



Laurea triennale in Fisica  
a.a. 2018 - 2019

# CORSO DI ASTRONOMIA

LEZIONE 4

3 aprile 2019

Prof. Angelo Angeletti

**Il tempo**

# Il tempo

Uno dei compiti più importanti dell'Astronomia classica è stato quello di definire e di determinare il tempo astronomico, sia perché necessario a diverse scienze, sia perché ciò rappresentava la più importante applicazione dell'Astronomia alla vita civile.

# Il tempo atomico

Dal 1972 il tempo atomico è divenuto la scala ufficiale di tempo in fisica e in astronomia.

La base del tempo atomico è una rete di orologi atomici che nel loro insieme definiscono il Tempo Atomico Internazionale.

L'unità di tempo è il **secondo** (*s*) e nel Sistema Internazionale:

**il secondo è pari a 9 192 631 770 periodi della radiazione emessa nella transizione fra i livelli iperfini  $F = 4, M = 0$  e  $F = 3, M = 0$  dello stato fondamentale dell'atomo di  $^{133}\text{Cs}$ .**

# Il tempo

La rotazione diurna avviene attorno ad un asse polare la cui direzione rispetto alle stelle (cioè in un riferimento inerziale) consideriamo fissa.

Considereremo costante in modulo la velocità angolare, e pertanto il vettore velocità di rotazione diurna  $\vec{\omega}$  è considerato costante e collegato all'ellissoide matematico che approssima la figura terrestre e parallelo al semiasse minore.

Il moto annuo apparente del Sole rispetto alle stelle, di circa  $1^\circ$ /giorno verso Est, è il riflesso del moto di rivoluzione della Terra, descritto in prima approssimazione dalle prime due leggi di Keplero.

# Il tempo

*L'orbita di un pianeta intorno al Sole è ellittica con il Sole in uno dei due fuochi,*

l'equazione polare è:

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \theta}$$

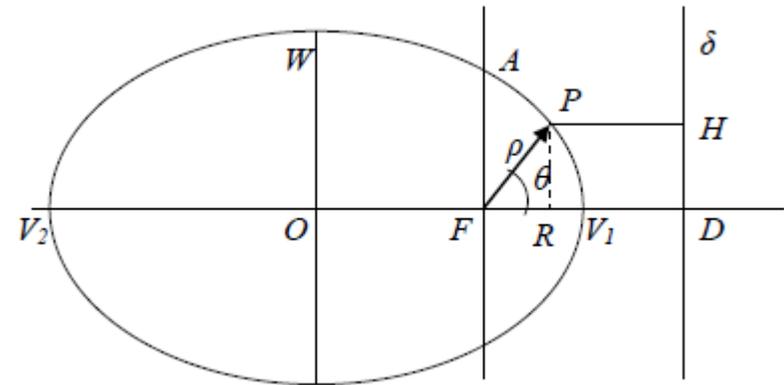
dove  $p$  è una costante ed  $e$  l'eccentricità dell'orbita.

Il *semiasse maggiore* dell'orbita,  $a$ , e quello *minore*,  $b$ , sono dati dalle relazioni:

$$a = \frac{p}{1 - e^2} \quad b = \frac{p}{\sqrt{1 - e^2}}$$

La direzione iniziale si fa di solito coincidere con quella del semiasse maggiore dell'orbita.

Quando il pianeta passa al perielio l'angolo iniziale è nullo.



Il fuoco destro dell'ellisse è posizionato nell'origine di un sistema di riferimento polare:  $\rho$  è il raggio vettore mentre  $\theta$  è l'anomalia vera. Una conica si definisce come quella curva piana i cui punti verificano la relazione, con  $\varepsilon$  costante:

$$\frac{PF}{PH} = \varepsilon$$

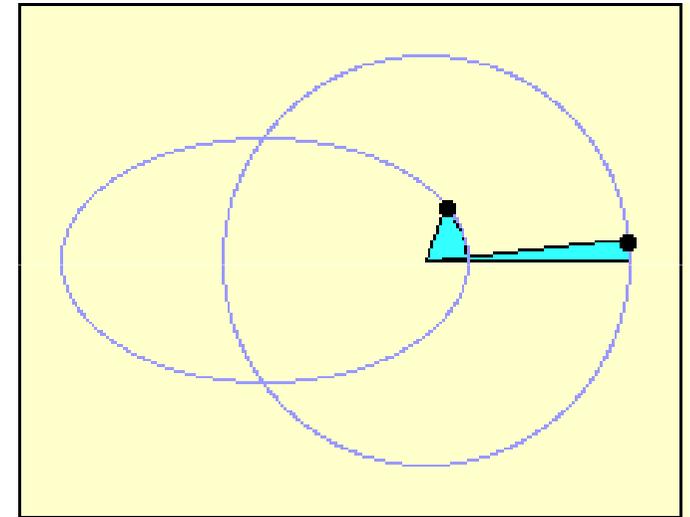
$\varepsilon = 0$  si ottiene una circonferenza;  
 $0 < \varepsilon < 1$  si ottiene un'ellisse;  
 $\varepsilon = 1$  si ottiene una parabola;  
 $1 < \varepsilon$  si ottiene un'iperbole.

# Il tempo

*La velocità areale si mantiene costante:*

$$dA = \frac{1}{2} r \cdot r d\vartheta = \frac{C}{2} dt$$

in cui  $dA$  è l'area elementare spazzata nel tempo  $dt$  dal raggio vettore  $r$  (la congiungente Terra-Sole), e  $C$  una opportuna costante.



# Il tempo

La rotazione della Terra intorno al proprio asse e intorno la sole sono serviti per millenni a definire due scale astronomiche di tempo, una collegata con il valore dell'angolo di rotazione (*giorno*) e una con l'angolo lungo l'orbita (*anno*).

I valori istantanei dei due suddetti angoli possono quindi definire le scale di tempo astronomico.

*Possiamo quindi in generale definire il tempo come l'angolo orario di un punto della sfera celeste e assumere l'intervallo di tempo corrispondente ad una intera rotazione della Terra come unità fondamentale per la misura del tempo.*

# Il tempo

La definizione di questa unità è semplice, ma non è facile fissarla praticamente.

L'asse di rotazione della Terra non è immobile rispetto alle stelle.

Per misurare la quantità di rotazione della Terra indipendentemente da ogni altro movimento, dovremo scegliere come indice per la misura dell'angolo corrispondente un punto fisso dell'equatore celeste (variabile rispetto ai punti fissi sulla sfera), ed allora fra due successive culminazioni di questo punto avverrà una rotazione completa della Terra.

Il corrispondente intervallo di tempo sarà l'unità di misura fondamentale del tempo.

# Il tempo

Un punto fisso sull'equatore non può essere stabilito con facilità.

Nella pratica si assume come indice il punto  $\gamma$ , dato che è facilmente determinabile in ogni istante, ma anche esso è soggetto a piccoli movimenti dovuti alla precessione e alla nutazione.

La posizione del punto  $\gamma$  con riguardo al solo movimento di precessione è detta *equinozio medio*, mentre la posizione effettiva, dovuta ad ambedue i movimenti è detta *equinozio vero*.

# Il tempo siderale

*Si assume come unità astronomica per la misura del tempo l'intervallo tra due successive culminazioni del punto  $\gamma$*   
e si indica questa unità col nome di  
*giorno siderale.*

Questa unità non è costante, né uguale all'unità fondamentale che sarebbe il periodo di rotazione della Terra, ma le differenze sono così piccole che il giorno siderale può considerarsi praticamente come unità fondamentale.

Il movimento retrogrado dell'equinozio dovuto alla precessione, per effetto del quale le ascensioni rette delle stelle vanno generalmente crescendo con l'andare del tempo, è estremamente piccolo; in un anno lo spostamento del punto  $\gamma$  sull'equatore è di circa 50,26".

# Il tempo siderale

Dato che il movimento dell'equinozio è pressoché uniforme, se non vi fosse il movimento periodico dovuto alla nutazione, il giorno siderale potrebbe ritenersi costante.

Il movimento dell'equinozio dovuto a questo fenomeno è così piccolo che in pratica le variazioni di durata del giorno siderale sono trascurabili.

La parte più importante della nutazione ha un periodo di circa 19 anni ed il suo effetto complessivo è una variazione compresa fra circa +1 s e - 1 s nell'intero periodo.

Il giorno siderale ha inizio all'istante della culminazione del punto  $\gamma$ , ed è diviso in 24 ore siderali, l'ora siderale in 60 minuti di tempo siderale, il minuto in 60 secondi di tempo siderale.

A causa dei movimenti dell'equinozio si può distinguere il *tempo siderale uniforme* o *medio*, legato all'equinozio medio, dal *tempo siderale vero*, determinato dall'equinozio vero.

# Il tempo solare vero

Il *giorno solare vero* è l'intervallo di tempo che trascorre tra due successive culminazioni (superiori o inferiori) del Sole (centro del disco solare) in meridiano, ovvero l'intervallo di tempo durante il quale l'angolo orario del Sole varia di  $360^\circ$ .

La culminazione superiore si dice anche *mezzogiorno vero*, la culminazione inferiore *mezzanotte vera*.

Il giorno solare viene diviso in 24 ore di tempo solare, ogni ora in 60 minuti, ogni minuto in 60 secondi.

Si dice poi *tempo solare vero* di un luogo l'angolo orario del Sole (centro), nel luogo stesso aumentato di 12h, cioè l'angolo orario contato dalla culminazione inferiore del Sole.

Fino al 1925 il tempo solare era semplicemente l'angolo orario del Sole vero e quindi si iniziava a contare al mezzogiorno.

# Il tempo solare vero

La posizione osservata del Sole non è quella effettivamente occupata, che viene chiamata *posizione vera*, ma una posizione leggermente deviata dall'aberrazione (un fenomeno che vedremo più avanti).

Conseguentemente, se ci si riferisce al Sole osservato, bisognerebbe parlare di *giorno solare apparente* e *tempo solare apparente*; per il primo però la cosa non ha importanza, in quanto si tratta di un intervallo di tempo e la deviazione ora detta è pressoché costante per periodi piuttosto lunghi.

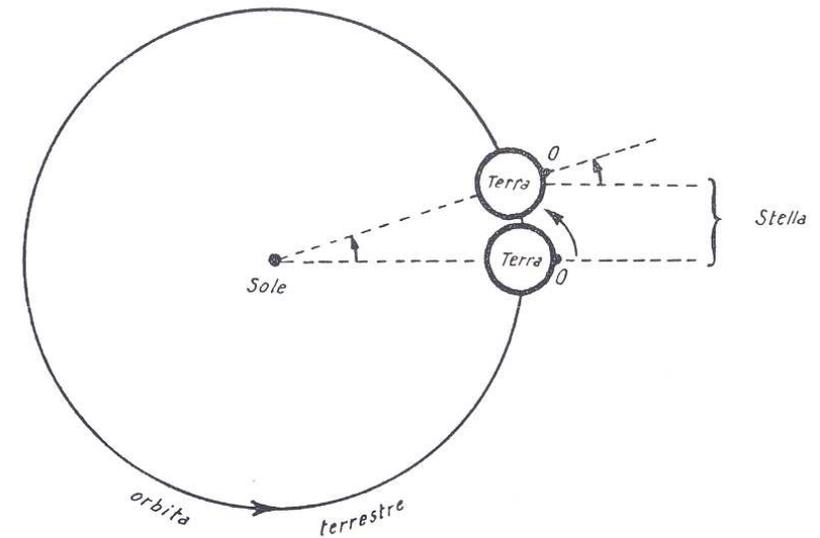
Nelle definizioni date sopra e in quanto segue considereremo il sole vero, cioè la posizione osservata corretta per il fenomeno ora detto.

# Il tempo solare vero

*Il giorno siderale e il giorno solare vero sono di differente durata* e ciò perché il Sole si sposta sulla sfera celeste in ogni giorno di circa un grado, rispetto alle stelle fisse, nella direzione opposta al moto diurno della sfera. Ogni giorno il Sole passerà al meridiano con un certo ritardo rispetto alle stelle; ritardo che corrisponde al tempo impiegato dal Sole a passare il meridiano, cioè a circa 4 minuti (di tempo siderale).

Il giorno solare vero è di circa 4 minuti più lungo di quello siderale.

Viceversa, una stella che in un dato giorno passa in meridiano insieme al Sole, nel giorno successivo anticiperà il suo passaggio di circa 4 minuti; questo intervallo di tempo è stato chiamato l'*accelerazione delle (stelle) fisse*.



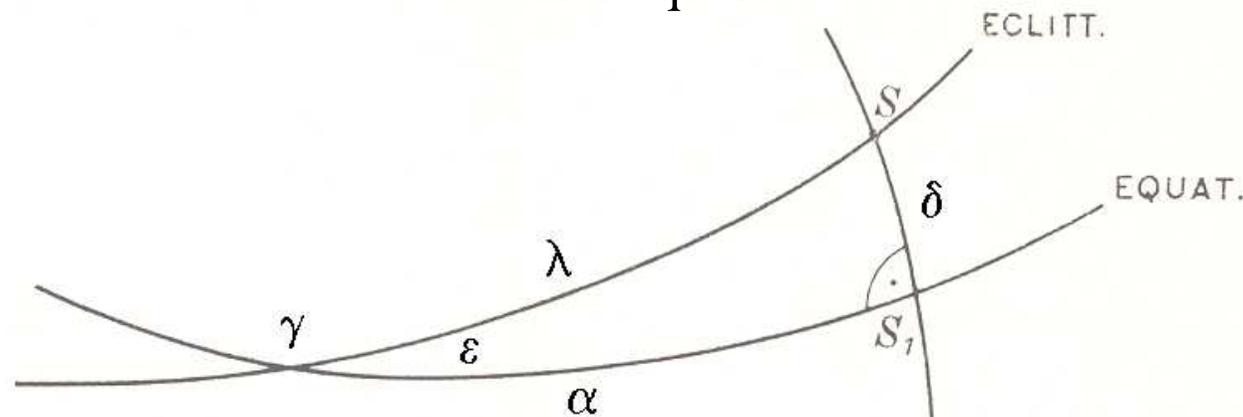
# Il tempo solare vero

L'indice che segna il tempo solare vero è l'intersezione del circolo orario del Sole con l'equatore celeste.

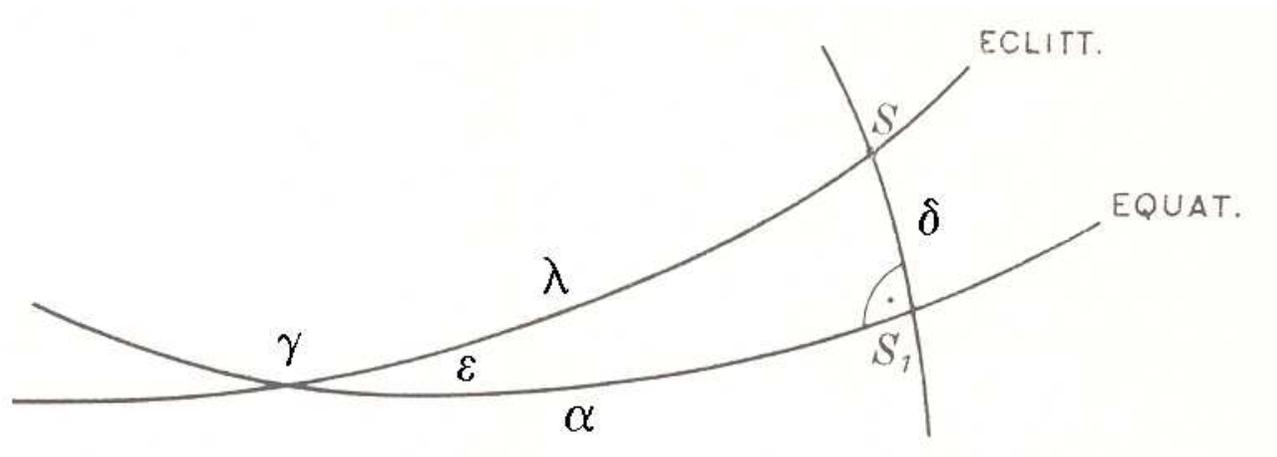
Per il moto del Sole fra le stelle, questo punto si sposta sull'equatore nel senso delle ascensioni rette crescenti, ma il suo moto non è uniforme, per cui il giorno solare vero non è una unità costante.

Ciò avviene per due motivi:  
la velocità angolare del Sole nel suo moto intorno alla Terra, e quindi il suo moto apparente sopra l'eclittica, è variabile;

l'orbita apparente del Sole, cioè l'eclittica, non coincide con l'equatore, ma è inclinata su questo.



# Il tempo solare vero



Sia  $\lambda$  la longitudine eclittica del Sole,  $\alpha$  la sua ascensione retta ed  $\varepsilon$  l'obliquità dell'eclittica, dal triangolo sferico  $\gamma SS_1$  si ha

$$\tan \alpha = \tan \lambda \cdot \cos \varepsilon$$

Derivando

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{\cos \varepsilon}{1 - \operatorname{sen}^2 \lambda \operatorname{sen}^2 \varepsilon} \cdot \frac{d\lambda}{dt}$$

# Il tempo solare vero

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{\cos \varepsilon}{1 - \operatorname{sen}^2 \lambda \operatorname{sen}^2 \varepsilon} \cdot \frac{d\lambda}{dt}$$

*L'ascensione retta del Sole rappresenta la differenza fra tempo siderale e tempo solare vero,*

questa non cresce proporzionalmente al tempo e quindi la durata del giorno solare vero è continuamente variabile, per il fatto che i due fattori di cui si compone la variazione di  $\alpha$  sono variabili.

La longitudine eclittica del sole può essere ricavata determinandone la declinazione  $\delta$  in diverse epoche dell'anno a partire dalla relazione

$$\operatorname{sen} \lambda = \frac{\operatorname{sen} \delta}{\operatorname{sen} \varepsilon}$$

Si può dimostrare che il termine  $d\lambda/dt$ , che è la velocità del Sole sopra l'eclittica, non cresce proporzionalmente al tempo.

# Il tempo solare vero

Dalle osservazioni si ha che la velocità angolare del Sole sull'eclittica è massima intorno alla longitudine di  $282^\circ$ , e minima nella direzione opposta, cioè alla longitudine di  $102^\circ$ .

Nella prima di queste posizioni il Sole percorre al giorno un arco di eclittica di  $61',1$ , che corrisponde ad una differenza di  $4m\ 4s$ , nella seconda posizione il Sole percorre  $57',2$ , corrispondenti a  $3m\ 49s$ .

Da ciò segue che per il fatto del moto non uniforme sull'eclittica, il giorno solare nel primo caso (che si verifica ai primi di gennaio) è circa  $15\ s$  più lungo che nel secondo caso (che ha luogo al principio di luglio).

# Il tempo solare vero

Anche se  $d\lambda/dt$  fosse costante, non lo sarebbe  $d\alpha/dt$ , in quanto il coefficiente di  $d\lambda/dt$  non lo è a causa dell'inclinazione dell'eclittica.

La variazione diurna media dell'ascensione retta del Sole è di 3m 57s ed altrettanto può dirsi per la variazione media della longitudine; perciò la variazione effettiva dell'ascensione retta del Sole vero, per il solo fatto della obliquità, sarà intorno agli equinozi circa 4m 16s ed ai solstizi circa 3m 37s al giorno.

Per questo secondo fattore dunque il giorno solare più lungo (agli equinozi) è di circa 39 s più lungo del giorno più corto dell'anno (ai solstizi).



# Il tempo solare medio

Per usi civili si deve usare una unità costante al posto del giorno vero variabile, si introduce allora il **giorno solare medio**, la cui durata è la media esatta di tutte le lunghezze dei giorni veri in un anno.

Per il calcolo di questa durata media è necessario conoscere il numero esatto di giorni solari in un anno, ma per definire completamente il giorno medio (vale a dire anche l'istante del suo inizio e la misura del tempo che ne deriva) è necessario stabilire un legame tra esso e il tempo vero.

Allo scopo si utilizzano due Soli ipotetici: il **Sole fittizio** che si suppone percorrere l'eclittica di moto uniforme e il **Sole medio** che si suppone muoversi uniformemente sopra l'equatore.

***Entrambi compiono il moto annuo nello stesso tempo del Sole vero.***

Il secondo sarà libero dai due inconvenienti del Sole vero e sarà l'indice per un tempo basato sul giorno medio.

# Il tempo solare medio

A causa della diversa velocità del sole vero nel suo percorso, qualunque sia la posizione del Sole fittizio rispetto al vero in un certo istante, nel loro cammino i due Soli verranno a coincidere in due soli punti dell'eclittica, diametralmente opposti.

*Si definisce allora più precisamente il Sole fittizio come quel punto che (percorrendo l'eclittica con moto uniforme) passa al perigeo e all'apogeo insieme al Sole vero.*

Se indichiamo con  $L$  la longitudine del Sole fittizio, detta *longitudine media del Sole* (**attenzione, non è la longitudine del Sole medio**), la differenza  $\lambda - L$  tra questa e la longitudine vera, ovvero l'angolo fra le direzioni del Sole vero e del Sole fittizio, è detta *equazione del centro*, sarà positiva quando il Sole vero precede quello fittizio e negativa nel caso opposto, mentre la variazione  $dL/dt$  sarà costante.

Detta  $A$  l'ascensione retta del Sole fittizio si può scrivere l'equazione

$$\frac{dA}{dt} = \frac{\cos \varepsilon}{1 - \sin^2 L \sin^2 \varepsilon} \cdot \frac{dL}{dt}$$

# Il tempo solare medio

Essendo  $dL/dt$  costante la durata del giorno solare dipende solo dall'obliquità.

$dA/dt$  è minimo per  $L = 0^\circ$  e  $L = 180^\circ$

$dA/dt$  è massimo per  $L = 90^\circ$  e  $L = 270^\circ$

$dA/dt = dL/dt$  quando

$$\frac{\cos \varepsilon}{1 - \sin^2 L \sin^2 \varepsilon} = 1$$

Ossia:

$$L = 46^\circ 14'$$

$$L = 133^\circ 46'$$

$$L = 226^\circ 14'$$

$$L = 313^\circ 46'$$

# Il tempo solare medio

Il secondo Sole ipotetico si fa poi passare agli equinozi contemporaneamente col Sole fittizio.

*Il giorno solare medio può definirsi anche come l'intervallo di tempo compreso fra due successive culminazioni del Sole medio*; la culminazione superiore del Sole medio è detta anche *mezzogiorno medio*, la culminazione inferiore *mezzanotte media*.

Il giorno medio incomincia alla mezzanotte media e l'angolo orario del Sole medio aumentato di 12h misura il tempo medio locale trascorso dal principio del giorno medio.

Il giorno medio è diviso in 24 ore medie, l'ora media in 60 minuti ed il minuto in 60 secondi di tempo medio.

# Equazione del tempo

La differenza tra l'ascensione retta del Sole medio e quella del Sole vero  $\alpha$  è detta equazione del tempo; essendo l'ascensione retta del Sole medio uguale alla longitudine media  $L$  del Sole (longitudine del Sole fittizio), l'equazione del tempo è

$$E = L - \alpha$$

L'equazione del tempo può dirsi anche la differenza tra il tempo solare vero ed il tempo medio

$$**E = tempo vero - tempo medio**$$

L'equazione del tempo è la quantità che occorre aggiungere, col rispettivo segno, al tempo medio per ottenere quello vero.

Detta  $\lambda$  la longitudine vera del Sole, può anche scriversi

$$L - \alpha = (\lambda - \alpha) - (\lambda - L)$$

Il secondo termine a destra è *l'equazione del centro*, il primo la *riduzione all'eclittica*.

# Equazione del tempo

L'equazione del tempo si scrive:

$$E = A \sin L + B \cos L + C \sin 2L + D \cos 2L + \dots$$

dove i coefficienti  $A, B, C, D, \dots$  sono ben determinati per ogni epoca (i primi sono quelli che incidono di più e sono sensibilmente variabili col tempo), ed  $L$  si calcola per qualunque istante  $t$  con la formula

$$L = n(t - t_0)$$

$n$  è la velocità angolare media del Sole sull'eclittica e  $t_0$  l'istante del suo passaggio al punto  $\gamma$ .

# Equazione del tempo

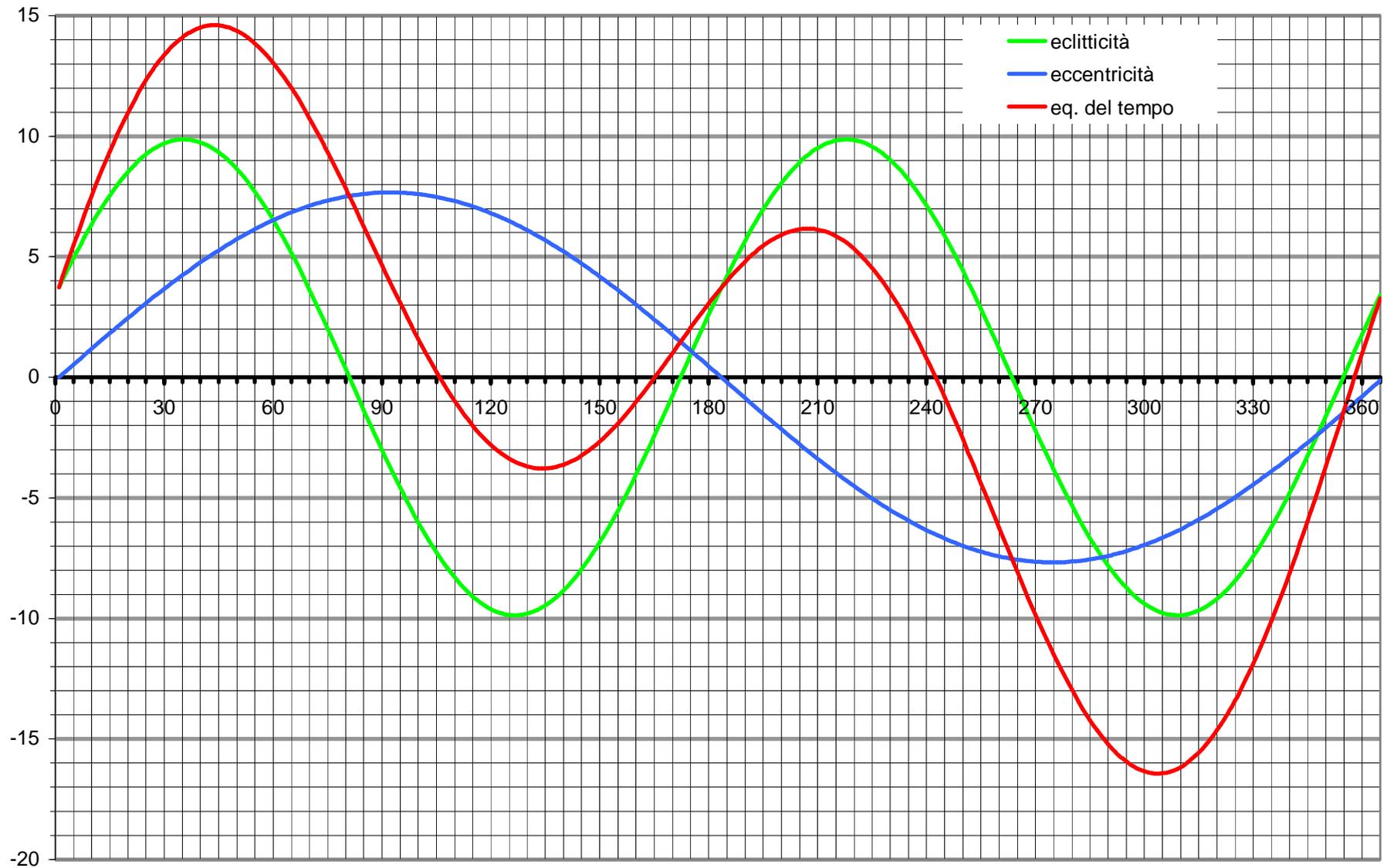
In molti calcoli si può utilizzare l'approssimazione:

$$E = -9,87 \sin [2g (N - 81)] + 7,67 \sin [g (N - 1)]$$

Dove  $E$  è espressa in minuti,  $g = 360^\circ/365$  se gli angoli sono espressi in gradi, oppure  $g = 2\pi/365$  se gli angoli sono espressi in radianti.

$N$  è il numero del giorno, per esempio:  $N = 1$  per il 1° gennaio,  $N = 2$  per il 2 gennaio e così via.

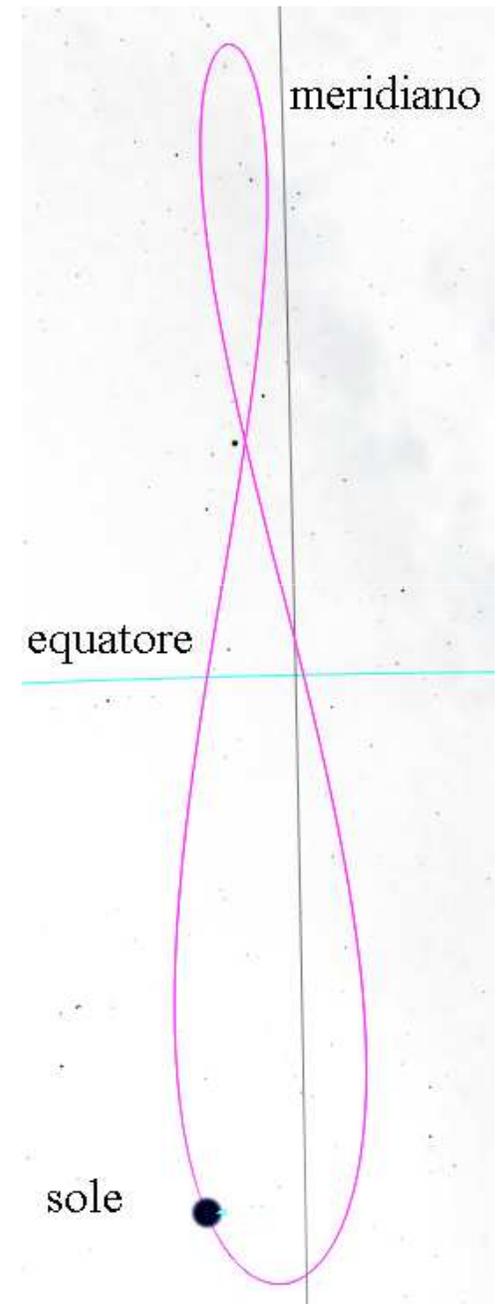
# Equazione del tempo



# Equazione del tempo

L'equazione del tempo arriva ad un valore massimo in anticipo di circa 14 minuti verso metà febbraio, ad un valore massimo in ritardo di circa 16 minuti nei primi giorni di novembre; in queste due epoche dunque il Sole sarà in meridiano rispettivamente alle 12h 14m e alle 11h 44m di tempo medio.

La stessa equazione si annulla 4 volte all'anno, e precisamente a metà aprile, metà giugno, al principio di settembre ed a Natale, nelle quali epoche dunque il Sole passerà in meridiano alle 12h precise di tempo medio.



# Tempo locale

Il tempo siderale, il tempo solare vero ed il tempo solare medio, dipendendo dal meridiano del luogo di osservazione, sono tutti tempi locali.

Se si confrontano infatti due orologi, ambedue a tempo siderale o medio, di due località diverse si trova che le loro indicazioni differiscono.

La differenza è uguale alla differenza delle longitudini geografiche dei due luoghi.

Reciprocamente si può dunque determinare la differenza di longitudine di due luoghi confrontando le indicazioni relative allo stesso istante di due orologi che si trovano nei due luoghi.

I due orologi devono segnare lo stesso tempo, ma è indifferente che essi segnino tempo siderale o tempo medio.

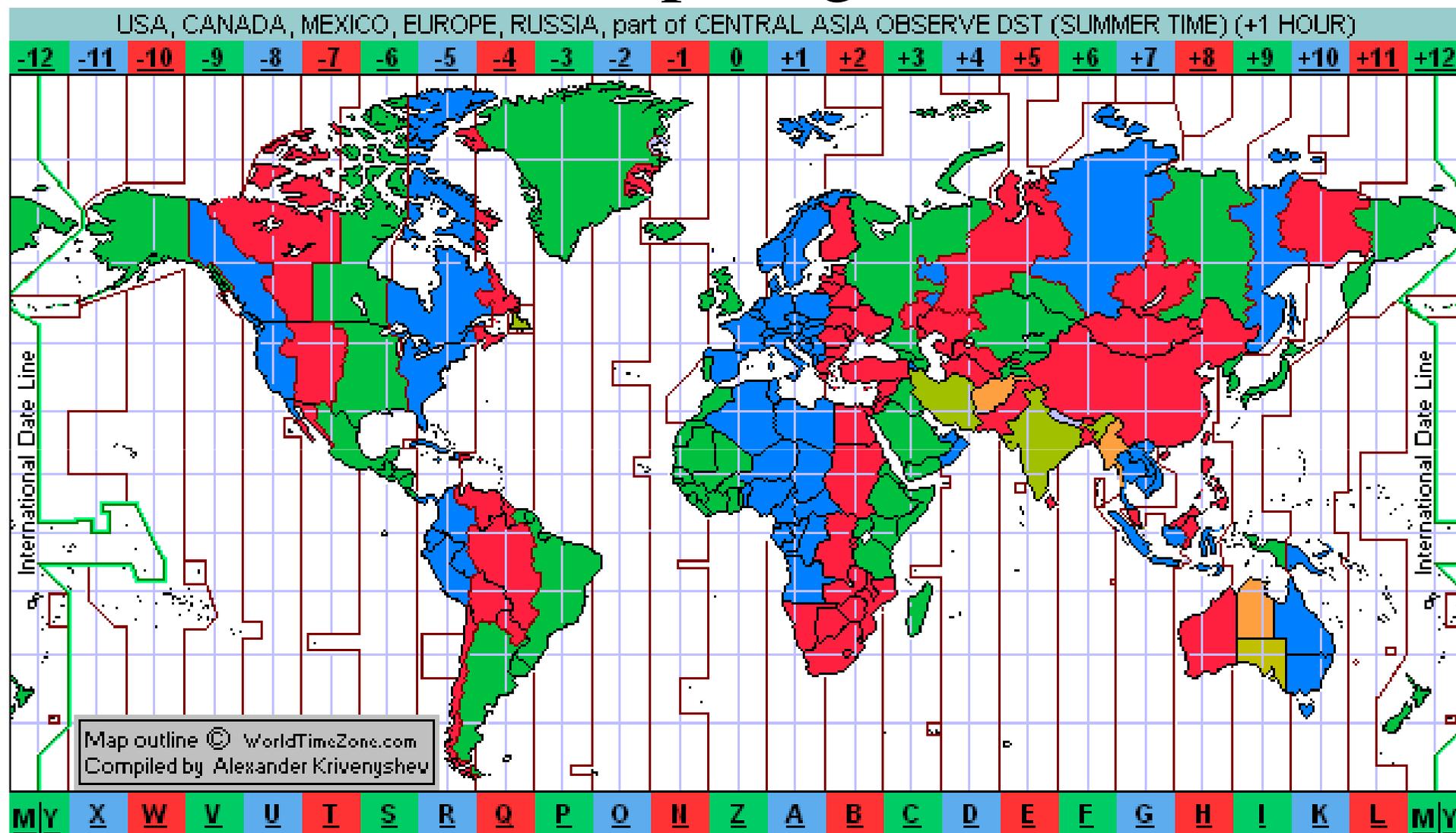
# Tempo legale

I diversi tempi locali complicano lo scambio di informazioni tra due luoghi; si è quindi stabilito un tempo comune per intere regioni, in base a convenzioni e leggi apposite: il *tempo legale*.

Stabilisce l'ora che devono segnare tutti gli orologi di un paese o regione rispetto ad una di riferimento fissata.

La convenzione ora adottata dal maggior numero degli stati è quella dei cosiddetti *fusi orari*.

# Tempo legale



Si divide la superficie terrestre in 24 fusi limitati da meridiani distanti di  $15^\circ$  e si assume come tempo comune del fuso quello del meridiano di mezzo; per convenienza ogni stato adotta l'ora del fuso nel quale si trova la maggior parte del suo territorio.

# Tempo legale

In teoria il tempo locale può differire dal tempo del fuso al più di mezza ora.

Tutti gli orologi dei luoghi che adottano questo sistema differiscono di un numero esatto di ore, e segnano in uno stesso istante lo stesso minuto e lo stesso secondo.

Il punto di partenza in questa convenzione è il meridiano di Greenwich. Il tempo medio di questo meridiano viene chiamato *tempo universale (UT)*.

*In ogni istante esso è l'angolo orario del Sole medio a Greenwich più 12h.*

Il giorno universale comincia alla mezzanotte media di Greenwich.

Il tempo civile per l'Europa centrale, TMEC (Tempo Medio Europa Centrale) è  
 **$TMEC = UT + 1$ .**

Dal 1916 alcuni stati hanno introdotto per ragioni economiche e di pubblico interesse l'*ora estiva*, stabilendo un anticipo di 60 minuti esatti sull'ora civile (detta anche, erroneamente, ora solare) per un certo periodo dell'anno dalla primavera all'autunno.

Per noi si ha  **$TMEC (estivo) = UT + 2$**  .

# Tempo legale

Il tempo locale differisce dal tempo civile di una quantità uguale alla longitudine del luogo rispetto al meridiano centrale del fuso corrispondente, la quale evidentemente differisce di un numero intero di ore dalla longitudine da Greenwich.

Questo tempo è detto la *costante locale* e deve dunque essere aggiunta (col segno) al tempo locale per ottenere il *tempo legale*.

Il dipartimento di Fisica dell'Università di Camerino ha longitudine Est di  $13^{\circ} 4,067'$  e quindi è situato a  $-52\text{m } 16\text{s}$  da Greenwich. Il suo tempo locale (siderale, solare vero o solare medio) anticipa rispetto a quello di Greenwich di  $52\text{m } 16\text{s}$ . Siccome il tempo locale di Camerino è quello del primo fuso, cioè dell'Europa centrale, che anticipa di un'ora su quello di Greenwich, la costante locale per Camerino  $+7\text{m } 44\text{s}$ .

# Tempo legale

All'istante della culminazione del Sole vero sono sempre le 12h di tempo solare vero.

In tempo locale medio saranno le

**12h + l'equazione del tempo**

perciò in tempo legale saranno le

**12h + l'equazione del tempo + la costante locale.**

A Camerino per esempio il 3 aprile 2019 il Sole culmina

$$7\text{m } 44\text{s} + 3\text{m } 42\text{s} = 11\text{m } 26\text{s}$$

dopo le 12h di TMEC, cioè quando i nostri orologi segnano le 12h 11m 26s e tenendo conto anche dell'ora legale alle 13h 11m 26s

# Tempo legale

La differenza dei tempi locali e dei tempi di zona ha per conseguenza il fenomeno del cambiamento di data.

Se per esempio da noi gli orologi segnano le 17 ore, immaginando di andare col pensiero verso oriente incontreremo luoghi i cui tempi anticipano sempre più e ad un certo punto arriveremo in una regione che avrà le ore 5 del mattino successivo; andando invece verso occidente incontreremo paesi che sono indietro rispetto al nostro orologio e quando arriveremo alla regione di prima troveremo nuovamente le 5 del mattino, ma questa volta del mattino dello stesso giorno nostro.

La detta regione, a 12h di longitudine da noi, dovrebbe dunque avere contemporaneamente due date.

Si conviene di porre un limite di data, intorno al quale gli orologi segnano la stessa ora, ma le date da una e dall'altra parte del meridiano limite differiscono di un giorno.

Come meridiano è stato scelto quello opposto a Greenwich, cioè il meridiano di longitudine  $180^\circ$  o 12h (occidentale od orientale).

# Tempo Universale

Il tempo universale (UT dall'inglese Universal Time) è una scala dei tempi basata sulla rotazione della Terra. Deriva dal Greenwich Mean Time (GMT), cioè dal giorno solare medio sopra il meridiano di Greenwich, considerato convenzionalmente come il meridiano zero. L'ora locale di Greenwich fu scelta come standard nella Conferenza internazionale dei meridiani del 1884 in quanto la maggior parte delle carte del tempo usavano il meridiano di Greenwich come riferimento, ma solo nel 1929 tutti i paesi maggiori adottavano il sistema dei fusi orari.

Inizialmente il tempo si misurava basandosi sulla rotazione della Terra ed osservando quando i corpi celesti attraversano un meridiano, ogni giorno. Oggi, il Tempo universale è determinato, rispetto al tempo atomico internazionale, tramite le osservazioni di quasar molto distanti usando l'interferometria astronomica, arrivando ad una precisione di alcuni microsecondi.

Attualmente l'UTC (Tempo Coordinato Universale) è lo standard internazionale su cui si basa il tempo civile. È misurato usando orologi atomici invece che osservando fenomeni astronomici.

# Anno siderale e anno tropico

Il tempo impiegato dal Sole fittizio a percorrere l'intera eclittica rispetto ad un punto fisso di questa si chiama *anno siderale*.

La durata è di 365,2563631 giorni solari medi

Si chiama *anno tropico* l'intervallo di tempo che trascorre fra due successivi passaggi del Sole fittizio (e quindi anche del Sole medio) all'equinozio di primavera o, più in generale, l'intervallo di tempo durante il quale la longitudine (ed anche l'ascensione retta) del Sole cresce di  $360^\circ$ .

Poiché questo equinozio si sposta sull'eclittica di  $50''{,}26$  in un anno tropico nel verso contrario al moto annuo del Sole, l'anno tropico è più breve dell'anno siderale e precisamente del tempo che il Sole impiega a percorrere sull'eclittica un arco di  $50''{,}26$  e poiché in un anno esso percorre

$360^\circ = 1\,296\,000''$ , la durata dell'anno tropico sarà di

$$365,2563631 \cdot \frac{1296000 - 50,26}{1296000} = 365,2421981$$

giorni solari medi.

# Annus fictus o anno besseliano

A causa di una lentissima variazione della precessione, questo valore diminuirà col tempo, ma occorrono parecchi secoli prima che esso vari di 1 secondo.

L'istante di inizio dell'anno tropico è arbitrario, ma una volta fissato, determina un punto della eclittica dove avverrà l'inizio di ogni anno tropico indipendentemente da qualunque tempo locale.

Per ragioni pratiche esso si deve scostare il meno possibile dall'inizio dell'anno civile; gli astronomi fanno coincidere l'inizio astronomico con l'istante in cui la longitudine del Sole fittizio è esattamente  $280^\circ$  o 18h 40m.

La differenza tra questo istante e l'inizio dell'anno civile può raggiungere al più un giorno.

L'anno tropico così definito prende il nome di *annus fictus* o *anno besseliano* [da di Bessel (1784 – 1846)].

Il suo inizio si indica con l'aggiungere uno zero come cifra decimale al numero dell'anno, per esempio 2017,0, e si rappresenta pure in frazione decimale di anno un qualunque tempo nel corso di un anno besseliano, per esempio 2017,23.

# Anno anomalistico

Quando si studia il moto del Sole sul piano dell'eclittica rispetto alla Terra, si assume un sistema polare avente il polo nel centro della Terra e l'asse polare coincidente con la direzione del perigeo.

La coordinata **anomalìa** è l'angolo che la direzione del Sole forma con la direzione del perigeo e per tale motivo si chiama **anno anomalistico** l'intervallo di tempo nel quale l'anomalìa del Sole varia di  $360^\circ$ , cioè l'intervallo di tempo compreso tra due successivi passaggi del Sole al perigeo.

Questo punto dell'orbita solare non è però fisso fra le stelle, né rispetto all'equinozio di primavera.

Il suo movimento è diretto e l'anno anomalistico è più lungo dell'anno siderale e dell'anno tropico.

Lo spostamento è di  $61',89$  e perciò l'anomalìa del Sole cresce di  $360^\circ - 61',89$  in  $365,2421981$  giorni medi; si calcola facilmente da ciò che per completare i  $360^\circ$  occorrono  $0,0174428$  giorni in più dell'anno tropico per cui l'anno anomalistico risulta di  $365,2596409$  giorni solari medi.

# Anno civile o anno giuliano

Sia l'inizio, sia la durata dell'anno tropico presentano nella pratica degli inconvenienti a causa delle frazioni di giorno delle quali si dovrebbe tenere conto.

Accanto all'anno tropico fu adottato un altro anno, convenzionale, detto *anno civile*, che incomincia sempre col principio esatto di un giorno medio e quindi deve essere composto di un numero intero di giorni, e lascia sempre l'equinozio approssimativamente alla stessa data.

Poiché l'anno tropico ha 365,242198094 giorni medi, si vede che si può ottenere una prima approssimazione prendendo gli anni di 365,25 giorni e facendo gli anni comuni di 365 giorni ed intercalando ogni quattro anni in giorno in più.

L'anno col giorno in più è detto *bisestile*.

Tale regola venne fissata da Giulio Cesare e perciò questo anno viene chiamato *anno giuliano*.

# Anno civile o anno giuliano

Quattrocento anni giuliani comprendono

$$365,25 \cdot 400 = 365 \cdot 400 + 100 \quad \text{giorni medi}$$

Invece di

$$365,2421981 \cdot 400 = 146096,87924 = 365 \cdot 400 + 96,87924 \quad \text{giorni medi}$$

Ogni 400 anni è necessario eliminare un po' più di tre giorni.

Tale disposizione fu emanata da Gregorio XIII, il quale nel 1582, oltre che far seguire al 4 ottobre il 15 ottobre per portare nuovamente la data dell'equinozio di primavera al 21 marzo, stabilì che tutti gli anni divisibili per 100, che secondo il calendario giuliano dovrebbero essere anni bisestili, fossero anni comuni e soltanto quelli divisibili per 400 rimanessero bisestili.

Il calendario così riformato, e che utilizziamo ancora oggi, fu detto *gregoriano*.

***MA ANCHE COSI' LE COSE NON RITORNANO PERFETTAMENTE E SONO NECESSARI ULTERIORI AGGIUSTAMENTI***

# Anno civile o anno giuliano

La differenza di 0,0078019 giorni = 11m 14,08416 s tra l'anno tropico e quello giuliano ha per conseguenza che l'equinozio di primavera, anche dopo il ciclo di 4 anni, non cade allo stesso istante del 21 marzo, ma – essendo l'anno giuliano più lungo – anticipa gradatamente dell'intervallo di  $0,0078019 \cdot 4 = 0,0312076$  giorni medi (in 4 anni consecutivi).

In conseguenza i tempi siderali e tutte le longitudini del Sole, come pure le ascensioni rette di questo aumentano gradatamente dopo ogni ciclo di 4 anni di circa  $112'' = 7,5$  s in media, corrispondenti al cammino del Sole nell'intervallo suddetto di 0,0312076 giorni, ciò comporta circa 3m in un secolo.

Questo avanzo continua finché non interviene secondo il calendario gregoriano un secolo non bisestile che interrompe la serie dei cicli quadriennali regolari e fa ritornare l'equinozio all'istante di 4 secoli addietro (mentre il secolo bisestile come il 2000 non interrompe la serie).

Storicamente sono state utilizzate anche misure del tempo basate anche sul ciclo lunare.

# Data giuliana

Accanto a questi periodi viene molto usato per scopi astronomici e storici anche un computo a giorni, continuato senza interruzioni, a partire dal mezzogiorno medio a Greenwich di lunedì 1 gennaio 4713 a.C. (data anteriore a qualsiasi evento storico).

Si definisce *data giuliana* di un istante (secondo Giuseppe Scaligero, 1540 – 1609, che introdusse questo computo nel secolo XVI) il numero di giorni interi e frazione di giorno trascorsi dalla predetta origine fino all'istante in questione.

# Data giuliana

## Calcolo della data giuliana

Sia ad esempio il 26 aprile 2017 (yyyy=2017, mm=04, dd=26), alle ore 15:00, vogliamo calcolare il valore della data giuliana corrispondente.

L'algoritmo è:

Scrivere la data nella forma yyyy,mmdd (per gli anni a.C., yyyy è negativo)

$$h = ( 3600 \cdot \text{ore} + 60 \cdot \text{minuti} + \text{secondi} ) / 86400;$$

se  $mm > 2$  allora  $y = yyyy$  e  $m = mm$  altrimenti  $y = yyyy - 1$  e  $m = mm + 12$

se yyyy,mmdd => 1582,1015 (calendario Gregoriano)

allora  $A = \text{int}(y/100)$  e  $B = 2 - A + \text{int}(A/4)$

altrimenti (calendario Giuliano)  $A = B = 0$

da cui

$$y = 2017 \quad m = 4 \quad h = 0,625$$

$$A = \text{int}(2017/100) = 20; \quad B = 2 - 20 + \text{int}(20/4) = -13$$

$$\begin{aligned} \text{JD} &= \text{int}[365,25 \cdot (y + 4716)] + \text{int}[30,6001 \cdot (m + 1)] + dd + h + B - 1524,5 = \\ &= \text{int}[365,25 \cdot (2017 + 4716)] + \text{int}[30,6001 \cdot (4+1)] + 26 + 0,625 - 13 - 1524,5 = \\ &= 2\,459\,228 + 153 + 1538,125 = 2\,457\,870,125 \end{aligned}$$

# Data giuliana

Dalla data giuliana alla data gregoriana

Sia per esempio  $JD = 2451544,5$ , vogliamo calcolare il valore della data gregoriana.

L'algoritmo è:

$$JD = JD + 0,5; \quad Z = \text{int}(JD); \quad F = JD - \text{int}(JD)$$

$$\text{Se } Z < 2299161 \text{ allora } A = Z$$

$$\text{Se } Z \geq 2299161 \text{ allora } \alpha = \text{int}((Z - 1867216,25) / 36524,25)$$

$$A = Z + 1 + \alpha - \text{int}(\alpha / 4);$$

$$B = A + 1524$$

$$C = \text{int}((B - 122,1) / 365,25)$$

$$D = \text{int}(365,25 \cdot C)$$

$$E = \text{int}((B - D) / 30,6001)$$

$$\text{dd (con decimali)} = B - D - \text{int}(30,6001 \cdot E) + F$$

$$\text{se } E < 13,5 \text{ allora } \text{mm} = E - 1 \text{ altrimenti } \text{mm} = E - 13$$

$$\text{se } \text{mm} > 2,5 \text{ allora } \text{yyyy} = C - 4716 \text{ altrimenti } \text{yyyy} = C - 4715$$

# Data giuliana

Si definiscono anche:

Il **giorno giuliano eliocentrico** (Heliocentric Julian Day, **HJD**):  
identico al giorno giuliano, ma riferito al sistema di riferimento del Sole, e perciò può differire dal giorno giuliano normale fino a 16 minuti, cioè il tempo necessario alla luce per attraversare l'orbita della Terra.

Il giorno giuliano è a volte chiamato giorno giuliano geocentrico per distinguerlo da quello eliocentrico.

Il **giorno giuliano cronologico**, introdotto da Peter Meyer, in cui il punto iniziale è posto alla mezzanotte del 1° gennaio 4713 a.C., ma nel fuso orario locale invece che UTC.

La differenza tra mezzogiorno e mezzanotte significa che occorre aggiungere 0,5 al giorno giuliano per ottenere quello cronologico.

Inoltre, utilizzare il fuso orario locale costringe a tener conto della differenza di ore tra il Tempo Universale e il fuso considerato, nonché dell'ora legale estiva, se applicabile.

Gli utilizzatori del giorno giuliano cronologico chiamano l'altro giorno giuliano astronomico.

# Data giuliana

Si definiscono anche:

Il **giorno giuliano modificato** (**MJD**), introdotto dallo Smithsonian Astronomical Observatory nel 1958 per registrare l'orbita dello Sputnik, è definito in termini di giorni giuliani come segue:

$$MJD = JD - 2400000,5$$

Lo spostamento di 0,5 significa che il MJD inizia e finisce alla mezzanotte del Tempo Universale, anziché a mezzogiorno. Il giorno MJD 1 coincide con il 17 novembre 1858.

Il **giorno giuliano ridotto**, (**RJD**) utilizzato anche dagli astronomi, conta i giorni dallo stesso inizio del MJD, ma a partire dal mezzogiorno UTC, ed è quindi definito come:

$$RJD = JD - 2400000$$

Il giorno RJD 1 inizia quindi a mezzogiorno del 16 novembre 1858 e finisce a mezzogiorno del 17.

# Data giuliana

Si definiscono anche:

Il **giorno giuliano troncato** (**TJD**) che fu introdotto dalla NASA per il programma spaziale. Inizia il 24 maggio 1968.

Poiché questo conteggio ha superato i numeri a quattro cifre il 10 ottobre 1995, alcuni adesso contano il TJD iniziando da quella data, per poter mantenere un numero a quattro cifre. Può essere definito come:

$$TJD = JD - 2440000,5$$

oppure come:

$$TJD = (JD - 0,5) \bmod 1000$$

Il **giorno giuliano di Dublino** è usato dai programmatori di computer, e conta i giorni a partire dal 1° gennaio 1900 (MJD 15021).