

MISURAZIONE DEL TEMPO

Al fine di poter definire una misura del tempo è necessario fare riferimento ad eventi che si ripetono con regolarità nel corso di lunghi periodi.

In astronomia sono numerose le scale temporali usate e per la maggior parte sono legate alla **rotazione della Terra**, che determina, tra l'altro, l'apparente rotazione della sfera celeste. Questa avviene con periodo di $23^h 56' 04''$ del tempo medio segnato dai nostri orologi. In tal modo ad un angolo di rotazione di 15° viene associato il trascorre di **1 ora** di tempo. L'orbita apparente percorsa in un anno dal Sole è definita **eclittica**. Il **giorno**, in Astronomia, è l'intervallo di tempo che intercorre tra due successive **culminazioni superiori o inferiori** di un punto della **sfera celeste**.

Il **tempo**, in Astronomia, è l'**angolo orario** di un punto della **sfera celeste**.

Sono definiti vari tipi di **giorni** e di **tempi** a seconda del punto di riferimento scelto.

L'asse di rotazione della Terra però NON mantiene sempre immutata la propria direzione. Infatti a causa della forma lievemente schiacciata della Terra, l'attrazione del Sole e della Luna imprimono al globo terrestre un lentissimo moto per cui l'asse di rotazione descrive un cono di $23^\circ 26'$ di ampiezza con un periodo di circa 25.700 anni. A causa di questo moto conico dell'asse terrestre si sposta anche l'equatore e quindi i punti di intersezione (nodi) dell'equatore celeste con l'eclittica. Come conseguenza di questo moto si avrà lo spostamento del riferimento fondamentale celeste usato per determinare le coordinate celesti: il «**PUNTO GAMMA o D'ARIE**TE». Si determina così lo spostamento della posizione sia degli equinozi di primavera e d'autunno, sia quello dei solstizi. Il punto equinoziale si sposta in senso **inverso** al moto orbitale, per cui la Terra raggiunge ogni anno il punto equinoziale con un certo anticipo rispetto all'anno precedente. Da qui la terminologia: ogni anno **l'equinozio di primavera precede (anticipa)**.

L'anticipo equivale nel cielo ad uno spostamento del punto di Ariete di $1'$ d'arco.

Essendo la velocità orbitale della Terra pari a **30 km/sec**, alla Terra, quando ritorna l'equinozio di primavera mancheranno ancora **35.000 km** per arrivare al compimento di un giro completo attorno al Sole. (Ciclo stagionale).

PRINCIPALI GIORNI E TEMPI USATI IN ASTRONOMIA

Punto della sfera celeste considerato:	Tipo di giorno:	Tempo:
Centro del Sole vero	Giorno solare vero	Tempo solare vero locale
Sole medio	Giorno solare medio e giorno civile	Tempo solare medio e tempo civile , tempo universale.
Punto gamma	Giorno siderale	Tempo siderale

1. TEMPO SIDERALE (TS)

ANNO SIDERALE o ASTRALE



Corrisponde all'intervallo di tempo compreso tra due passaggi successivi del Sole nella stessa posizione rispetto alle stelle fisse.

Durata: 365 giorni, 6 ore, 9 minuti, 9.5 secondi = 365,25635995370

E' il tempo che la Terra impiega per compiere una completa **Rivoluzione Terrestre**. Anticamente veniva determinato osservando il sorgere di

alcune stelle al mattino e quando si vedeva riapparire all'alba la stessa stella si era compiuto un anno. Il tempo siderale, determinato dall'equinozio, risulta di uso assai pratico in astronomia, in quanto fornisce direttamente l'ascensione retta degli astri che transitano i meridiano e permette di prevedere quali oggetti e fenomeni celesti sono osservabili da un determinata località della Terra. Ma poco adatta per gli usi civili. In realtà tale intervallo non è di alcuna utilità pratica non avendo nessuna relazione con il ciclo diurno.

In relazione all'anno siderale viene definito anche il «**Giorno Siderale**»: l'intervallo di tempo fra due successive culminazioni dell'equinozio di primavera o tra due successivi passaggi in meridiano del Primo



Punto d'Ariete (punto γ - nodo ascendente dell'eclittica sull'equatore celeste). Serve invece per stabilire il rapporto fra tempo siderale e tempo solare.

Anche il Sole non è fermo sulla sfera celeste così come non lo è il punto γ e nel corso di una giornata si sposta di quasi 1° (vds. Anno Solare).

Da ciò deriva che un anno contiene circa **365,25** giorni solari, ma **366,25** giorni siderali e che questi perciò sono più brevi di circa **4 minuti** rispetto ai primi. L'orologio celeste tende pertanto ad *“ad andare avanti”* rispetto agli orologi terrestri. Il Giorno Siderale è più corto del solare di 1,0027379092. Per come è definito in un dato luogo ad un dato istante il TS corrisponde all'angolo orario del punto gamma.

2. ANNO TROPICO

E' definito dall'intervallo di tempo compreso tra due passaggi successivi del Sole per l'equinozio di primavera (21 marzo) e corrisponde al tempo che la Terra impiega a chiudere la rivoluzione rispetto alla posizione equinoziale. Durata: **365 giorni, 5 ore, 48 minuti, 45 secondi 98 centesimi = 365,24219878.**

E' più corto di 20 minuti e 24 secondi di quello siderale.

La minore durata rispetto all'anno siderale è dovuta alla precessione degli equinozi, per cui l'equinozio di primavera ogni anno anticipa di **20 minuti**.

Questo anticipo dell'equinozio di primavera equivale nel cielo ad uno spostamento del punto di Ariete di quasi $1'$ d'arco. Infatti la terra impiega una ventina di minuti a percorrere $1'$ d'arco.

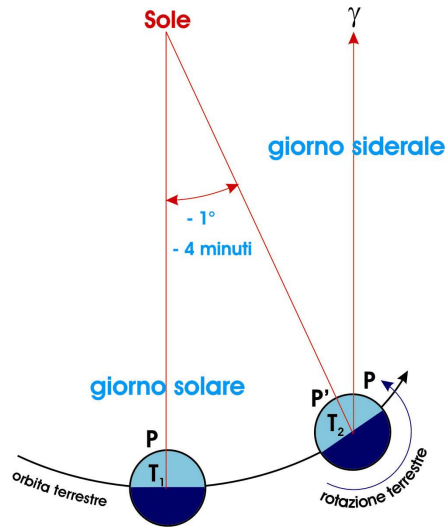
3. ANNO SOLARE – GIORNO SOLARE

TEMPO SOLARE

Il Sole attraversa il piano del meridiano (definito dalla due direzioni del nord e del sud) tutti i giorni ed in tutti i luoghi per cui questo è un piano di riferimento assoluto e valido per tutta la Terra (Il Sole passa allo zenit solo nei luoghi terrestri entro la fascia dei tropici, ed anche lì non tutti i giorni ma solo due volte l'anno). E' quindi opportuno rapportare il ciclo diurno del Sole al suo passaggio al meridiano la cui posizione è determinata da una sola coordinata. Il «tempo solare» viene identificato con «l'angolo orario del Sole»

Angolo orario: l'angolo compreso tra il piano del meridiano ed il cerchio orario del Sole, da contarsi positivamente verso ovest, a partire dal meridiano superiore, secondo un'antica prassi astronomica, ovvero a partire dal meridiano inferiore, secondo una prassi più consona alle esigenze della vita quotidiana. Per cui a mezzogiorno corrispondono le ore 12 e conseguentemente il cambiamento della data, cioè l'inizio del nuovo giorno si abbia nel mezzo della notte.

Poiché il moto apparente del Sole lungo l'eclittica non è uniforme durante l'anno (a causa dell'eclitticità dell'orbita terrestre) e poiché l'eclittica è inclinata sull'equatore, il tempo solare vero non scorre uniformemente.



Si sostituisce al Sole vero un **Sole fittizio** che percorre l'eclittica in modo uniforme e che coincide con il Sole vero al **perigeo** ed all'**apogeo**.

Successivamente si è definito il **Sole medio** il cui moto si svolge lungo l'equatore celeste con velocità uniforme pari alla velocità media del Sole nella sua orbita apparente lungo l'eclittica e coincide con il Sole fittizio agli equinozi. Viene così introdotta come misura il «**tempo solare medio**» (angolo orario del Sole medio).

L'uniformità della scala del tempo solare medio definisce così un intervallo di tempo costante il «**giorno solare medio**»: la differenza fra gli istanti di due successivi passaggi al meridiano del Sole medio. Il secondo ne costituisce un preciso sottomultiplo: 1 secondo (solare medio) = 1/ 86.400 giorni solari medi. Nel S.I. questa misura è rimasta in vigore sino al 1955.

Il tempo **solare medio** differisce dal **giorno solare vero** (quadranti solari) di una quantità variabile durante l'anno. La misura di questa variazione è data dall' **equazione del tempo**.

Il moto di rivoluzione della Terra determina la differenza tra giorno siderale e giorno solare.

Il Sole in un dato momento appare al meridiano del punto **P** del globo; quando la terra avrà fatto un giro su se stessa si sarà anche spostata lungo l'orbita dalla posizione **T₁** alla posizione **T₂** e quindi perché il Sole torni nuovamente in meridiano per il punto **P** occorre che giri su se stessa un altro po' in modo che il punto **P** vada nella posizione **P'**.

Fra un mezzogiorno e l'altro di una data località passa un tempo un tantino più lungo di quello che la Terra impiega a compiere un rotazione completa.

Il tempo intercorrente fra due passaggi consecutivi del Sole al meridiano (*tra un mezzogiorno ed il successivo*) di un luogo si chiama «**giorno solare**»: E' più lungo del periodo di rotazione della Terra. Siccome la velocità orbitale della Terra è diversa da un punto all'altro dell'orbita (per la 2° legge di Keplero) la durata del giorno solare varia nel corso dell'anno. Per gli usi civili si adopera quindi un «*giorno solare medio*» di durata costante. Per questa ragione il mezzogiorno solare vero, cioè l'istante in cui il Sole passa al meridiano di un luogo, in certe epoche dell'anno anticipa ed in certe altre ritarda rispetto al mezzogiorno medio. Gli anticipi e ritardi possono arrivare anche a 15 minuti. Sono corretti con l'equazione del tempo. Nel corso di un giro completo attorno al Sole (un anno) i ritardi giornalieri di cui sopra si accumulano sino a corrispondere ad un giro completo di rotazione $365^\circ =$ un giorno.

Il Sole ritarda ogni giorno il suo passaggio in meridiano tanto da accumulare in un anno il ritardo di un giorno intero: in un anno il Sole passa al meridiano 365 volte (arrotondato), mentre la Terra compie 366 giri su se stessa. La differenza di **3 minuti e 56 secondi** tra giorno solare e giorno siderale non è altro che il ritardo di 24 ore diviso per 365.

In un anno tropico (intervallo di tempo fra due successivi passaggi del Sole per l'equinozio) sono contenuti circa **365,24** giorni solari (rivoluzioni apparenti del Sole rispetto alla Terra).

Tenendo conto del contemporaneo e concorde moto del Sole rispetto all'equinozio, risulta che questo avrà compiuto rispetto alla Terra una rivoluzione in più.

Il rapporto $365,24/366,24 = 0,99727$ rappresenta pertanto la durata di un giorno siderale in giorni solari. Moltiplicando tale rapporto per il numero di secondi contenuti in un giorno, la durata di un giorno siderale in tempo solare risulterà: $86.400 \times 0,99727 = 86.1649$ da cui **86.400 – 3^m 55^s 91**.

Un orologio regolato sul tempo siderale medio avanza quindi di circa 4 minuti al giorno su un orologio regolato sul tempo solare medio.

4. ANNO CIVILE

Poiché ai fini pratici interessa soprattutto il ritorno stagionale, più che la posizione reale della Terra sull'orbita, nell'elaborare il calendario civile ci si basa sull'«**anno tropico**». La differenza di 20 minuti fra i due anni (siderale – tropico) potrebbe sembrare irrilevante ma in realtà con il passare dei secoli avrebbe creato non pochi problemi: ci sarebbe uno scollamento tra le stagioni in calendario ed il tempo reale di stagione. Oggi l'equinozio di primavera cadrebbe il 20 febbraio anziché il 21 marzo.

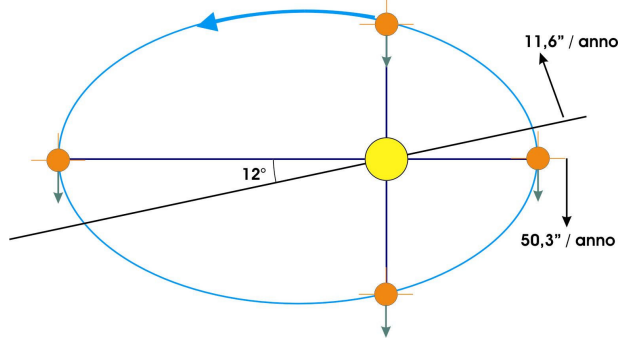
E' inoltre opportuno avere un numero sempre intero di giorni: 365 senza le frazioni di 5 ore 48 minuti 45 secondi 98 centesimi. Per correggere lo sfasamento di quasi 6 ore fu deciso ai tempi di Cesare (46 a.C.) di aggiungere un giorno ogni 4 anni (6 ore $\times$ 4 anni = 24 ore). Questo aggiustamento sarebbe perfetto se la differenza fra anno tropico e siderale fosse di 6 ore esatte. Però ogni anno alle 6 ore calcolate mancavano 11 minuti 14 secondi 2 centesimi che equivalgono a 8 giorni ogni mille anni.

Lo spostamento dell'equinozio determina anche uno sfasamento pratico nelle stagioni., in particolare l'equinozio di primavera non cadeva più il 21 marzo. All'inizio del VIII secolo il venerabile Beda (monaco inglese) faceva notare che l'equinozio di primavera fissato dal Concilio di Nicea nel 325 d.C. il 21 marzo cadeva ormai il 18 marzo. Verso al fine del XVI secolo quegli 11 minuti accumulati negli anni avevano portato ad un anticipo di ben 10 giorni e l'equinozio ormai cadeva l' 11 marzo.

Nel 1582 il papa Gregorio XIII, al fine di eliminare l'anomalia deliberò che, al fine di perdere i 10 giorni di troppo accumulati dall'epoca del Concilio di Nicea, si saltasse dal giovedì 4 ottobre al venerdì 15 ottobre. Fu contemporaneamente fissato l'anno bisestile: ogni 4 anni l'anno avrà 366 giorni (289 febbraio). Di tutti gli anni tecnicamente bisestili non lo saranno quelli divisibili per 100 (esempio 1900, 2100, 2200) ad eccezione di quelli divisibili per 400 (esempio 2000, 2400, 2800).

5. ANNO ANOMALISTICO

La figura illustra l'orbita terrestre, la cui eccentricità è stata esagerata per poter apprezzare l'inclinazione della **linea degli absidi**, ovvero l'asse maggiore dell'ellisse. Il piano della figura è l'eclittica ed il riferimento implicito è quello delle stelle fisse.



L' ANNO ANOMALISTICO: è il tempo che intercorre fra due ritorni consecutivi della Terra al Perielio e quindi il periodo impiegato dalla Terra per percorrere l'ellisse e fare un giro completo attorno al Sole (cioè l'anno siderale). Ma l'asse maggiore dell'ellisse orbitale terrestre (retta perielio – afelio) chiamata anche linea degli absidi ruota lentamente nel piano orbitale facendo perno sul Sole. Lo spostamento del perielio, che avviene nel medesimo senso della rivoluzione terrestre ammonta a 11,6''

d'arco per anno. Ciò comporta che il tempo necessario alla Terra per tornare due volte consecutive al perielio è più lungo dell'anno siderale di tanto quanto la terra impiega a percorrere questi 11'' della sua orbita e cioè 4 minuti e 43 secondi. Il nome anomalistico deriva dal fatto che l'angolo che il raggio vettore fa con la direzione del perielio si chiama «anomalia». Perciò tornare al perielio equivale a dire tornare all'anomalia zero.

La precessione lunisolare sposta il punto gamma lungo l'eclittica di 50'',3 ogni anno rispetto alle stelle fisse. Il periodo della precessione è dunque

anni

A causa dell'influenza gravitazionale degli altri corpi del sistema solare, l'asse maggiore dell'orbita terrestre ruota in senso opposto alla precessione lunisolare e si sposta di **11'',6** ogni anno rispetto alle stelle fisse.

Dunque la linea degli absidi si sposta rispetto al punto gamma (che, ricordiamo, definisce il calendario) di **50'',3 + 11'',6 = 61'',9** ogni anno, e dunque il periodo di rotazione del perielio rispetto al calendario è di

anni

Il periodo della precessione è il "solito" di circa 26.000 anni, il periodo di 21.000 anni invece riguarda la rotazione completa dell'asse degli absidi rispetto al punto gamma, in altre parole il tempo impiegato dal perielio per tornare in una certa data dell'anno.

DURATA DELL'ANNO				
anno siderale	365,25636	giorni =	365	06 ^h 09 ^m 09 ^s ,5
anno tropico	365,24219	giorni =	365	05 ^h 48 ^m 45 ^s ,2
anno anomalistico	365,25964	giorni =	365	06 ^h 13 ^m 53 ^s ,0

6. ANNO BESSELIANO

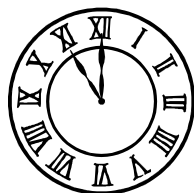
Uguale all'anno tropico o annus fictus ma inizia quando l'ascensione retta del Sole è di 18^h 40^m (280°) all'incirca il 1 gennaio.

7. ANNO GIULIANO

Per datare i fenomeni astronomici si usa contare i giorni con un numero progressivo, senza distinzione né di anno né di mese. Questo per non avere mai a che fare con date negative per eventi accaduti in epoche storiche. Il conteggio si fa risalire al 1 gennaio dell'anno 4713 a.C. Naturalmente in quell'epoca non esisteva un 1 gennaio ma il computo è stato fatto proiettando all'indietro il calendario moderno.

Questo metodo è stato elaborato da una cabala ideata nel 1583 da Giuseppe Giusto Scaligero, astronomo francese di origine padovana. La data indicata da tale numero progressivo si chiama «data giuliana» o «giorno giuliano». Per convenzione si fa iniziare ciascun giorno giuliano col mezzogiorno con il mezzogiorno civile di Greenwich. Si indica con JD e la corrispondenza tra giorno civile e giuliano è riportata negli almanacchi astronomici.

TEMPO UNIVERSALE (TU) (o tempo medio di Greenwich)



E' l'ora segnata dagli orologi nel fuso orario di Greenwich (- 1 rispetto fuso Italiano).
Con buona approssimazione deriva dal **Tempo Solare**, il cui giorno viene definito come:
il tempo che intercorre tra due successivi passaggi in meridiano del SOLE.

L'anno riferito al Tempo Universale è formato da giorni: **366,25**

In realtà si ricava con relazioni matematiche dal **tempo siderale**.

Sono definite varie scale di tempo universale:

UT₀ = tempo universale determinato direttamente dalle osservazioni. E' legato al luogo di osservazione.

UT₁ = tempo universale ottenuto da UT₀ corretto per lo spostamento in longitudine del luogo di osservazione dovuto al movimento osservato del polo geografico. Ad esso ci si riferisce quando si parla di UT.

UT₂ = Tempo universale corretto anche per le irregolarità stagionali del periodo di rotazione terrestre

TEMPO SIDERALE LOCALE (TSL)

Il Tempo Siderale di Greenwich è il TSL per un osservatore che si trova sul meridiano fondamentale di Greenwich.

Ascensione Retta = longitudine degli oggetti celesti misurata a partire dal punto γ .

Osservare quali stelle passano in meridiano equivale a leggere il TSL sull'orologio terrestre.

Per stabilire l'istante del passaggio in meridiano di un astro (es. tempo di transito giornaliero del Sole al meridiano di Greenwich) si usa un particolare telescopio che lavora congiuntamente con un orologio di precisione. L'orologio fornisce il tempo siderale locale che, per definizione coincide con l'ascensione retta. Viene rilevata la misurazione al momento del transito al centro del campo dello strumento.

TEMPO DELLE EFFEMERIDI (T.E.)

Il moto della Terra però non è costante ma subisce lenti ma continui rallentamenti dovuti principalmente all'influenza delle marre provocate dalla luna ed, in minor misura, da quelle solari. Un ciclo più stabile di riferimento è il periodo di rivoluzione della Terra attorno al Sole.

Il secondo è definito come la **31556925.9947**esima parte dell' **ANNO TROPICO** del 1990 (intervallo tra due successivi passaggi del Sole per il punto γ) ed è determinato dal valore del moto medio in longitudine del Sole misurato alle ore 12 U.T. del 31 dicembre 1990.

Attualmente è stato ulteriormente modificato legandone la misurazione al Tempo Atomico Internazionale (TAI) e definendo così il **TDT (TEMPO DINAMICO TERRESTRE)**.

E' questo il sistema usato nelle effemeridi per l'osservazione della superficie terrestre.

E' legato al TAI dalla relazione : $TDT = TAI + 32,184''$

TEMPO ATOMICO INTERNAZIONALE (TAI)

Definito il 1 gennaio 1972 e si basa su orologi atomici.

L'unità di misura è il **secondo di tempo atomico** pari alla durata di **9192631770** periodi di oscillazione relativi ad una riga dello spettro dell'atomo di Cesio 133 corrispondente alla transazione tra due livelli iperfini dello stato non eccitato. Non corrisponde al secondo definito nel tempo delle effemeridi.

TEMPO UNIVERSALE COORDINATO (UTC)

Al fine di non creare eccessivo sfasamento con la scala del tempo legata alla rotazione terrestre (UT1) è stato definito il **tempo universale coordinato**. Ha le stesse caratteristiche metrologiche del TAI ma viene corretto ogni tanto affinché la differenza UTC-UT1 sia sempre minore di 0.9". Tali correzioni vengono apportate, di solito, alla mezzanotte del 30 giugno e del 31 dicembre.

L'UTC viene diffuso in tutto il mondo tramite i segnali orari del tempo, con la precisione di 1ms.

COME SI DEFINISCE IL MESE					
MESE	Tempo impiegato dalla Luna per compiere una rivoluzione intorno alla terra e ritornare in congiunzione con:	gg.	Ore	Min.	Sec.
Sinodico	Il Sole (novilunio)	29	12	44	3
Siderale	Una stella	27	7	43	12
Draconico	Il nodo ascendente della sua orbita	27	5	5	36
Anomalistico	Il perigeo della sua orbita	27	13	18	37
Tropico	Il punto equinoziale di primavera	27	7	43	5

Per l'elaborazione dei calcoli di meccanica celeste è necessario definire:

1. GIORNO GIULIANO

2. TEMPO SIDERALE LOCALE

3. TEMPO DINAMICO TERRESTRE

GIORNO GIULIANO (nr. 1 – 2: GIULIANA /CIVILE)

Sistema di computo convenzionale usato in astronomia per evitare segnature quali a.C. e d.C.

L'origine dell'anno giuliano è fissato il 1 gennaio 4713 a.C. e, più precisamente, al mezzogiorno di Greenwich di quel giorno. Il giorno giuliano degli astronomi inizia al mezzodì di Greenwich, cioè alle 12h di tempo Universale, e non alla mezzanotte.

TEMPO SIDERALE LOCALE (nr. 6: TSIDLOC)

Immissione dei dati:

1. Data per la quale si vuole calcolare il TSL espressa sotto forma di Giorno Giuliano (GG).
 2. Istante del momento considerato espresso in Ore, Minuti, Secondi di tempo del fuso orario (tempo indicato dall'orologio).
 3. Differenza di fuso rispetto a Greenwich . Per l'Italia è +1 in regime di ora solare e +2 in regime di ora legale.
 4. Longitudine del Luogo sotto forma di Ore, Minuti, Secondi e se si trova ad Est o Ovest di Greenwich
- Viene quindi calcolata una variabile T che serve per il calcolo del Tempo Siderale di Greenwich a 0h del Tempo Universale, ovvero il TSL alla mezzanotte di Greenwich.

Per ottenere il TSL per l'ora e la località indicata (TSIDLOC) a Tempo Siderale di Greenwich vengono sommati l'orario e la longitudine del sito.

TEMPO DINAMICO TERRESTRE (nr. 7: TDIN)

Per il calcolo della differenza TD – TU è richiesto il GG oppure l'Anno.

Nel caso vengano introdotti anni antecedenti la nascita di Cristo tenere presente che l'anno 1 a.C. degli storici corrisponde all'anno degli astronomi, il 2 a.C. all'anno –1, ecc.