



# L'equazione del tempo



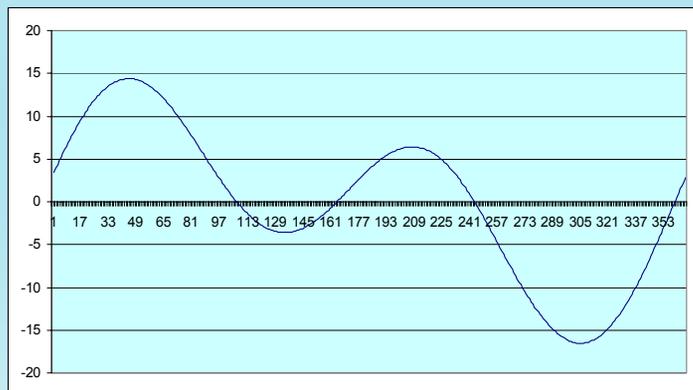
S.Rinaudo



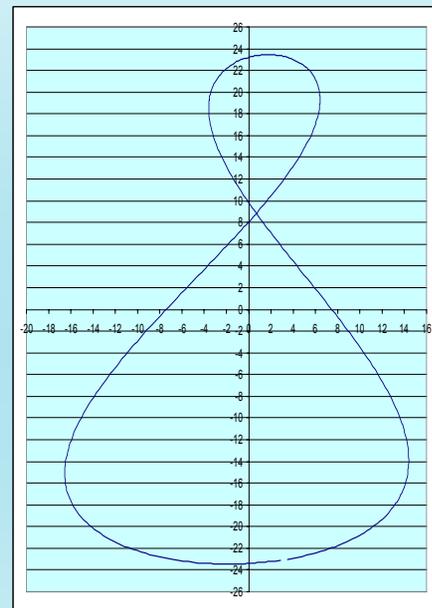
L'equazione del tempo( ET) viene utilizzata per uguagliare il tempo vero locale, quello dato dagli orologi solari e il tempo medio locale. L'ET è la differenza tra il tempo solare vero e il tempo solare medio

$$T_v = T_m - ET$$

$$T_m = T_v + ET$$



	1	5	9	13	17	21	25	28
Gennaio	+3:13	+5:05	+6:49	+8:26	+9:52	+11:07	+12:11	+12:50
Febbraio	+13:31	+13:59	+14:14	+14:16	+14:06	+13:45	+13:14	+12:44
Marzo	+12:30	+11:41	+10:44	+9:41	+8:34	+7:24	+6:12	+5:17
Aprile	+4:05	+2:54	+1:46	+0:42	-0:17	-1:11	-1:57	-2:26
Maggio	-2:51	-3:18	-3:34	-3:43	-3:42	-3:31	-3:13	-2:53
Giugno	-2:21	-1:42	-0:58	-0:10	-0:41	-1:33	+2:24	+3:02
Luglio	+3:38	+4:23	+5:02	+5:35	+6:01	+6:18	+6:27	+6:27
Agosto	+6:18	+6:00	+5:32	+4:55	+4:09	+3:15	+2:13	+1:23
Settembre	+0:10	-1:07	-2:28	-3:52	-5:18	-6:43	-8:07	-9:08
Ottobre	-10:18	-11:23	-12:33	-13:36	-14:30	-15:15	-15:49	-16:08
Novembre	-16:22	-16:23	-16:12	-15:47	-15:07	-14:15	-13:10	-12:13
Dicembre	-11:10	-9:36	-7:54	-6:05	-4:10	-2:11	-0:12	-1:17

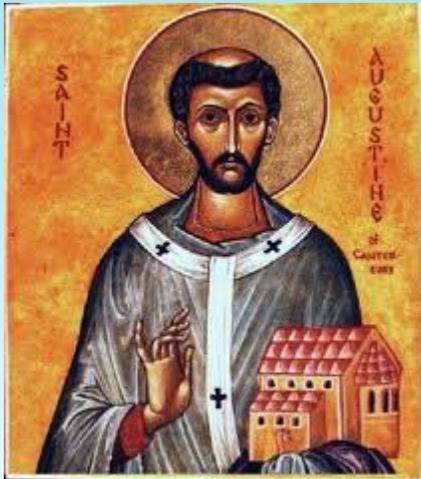


Ma cos'è **il tempo**?



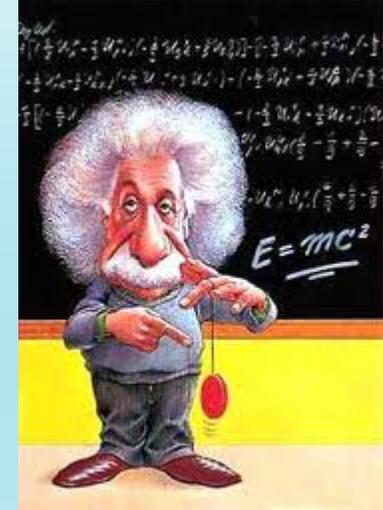
Cos'è il tempo? Chi saprebbe spiegarlo in forma piana e breve? Chi saprebbe formarsene anche solo il concetto nella mente, per poi esprimerlo a parole? Eppure, quale parola più familiare e nota del tempo ritorna nelle nostre conversazioni? Quando siamo noi a parlarne, certo intendiamo, e intendiamo anche quando ne udiamo parlare altri. Cos'è dunque il tempo? Se nessuno m'interroga, lo so; se volessi spiegarlo a chi m'interroga, non lo so. Questo però posso dire con fiducia di sapere: senza nulla che passi, non esisterebbe un tempo passato; senza nulla che venga, non esisterebbe un tempo futuro; senza nulla che esista, non esisterebbe un tempo presente. Due, dunque, di questi tempi, il passato e il futuro, come esistono, dal momento che il primo non è più, il secondo non è ancora? E quanto al presente, se fosse sempre presente, senza tradursi in passato, non sarebbe più tempo, ma eternità. Se dunque il presente, per essere tempo, deve tradursi in passato, come possiamo dire anche di esso che esiste, se la ragione per cui esiste è che non esisterà? Quindi non possiamo parlare con verità di esistenza del tempo, se non in quanto tende a non esistere.

Agostino, *Le Confessioni*, XI, 14, [trad. di C. Carena], Einaudi, Torino 2000, p. 431.





Platone. “immagine mobile dell’eternità



Per **Einstein** il tempo non esiste, come non esiste qualcosa che si chiama spazio. Esiste invece nell’universo quadridimensionale una nuova cosa che si chiama ‘spaziotempo’.

Nell’universo quadridimensionale dello spaziotempo, il tempo e lo spazio formano un tutt’uno indissolubile.



Il tempo può essere definito come una sequenza infinita di istanti il cui scorrere viene avvertito istintivamente dai nostri sensi

E' una grandezza non misurabile direttamente, ma soltanto tramite la misura dello spazio percorso da un corpo in movimento uniforme o mediante il conteggio di un succedersi regolare di eventi, siano essi le oscillazioni di un pendolo, quelle di un cristallo di quarzo o il succedere del sorgere del sole, **il Giorno.**





Comunemente per giorno si intende il periodo di tempo che la Terra impiega per compiere una rotazione intorno al suo asse. La durata del giorno risulta diversa se si prende come punto di riferimento esterno, per misurare la rotazione, una stella o il sole.



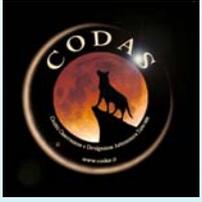
## Il giorno

**Il giorno sidereo o siderale** è l'intervallo di tempo compreso fra due passaggi consecutivi del punto  $\gamma$  sullo stesso meridiano; la sua durata, pressoché invariabile, è di 23 ore e 56 minuti, e corrisponde al tempo impiegato dalla Terra per compiere un'intera rotazione.

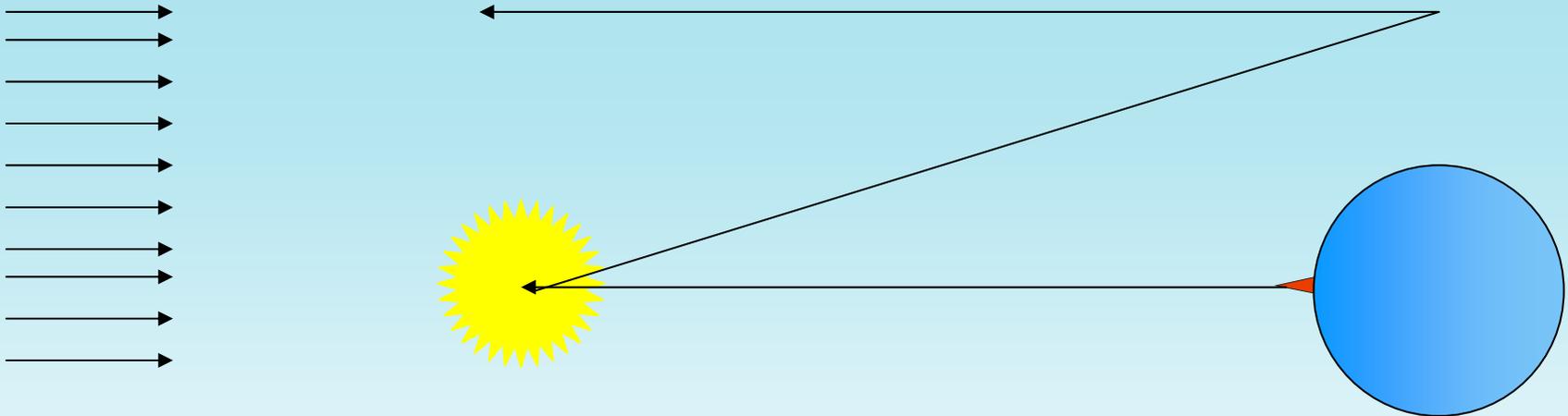
In realtà il giorno sidereo può ritenersi costante solo in prima approssimazione e per intervalli di tempo sufficientemente piccoli. La Terra sta infatti impercettibilmente rallentando. Le stime più recenti forniscono una variazione della velocità angolare della Terra pari a 4 ore ogni 700 milioni di anni. Si ritiene che il motivo più probabile di tale rallentamento sia da ricercare nell'azione frenante delle maree. Se la Terra continua a rallentare con lo stesso ritmo (24 secondi in 36 anni) tra qualche centinaia di migliaia di anni, avremo un giorno ben più lungo di quello attuale.

Il punto gamma è stato scelto come punto di riferimento per la definizione del giorno e quindi per la misura del tempo siderale. Essendo questo punto sempre sull'equatore celeste, *Nonostante il giorno sidereo sia una misura relativamente esatta della durata della rotazione terrestre, tutte le attività umane sono regolate sulla posizione del sole e non delle stelle. cioè sul giorno solare.*

**Giorno solare vero** è l'intervallo di tempo tra due passaggi consecutivi del Sole vero al meridiano astronomico e inizia con il passaggio del Sole al meridiano inferiore, cioè a mezzanotte.



$$360^\circ : 365.24 = 0.985653^\circ = 3^m 56^s$$



La terra in un giorno qualsiasi ha al meridiano il sole e un punto lontano della volta celeste, dopo aver compiuto un giro su se stessa, ( un giorno siderale=23h 56m ), ha in meridiano il punto della volta celeste ma non il sole perché contemporaneamente ha percorso un certo angolo di rivoluzione (0,9856°) e per avere il sole in meridiano,( un giorno solare), deve sovraruotare di un angolo pari a quello di rivoluzione compiendo una rotazione complessiva di 361°.



## Giorno solare vero



Acireale



Palermo

**Il giorno solare:** Non corrisponde esattamente a 24 ore in quanto la Terra cambia velocità durante la rivoluzione. Quando per il collegamento da un paese all'altro si usava la nave o la diligenza, poco importava che l'ora di Acireale coincidesse con quella di Palermo. La differenza tra il mezzogiorno di Acireale e quello di Caltanissetta (che si verifica circa quattro minuti dopo) o quello di Trapani (circa otto minuti dopo) era una nozione di puro interesse scientifico atta a conoscere la longitudine del luogo, ma senza alcuna incidenza nella vita quotidiana. Le cose cambiarono quando, nella seconda metà dell'Ottocento, apparve un mezzo di comunicazione veloce, cioè la ferrovia, per il funzionamento corretto della quale occorreva una medesima determinazione del tempo del giorno in tutta la regione servita; la prima soluzione adottata nelle varie regioni e nazioni fu di estendere a tutto il territorio interessato il tempo medio della città più importante, distribuito mediante l'appena introdotta telegrafia elettrica.

Alla fine del XIX sec. con le esigenze di più rapidi spostamenti e con l'infittirsi delle linee ferroviarie, si è dovuto uniformare l'orario per cui un orologio a Trapani dovette segnare lo stesso orario di un orologio di Acireale e ciò è avvenuto con l'entrata in vigore del Regio Decreto dell'agosto 1893. Dal 1 novembre "il servizio delle Strade Ferrate in tutto il regno d'Italia è stato regolato secondo il tempo medio del meridiano situato a 15 gradi Est di Greenwich (passante per l'Etna), denominato Tempo dell'Europa Centrale" e gli orologi di tutti i paesi appartenenti allo stesso fuso orario segnano la stessa ora che chiamiamo ora civile o tempo medio.

**REGIO DECRETO** che regola il servizio delle strade ferrate in tutto il Regno d'Italia secondo il tempo solare medio del meridiano situato a 15 gradi all'Est di Greenwich, che si denominerà tempo dell'Europa centrale.

10 agosto 1893.

(Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del Regno il 31 agosto 1893, n. 205)

## UMBERTO I

PER GRAZIA DI DIO E PER VOLONTÀ DELLA NAZIONE  
RE D'ITALIA

Visto il regio decreto 22 settembre 1866, n. 3224 ;  
Udito il consiglio dei ministri ;  
Sulla proposta del Nostro ministro segretario di Stato  
pei lavori pubblici ;  
Abbiamo decretato e decretiamo :

### Art. 1.

Il servizio delle strade ferrate in tutto il Regno d'Italia verrà regolato secondo il tempo solare medio del meridiano situato a 15 gradi all'Est di Greenwich, che si denominerà tempo dell'Europa centrale.

### Art. 2.

Il computo delle ore di ciascun giorno pel servizio ferroviario verrà fatto di seguito da una mezzanotte all'altra.

### Art. 3.

Le disposizioni precedenti entreranno in vigore nell'istante in cui, secondo il tempo specificato all'art. 1 inco-

mincherà il 1° novembre 1893, e da quell'istante cesserà di aver vigore qualunque altra disposizione contraria.

Ordiniamo che il presente decreto, munito del sigillo dello Stato, sia inserito nella raccolta ufficiale delle leggi e dei decreti del Regno d'Italia, mandando a chiunque spetti di osservarlo e di farlo osservare.

Dato a Roma, addì 10 agosto 1893.

## UMBERTO

*Registrato alla Corte dei conti addì 23 agosto 1893.*

*Reg. 192. Atti del Governo a f. 137. PETRECCA.*

Luogo del Sigillo. V. Il Guardasigilli F. SANTAMARIA-NICOLINI.

F. GENALA.



**Giorno solare medio** E' l'intervallo di tempo compreso tra due successive culminazioni del Sole medio, un Sole "concettuale" che varia la sua ascensione retta in modo uniforme e proporzionale al tempo.

Il giorno solare medio si può considerare come una media di numerosi giorni solari veri.

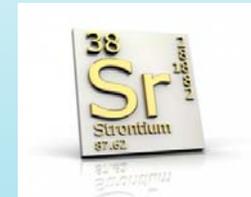
Si chiama **giorno astronomico** se viene fatto iniziare al mezzogiorno medio e **giorno civile** se, invece, viene fatto iniziare alla mezzanotte media.

**1 secondo = 1/86400 del giorno solare medio**

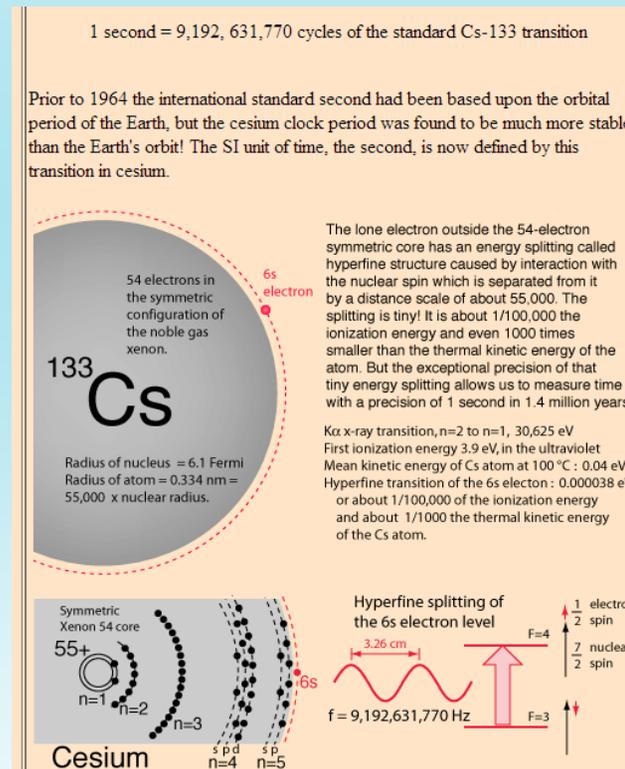
Definizione (moderna):

**1 secondo = 9.192.631.770 vibrazioni complete**

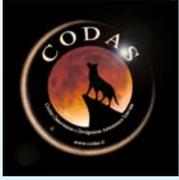
dell'onda em ( $\lambda = 3\text{cm}$ ;  $\nu = 10^{10}\text{ Hz}$ ) emessa dal Cesium<sup>133</sup> nella transizione tra due livelli



**orologio al cesio:**  
errore di 1  
microsecondo ogni  
12 giorni  
(Il Cs133 ha un  
nucleo formato  
da 55 protoni e  
78 neutroni)



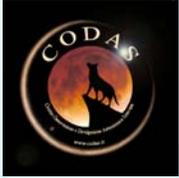
**L'orologio più preciso del mondo** è stato costruito dai fisici sia dell'università del Colorado che di quella di Copenaghen. L'orologio (allo stronzio!) perde 1 secondo in 300 milioni di anni: è due volte più puntuale del precedente e infinitamente più puntuale dei nostri orologi al quarzo, che perdono 1 secondo ogni 3 mesi.



il giorno solare vero non ha sempre la stessa durata costante di 24 ore. Essa varia infatti con periodicità nel corso dell'anno a causa dell'eccentricità e dell'inclinazione (o obliquità) dell'orbita terrestre.

### **Effetto dell'eccentricità**

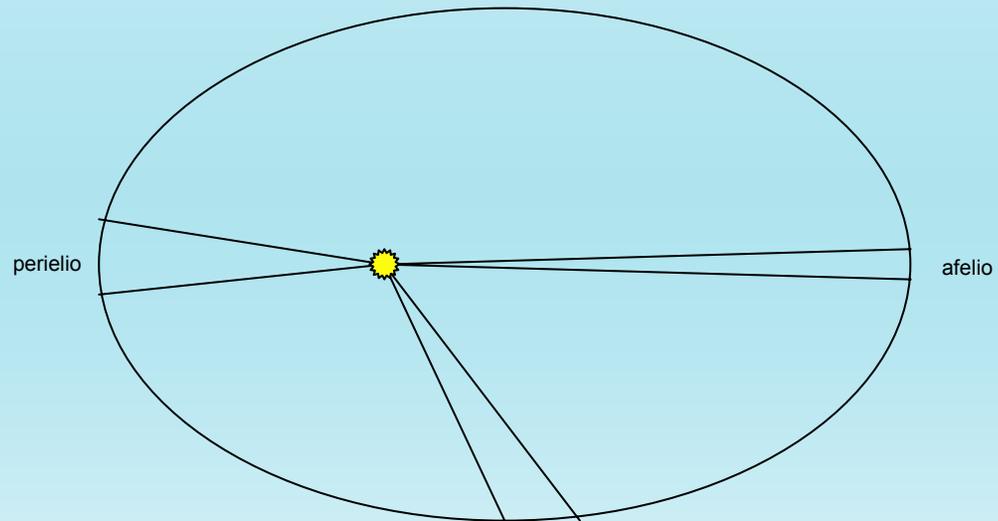
Per la seconda legge di Keplero in perielio la Terra si muove più velocemente intorno al sole e quindi in 24 ore si sposta rispetto ad esso di un tratto leggermente superiore di  $1^\circ$ . La velocità di rotazione terrestre è invece costante e per compiere un po' più di  $1^\circ$  di rotazione al fine di riavere il sole in culminazione impiegherà un po' più di 4 minuti. Il giorno solare in perielio è un po' più lungo di 24 ore. Per ragioni opposte il giorno solare in afelio raggiunge la sua durata minima, inferiore alle 24 ore.



## Leggi di Keplero

*“i pianeti girano intorno al Sole descrivendo orbite ellittiche di cui il Sole occupa uno dei fuochi”*

*–“il raggio vettore che congiunge il Sole con il pianeta spazza aree uguali in tempi uguali”*





## Calcolo ET per effetto dell'eccentricità

$$360/365,24=0,98565$$

$$x = 0.98565(N-5)$$

N numero di giorni dal 1 gennaio.

5=giorno del perielio(almanacco UAI 2012)

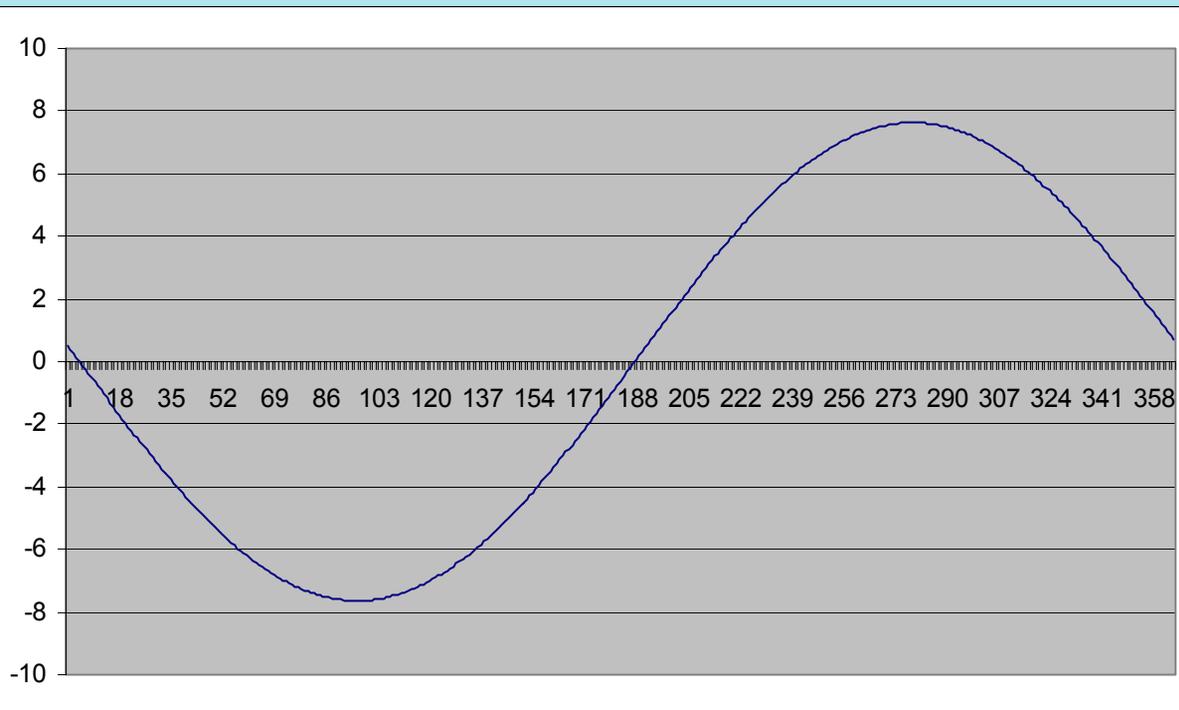
(N-5) giorni dopo il perielio ,

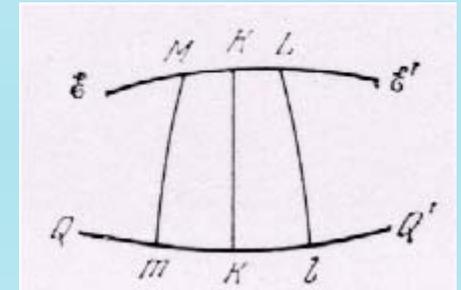
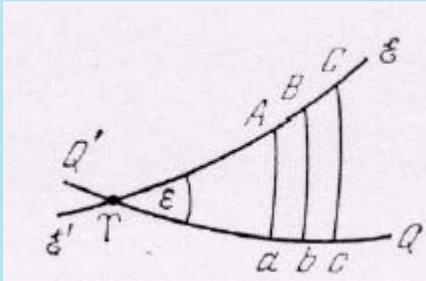
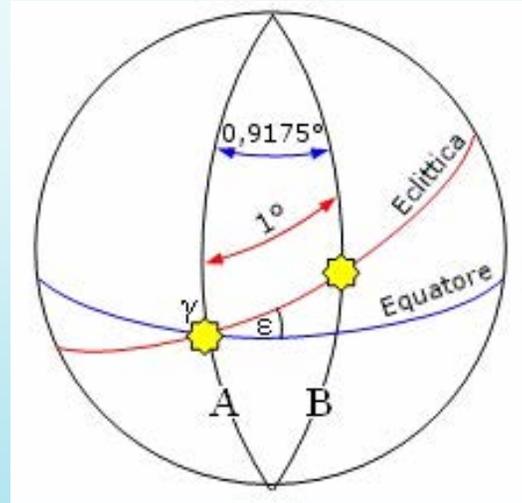
e = eccentricità dell'orbita ellittica = 0,0167

$$v = x + ( 360 / \pi ) e \sin x = x + \sin x * 1.915$$

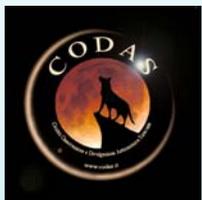
v - x = differenza angolare tra il percorso della Terra in orbita ellittica e in orbita circolare

(v - x )3,989 conversione gradi in minuti





L'asse di rotazione della Terra è inclinato sul piano dell'eclittica e così anche l'orbita apparente del sole. Il piano dell'eclittica è inclinato rispetto all'equatore celeste di  $\varepsilon = 23,44^\circ$ . La proiezione della posizione del Sole sull'equatore celeste introduce un'altra variazione periodica sulla durata effettiva del giorno solare. Quando il Sole attraversa l'equatore in corrispondenza dei punti equinoziali la sua proiezione sull'equatore si muove più lentamente di quanto non faccia il Sole medio ed il giorno solare vero risulta più breve del giorno solare medio. Quando invece si trova in corrispondenza dei punti solstiziali, il Sole si muove parallelamente all'equatore, la sua proiezione sull'equatore si muove più rapidamente di quanto non faccia il Sole medio ed il giorno solare vero risulta più lungo del giorno solare medio.



## Calcolo ET per effetto dell'inclinazione

$$360/365,24=0,98565$$

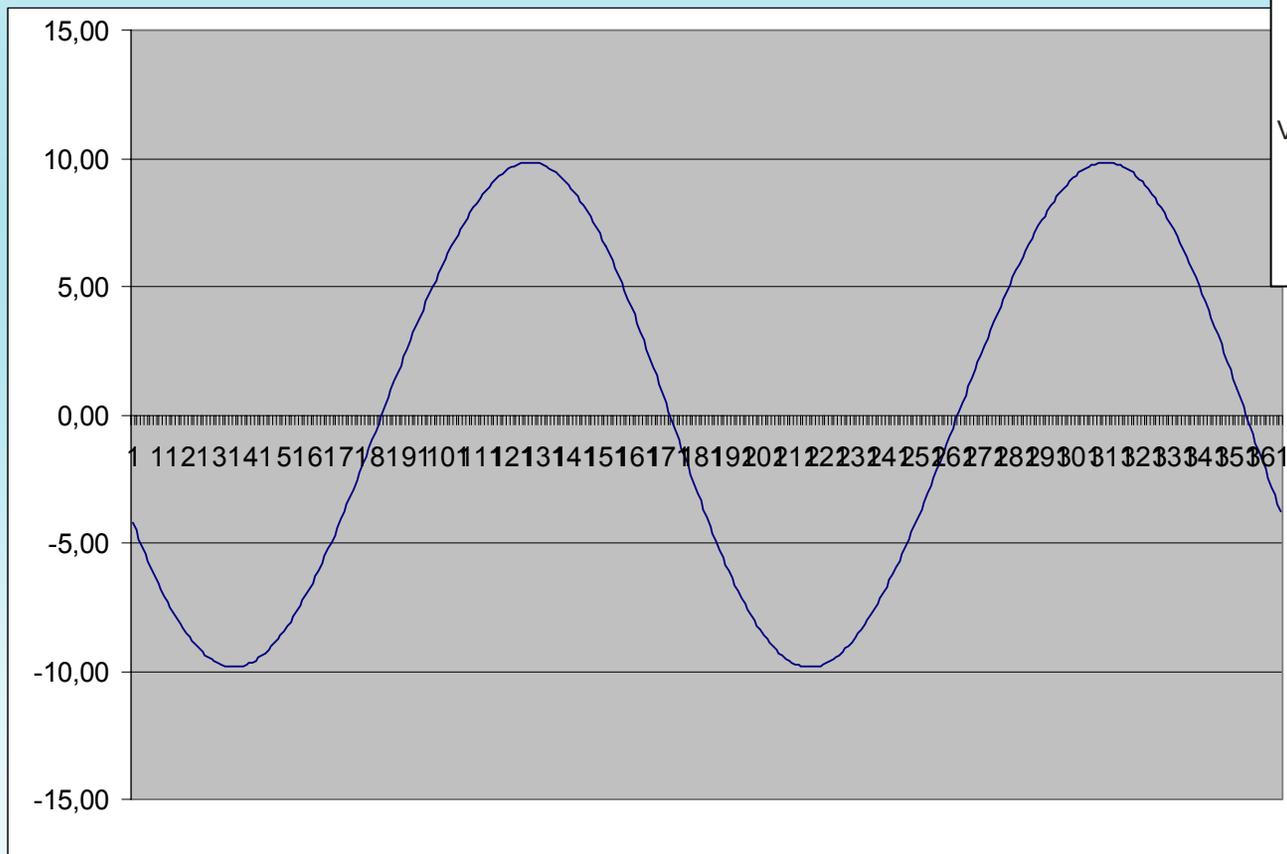
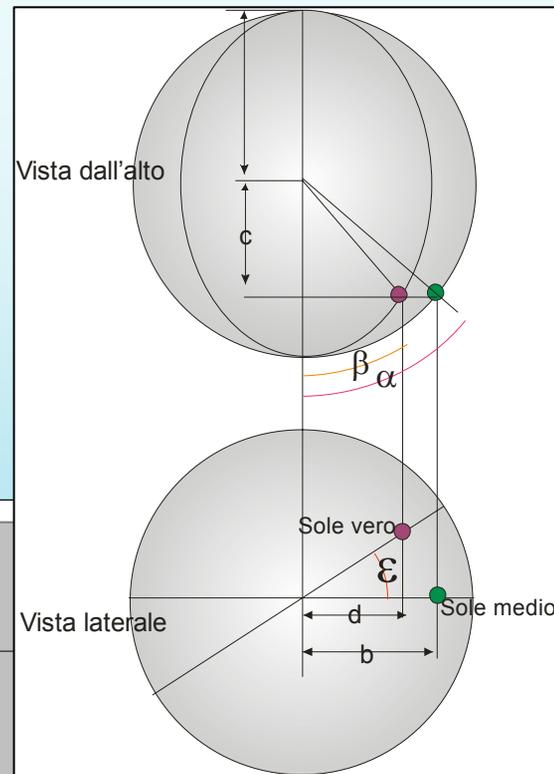
80= numero di giorni all'equinozio di primavera

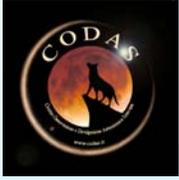
$$a=0,98565(N-80)$$

$$0,917526=\text{coseno di } 23.45^\circ$$

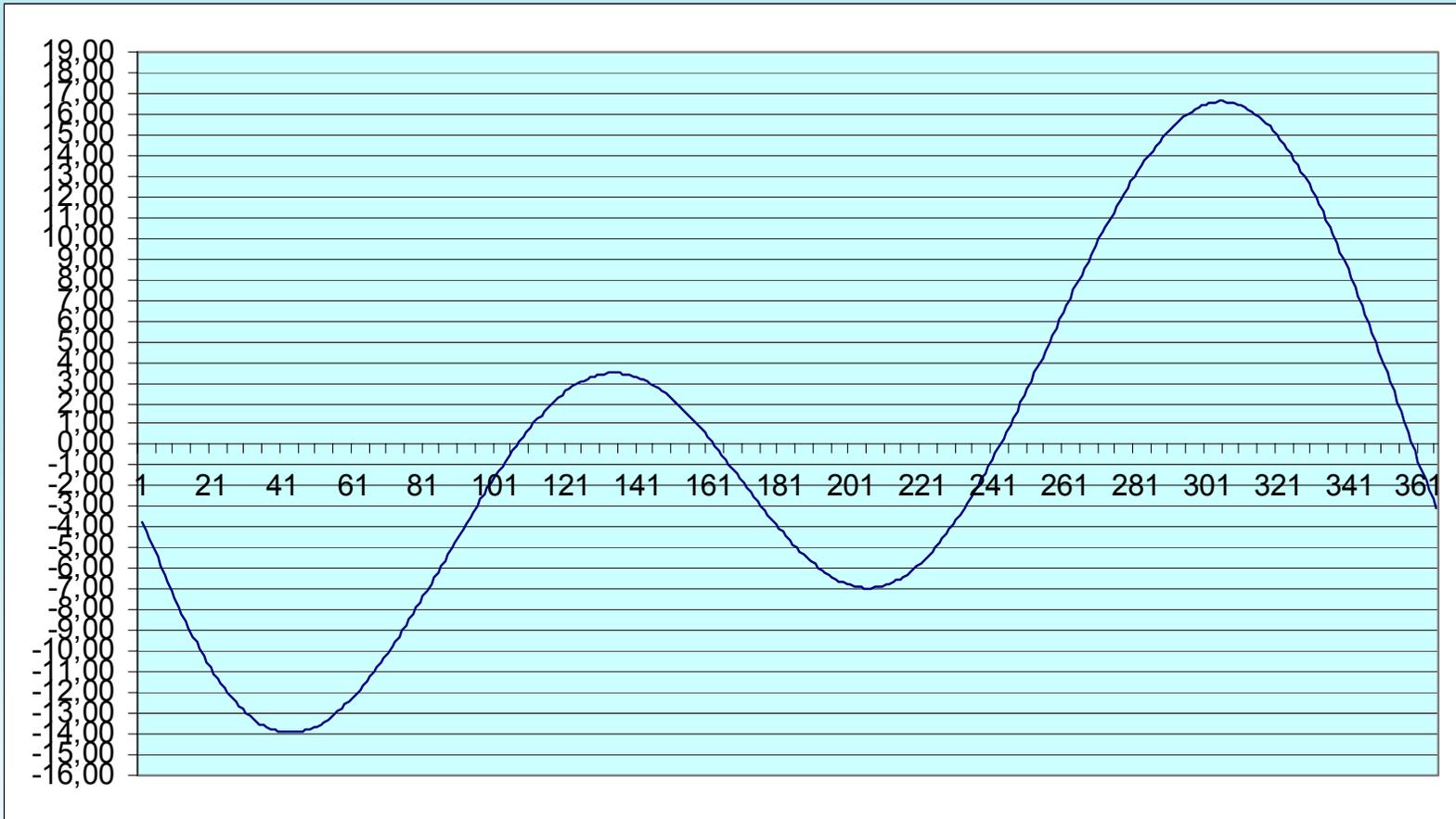
$$\beta = \arctan (0,917526 \tan \alpha )$$

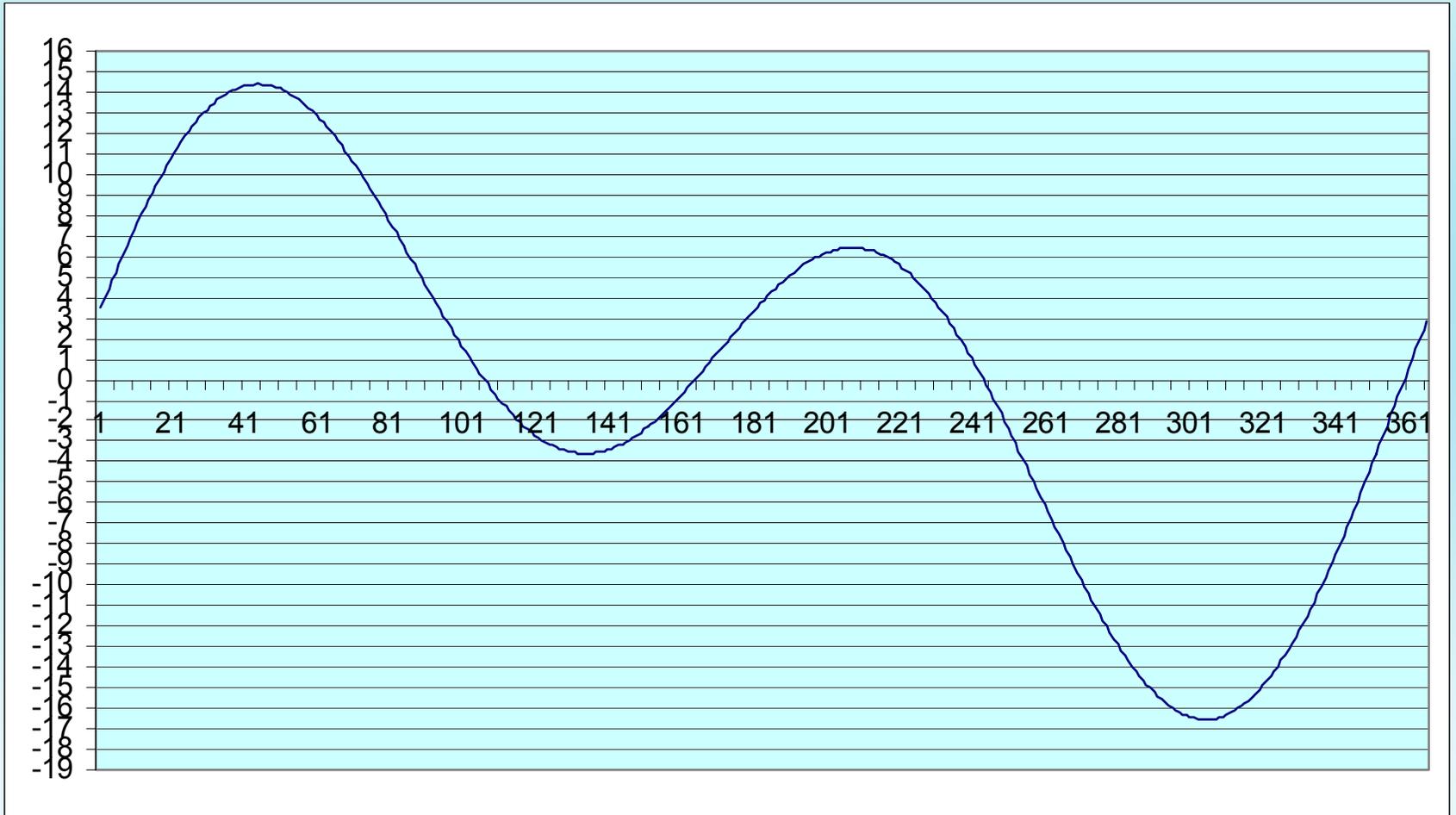
$$ET=(a-b)3,989$$

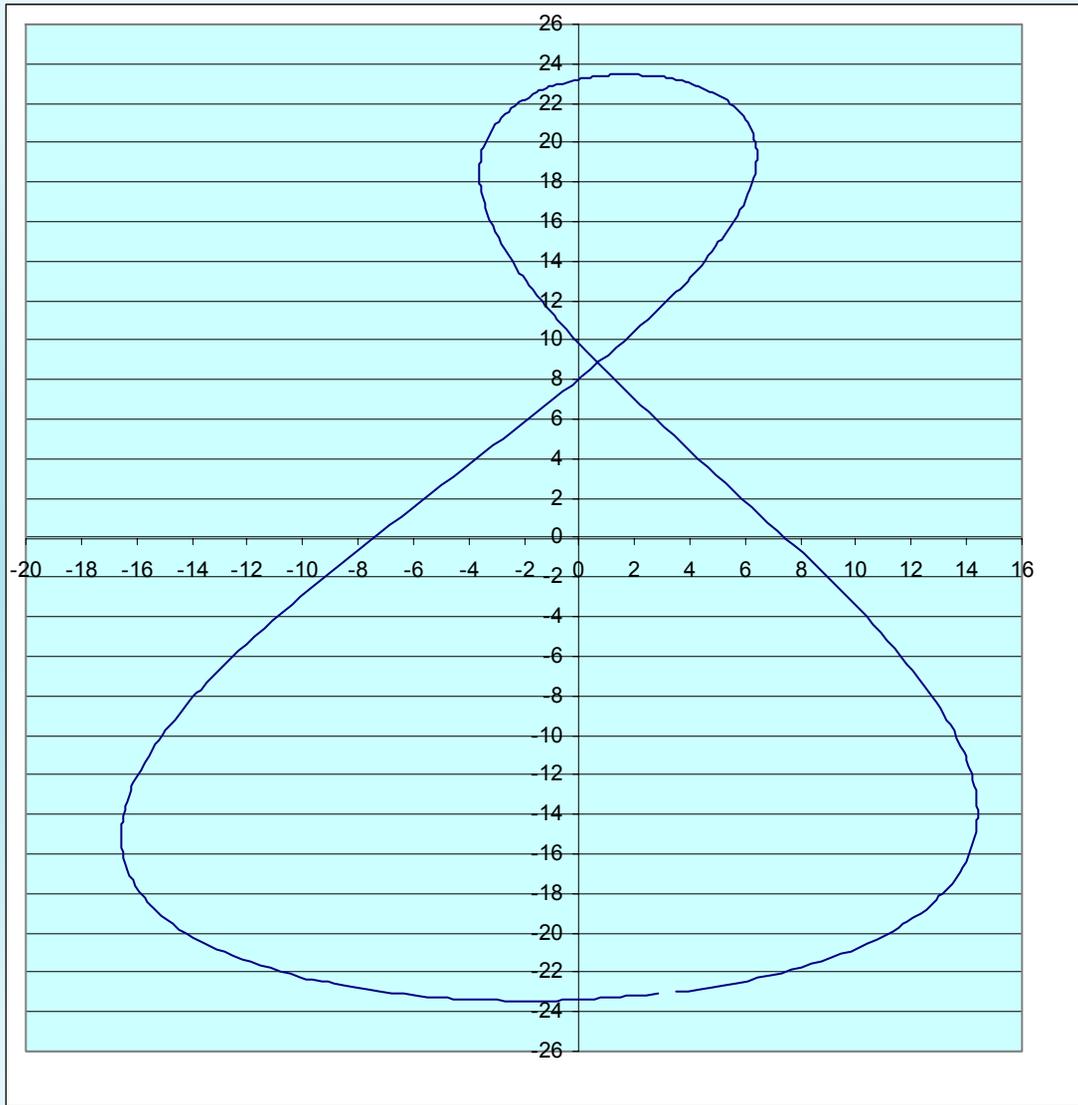




ET (da usare per la correzione) risultante dalla somma dei due effetti





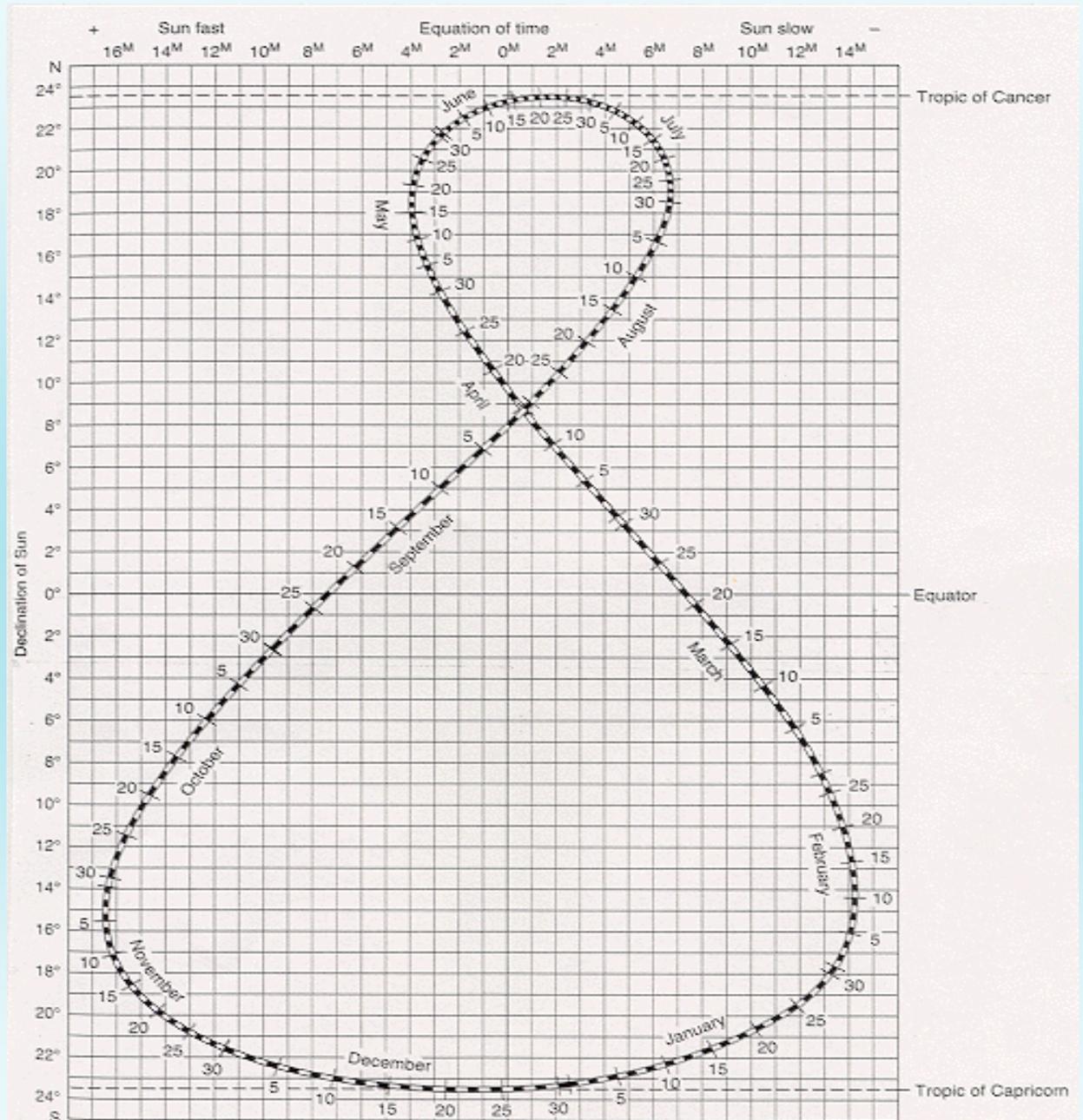




La declinazione  
che si legge  
sull'analemma può  
servire per la  
determinazione  
della latitudine o  
per ottenere  
l'altezza del sole  
sull'orizzonte a  
mezzogiorno:

$$\varphi = 90^\circ - h + \delta$$

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta$$



The analemma. Data courtesy of U.S. Coast and Geodetic Survey.



**FINE**

Animazione E-o-t



## Appunti vari

Chiamando con E1 ed E2 le durate misurate tra i due equinozi e S1 e S2 le durate tra i due solstizi, si hanno i seguenti valori in giorni, riportati da Antonino Zichichi nel volume *L'irresistibile fascino del tempo*, presentati al settimo corso della Scuola Internazionale di Astrofisica, tenutosi a Erice nel dicembre 1999.

E1 = 365,24237 (da marzo a marzo)

S1 = 365,24162 (da giugno a giugno)

E2 = 365, 24201 (da settembre a settembre)

S2 = 365,24274 (da dicembre a dicembre)

Mediando fra questi valori, la durata dell'anno tropico, riportata dalle Effemeridi, è di 365,24219879 giorni medi.

Si definisce **giorno solare vero** l'intervallo di tempo intercorrente tra due passaggi consecutivi del Sole allo stesso meridiano. Tale intervallo di tempo nel corso dell'anno non è costante per effetto della seconda legge di Keplero, perciò non può essere utilizzato per la misura del tempo.

Per rimanere legati al Sole ed avere una durata costante del giorno, è stato introdotto un astro fittizio detto **Sole medio**, avente il movimento in ascensione retta costante nel corso dell'anno. Il giorno riferito a tale astro fittizio prende il nome di **giorno solare medio**. La differenza tra l'ascensione retta del Sole medio e quella del Sole vero, in un dato istante, viene chiamata equazione del tempo medio e si trova in apposite tabelle delle Effemeridi.

Il tempo siderale

Abbiamo già definito il Tempo Siderale **TS** come angolo orario dell'equinozio di primavera **TS = HA( $\gamma$ )**. A ciascuna rotazione della Terra, **HA** cresce di **1 giorno siderale** di durata 24 ore siderali. Si ricordi sempre però che **HA** è un angolo definito sull'equatore celeste da un punto che non è direttamente visibile. E' infatti la declinazione del Sole  $\delta_{\odot}$  che permette di misurare **TS** attraverso la relazione:

$$\sin \alpha_{\odot} = \cot \epsilon \cdot \tan \delta_{\odot}$$

In altre parole, **TS** è definito dal Sole, non dalle stelle. Tuttavia, all'atto pratico nella gran parte delle operazioni astronomiche usuali, conviene riferirsi a un insieme di stelle fondamentali, cioè di AR ben conosciuta, le cui culminazioni in meridiano danno anche il **TS** corrispondente.

Tale insieme di stelle può essere definito da quelle del catalogo FK5, oppure dell'ICRS (adottato da una risoluzione dell'IAU dal 1 gennaio 1998).

E' da temere che ciascun insieme dia luogo a un **TS** lievemente diverso da quello di un altro insieme, ma di nuovo questa cautela è superflua in gran parte delle applicazioni.

### **Ascensione Retta AR**

Si definisce ascensione retta AR l'angolo compreso tra il punto vernale  $\gamma$  e la posizione del sole sull'eclittica misurata, attraverso la proiezione di archi di eclittica, sul piano dell'equatore celeste.

Poichè archi uguali di eclittica non sono uguali sull'equatore celeste, l'angolo di ascensione retta non è costante ma dipende dalla posizione della terra lungo la sua orbita.

Supponiamo che esista un Sole del tutto immaginario, il cosiddetto *Sole fittizio*, che si muove lungo l'eclittica con velocità angolare costante e passa al perigeo assieme al Sole vero. Il tempo che il Sole impiega per tornare al perigeo viene detto *anno anomalistico*. L'introduzione del Sole fittizio elimina l'inconveniente dell'irregolarità del moto sull'eclittica. Per rimediare al fatto che l'astro del giorno non si muove sull'equatore è necessario invece immaginare un altro tipo di Sole ideale, il cosiddetto *Sole medio*, che si muove sull'equatore di moto uniforme e che passa per il punto gamma nello stesso istante in cui transita il Sole fittizio (figura 3.4).

Dicesi *giorno solare medio* l'intervallo di tempo intercorrente tra due consecutivi passaggi del Sole medio sullo stesso meridiano. Il *tempo civile locale* è definito come l'angolo orario del Sole medio più 12 ore.

È evidente, per quanto detto, che il Sole vero e quello medio non passano al meridiano nello stesso istante; tra i due passaggi ci sarà una piccola differenza di tempo che cambia ogni giorno e al massimo raggiunge i 16 minuti. La differenza tra il tempo solare vero e quello medio viene chiamata *equazione del tempo* (ET) ed è tabulata in tutti gli almanacchi. Essa varia lievemente di anno in anno e ritorna ad assumere gli stessi valori ogni quattro anni. Solo quattro volte all'anno

I tempi solari e siderali, basati sul passaggio di un astro, in particolare il Sole, sul meridiano del luogo, sono tutti *tempi locali*, relativi cioè ad un dato posto. A mezzogiorno, per esempio, il Sole passa in istanti differenti sui meridiani di due località poste anche a breve distanza tra loro: prima su quella più a est poi su quella più a ovest.

Per uniformare il conteggio del tempo in luoghi abbastanza vicini, entro, per esempio, i confini di una nazione non molto estesa in

