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 +17 a -14. 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 (24 h /giorno) e il tempo solare apparente (quello letto sulla meridiana).

Facciamo un breve passo indietro.

Gran parte dell'Europa (dalla Spagna alla Polonia) ha da anni scelto un'ora comune, detta CET (Common European Time). Il meridiano di riferimento ha longitudine 15° Est (rispetto a Greenwich) ; questo meridiano attraversa la cima dell'Etna e poi scorre a Nord vicino a Sorrento, per poi quasi allinearsi al confine tra Germania e Polonia e proseguire poi in Svezia. (vedasi la figura a lato ->)

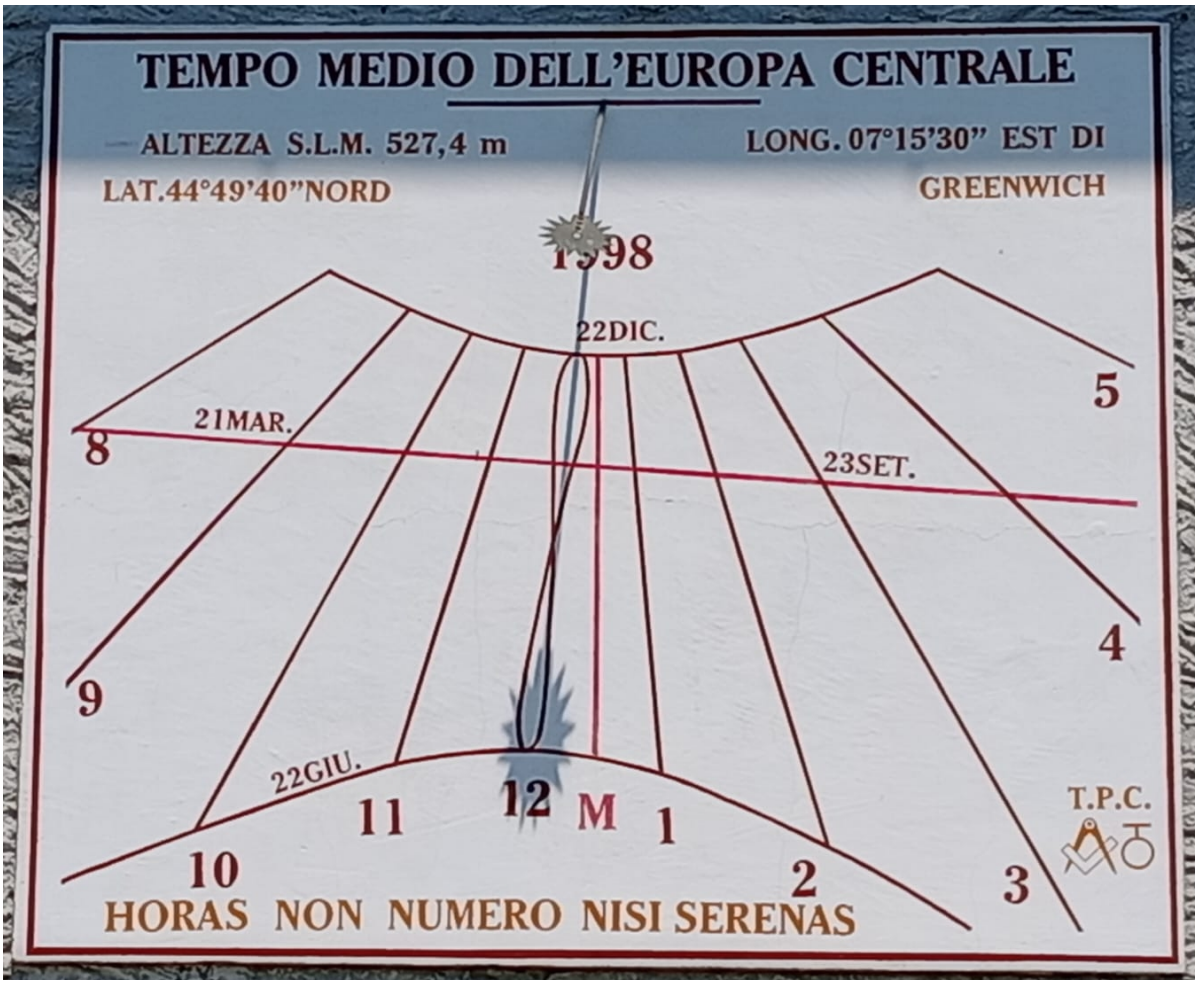
Per un osservatore su questo meridiano (15° Est) il Sole culmina, sul meridiano centrale, esattamente alle 12:00 CET (salvo ora legale +1:00). Per qualunque altro abitante dei paesi che adottano CET, questo transito avviene in ritardo se la longitudine **L** dell'osservatore è minore di 15° o in anticipo se maggiore. La discrepanza è data dal valore di (15-**L**)*4 minuti e quindi l'ora letta sulla meridiana va quindi corretta di questo valore.

Esistono casi estremi, come Santiago di Compostela 8,5° di Lon. Est (negativa). Quindi 15° -(-8°) è pari a 23,5° ovvero 94 min. Quindi il Sole culmina dopo più di 1 ora e mezza dalle 12:00 CET. Se poi a ciò si aggiunge in estate l'ora legale, arriviamo ad un ritardo di 154 minuti, più di 2 ore e mezza !

Alcune meridiane, dette ad 'ora vera locale' o 'alla francese' richiedono quindi di correggere l'ora letta di (15-**L**)*4 minuti per ottenere l'ora vera del fuso orario. A ciò occorre poi addizionare la correzione per l'**equazione del tempo**, che vedremo tra breve.

In altri 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**, che vedremo tra breve.

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.



Ad esempio, la meridiana verticale 'ad ora vera del fuso' dell'Osservatorio Urania (vedi figura sopra) si trova a longitudine 7.2 Est ed è già corretta di (15-7.2)*4 = 31.2 minuti. Essa indica quindi il tempo solare medio, che andrà ancora corretto con l'aiuto dell'**equazione del tempo**. Da notare che l'immagine fu scattata al solstizio (21 giugno) alle 12:00 tempo solare medio (ore 13:00 per via dell'ora legale)

La seconda meridiana dell'Osservatorio Urania, recentemente restaurata, è invece una meridiana orizzontale ad ora vera locale.
Dalla figura sottostante infatti si legge che l'ora solare va addizionata di 60 più 31 minuti (in totale 91) oltre alla correzione per EQ.T. (**equazione del tempo**). 31 minuti corrispondono ai 7,2° di Longitudine est dell'osservatorio e 60 all'ora legale estiva.

Una volta chiarita la discrepanza tra ora locale e ora del fuso, arriviamo ad una ulteriore necessaria correzione dell'ora del fuso, che può arrivare anche a differenze di 18 minuti.
Infatti dobbiamo introdurre una correzione tipicamente astronomica, appunto **l'equazione del tempo**.

Essa è la somma di due curve sinusoidali, una con periodo di un anno e l'altra con periodo di sei mesi. Le curve riflettono due effetti astronomici, ciascuno dei quali causa una diversa disuniformità nel moto apparente quotidiano del Sole rispetto alla volta celeste:

1- L'**eccentricità dell'orbita** della Terra attorno al Sole (ε, epsilon) , che vale circa 0,0167.

2- L'**obliquità dell'eclittica** (il piano dell'orbita annuale della Terra attorno al Sole), che è inclinata di circa 23,44 gradi rispetto al piano dell'equatore terrestre (obliquità dell'eclittica, indicata qui con ψ ,phi)

Correggendo la lettura di una meridiana ad ora vera del fuso con questa discrepanza otteniamo il tempo solare medio, pari al tempo Universale Coordinato (UT, UTC) + 1 o +2 se abbiamo l'ora legale . Ma esaminiamo in dettaglio i due fenomeni (1) e (2).

(1) - Eccentricità orbitalica

L'orbita terrestre è un'ellisse con un'eccentricità pari a ε = 0.0167 (se ε = 0 avremmo un'orbita circolare). Il Sole, come enuncia la prima legge di Keplero, occupa uno dei fuochi di questa ellisse perciò esiste un momento dell'anno in cui la Terra si trova alla minima distanza dal Sole, tale punto è detto perielio. Dopo sei mesi, invece, la Terra si trova all'afelio che è il punto più distante dal Sole (ad es. nel 2025 il 4 luglio).

Per la seconda legge di Keplero la velocità **angolare** della Terra lungo l'orbita non è costante (vedasi la precedente pillola di Urania) perciò anche il moto apparente del Sole visto dalla Terra non ha velocità non costante.

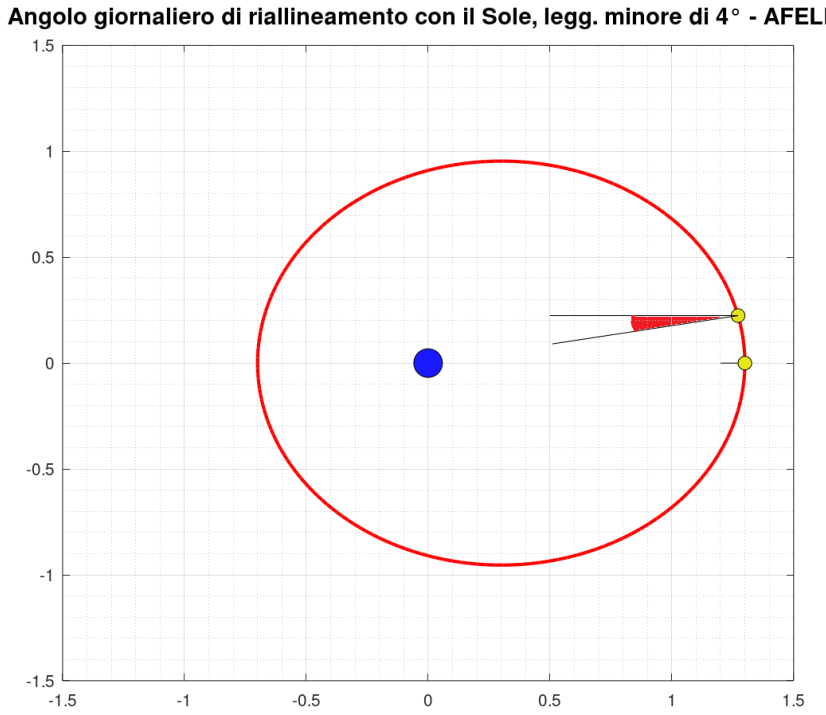
Poiché il giorno solare è definito come l'intervallo di tempo che intercorre tra due passaggi successivi del Sole al meridiano per una data località, ovvero come il tempo che passa da quando il Sole è più alto in cielo a quando lo è nuovamente la volta successiva, l'orbita ellittica fa variare questo intervallo di tempo.

Supponiamo di osservare il passaggio del Sole al meridiano da un punto della superficie terrestre. Dopo 23h 56m 4s la Terra ha effettuato una rotazione

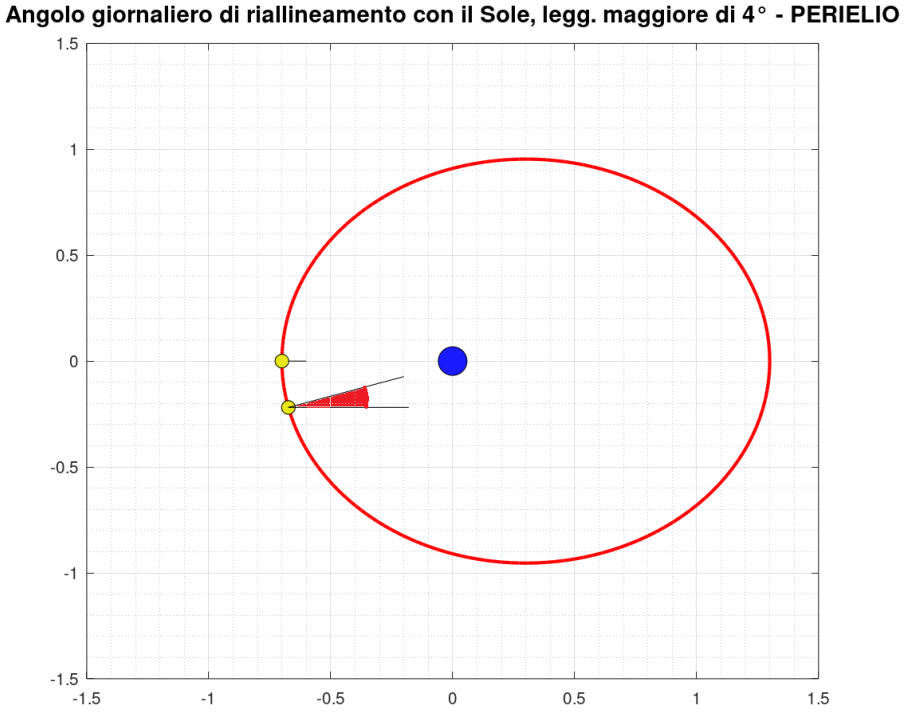
completa rispetto alle stelle fisse, ma poiché nel frattempo si è anche mossa sulla sua orbita, essa deve effettuare ancora una piccola rotazione su sè stessa prima che possiamo nuovamente osservare il Sole sul meridiano il giorno seguente dalla stessa località. Quando la Terra si trova nei pressi del perielio questo effetto fa durare il giorno più di 24h, all'afelio meno: nel primo caso in un giorno la Terra si è spostata maggiormente sull'orbita e serve più tempo per ritrovare il Sole nella stessa posizione del cielo, nel secondo caso avviene il contrario.

Nelle seguenti due figure si cerca di spiegare graficamente il fenomeno:

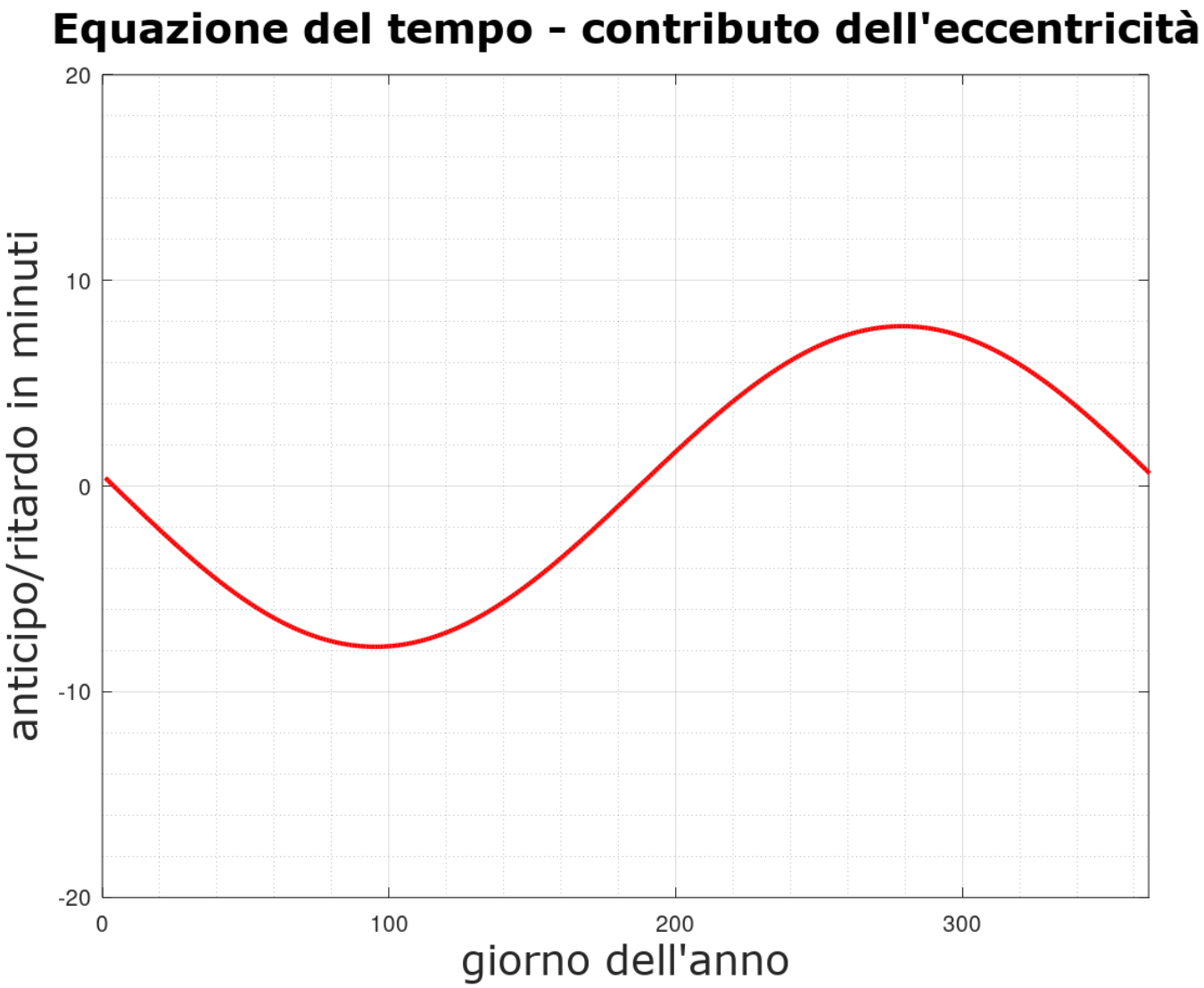
Esagerando a scopo didattico, consideriamo la posizione della terra all'afelio: in un giorno solare la Terra si sposta angolarmente di meno quindi l'angolo rosso (angolo giornaliero di riellineamento con il Sole) sarà minore.



Al contrario, al perielio la Terra si è spostata maggiormente lungo la sua orbita ed è quindi necessario un tempo maggiore affinché l'osservaatore il giorno seguente veda il sole al meridiano. 23h 56m 4s è la durata del giorno siderale.



Se si considera solamente l'eccentricità dell'orbita terrestre, allora l'equazione del tempo è in prima approssimazione una sinusoide di periodo 1 anno come in figura.



Per i più curiosi, qui è il listato del programma per il calcolo del contributo all'equazione del tempo dell'eccentricità.

(2) - Obliquità dell'eclittica

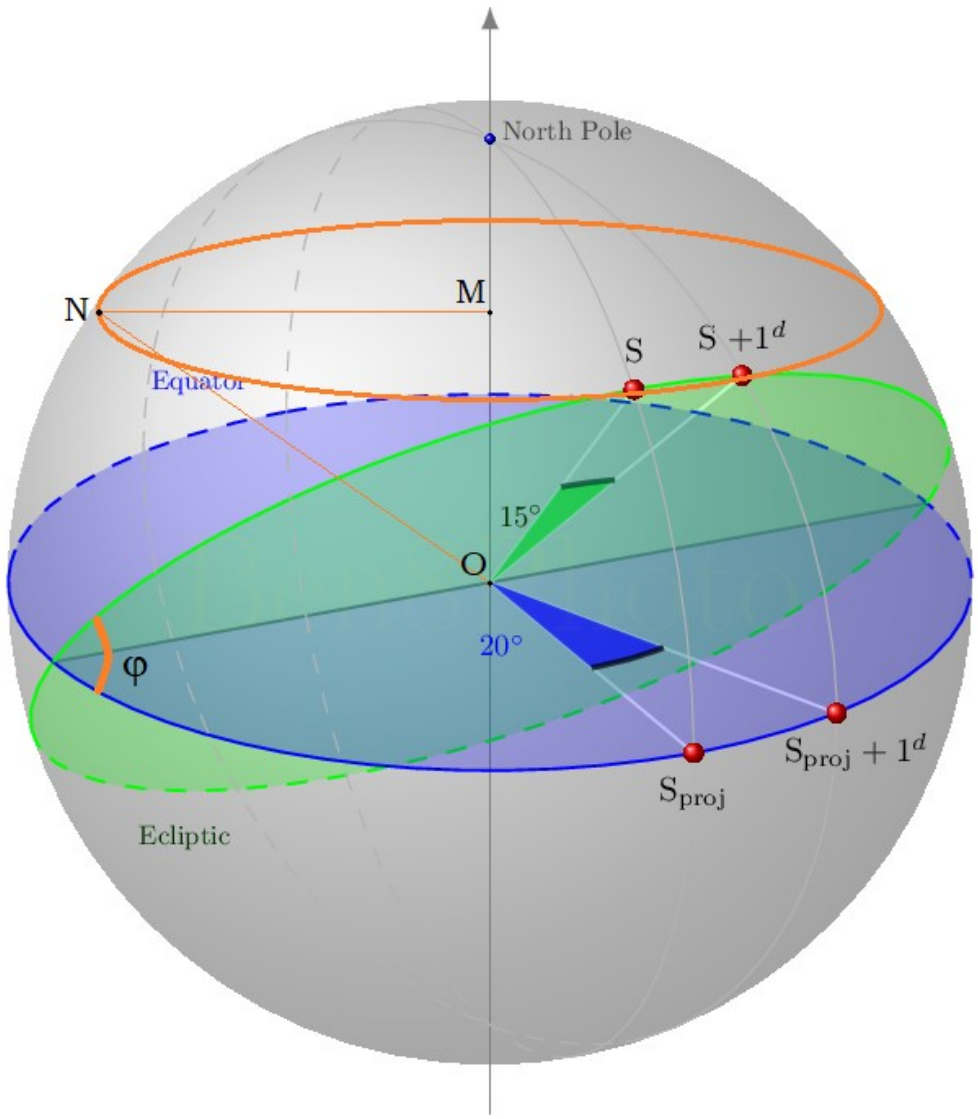
Supponiamo ora l'orbita terrestre perfettamente circolare e cerchiamo di studiare il secondo fenomeno che influisce sull'equazione del tempo. Poniamoci dal punto di vista di un osservatore sulla Terra e studiamo il moto apparente del Sole durante un anno.

Il Sole durante un anno visto dalla Terra compie una rotazione completa sull'eclittica, che possiamo immaginare proiettata sulla volta celeste.

Supponiamo per semplicità l'anno composto da 365 giorni , allora, poiché supponiamo l'orbita circolare, ogni 24h il Sole si sposta di $\alpha = 360/365° \approx 59'$ lungo l'eclittica. Il piano dell'eclittica è però inclinata di $\psi = 23° 27'$ rispetto a quello dell'equatore celeste, che è la proiezione in cielo dell'equatore terrestre.

Il corrispondente spostamento del Sole proiettato sull'equatore celeste non sarà perciò sempre pari a α, ma sarà sempre compreso tra $\alpha \cdot \cos\psi$, valore che assume agli equinozi, e $\alpha/\cos\psi$, valore che assume ai solstizi. Forse un'immagine può chiarire il concetto.

Ne consegue che la durata del giorno ai solstizi è maggiore e agli equinozi minore (l'ampiezza di questa differenza è di circa 20 secondi). L'equazione del tempo associata a questo fenomeno è una sinusoide con periodo di metà anno, come in figura.



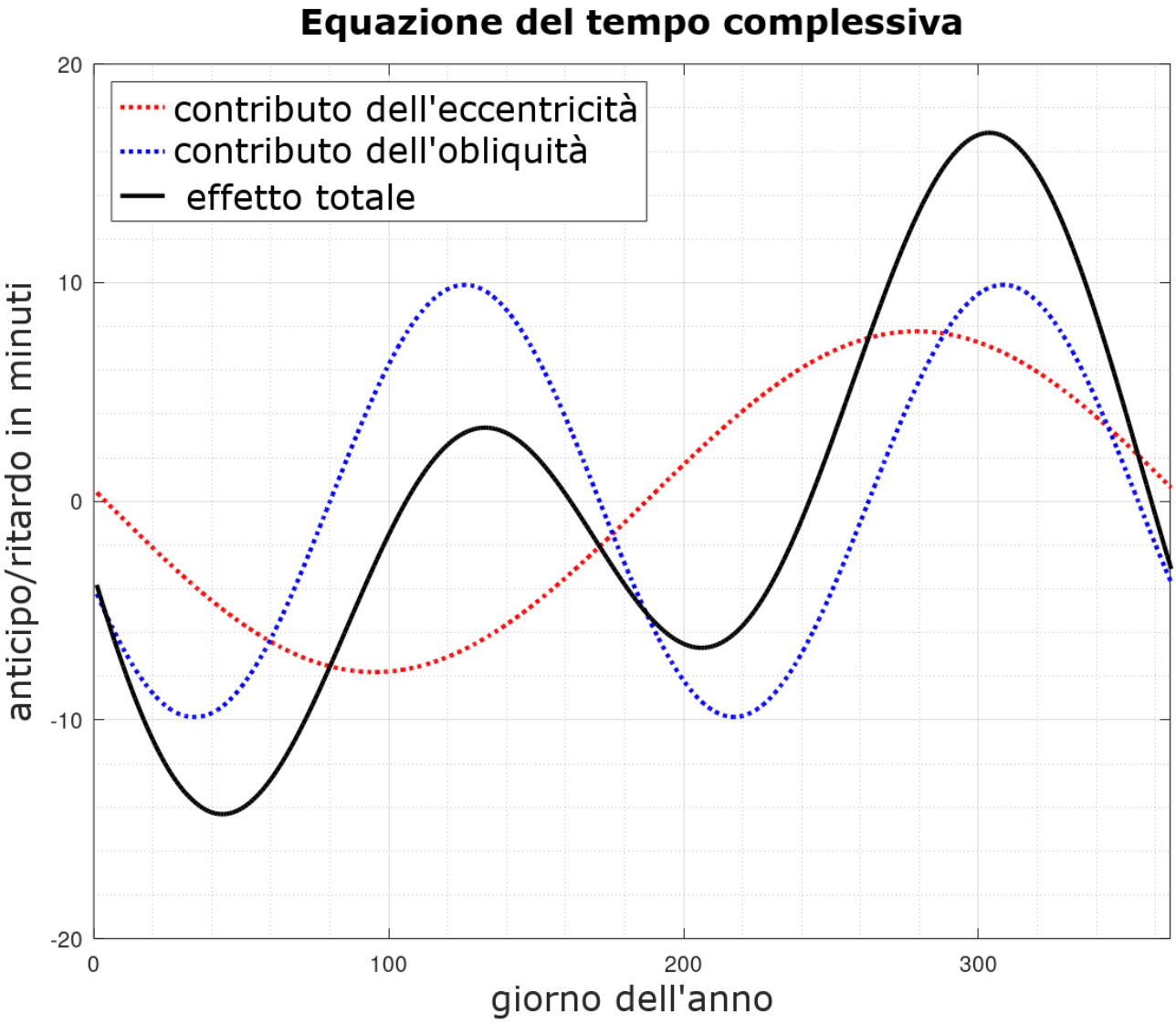
L’immagine rappresenta lo spostamento del Sole (S) e della sua proiezione (S_{proj}) sull'equatore a distanza di 1 giorno (1d). Per visualizzare meglio i vari punti si è posto lo spostamento giornaliero del Sole sull'eclittica di 15° (invece che 59') , sull’equatore celeste 20° ed inoltre si è aumentata l'inclinazione dell'eclittica rispetto alla realtà. Come si nota lo spostamento del Sole sull’eclittica differisce dallo spostamento della sua proiezione sull'equatore.

Poiché la quantità importante che determina il mezzogiorno è l'istante in cui il Sole passa al meridiano e tale istante è determinato dall'ascensione retta del Sole, la quantità importante per determinare la lunghezza del giorno non è lo spostamento sull'eclittica (costante), ma proprio lo spostamento della proiezione del Sole sull'equatore celeste. Ai solstizi, quindi, la proiezione si sposta maggiormente rispetto alla media, mentre agli equinozi di meno.

Per i più curiosi, qui è il listato del programma per il calcolo del contributo all’equazione del tempo dell’obliquità.

Infine, sommando i due contributi di eccentricità e di obliquità si ottiene il grafico seguente che rappresenta la correzione finale, quindi la nostra **equazione del tempo.**

Notiamo 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).



Analemma

L'equazione del tempo si può rappresentare graficamente in funzione del giorno dell'anno o in funzione della declinazione del Sole. In questo secondo caso la curva così disegnata prende il nome di analemma. Si osservi che ad ogni declinazione generalmente corrispondono due giorni all'anno, ecco perché l'analemma è una curva a "8".

Ora che abbiamo capito cosa è l'equazione del tempo ci si potrebbe chiedere: perché disegnare un analemma sulla meridiana?
Si disegnano gli analemmi per poter leggere direttamente il tempo medio solare sul quadrante.
Infatti, in una meridiana le linee orarie diritte segnano il tempo vero, associato direttamente alla posizione del Sole, mentre se si vuole leggere il tempo medio bisogna leggere l'ora sull'analemma. È per questo motivo che leggendo l'ora quando l'ombra dello gnomone si posa su una linea essa sembra sbagliata: lo scarto è proprio l'equazione del tempo di quel giorno.

L'equazione del tempo su una meridiana prende la forma di analemma in quanto la lunghezza dell'ombra dello gnomone a ora fissata indica la declinazione del Sole (e quindi generalmente due giorni dell'anno equidistanti temporalmente dai solstizi).
Il risultato è che è possibile segnare direttamente il tempo medio sulla meridiana disegnando proprio un analemma.

(*Nella figura qui a fianco le meridiana del colle della Vaccera, realizzata dal compianto M.Mattana e restaurata di recente su indicazioni di S.Lera. Viene evidenziato l'analemma per le ore 12 soltanto*)