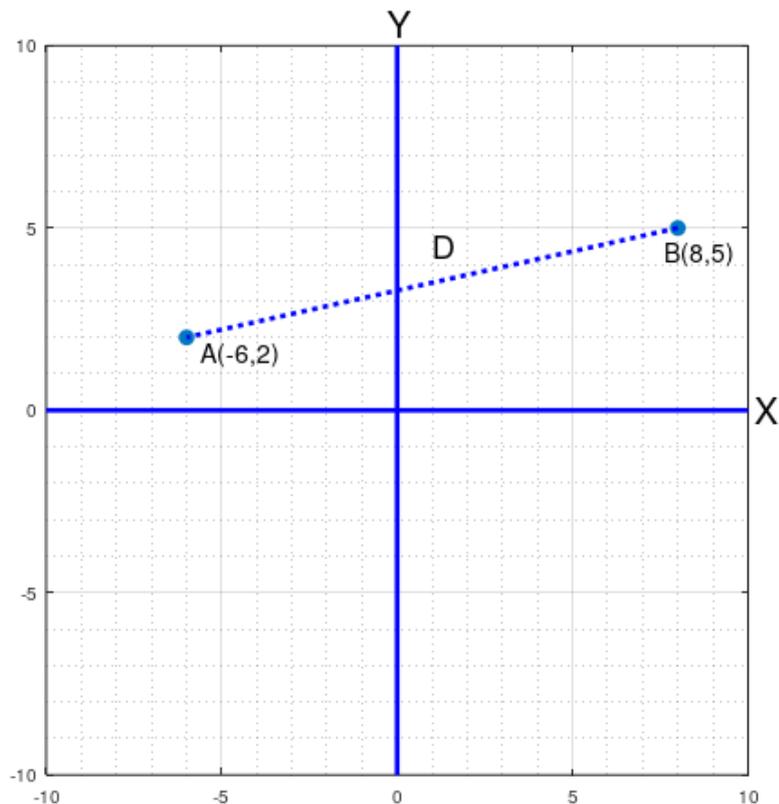
Ad esempio nella figura seguente la distanza tra A(-6,2) e B(8,5) vale :

$$\text{distanza} = D = \sqrt{(-6-8)^2+(-2+5)^2} = 14.317$$

Nel caso tridimensionale la distanza tra due punti A(x1,y1,z1) e B(x2,y2,z2) vale :

$$\text{distanza} = D = \sqrt{[x(1)-x(2)]^2+[y(1)-y(2)]^2+[z(1)-z(2)]^2}$$

Fig.4 Distanza tra due punti generici in un piano cartesiano bidimensionale



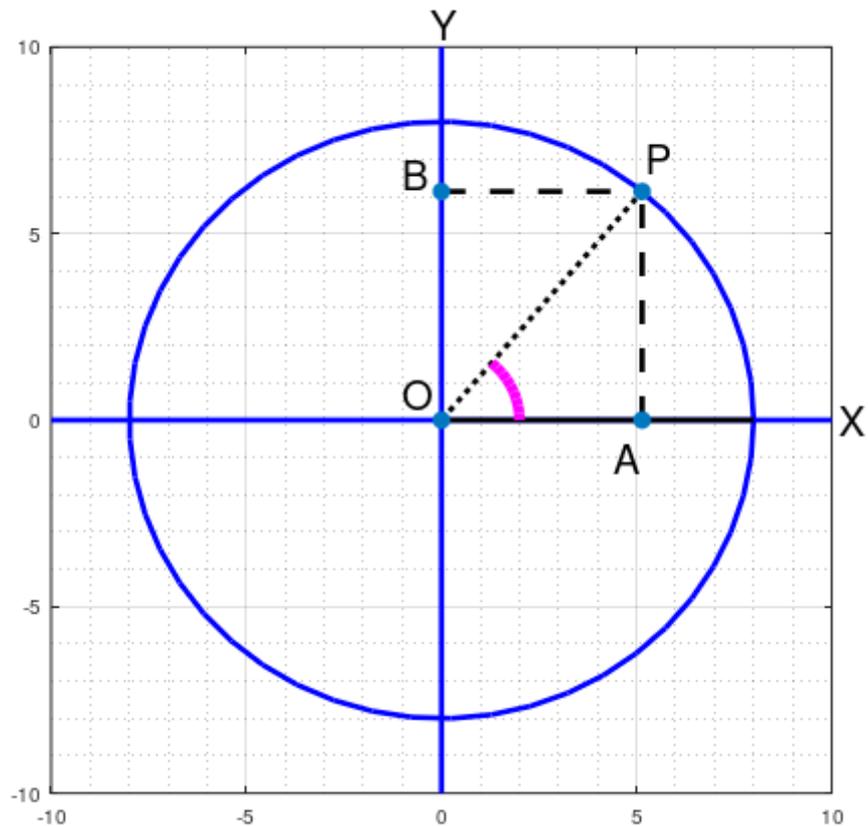
13. Equazione della circonferenza in coordinate cartesiane ortogonali

La circonferenza nel piano cartesiano è il luogo geometrico dei punti (ovvero l'insieme dei punti che soddisfano una certa relazione sul piano xy) equidistanti da un punto fisso, detto centro della circonferenza, ed è descritta dall'equazione

$(x-x_c)^2+(y-y_c)^2 = r^2$. Essa esprime il fatto che la distanza dal centro per tutti i punti della circonferenza è costante.

Nella fig.5 viene tracciata una circonferenza con il centro sull'origine, per cui la sua equazione si semplifica in $x^2 + y^2 = r^2$

*Fig.5 Circonferenza con il centro sull'origine degli assi.
 OP è il raggio costante che sottende l'angolo α (\widehat{AOP}) in magenta con l'asse X .
 Se $OP = 1$, ovvero raggio = 1 allora la lunghezza del segmento OA è detta coseno di α ($\cos \alpha$) e quella del segmento OB seno di α ($\sin \alpha$).*



Tracciare una circonferenza in un piano xy con al centro l'origine degli assi è la base per capire alcune importanti funzioni trigonometriche. Supponiamo che il raggio sia unitario (pioè pari a 1) , per definizione allora la lunghezza del segmento OA è detta coseno di α ($= \cos \alpha$) e quella del segmento OB seno di α ($= \sin \alpha$). A è la proiezione del punto P sull'asse X mentre B la stessa sull'asse Y . Come conseguenza al variare dell'angolo (\widehat{AOP}) detto α (magenta in fig.5) $\sin \alpha$ varia tra -1 e +1 , come $\cos \alpha$

Esiste una terza funzione trigonometrica molto importante, la tangente dell'angolo α . Per definizione $\tan \alpha = \sin \alpha / \cos \alpha$.

Le funzioni trigonometriche possono essere rappresentate graficamente come onde sinusoidali. Infatti esse sono sono funzioni periodiche, il che significa che si ripetono regolarmente in un intervallo di tempo o di angolo. Il periodo di una funzione trigonometrica è la distanza tra due picchi o due valli successivi della funzione, mentre l'ampiezza è la distanza verticale tra il picco e il valore medio della funzione.

14. Equazione di un ellisse in coordinate cartesiane ortogonali

L'ellisse nel piano cartesiano è il luogo geometrico dei punti (ovvero l'insieme dei punti che soddisfano una certa relazione sul piano xy) la cui somma delle

distanze con due punti fissi (detti fuochi dell'ellisse) è costante. Essa è descritta dall'equazione $\frac{(x-x_c)^2}{a^2} + \frac{(y-y_c)^2}{b^2} = r^2$. In questa equazione $x(c)$ ed $y(c)$ sono le coordinate del centro dell'ellisse che si situa esattamente in mezzo ai due fuochi, o meglio a metà del segmento che congiunge i suddetti fuochi. L'ellisse è caratterizzata da due assi, il maggiore è $2a$ ed il minore $2b$. L'ellisse è molto importante in astronomia, costituendo l'orbita percorsa da un pianeta ruotante attorno ad un centro di gravità supposto fisso (ad esempio il sole).

Fig.6 Ellisse con il centro sull'origine degli assi di equazione

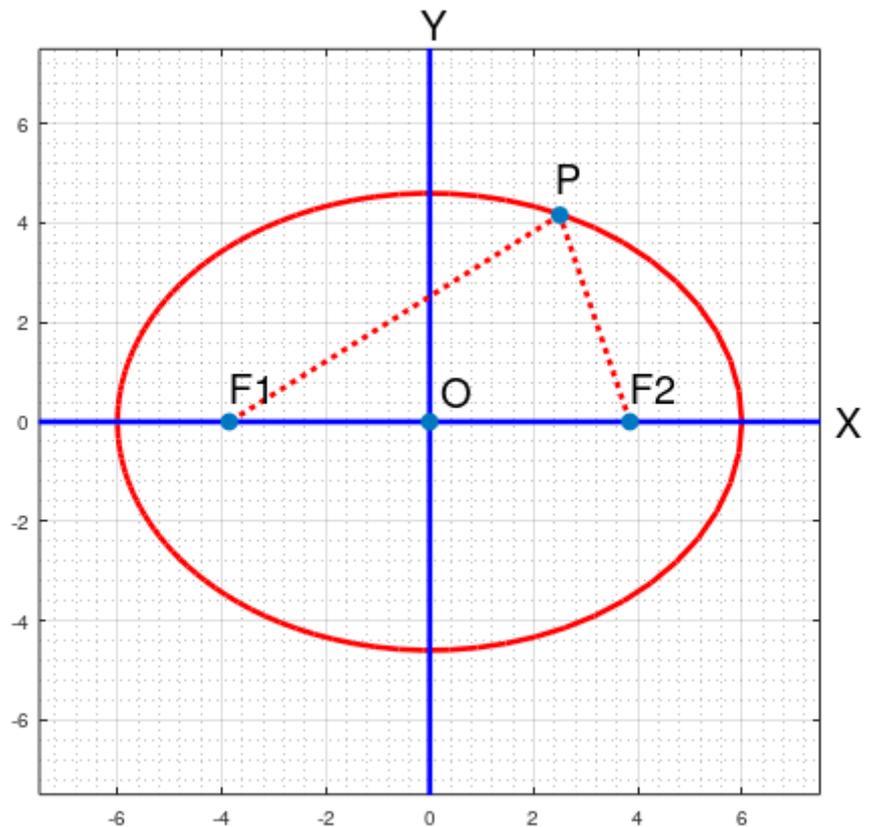
$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

con $a = 6$ e $b = 4.6$

La somma delle distanze del punto generico P sull'ellisse con i fuochi $F1$ ed $F2$ è pari a 12 ($2a$) e cioè l'asse maggiore.

L'asse minore vale $2b=9.2$

La distanza $OF1=OF2$ vale $\sqrt{a^2+b^2}$



15. Cerchio ed ellisse in coordinate polari

Il sistema di coordinate polari è un sistema di coordinate bidimensionale nel quale ogni punto del piano è identificato da un angolo e da una distanza da un punto fisso detto polo.

Ogni punto sul piano è determinato da due coordinate polari: la coordinata radiale e quella angolare. La prima, di solito identificata con la lettera **R** indica la distanza del punto P da un punto fisso detto polo (equivalente all'origine del sistema cartesiano). La coordinata angolare, solitamente denotata con la lettera greca **θ** (theta), è anche detta angolo azimutale ed identifica l'angolo che la semiretta a 0° deve spazzare in senso antiorario per andare a sovrapporsi a quella che congiunge il punto al polo.

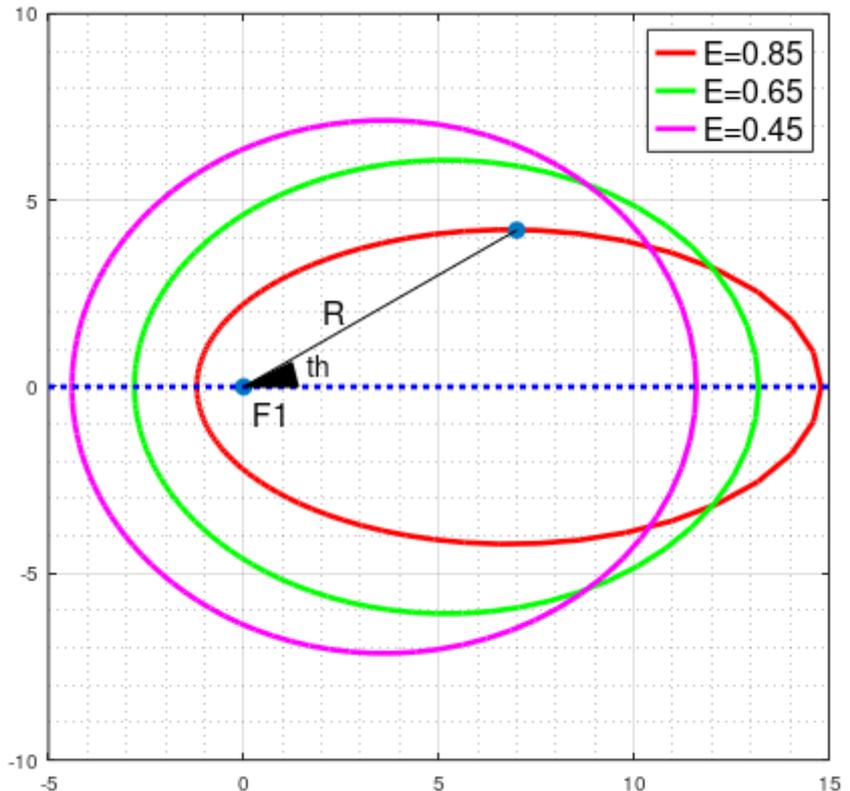
In un sistema di coordinate di questo tipo, l'equazione di un cerchio di raggio R sarà semplicemente $R = costante$. Per una ellisse l'equazione è

$$R(\theta) = \frac{a(1-E^2)}{1-E\cos(\theta)} \quad E = \text{eccentricità} \quad a = \text{semiasse maggiore}$$

Fig.7 Ellissi a diversa eccentricità E

(0.85,0.65,0.45) in un sistema di coordinate polari con l'origine (polo) in F1.

Le tre curve hanno $a = 8$ e quindi $b = a \cdot \sqrt{1-E^2}$. Ne consegue che la posizione del secondo fuoco F2 (non indicato in figura) varia a seconda di E.



L'angolo theta varia in senso antiorario da 0° a 360°

16. Moto orbitalico e leggi di Keplero

Le leggi di Keplero sono tre leggi concernenti il movimento dei pianeti intorno al Sole. Sono il principale contributo di Johannes Kepler (1571–1630) all'astronomia e alla meccanica e furono formulate tra il 1608 ed il 1619.

L'astronomo tedesco le derivò studiando le osservazioni di un altro astronomo, Tycho Brahe, astronomo danese (1546-1601). Successivamente Isaac Newton (1642-1726) spiegò le leggi di Keplero sulla base della teoria della gravitazione universale. Newton dimostrò anche il teorema inverso, ossia che dalla sua legge generale del moto e dalla forza di gravità si ottengono, nella stessa maniera, le leggi di Keplero. Esse possono venire espresse come :

- 1) L'orbita descritta da un pianeta è un'ellisse, di cui il Sole occupa uno dei due fuochi (*legge delle orbite ellittiche*).
- 2) Il segmento (raggio vettore) che unisce il centro del Sole con il centro del pianeta descrive (spazza) aree uguali in tempi uguali (*legge delle aree*). Questa

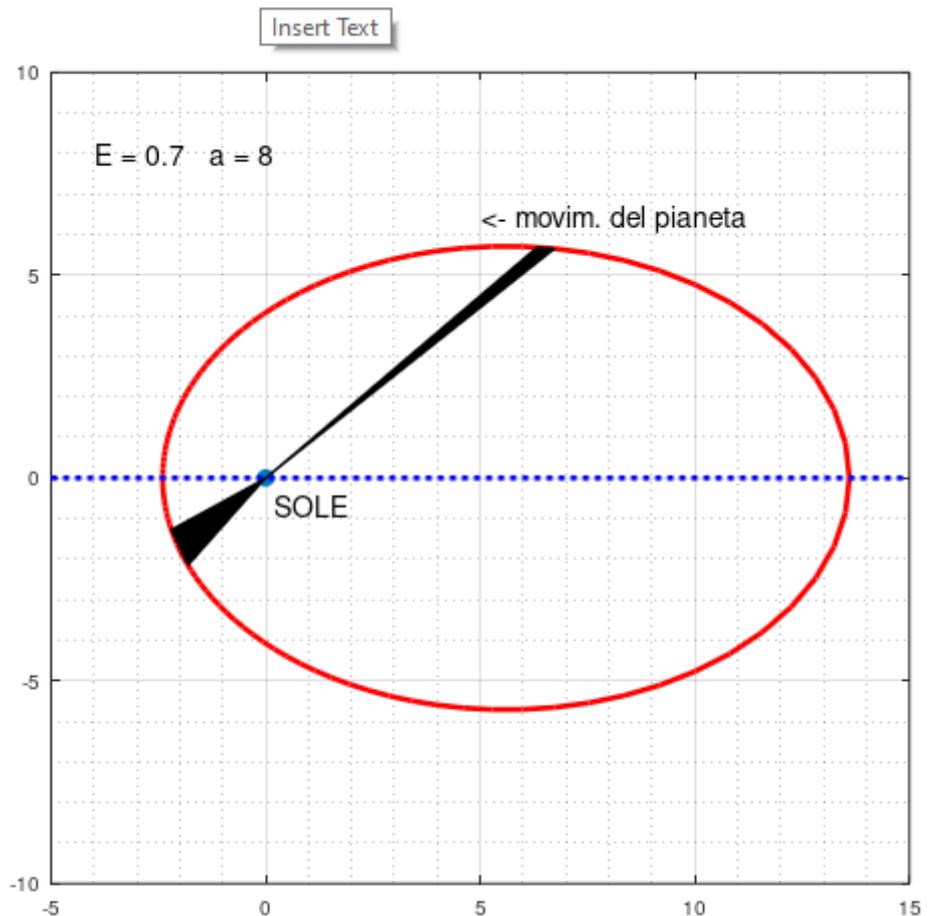
legge deriva direttamente dal principio fisico della conservazione della *quantità di moto*.

3) I quadrati dei tempi che i pianeti impiegano a percorrere le loro orbite sono proporzionali al cubo del semiasse maggiore (*legge dei periodi*).

Queste leggi sono applicabili solo se la massa del pianeta è trascurabile rispetto a quella della stella attorno a cui orbita, se si trascurano le interazioni tra pianeti ruotanti attorno allo stesso centro di attrazione, si trascurano forze secondarie (esempio forze di marea) e infine l'intensità della gravità permette di trascurare gli effetti della teoria della relatività generale.

D'altra parte le tre leggi di Keplero sono applicabili a qualunque corpo orbitante intorno ad un altro, per esempio ai satelliti artificiali che ruotano attorno alla terra. Non si applicano al problema dei tre corpi, come ad esempio alla Luna che orbita principalmente attorno alla Terra ma anche attorno al Sole in quanto risente dell'attrazione gravitazionale di entrambi i corpi.

Fig.8 Moto orbitalico di un pianeta attorno al Sole. In base alla seconda legge di Keplero le aree spazzate dalla congiungente pianeta.sole sono eguali nella stessa unità di tempo, quindi il pianeta si muove più lentamente quando è distante dal fuoco F_1 (Sole)



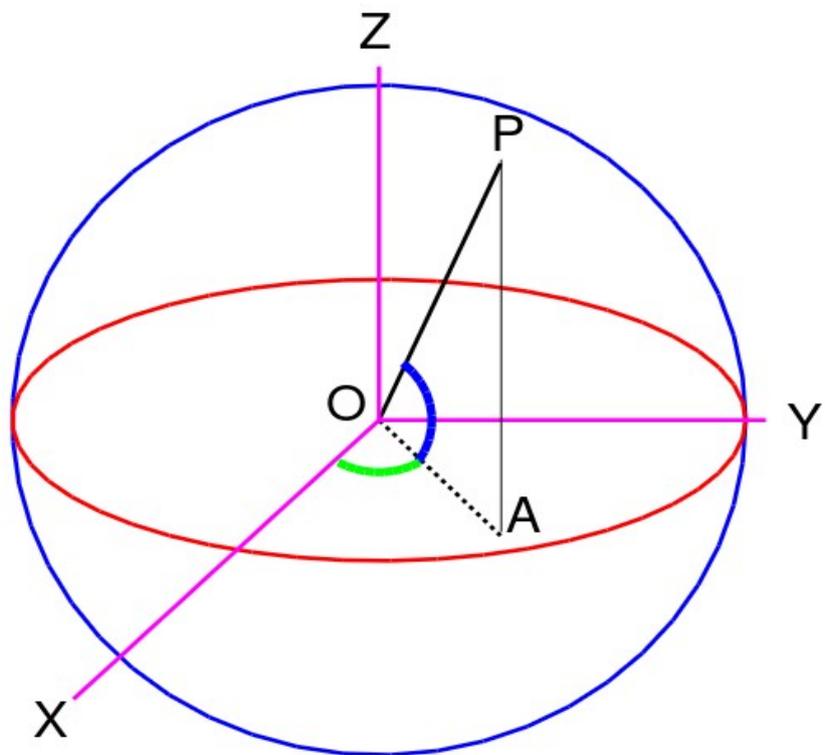
17. Coordinate sferiche

In matematica, un sistema di coordinate sferiche è un sistema di coordinate nello spazio tridimensionale in cui la posizione di un dato punto **P** nello spazio è specificata da tre numeri, (r, θ, φ) . Il primo (r) indica la distanza tra l'origine (o polo) ed il

punto **P**; questa distanza genera un segmento **OP** il cui angolo con l'asse polare o asse z prende il nome di inclinazione θ (angolo **POZ**). Il suo complemento a 90° (in altri termini $90 - \theta$) prende il nome di *elevazione* (**El** in questo libro) e corrisponde all'angolo **POA** , blu in figura. L'elevazione si può anche definire come l'angolo tra il segmento **OP** ed la proiezione dello stesso segmento sul piano di base (**xy**) (**OA**) . Il segmento **OA** formerà un secondo angolo φ con un asse preso come riferimento, di solito l'asse **x**, in figura **AOX** (verde in figura), che viene detto *azimut*.

Fig.9

Rappresentazione grafica delle 3 coordinate sferiche nello spazio. L'angolo XOA o azimut si misura in verso antiorario a partire dall'asse di riferimento (asse X)



L'asse z viene anche talvolta detto direzione zenitale, mentre le tre coordinate (r, elevazione e azimut), forniscono un sistema di coordinate su una sfera, tipicamente chiamato coordinate polari sferiche.

Ricordando la definizione di seno e coseno (§6) si può ricavare una serie di semplici relazioni tra le coordinate polari e quelle cartesiane del punto P (x_P, y_P, z_P). Useremo qui, per motivi astronomici, azimut (**Az**, misurato a partire dall'asse X in senso antiorario) ed elevazione (**El**) .

$$\begin{aligned}x_P &= r \cdot \cos(\text{El}) \cdot \cos(\text{Az}) = r \cdot \cos(\text{POA}) \cdot \cos(\text{AOX}) \\y_P &= r \cdot \cos(\text{El}) \cdot \sin(\text{Az}) = r \cdot \cos(\text{POA}) \cdot \sin(\text{AOX}) \\z_P &= r \cdot \sin(\text{El}) = r \cdot \sin(\text{POA})\end{aligned}$$

Tab.1 relazioni tra coordinate sferiche e cartesiane in 3D

Longitudine e Latitudine terrestre sono un esempio di coordinate sferiche; prendendo il centro della terra come origine, la linea che lo congiunge con il polo nord come asse z, e il piano equatoriale come piano xy. La Longitudine corrisponde all'angolo azimutale e fa riferimento al meridiano di Greenwich come zero. Muovendosi verso Est le longitudini sono positive e muovendosi verso Nord le latitudini sono positive; non si usano valori negativi ma piuttosto si introduce in luogo dei valori negativi la longitudine Ovest (W) e la latitudine Sud (S). Sia la longitudine (**Lon** in questo contesto) che la latitudine (**Lat**) sono misurate di solito in gradi (sessagesimali, cioè da 0° a 360° per una rotazione completa) minuti e secondi. Si va diffondendo sempre più l'uso dei gradi decimali (ovvero sempre da 0° a 360° ma con notazione decimale) ed è questa convenzione che adotteremo in tutto il libro. Octave usa le funzioni *sind()*, *cosd()*, *tand()* per calcolare appunto le funzioni trigonometriche dai gradi decimali.

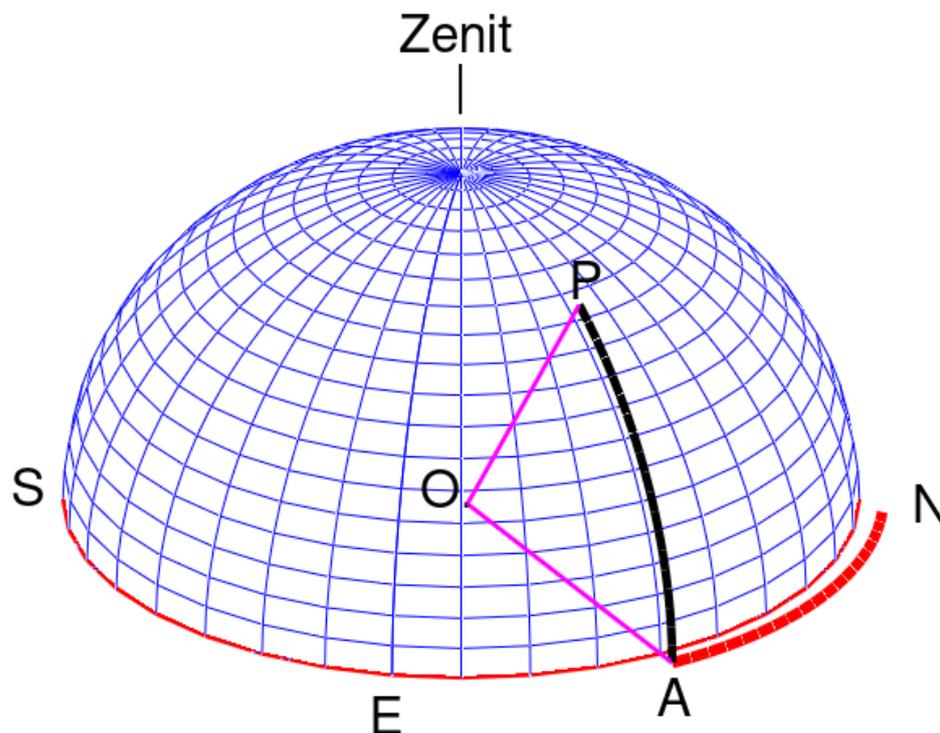
Mentre **Lat** e **Lon** sono misure angolari compite sulla superficie terrestre, ne esistono di simili, anzi più di una, da applicare alla volta celeste, che noi osserviamo sempre dall'interno, ovvero da un punto supposto al centro di una sfera che rappresenta appunto la volta celeste. Siamo in prima istanza interessati alle misure angolari degli oggetti celesti, magari alla loro luminosità, ma anche alla loro distanza R che può essere molto variabile. Due stelle vicine come posizione angolare possono essere nella realtà molto distanti.

Il primo sistema di coordinate sferiche sulla volta celeste di cui parleremo, è quello più vicino alla nostra situazione di spettatori, ovvero l'origine è esattamente dove ci troviamo, l'asse **z** (zenit) è sulla nostra verticale ed il piano **xy** è il nostro piano orizzontale, ovvero il piano tangente alla superficie sferica della terra nel punto in cui ci troviamo. Bisogna soltanto orientare l'asse X che è l'asse di riferimento per l'origine degli angoli azimutali. Non si usa qui un meridiano di riferimento (come Greenwich) ma piuttosto il polo Nord, individuato di notte dalla stella polare. L'asse X parte quindi dall'osservatore ed è diretto al polo Nord geografico della terra. Gli angoli azimutali vengono però misurati, attenzione, in senso orario partendo dal Nord, quindi Est è a 90° Sud a 180° ed Ovest a 270°.

Fig.10

Coordinate altazimutali della volta celeste.

*L'angolo NOA, misurato in senso orario rappresenta l'azimut (**Az**) mentre l'angolo AOP l'elevazione (**El**).
L'osservatore si pone in O.*



Il piano orizzontale dell'osservatore passa per il cerchio equatoriale della sfera e quindi per N,E,S,W ed è indicato in rosso in figura.

18. Misura del tempo e la [data giuliana \(JD\)](#)

Nel corso degli anni svariati riferimenti per il tempo e quindi per il movimento del sole e degli astri, sono stati adottati.

Cercando di riassumere e semplificare per i nostri scopi, occorre innanzitutto precisare che l'unità di misura del tempo (il secondo, simbolo **s**) viene definito non più come la durata di un giorno divisa per 86400 (ovvero 24x60x60) ma con un fenomeno fisico molto più stabile e riproducibile.

Stando alla dicitura ufficiale del BIPM (Bureau Internazionale Pesì e Misure), il secondo è definito come la durata di 9 192 631 770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra due livelli iperfini, dello stato fondamentale dell'atomo di cesio-133. In questo modo il secondo è svincolato dai fenomeni astronomici, come la rotazione della terra o la durata dell'anno, che variano, seppur di poco, durante i secoli.

Dal 1976 in avanti infatti si è spesso dovuto aggiungere un secondo intercalare (leap second) alla mezzanotte del 31 dicembre, per compensare il lieve rallentamento della rotazione terrestre, dovuta ai fenomeni di attrito mareale con la luna ed il sole. Si tratta quindi di un'analogia con l'aggiunta di un giorno alla fine di febbraio negli anni bisestili, per compensare la durata astronomica dell'anno di 365,24 giorni. Ogni anno la rotazione terrestre diminuisce, in

maniera irregolare, ma stimabile attorno a 24 milionesimi di secondo, quindi in futuro l'aggiunta del secondo intercalare diventerà più frequente.

Oggi come riferimento si usa UT (Universal Time) che corrisponde al GMT o GMST (Greenwich Mean Solar Time) ovvero al tempo basato sulla posizione solare al meridiano di riferimento zero (passante per l'Osservatorio di Greenwich vicino a Londra). Nel fuso orario dell'Europa centrale, a cui appartiene l'Italia con le principali nazioni dell'Europa centrale) occorre aggiungere 1 ora rispetto a GMT o 2 se è in vigore l'ora legale.

Il GMT corrisponde al tempo locale solare soltanto per Greenwich, spostandosi in senso longitudinale il tempo solare locale cambia leggermente, ma per motivi di uniformità all'interno del fuso orario l'ora non cambia. Ciò significa ad esempio che il mezzogiorno solare (sole al punto massimo di altitudine) non corrisponde più esattamente al mezzogiorno di GMT. Lo stesso avviene per gli altri fusi orari. Ad esempio in Italia l'adozione del sistema dei fusi orari fu introdotta con un regio decreto del 10 agosto 1893 e entrò in vigore il 31 ottobre dello stesso anno. Il meridiano di riferimento per il fuso orario al quale appartiene l'Italia passa per Termoli – Etna.

Un altro fattore di discrepanza tra GMT e tempo locale solare (ad esempio quello che si misura con una meridiana) è legato all'equazione del tempo, dovuta alla orbita ellittica e non circolare della terra, ma di esso parleremo più avanti.

Spesso risulta utile esprimere il tempo di uno specifico evento astronomico come numero di giorni (e frazioni di esso) a partire da un'epoca fondamentale, ovvero una data fissa del passato. Gli astronomi hanno scelto come epoca fondamentale il mezzogiorno medio di Greenwich il 1° gennaio 4713 a.C.(avanti Cristo). Quindi ogni nuovo giorno giuliano (JD = Julian Date) comincia alle 12:00 del TMG (TU) sfasato di mezza giornata rispetto al giorno civile. Si suppone che questa sfasatura venga utile durante le osservazioni notturne del cielo, senza che a mezzanotte avvenga il cambiamento di data.

Possiamo sfruttare due delle svariate funzioni di Octave per manipolare la data(*datenum* , *datestr*) per calcolare il giorno giuliano (JD) di un certo istante o viceversa, come indicato nello script [Prog-2.m](#)

19. Il sito [Horizons](#) della NASA ed il suo database

Spesso in questo libro, invece di calcolare attraverso algoritmi Azimut (**Az**) , Elevazione (**El**) o altre proprietà di un oggetto sulla volta celeste, algoritmi che possono divenire piuttosto complessi, utilizzeremo per le nostre presentazioni grafiche i dati forniti dalla NASA attraverso la piattaforma Horizons :

`ssd.jpl.nasa.gov/horizons/app.html#/`

Impariamo quindi come scaricare e utilizzare i files .txt proposti dal sito Horizons in risposta ai vari input che l'utente inserisce. Non è necessario alcun tipo di login ma bisogna ricordarsi di inserire correttamente le coordinate geografiche della propria posizione, e volendo anche l'altitudine. Inoltre bisogna specificare l'intervallo temporale di interesse, con il relativo inizio, fine ed intervallo (Start, End, Step). Questi dati di solito vengono memorizzati e riproposti negli accessi successivi. Un esempio (raccomandato) di formato di output è il seguente:

Reference frame	ICRF
Date/time format	Julian Day Number
Calendar type	Mixed
Time digits	HH :MM
Angle format	decimal degrees
Refraction model	no refraction (airless)
Range units	kilometers (km)

Per quanto riguarda il sistema (frame) di riferimento delle coordinate astronomiche, oggi è adottato dalla Unione Internazionale di Astronomia il cosiddetto ICRF (International Celestial Reference Frame). Esso presenta il baricentro del sistema solare come centro degli assi coordinati, i quali sono diretti in base alla posizione di centinaia di sorgenti extragalattiche stabili (essenzialmente quasar), la cui posizione è nota con precisione del miliardosecondo o meno.

Il formato della data normalmente utilizzato negli algoritmi di lettura è la data giuliana (Julian Date), anche se talvolta viene richiesta la 'Calendar date'.

Di norma il formato degli angoli è 'decimal degrees' ovvero gradi decimali. Un angolo giro vale 360° . Se occorre trasformare questo formato in ore decimali basta dividere per 15 (ovvero $360/24$).

Prima di sottomettere la richiesta al sito Horizons, bisogna specificare il 'target' ossia il corpo celeste a cui siamo interessati (ne esiste un lungo elenco) e infine i parametri di 'output' che desideriamo esaminare. Ne esistono ad oggi 48, alcuni più semplici ed altri complessi, ad inizieremo per gradi. In ogni caso per chi è curioso riporto in tabella l'elenco completo. E' sempre consigliato di restringere l'output ai dati essenziali, anche per facilitare la lettura del file che ci verrà inviato. Esso è invariabilmente *Horizons_results.txt* e quindi andrà rinominato opportunamente sul nostro computer per evitare sovrapposizioni.

1	Astrometric RA & DEC	17	North Pole position angle & distance	33	Galactic longitude & latitude
2	Apparent RA & DEC	18	Heliocentric ecliptic lon. & lat.	34	Local apparent SOLAR time
3	Rates; RA & DEC	19	Heliocentric range & range-rate	35	Earth->obs. site light-time
4	Apparent AZ & EL	20	Observer range & range-rate	36	RA & DEC uncertainty
5	Rates; AZ & EL	21	One-way (down-leg) light-time	37	Plane-of-sky error ellipse
6	Satellite X & Y, pos. angle	22	Speed wrt Sun & observer	38	POS uncertainty (RSS)
7	Local apparent sidereal time	23	Sun-Observer-Target ELONG angle	39	Range & range-rate 3-sigmas
8	Airmass & extinction	24	Sun-Target-Observer ~PHASE angle	40	Doppler & delay 3-sigmas
9	Visual mag. & Surface Brght	25	Target-Observer-Moon angle/ Illum%	41	True anomaly angle
10	Illuminated fraction	26	Observer-Primary-Target angle	42	Local apparent hour angle
11	Defect of illumination	27	Sun-Target radial & - vel pos. angle	43	PHASE angle & bisector
12	Satellite angular separ/vis.	28	Orbit plane angle	44	Apparent longitude Sun (L_s)
13	Target angular diameter	29	Constellation ID	45	Inertial apparent RA & DEC
14	Observer sub-lon & sub-lat	30	Delta-T (TDB - UT)	46	Rate: Inertial RA & DEC
15	Sun sub-longitude & sub-latitude	31	Observer ecliptic lon. & lat.	47	Sky motion: rate & angles
16	Sub-Sun position angle & distance	32	North pole RA & DEC	48	Lunar sky-brightness & sky SNR

Tab.2 Le svariate opzioni di output dati sul sito di **Horizons (NASA) [1]**;

Questo [primo script applicato ai dati di Horizons](#) molto semplicemente ci scarica **Az** (azimut) ed **El** (elevazione) del sole per il giorno 1°/aprile/2024. Essendo lo step di 1 ora esatta, avremo 25 valori dalle ore 00:00:00 (hh:mm:ss) del 1/4/2024 alle ore 00:00:00 del 2/4/2024. Il file è stato rinominato *horizons_results_1.txt*

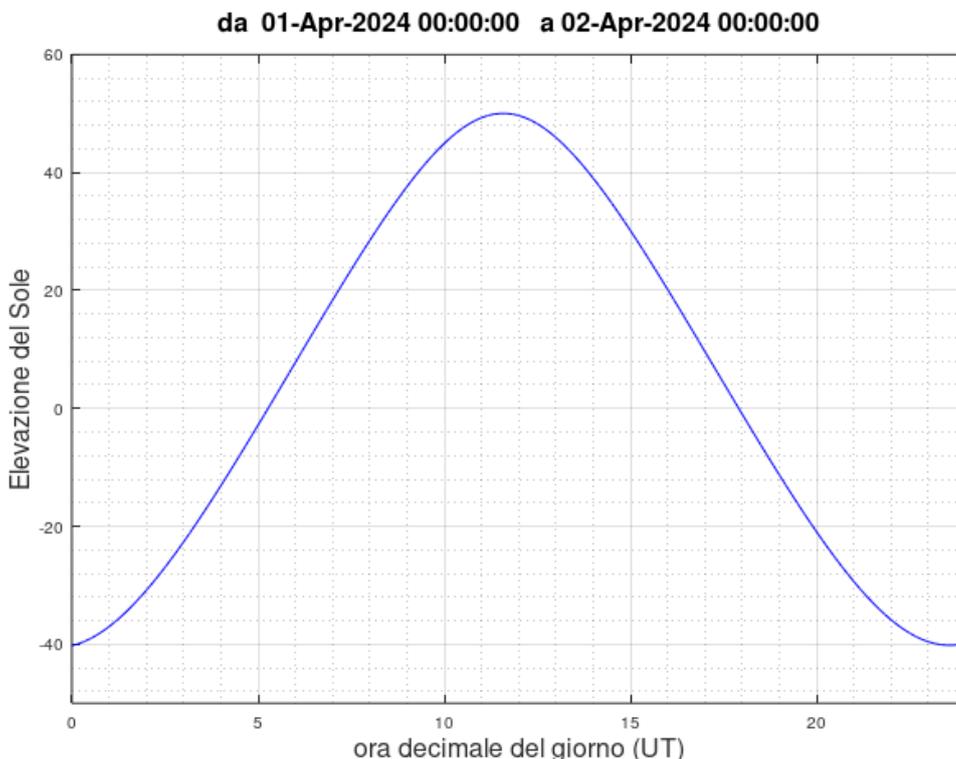
Il file *txt* è ricco di informazioni e dati fisici sul Sole , sempre interessanti ed istruttivi, ma la parte che contiene le informazioni richieste è compresa tra due identificatori, e cioè **\$\$SOE** e **\$\$EOE** (**Start Of Ephemerides, End Of Ephemerides**). Questi due identificatori vengono individuati nella stringa di caratteri **S** dopodichè la stessa viene opportunamente sezionata generando **M**. Ricordiamo che una stringa di caratteri in Octave è semplicemente un vettore di caratteri alfanumerici (da 0 a 255) e quindi può essere trattato come tale. **M** viene ripulito dei caratteri non numerici e quindi trasformato in una matrice **X**(24 x 3) cioè 24 righe e 3 colonne, che contiene nella prima colonna JD (Julian Date) , nella seconda Azimut e nella terza Elevazione ora per ora il giorno 1/Aprile/2024, per il Sole.

I dati vengono presentati graficamente in una figura (definita dai parametri della funzione *figure*) con l'istruzione *plot (...)*.

Una semplice interpolazione lineare ci permette di calcolare l'alba ed il tramonto dell'astro in questione. Basta individuare i due punti tra i quali l'Elevazione cambia di segno e quindi interpolare. Utile in proposito è la funzione *polyfit* di *Octave*, usata in questo caso con un polinomio di grado 1 (retta).

Fig.11 Output grafico di [Prog-3.m](#)

Quando l'Elevazione è negativa si è nelle ore notturne. Le ore sono in UT quindi per il fuso orario dell'Italia occorre aggiungere 1 ora (+1) o +2 se in regime di ora legale.



20. Coordinate equatoriali

Prima di addentrarci in altri algoritmi, occorre definire un sistema di coordinate molto utilizzato oltre a quello altoazimutale, il sistema di coordinate equatoriali.

Si tratta sempre di un sistema di coordinate sferiche ma il piano basale **xy** coincide con l'equatore terrestre proiettato sulla sfera celeste, come in Fig.10 ed inoltre questo sistema di coordinate è solidale con la volta celeste; in altre parole l'asse x viene orientato verso un punto fisso della volta celeste e si muove con essa. Questa direzione, detta linea dei nodi, punta verso l'equinozio di primavera o primo punto di Ariete (dal nome della costellazione). Esso giace sulla intersezione del piano dell'equatore terrestre con quello (apparente) dell'orbita del Sole attorno alla Terra, o eclittica (entambi proiettati sulla volta celeste). In fig.12 questo punto sulla volta celeste si trova all'intersezione del cerchio equatoriale, in magenta, e del cerchio polare in nero. L'osservatore si trova in O. L'asse polare di questa sfera coincide con il Nord della volta celeste, vicinissimo alla stella Polare. A seconda della latitudine dell'osservatore il cerchio equatoriale (magenta) sarà

più o meno inclinato. Per un'osservatore situato sull'equatore terrestre esso passerà esattamente allo Zenith

Fig.12

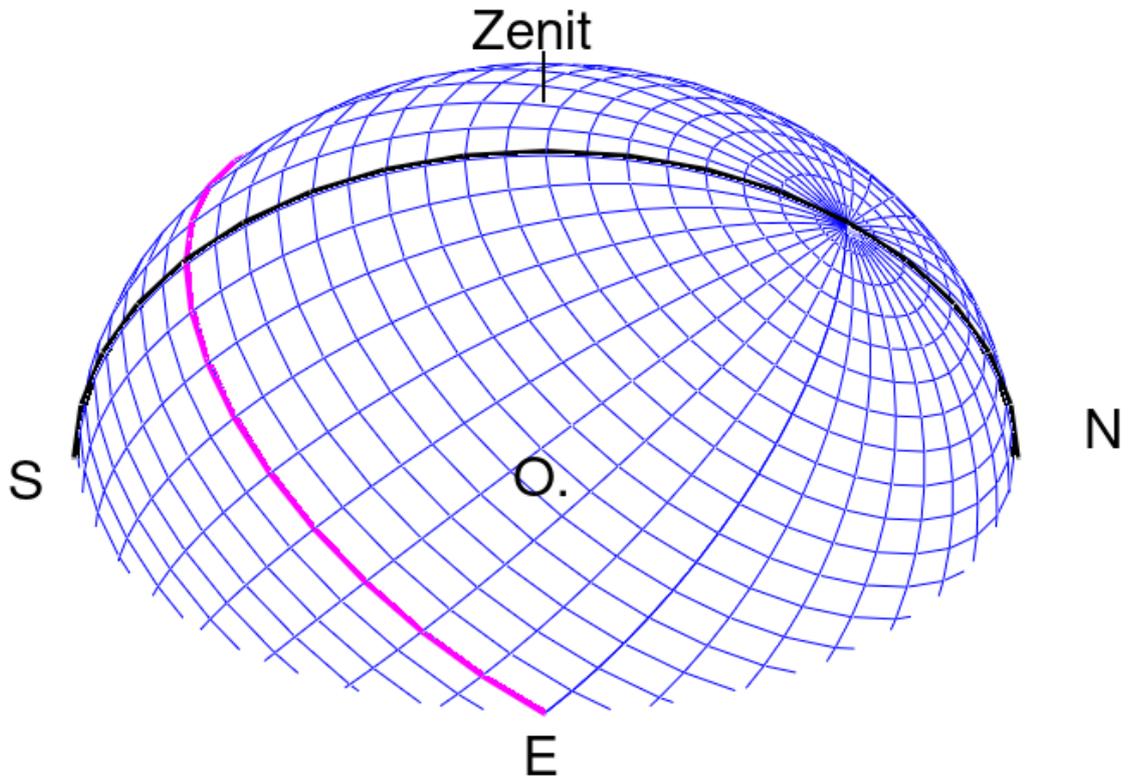
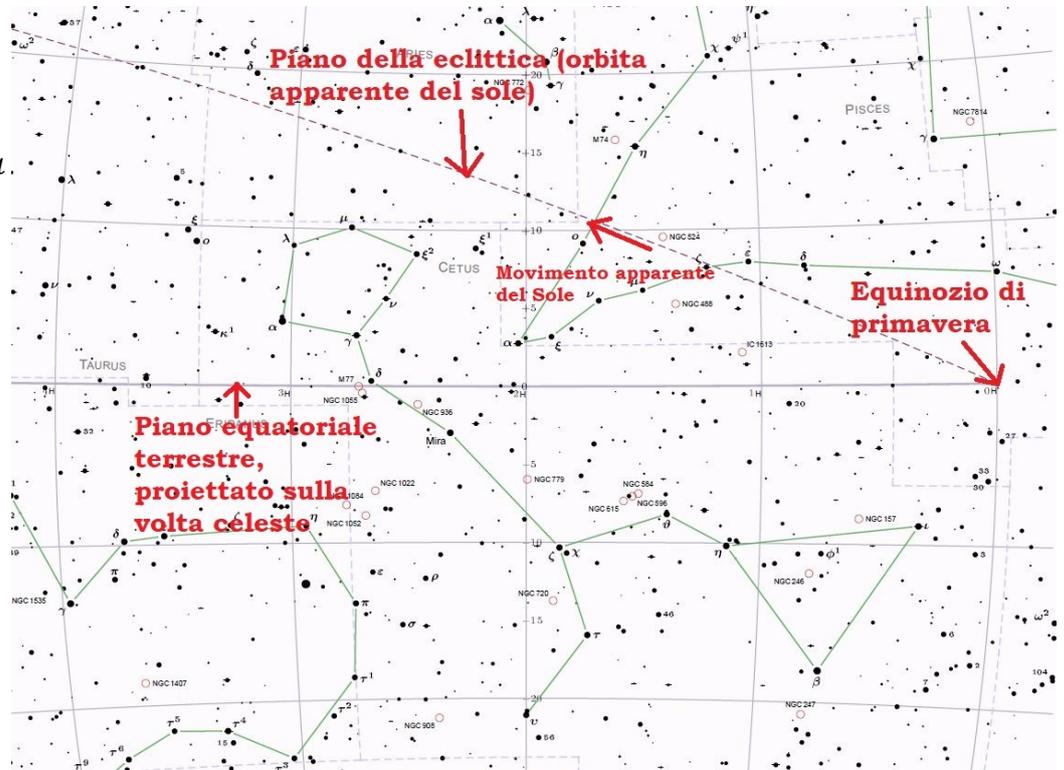


Fig.13 Mappa stellare che mostra la posizione dell'equinozio di primavera all'intersezione dell'eclittica e con l'equatore terrestre.



L'angolo azimutale viene misurato dall'asse dell'equinozio di primavera in senso antiorario e viene di norma espresso in ore (1 ora = 15°) minuti e secondi. Prende il nome di Ascensione Retta (**Ar**). L'elevazione dal piano equatoriale prende invece il nome di Declinazione (**Dec**) e si misura in gradi sessagesimali, in questo libro con i decimali. Queste coordinate vengono usate nelle mappe stellari (di cui la fig.13 ne è un esempio) oppure per posizionare sulla volta celeste una stella fissa ma anche un pianeta. In quest'ultimo caso le coordinate Ar e Dec sono indipendenti dall'osservatore e possono essere tabulate in raccolte internazionali (Effemeridi).

21. Il tempo sidereo e la trasformazione equatoriale-altoazimutale

Il tempo medio di Greenwich, e di conseguenza il tempo civile locale, è regolato, ovunque nel mondo, secondo il moto del Sole. Con un po' di approssimazione, noi possiamo definire un giorno solare come il tempo che intercorre fra due passaggi successivi del Sole sul meridiano, osservati in un dato posto. Tuttavia gli astronomi sono interessati al moto delle stelle; in particolare essi hanno bisogno di conoscere quando una stella fissa (con una certa **Ar** e **Dec**) tornerà ad occupare la stessa posizione nel cielo notturno. Un tale orologio è chiamato orologio sidereo e il suo tempo, essendo regolato secondo le stelle, è chiamato tempo sidereo (TS). Il tempo solare, di cui il Tempo medio di Greenwich (TMG = UT) è un esempio, non coincide con il tempo sidereo, in quanto durante un giorno solare la Terra si muove di un grado circa lungo la sua orbita intorno al Sole. Di conseguenza il Sole appare spostarsi progressivamente rispetto alle stelle fisse quando lo si osserva dalla Terra di circa 1 grado.

Ne consegue che il giorno sidereo è leggermente più corto del giorno solare : 24 ore di tempo sidereo corrispondono a 23 h 56 min di tempo solare. Quindi un orologio regolato sul Sole non può essere regolato sulle stelle. In un anno , cioè il tempo che impiega il Sole per ritornare nella stessa posizione rispetto alle stelle fisse, ci sono circa 365 (365.2564 per l'esattezza) giorni solari. Durante questo periodo, la Terra compie circa 366 (366.2564 per l'esattezza) rivoluzioni intorno al proprio asse. Quindi un anno contiene circa 366 e 1/4 giorni siderei. Il tempo medio di Greenwich e il tempo sidereo di Greenwich coincidono per definizione in un certo istante ogni anno (equinozio di autunno intorno al 22 settembre). Dopo di ciò la differenza fra i due tempi cresce nel senso che il TS scorre più velocemente del TMG; fino a che, esattamente mezzo anno più tardi, la differenza è di 12 ore. Dopo un anno, i tempi coincidono di nuovo. In realtà il tempo sidereo è, nonostante il nome, una misura di un angolo ed è collegato alla rotazione (apparente) della volta celeste nel sistema di coordinate equatoriale visto sopra. Non a caso l'Ascensione Retta (**Ar**) viene di norma misurata in ore minuti e secondi. 360° corrispondono a 24 ore, quindi un ora a 15° di rotazione

apparente della volta celeste. Attenzione però all'inganno: 24 ore (360°) misurate in **Ar** sulla volta celeste impiegano 23 ore e 56 minuti a scorrere sul meridiano dell'osservatore !.

Strettamente legato al tempo sidereo è un'altra misura angolare, l'angolo orario (**Hour** ; si chiama così per tradizione, quando gli astronomi orientavano manualmente i telescopi). Esso è definito come la differenza tra il tempo sidereo locale (**TSL** quindi corretto per la longitudine dell'osservatore, rispetto a quello di sidereo di Greenwich, **GST**) e l'ascensione retta (**Ar**) di un oggetto celeste:

$$\begin{aligned} \text{TSL} &= \text{GST} + \text{Lon} \\ \text{Hour} &= \text{TSL} - \text{Ar} \end{aligned}$$

Orientando manualmente un telescopio, l'angolo orario è utile in quanto è l'angolo tra una certa stella ed il cerchio meridiano relativo all'osservatore. Quando la stella culmina o transita attraverso di esso la sua **El** è massima, il suo **Az** è 180° e **Hour** è zero. Se Hour è pari a -1 ore la stella culminerà tra un'ora, se Hour è +1 è culminata un ora fa

La definizione formale di tempo sidereo, è che esso costituisce l'angolo orario dell'equinozio di primavera.

Lo script [Prog-4.m](#) segue il procedimento descritto fin qui per ottenere l'angolo orario (**Hour**). Una volta calcolato, utilizzando la formula trigonometrica qui sotto riportata, si ottiene **El**, **Az** per una certa **Lat** e **Dec**.

$$\begin{aligned} \text{El} &= \text{asind}(\text{sind}(\text{Dec}) * \text{sind}(\text{Lat}) + \text{cosd}(\text{Dec}) * \text{cosd}(\text{Lat}) * \text{cosd}(\text{Hour})); \\ \text{Az} &= \text{acosd}((\text{sind}(\text{Dec}) - \text{sind}(\text{Lat}) * \text{sind}(\text{El})) / (\text{cosd}(\text{Lat}) * \text{cosd}(\text{El}))); \end{aligned}$$

Per il calcolo del tempo sidereo si contano i giorni (e frazioni) a partire dal 1/gennaio/2024 ore 00:00:00 UT. Questo dato viene moltiplicato per 360 ottenendo i gradi sessagesimali, poi per il rapporto 366.2564/365.2564 per ottenere il tempo sidereo (a Greenwich). Non dimentichiamo di aggiungere il tempo sidereo a Greenwich all'1/1/2024 ore 00:00:00. Questo valore si ottiene dal sito *Horizons* spuntando in *Observer Table Settings* l'opzione **7** (Local apparent sidereal time) e settando la longitudine e latitudine dell'osservatore rispettivamente a 52° N e 0° E (Greenwich) Esso è pari a 6.676756 ore *15 = 100.1513° . Come spiegato useremo sempre i gradi decimali per esprimere gli angoli . La funzione *mod* di Octave riporta il valore di GST nell'intervallo 0 – 360°.

22. L'equazione del tempo e la meridiana

Spesso vicino ad una meridiana si trova un grafico con due massimi e due minimi vagamente sinusoidali , che riporta in ascisse i giorni dell'anno ed in

ordinate i minuti con una scala da +18 a -18. Viene detto 'equazione del tempo' ma la definizione non aiuta a dissipare l'alone di mistero.

Non è un'equazione nel senso letterale della parola, ma piuttosto una discrepanza che deve essere riconciliata (equata) tra il tempo solare medio e il tempo solare apparente (quello letto sulla meridiana). Il grafico dell'equazione del tempo è la somma di due curve sinusoidali, una con periodo di un anno e l'altra con periodo di mezzo anno. Le curve riflettono due effetti astronomici, ciascuno dei quali causa una diversa disuniformità nel moto apparente quotidiano del Sole rispetto alle stelle:

1- L'obliquità dell'eclittica (il piano del moto orbitale annuale della Terra attorno al Sole), che è inclinata di circa 23,44 gradi rispetto al piano dell'equatore terrestre.

2- L'eccentricità dell'orbita della Terra attorno al Sole, che è circa 0,0167.

Correggendo la lettura della meridiana con questa discrepanza otteniamo il tempo solare medio, il quale aggiunto alla differenza di longitudine tra l'osservatore ed il centro del fuso orario (in Italia 15°) ci dà infine il tempo reale (UT + 1 o +2 se abbiamo l'ora legale).

L'ora media di ogni paese ha uno o più meridiani di riferimento. In Italia il meridiano di riferimento è quello di longitudine 15° Est rispetto a Greenwich. La differenza tra il transito del Sole sul meridiano centrale e quello del meridiano locale di longitudine L ha un valore costante di $(15-L)*4$ minuti. Per confrontare un quadrante a ora vera locale con l'orologio questa differenza va integrata con l'equazione del tempo.

Ad esempio, in un luogo avente longitudine 7.2 Est (Osservatorio Urania), occorre sommare $(15-7.2)*4 = 31.2$ minuti all'ora dell'orologio da polso per ottenere il tempo medio solare.

In alcuni casi le linee orarie della meridiana, anziché indicare l'ora vera locale, indicano l'ora vera del fuso di riferimento. In questi quadranti, quando l'ombra segna le 12, il Sole transita sul meridiano di riferimento del fuso orario. Pertanto per confrontare l'ora indicata da queste meridiane con quella di un orologio da polso è sufficiente apportare solo la correzione dell'equazione del tempo.

Una meridiana verticale a ora vera locale si riconosce rispetto a una a ora vera del fuso osservando la linea del mezzogiorno, perfettamente verticale nel primo caso, leggermente ruotata nel secondo.

In questo contesto realizzeremo soltanto meridiane ad ora vera del fuso, quindi da correggere solo con l'equazione del tempo ma valide solo per Lon = 7.2°N e Lat 44.8°N. Questi valori si possono ovviamente modificare nello script a seconda della posizione della meridiana

Da notare che l'equazione del tempo non si annulla esattamente alle date dei solstizi (invernale ed estivo) ma qualche giorno prima. Per il 2024 il 14-giugno ed il 24-dicembre.

Fig. 14

Equazione del tempo per l'anno 2024, come presentata da

[Prog-5.m](#)

La meridiana avanza rispetto ad un orologio da polso per Delta T positivo e ritarda se negativo

(Delta T deve essere aggiunto al tempo dell'orologio da polso)

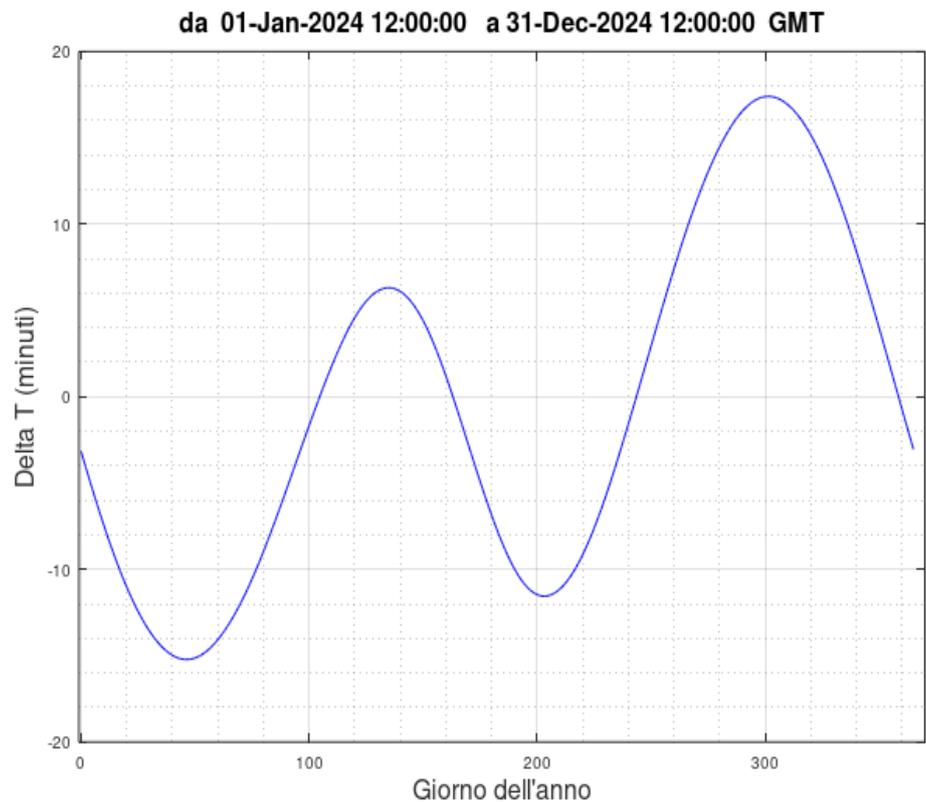
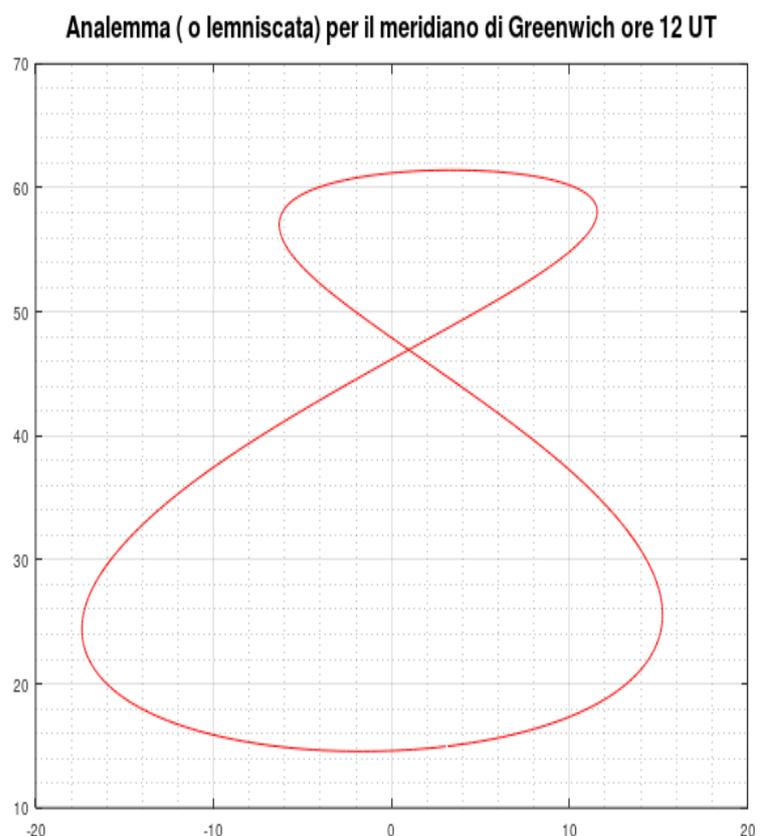


Fig. 15 Analemma per l'equazione del tempo sul meridiano di Greenwich. La figura viene elaborata da [Prog-5.m](#)



23. La prima e più semplice meridiana

La meridiana (o più precisamente orologio solare) era già conosciuta nell'antico Egitto e presso altre civiltà, e successivamente tra quella dei Greci e dei Romani. L'origine di questo dispositivo è tuttavia ancor più antica rispetto alla civiltà egizia e le prime testimonianze risalgono addirittura al Neolitico.

Nella forma tradizionale l'orologio solare è uno costituito da uno stilo, detto gnomone, che proietta la sua ombra su una superficie orizzontale o verticale, detta quadrante, indicando l'ora solare locale. La realizzazione più semplice è senza dubbio un ortostilo (verticale) posizionato su di una superficie orizzontale (es. un tavolo). Vedremo più avanti il caso di una superficie verticale, dove lo gnomone può essere di diversi tipi, per esempio: ortostilo, stilo polare, a camera oscura, bifilare, a riflessione.

Per [tracciare la meridiana](#) utilizzeremo due file di Horizons, che ci danno la posizione del sole ad intervalli di 1 ora nei giorni 14 giugno 2024 e 24 dicembre 2024 (`horizons_results_june_14.txt`, `horizons_results_december_24.txt`); In questi due giorni infatti si annulla l'equazione del tempo (vedi cap 15) e quindi la nostra meridiana ad ora vera del fuso (come anche le altre che realizzeremo) indica l'ora esatta dell'orologio da polso (UT + 1) ma solo in quei due giorni. Possiamo quindi tracciare una linea che congiunge questi due punti, rispetto alla quale correggeremo poi con l'equazione del tempo l'indicazione data dall'ombra dello gnomone.

I punti critici del calcolo richiedono una piccola elaborazione trigonometrica:

```
ombra = 1./tand(EIH);  
x = sind(AzH).*ombra;y = cosd(AzH).*ombra;  
plot(x,y,'b','marker','o','markersize',10);
```

infatti l'ombra dello gnomone (di lunghezza unitaria) avrà una lunghezza pari all'inverso della tangente della Elevazione (**EIH**, in gradi decimali) del sole a quell'ora. Essendo un vettore bisogna usare l'operatore ./ per la divisione. Seno e coseno dell'Azimut (**AzH**, in gradi decimali) moltiplicati per l'ombra dello gnomone (operatore .*) ci daranno le coordinate dei punti in cui arriva la sommità dell'ombra dello gnomone. Colleghiamo questi punti , inseriamo con la funzione `text()` di *Octave* i numeri delle ore (UT) ed il gioco è fatto.

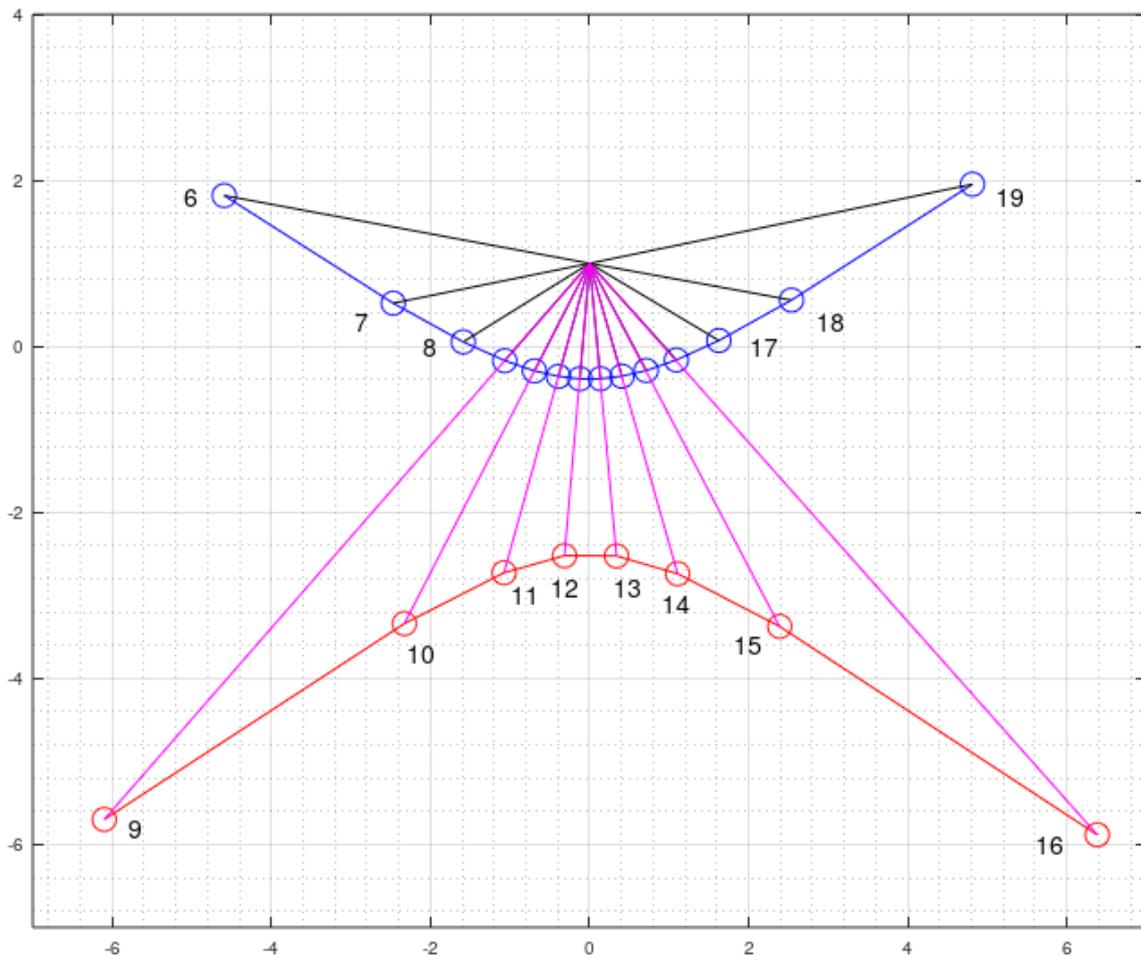


Fig.16 Meridiana orizzontale (da tavolo) . Le dimensioni sono in unità arbitrarie, UA (ad esempio 1 UA = 20 cm.) Lo gnomone si intende verticalmente posizionato nel punto (0;1) ed alto 1 UA. Linea blu = 14-giugno; linea rossa 24-dicembre . Per queste due date non necessita correzione, le le altre occorre consultare il grafico dell'equazione del tempo . [Prog-6.m](#)

Come da logica, vengono considerate soltanto le posizioni orarie in cui l'elevazione del sole è maggiore di 5°, ragione per cui il 14-giugno le linee orarie partono dalle 6 ed arrivano alle 19 (UT) mentre all'opposto per il 14-dicembre partono dalle 9 ed arrivano alle 16.

Una variante della precedente meridiana evidenzia meglio le linee orarie, in modo da poterle tracciare con chiarezza su di una superficie orizzontale. Lo [script relativo](#) differisce poco dal precedente. Da notare l'uso di cifre romane e l'angolo variabile tra le linee orarie. Quest'ultimo aspetto è difficile da calcolare se no si dispone di una opportuna piattaforma come *Octave*. Il risultato è presentato in Fig.17.

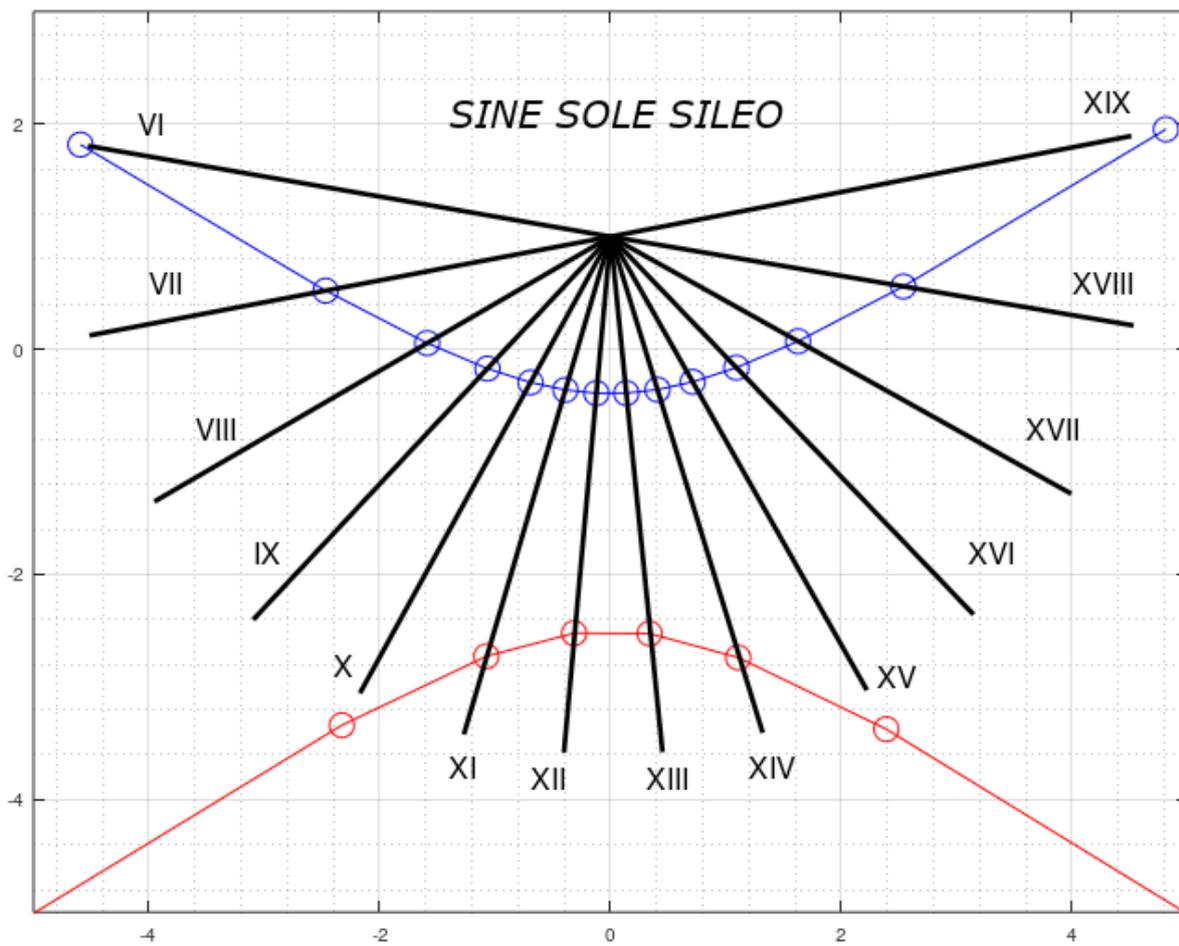


Fig.17 Variante della meridiana da tavolo di fig.16

24. La meridiana verticale da muro

Viene qui affrontata la realizzazione un poco più complessa di una meridiana da parete, supposta orientata verso sud. La quantità di dati da elaborare è maggiore, avremo infatti bisogno delle coordinate altoazimutali del Sole per tutti i giorni dell'anno ad intervalli di un'ora. Il file scaricato da Horizons viene rinominato `horizons_results_2025.txt` e si riferisce a tutto il 2025.

Per velocizzare il programma utilizzeremo un file binario che conterrà due matrici , `Azi()` e `Elev()` con i dati numerici in doppia precisione per gli 8761 valori di azimut ed elevazione ricavati dal file di Horizons. Questo file binario (*meridiana.bin*) viene generato una prima e unica volta nella nostra directory di lavoro di Octave, dopodichè verrà semplicemente letto nelle successive istanze.

Per generare il file binario viene creata una funzione specifica (*LeggiFile*) che deve essere eseguita una sola volta, dopodichè la linea dello script viene disattivata con il segno di commento (%).

Una seconda funzione nello script, $a = \text{stereo}(Az, El)$, trasforma le coordinate sferiche in cartesiane ortogonali (vedi Tab.1) fornendo un vettore $a()$ contenente le due coordinate Y e Z della punta dello gnomone sulla parete. Poichè lo gnomone (supposto ortogonale) ha una lunghezza unitaria, anche la sfera con il centro sulla punta dello gnomone e tangente alla parete avrà raggio unitario. Le coordinate sferiche si riferiscono appunto all'ombra dello gnomone proiettata su questa sfera ; una volta trasformate in cartesiane vanno proiettate sulla parete. Poichè l'asse X coincide con lo gnomone, Y e Z saranno le coordinate sulla parete, ingrandite rispetto a Y e Z sulla sfera di un fattore $1/X$.

```
function a = stereo(Az,El)
    x = -cosd(El)*cosd(Az);
    y = cosd(El)*sind(Az);
    z = sind(El);
    s = 1/x; % ingrandimento
    a(1) = -y*s;
    a(2) = -z*s;
endfunction
```

Esistono due figure alternative nello script: a seconda della variabile pro sia pari a 1 o 2. Se $pro = 1$ si ottiene una rappresentazione con gli analemmi (o lemniscate) che ci forniscono la posizione dell'ombra dello gnomone ai diversi giorni dell'anno per ogni ora.

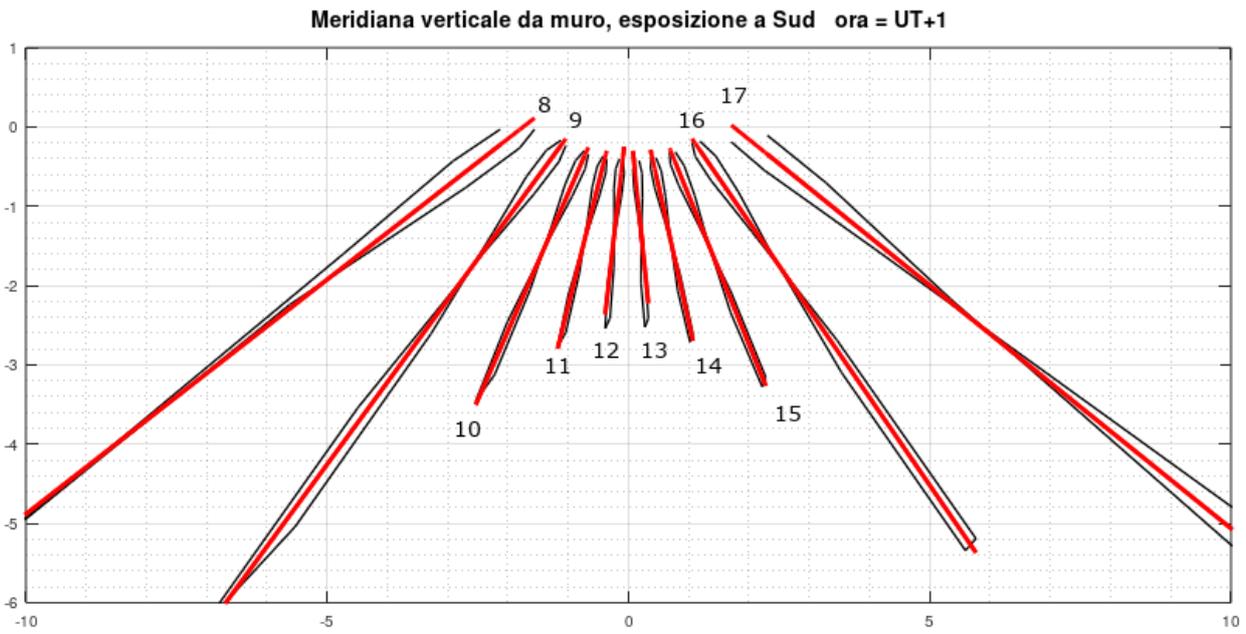


Fig.18 Meridiana da muro rivolta a Sud con analemmi . Ora vera del fuso. Valida solo per Lon = 7.2°E e Lat = 44.8°N

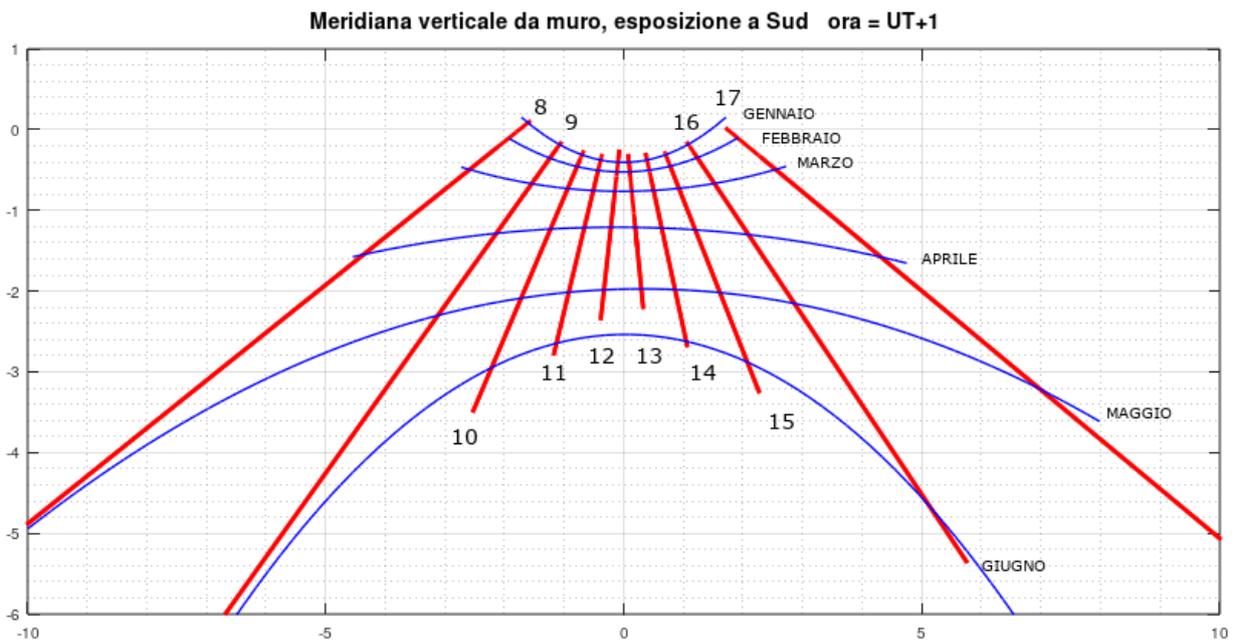


Fig.19 Meridiana da muro rivolta a Sud con linee mensili . Ora vera del fuso. Valida solo per Lon = 7.2°E e Lat = 44.8°N

Appendice 1 La narrazione della meridiana (mediante ChatGPT 3.5)

Meridiana: Buongiorno, viandante! Guardo che il sole ti ha guidato fino a me.

Viandante: Buongiorno a te, meridiana. È raro trovare parole in una figura così silenziosa. Come va la giornata?

Meridiana: La mia giornata scorre con il sole. Seguo la sua traccia da quando sorge a quando tramonta, e oggi dice che è quasi mezzogiorno.

Viandante: Sono grato per questa informazione. Mi oriento spesso con il sole, ma il tuo aiuto è più preciso.

Meridiana: È il mio unico compito: misurare il tempo, silenziosamente, con l'ombra che mi guida. Dimmi, viandante, perché viaggi così solitario?

Viandante: Cerco la quiete, lontano dal tumulto delle città. E tu? Non ti senti sola qui, in eterna attesa del sole?

Meridiana: La solitudine è la mia compagna costante, ma ogni giorno il sole mi visita. Ogni persona che si ferma a leggere il tempo sul mio quadrante mi dona un po' di compagnia.

Viandante: È una bella prospettiva su una vita così statica. E hai mai desiderato viaggiare come faccio io?

Meridiana: Oh, caraie le storie che il vento mi sussurra e i racconti di foglie e insetti mi bastano. Ma dimmi, cosa cerchi nei tuoi viaggi?

Viandante: Cerco storie, incontri e panorami. La bellezza del mondo, la diversità della vita. E ogni volta che trovo una meridiana come te, mi ricordo che ci sono modi diversi di vedere il tempo e il mondo.

Meridiana: Ecco, allora, noi due non siamo così diversi. Entrambi cerchiamo di comprendere e interpretare il mondo, ognuno a suo modo.

Viandante: È vero. Prima di ripartire, meridiana, lasciami chiederti: cosa dirai al prossimo viandante che si ferma qui?

Meridiana: Gli dirò del viandante che cercava la bellezza e trovava tempo per fermarsi e parlare con una semplice meridiana.

Viandante: E io racconterò di te, come un segno del tempo che parla con saggezza. Addio, amica mia.

Meridiana: Addio, viandante. Che il sole guidi sempre il tuo cammino.

Viandante: Meridiana, tu che segui sempre il sole, sai dirmi quale è la distanza che ci separa da lui?

Meridiana: Ah, viandante, la mia esistenza è radicata qui, e misuro il tempo, non lo spazio. Ma ti posso dire che gli uomini di scienza hanno misurato questa distanza. Si chiama Unità Astronomica, e approssimativamente, è di circa 150 milioni di chilometri dalla Terra al Sole.

Viandante: È una distanza che mi sfugge nella sua grandezza. Come può qualcosa di così lontano influenzare così profondamente il nostro mondo?

Meridiana: Il sole è il cuore del nostro sistema solare, viandante. Anche se distante, il suo calore e la sua luce sono ciò che permettono la vita qui sulla Terra. Ecco perché, nonostante la distanza, sentiamo la sua presenza ogni giorno.

Viandante: Quanta saggezza in una struttura così semplice! Grazie, meridiana, per avermi aperto gli occhi su una realtà tanto vasta quanto il viaggio stesso.

Meridiana: Ogni giorno, il sole percorre il cielo e io raccolgo la sua storia. Anche se non posso viaggiare, la mia conoscenza si estende attraverso le domande di coloro che, come te, cercano di capire di più. Continua il tuo cammino, viandante, e ricorda che ogni passo ti porta un po' più vicino alle stelle.

Viandante: Così sarà. Addio, meridiana, e che le tue giornate siano sempre illuminate.

