

Scale di tempo

di Michele T. Mazzucato

TEMPO SIDERALE (Sidereal Time = ST)

Si definisce ST, per un dato luogo a un dato istante, l'angolo orario del Punto Gamma. Esso vale zero quando il Punto Gamma è in meridiano di quel luogo.

$$TS = TU \cdot 1.002\,737\,909\,35$$

Il Greenwich Mean Sidereal Time è dato da (in secondi a UT1=0):

$$GMST = 24110.54841 + 8640184.812866T + 0.093104T^2 - 0.0000062T^3$$

dove T è in secoli giuliani al 1 gennaio 2000 alle 12h UT1

$$T = (JD - 2451545) / 36525$$

TEMPO DELLE EFFEMERIDI (Ephemerids Time = ET)

Il moto di rotazione della Terra non si mantiene uniforme con il passare degli anni. Ci si è quindi riferiti ad un ciclo più stabile nel tempo: il periodo di rivoluzione della Terra attorno al Sole. Dal 1956 l'International Astronomical Union IAU ha definito una nuova scala di tempo, l'ET, dove il secondo è la 31 556 925.9747esima parte dell'anno tropico del 1900 (intervallo di tempo tra due successivi passaggi del Sole per il Punto Gamma) ed è determinato dal valore del moto medio in longitudine del Sole misurato alle ore 12 UT del 31 dicembre 1900. Questa scala di tempo è stata usata per il calcolo delle effemeridi dei corpi del Sistema Solare dal 1960 al 1983. Dal 1° gennaio 1984 l'ET è stato sostituito con il TDT.

TEMPO ATOMICO INTERNAZIONALE (International Atomic Time = IAT)

Introdotta ufficialmente il 1° gennaio 1972, ma operante già dal 1955, la sua 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 transizione tra due livelli iperfini dello stato non eccitato. L'IAT, che non viene diffuso attraverso i segnali orari, si può ricavare con opportune tecniche e consultando le pubblicazioni del BIH, in tal modo un evento si può datare nella scala IAT con una precisione di 100 ns.

TEMPO DINAMICO TERRESTRE (Terrestrial Dynamical Time = TDT o TT)

Basato sui moti orbitali della Terra, Luna e dei pianeti è usato nelle effemeridi per l'osservazione della superficie terrestre, è legato all'IAT dalla relazione:

$$TDT = IAT + 32.184 \text{ secondi}$$

TEMPO DINAMICO BARICENTRICO (Barycentric Dynamical Time = TDB)

Esso varia dal TDT solo per periodiche variazioni.

$$TDB - TDT = 0.001658 \cdot \sin(G) + 0.000014 \cdot \sin(2G) \text{ secondi}$$

$$\text{con } G = 357.53 + 0.9856003(JD - 2451545.0) \text{ gradi}$$

TEMPO GEOCENTRICO COORDINATO (Geocentric Coordinate Time = TCG)

$$TCG - TDT = 6.969291^{-10} (JD - 2443144.5) 86400 \text{ secondi}$$

TEMPO BARICENTRICO COORDINATO (Barycentric Coordinate Time = TCB)

$$TCB - TDB = 1.550505^{-8} (JD - 2443144.5) 86400 \text{ secondi}$$

TEMPO UNIVERSALE COORDINATO (Universal Time Coordinate = UTC)

Per conciliare l'esigenza di avere una scala di tempo uniforme e costante (IAT) e non creare uno sfasamento troppo grande con la scala di tempo legata alla

rotazione terrestre (UT1) nel 1972 è stato introdotto UTC. Esso ha le stesse caratteristiche metrologiche dell'IAT (stessa durata del secondo) ma viene corretto, di tanto in tanto, affinché la differenza UTC-UT1 sia sempre minore di 0.9 s. 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 orario di tempo, con la precisione di 1 ms. I segnali forniscono a volte anche la quantità DUT1 ossia la previsione della correzione da apportare all'UTC per ottenere UT1 con la precisione di 0.1 s. Lo scarto IAT-UTC ha raggiunto, il 1° gennaio 1999, i + 32.00 s.

TEMPO UNIVERSALE (Universal Time = UT)

L'UT o tempo medio locale di Greenwich, base delle scale di tempo civile, corrisponde, con buona approssimazione, al moto diurno del Sole medio. In realtà esso si ricava dall'ST (Sidereal Time) attraverso una relazione matematica. Essendo l'ST dedotto dall'osservazione del moto diurna delle stelle, e quindi soggetto alle variazioni dovute all'imprecisione del moto di rotazione della Terra, sono state definite varie scale di UT:

UT0: UT determinato direttamente dalle osservazioni, esso è legato fortemente al luogo di osservazione con coordinate lat e long;

$$UT0 = UT1 + tg(\text{lat}) [x \cdot \sin(\text{long}) + y \cdot \cos(\text{long})]$$

dove i valori di x e y sono pubblicati nell'IERS Bulletin A

UT1: UT 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, in genere, si parla di UT;

$$UT1 = UTC + DUT1 \text{ (dall'IERS Bulletin A)}$$

UT2: UT corretto anche per le irregolarità stagionali del periodo di rotazione terrestre.

$$UT2-UT1 = 0.022\sin(2\pi T) - 0.012\cos(2\pi T) - 0.006\sin(4\pi T) + 0.007\cos(4\pi T)$$

dove

$\pi = 3.14159265\dots$

T= Besselian Day = $2000.0 + (\text{MJD} - 51544.03) / 365.2422$

MJD= Modified Julian Day = JD-2400000.5

JD= Julian Day = (con Y= anno, M= mese e D.d= giorno e frazione) =

se M > 2 allora Y=Y e M=M
se M=1 o 2 allora Y=Y-1 e M=M+12

se Y.MDd \geq 1582.1015 (calendario gregoriano)

allora

$$A = \text{int}\left(\frac{Y}{100}\right) \quad B = 2 - A + \text{int}\left(\frac{A}{4}\right)$$

se Y.MDd < 1582.1015 (calendario giuliano)

allora A=B=0

[per gli anni a.C., Y è negativo]

$$JD = \text{int}[365.25(Y+4716)] + \text{int}[30.6(M+1)] + D.d + B - 1524.5$$

per esempio il 3 gennaio 2004 ore 14:30 [14:30 = 14.5/24 = 0.60 frazione di giorno] corrisponde al JD 2453008.1 = 53007.6 del MJD.

nota: il JD è un sistema di numerazione dei giorni introdotto per ovviare ai problemi di non coincidenza dei vari calendari. La data di partenza di tale periodo è il lunedì 1° gennaio 4713 a.C. del Calendario Giuliano alle 12 UT. Tale giorno, che va fino alle ore 12 del 2 gennaio, porta il numero 0 (zero). I giorni successivi sono numerati progressivamente cosicché, ad esempio, alle ore 12 UT (ora di Greenwich) del 31 dicembre 1899 inizia il JD 2415020. L'anno 4713 venne scelto perché in quell'anno il Ciclo di Metone, il Ciclo Solare e l'Indizione Romana erano uguali a 1. Il Periodo Giuliano prevede 7980 anni ottenuto moltiplicando tra loro le durate dei tre cicli (di Metone, Solare e dell'Indizione Romana) 19 x 28 x 15, pertanto il primo periodo giuliano finirà alle 12 di TU del 1° gennaio 3268 corrispondente al 23 gennaio dello stesso anno nel Calendario Gregoriano. Mentre il MJD, riconosciuto dall'International Astronomical Union IAU nel 1973, è un sistema di numerazione dei giorni derivato dal JD che pone l'origine dei giorni alle ore 0 (anziché alle ore 12 come nel JD) e per ridurre la quantità di cifre della numerazione. Si ottiene sottraendo al JD il numero 2400000.5 pertanto l'origine di questa scala è il 17 novembre 1858 alle ore 0.

La differenza TDT-UT, nota come delta T, è così quantificata:

1986.0 = + 54.87 s verificato
 1987.0 = + 55.32 s verificato
 1988.0 = + 55.82 s verificato
 1989.0 = + 56.30 s verificato
 1990.0 = + 56.86 s verificato
 1991.0 = + 57.57 s verificato
 1992.0 = + 58.31 s verificato
 1993.0 = + 59.12 s verificato
 1994.0 = + 59.98 s verificato
 1995.0 = + 60.78 s verificato
 1996.0 = + 61.63 s verificato
 1997.0 = + 62.29 s verificato
 1998.0 = + 62.97 s verificato
 1999.0 = + 63.46 s verificato
 2000.0 = + 63.83 s verificato
 2001.0 = + 64.09 s verificato
 2002.0 = + 64.30 s verificato
 2003.0 = + 64.47 s estrapolato
 2004.0 = + 65.80 s estrapolato

La seguente formula, mediante polinomi di TCHEBYSHEF, fornisce un valore approssimato della differenza TDT-UT:

$$t = (\text{anno} - 1800) / 100$$

- per anni a.C. + per anni d.C.

$$\begin{aligned} \text{TDT-UT} = & ((((((((((((((0.019871t + 0.00596)t - 0.313165)t - 0.025998)t + \\ & + 1.834307)t - 0.023942)t - 5.0855)t + 0.1732)t + 6.8954)t - \\ & + 0.1531)t - 3.9413)t + 0.1695)t + 0.4034)t - 0.03943)t + 0.08177 \end{aligned}$$

La sua validità si estende dal 1610 sino all'anno 2000 e il risultato è espresso in minuti di tempo.

Formula approssimata per il delta T
 di J. CHAPRONT, M. CHAPRONT-TOUZE e G. FRANCOU (1997)

$$\text{TDT-UT} = 102 + 102u + 25.3u^2 \quad \text{secondi}$$

$$\text{dove } u = (\text{anno} - 2000) / 100$$

e aggiungendo al risultato il termine di J. MEEUS +0.37(anno-2100)

ha validità fra il 2000 e il 2100.

Segnale orario di riferimento

Per convenzione internazionale il rilevamento degli istanti di osservazione dei fenomeni astronomici deve essere fatto con riferimento ai segnali di tempo universale coordinato UTC trasmessi, con opportuna codificazione, dalle radio-emittenti della rete BIH (Bureau International de l'Heure) dislocate in ogni parte della Terra. Fa parte della rete BIH il Servizio Orario dell'IEN (Istituto Elettrotecnico Nazionale *Galileo Ferraris* di Torino) che trasmette sulla frequenza di 5 MHz ad intervalli prestabiliti [ogni quarto d'ora che precede le ore di tempo medio dell'Europa centrale CET 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19]. Nella rete telefonica di Torino il segnale orario UTC dell'IEN è ricevibile, 24 ore su 24, dal telefono formando il n. 1910 (non accessibile da teleselezione). Segnali orari UTC dell'IEN sono trasmessi dalle stazioni radio dei tre programmi della RAI (Radiotelevisione Italiana), generalmente prima dei giornali radio (e dalle stazioni RAI che trasmettono il "Notturmo dall'Italia" ossia Milano e Roma). Nelle trasmissioni RAI-TV sovente il segnale IEN è sincronizzato con l'immagine dell'orologio che compare sul video. Se sullo schermo TV compare l'orologio senza il segnale orario nell'audio, significa che l'orologio non è sincronizzato e può indicare un tempo anche spostato di qualche secondo rispetto al segnale IEN. Per lo stesso motivo non sono utilizzabili le indicazioni di tempo che compaiono (in forma digitale) nelle pagine di Televideo o sovrimpresse alle immagini di alcuni programmi TV o, peggio, il segnale trasmesso telefonicamente dalla SIP-TELECOM. Dal territorio italiano sono ricevibili le seguenti stazioni che emettono con continuità su tutte le 24h:

sigla	luogo	frequenza	coordinate geografiche	
DIZ	Naven (D)	4.525 MHz	LAT 51° 50' N	LONG 10° 14' E
HBG	Pragins (CH)	75 kHz	LAT 46° 24' N	LONG 06° 15' E
DCF	Mainflingen (D)	77.5 kHz	LAT 50° 01' N	LONG 9° 00' E

Altre stazioni trasmettenti europee sono:

MSF	Rugby (GB)	60 kHz	LAT 52° 22' N	LONG 01° 11' W
RBU	Mosca (RU)	66.6 kHz	LAT 55° 44' N	LONG 38° 12' E
TDF	Allouis (F)	162 kHz	LAT 47° 10' N	LONG 2° 12' E

La ricezione dei segnali DIZ è soggetta a tutte le variazioni tipiche delle onde corte, mentre la ricezione dei segnali radio HBG e DCF è sempre molto sicura e costante nel tempo. Segnale dal 1978 del Physikalisch Technische Bundesanstalt di Braunschweig ricevibile sino ad un raggio di 1500 chilometri. L'informazione codificata dal DCF-77 corrisponde al CET (UTC+1) o (UTC+2 quando in vigore l'ora estiva).

CET - 1h = UT

CET - 2h = UT

TML = CET ± Dlong (si usa il segno che risulta dal calcolo di Dlong)
(se - il luogo si trova ad est del meridiano centrale del fuso orario)

(se + il luogo si trova ad ovest del meridiano centrale del fuso orario)

$Dlong = (long - 15^\circ) \cdot 4m$

long= longitudine del luogo da Greenwich

Regimi orari italiani

Dal 15 ottobre 1582 adozione del Calendario Gregoriano.

Prima del 15 novembre 1866 era in vigore l'ora locale.

Dal 15 novembre 1866 ora media in vigore solamente nei servizi pubblici.

Dal 1° novembre 1893 (ore 0) adozione del tempo universale UT:

UT= CET - 1 ora

UT= CEST - 2 ore

Periodi in cui venne adottata l'ora estiva

dal 3 giugno	(ore 24:00)	1916	al 30 settembre	(ore 24:00)	1916
31 marzo	(ore 24:00)	17	30 settembre	(ore 24:00)	17
9 marzo	(ore 24:00)	18	6 ottobre	(ore 24:00)	18
1 marzo	(ore 24:00)	19	4 ottobre	(ore 24:00)	19
20 marzo	(ore 24:00)	20	18 settembre	(ore 24:00)	20

dal 1921 al 1939 ora legale estiva non adottata

14 giugno	(ore 24:00)	40	2 novembre	(ore 03:00)	42
29 marzo	(ore 02:00)	43	4 ottobre	(ore 03:00)	43
3 aprile	(ore 02:00)	44	17 settembre	(ore 02:00)	44
2 aprile	(ore 02:00)	45	15 settembre	(ore 01:00)	45
17 marzo	(ore 02:00)	46	6 ottobre	(ore 03:00)	46
16 marzo	(ore 00:00)	1947	5 ottobre	(ore 01:00)	1947
29 febbraio	(ore 02:00)	48	3 ottobre	(ore 03:00)	48

dal 1949 al 1965 ora legale estiva non adottata

22 maggio	(ore 00:00)	66	24 settembre	(ore 24:00)	66
28 maggio	(ore 00:00)	67	24 settembre	(ore 01:00)	67
26 maggio	(ore 00:00)	68	22 settembre	(ore 01:00)	68
1 giugno	(ore 00:00)	69	28 settembre	(ore 01:00)	69
31 maggio	(ore 00:00)	70	27 settembre	(ore 01:00)	70
23 maggio	(ore 00:00)	71	26 settembre	(ore 01:00)	71
28 maggio	(ore 00:00)	72	1 ottobre	(ore 01:00)	72
3 giugno	(ore 00:00)	73	30 settembre	(ore 01:00)	73
26 maggio	(ore 00:00)	1974	29 settembre	(ore 01:00)	1974
1 giugno	(ore 00:00)	75	28 settembre	(ore 01:00)	75
30 maggio	(ore 00:00)	76	26 settembre	(ore 01:00)	76
22 maggio	(ore 00:00)	77	25 settembre	(ore 01:00)	77
28 maggio	(ore 00:00)	78	1 ottobre	(ore 01:00)	78
27 maggio	(ore 00:00)	79	30 settembre	(ore 01:00)	79
6 aprile	(ore 00:00)	80	28 settembre	(ore 03:00)	80

Dal 1981 l'ora estiva inizia l'ultima domenica di marzo e termina l'ultima domenica di settembre.

29 marzo	(ore 02:00)	81	27 settembre	(ore 03:00)	81
28 marzo	(ore 02:00)	82	26 settembre	(ore 03:00)	82

27 marzo	(ore 02:00)	83	25 settembre	(ore 03:00)	83
25 marzo	(ore 02:00)	1984	30 settembre	(ore 03:00)	1984
31 marzo	(ore 02:00)	85	29 settembre	(ore 03:00)	85
30 marzo	(ore 02:00)	86	28 settembre	(ore 03:00)	86
29 marzo	(ore 02:00)	87	27 settembre	(ore 03:00)	87
27 marzo	(ore 02:00)	88	25 settembre	(ore 03:00)	88
26 marzo	(ore 02:00)	89	24 settembre	(ore 03:00)	89
25 marzo	(ore 02:00)	90	30 settembre	(ore 03:00)	90
31 marzo	(ore 02:00)	91	29 settembre	(ore 03:00)	91
29 marzo	(ore 02:00)	92	27 settembre	(ore 03:00)	92
28 marzo	(ore 02:00)	93	26 settembre	(ore 03:00)	93
27 marzo	(ore 02:00)	1994	25 settembre	(ore 03:00)	1994
26 marzo	(ore 02:00)	95	24 settembre	(ore 03:00)	95

Dal 1996 l'ora estiva inizia l'ultima domenica di marzo e termina l'ultima domenica di ottobre.

31 marzo	(ore 02:00)	96	27 ottobre	(ore 03:00)	96
30 marzo	(ore 02:00)	97	26 ottobre	(ore 03:00)	97
29 marzo	(ore 02:00)	98	25 ottobre	(ore 03:00)	98
28 marzo	(ore 02:00)	99	31 ottobre	(ore 03:00)	99
26 marzo	(ore 02:00)	2000	29 ottobre	(ore 03:00)	2000
25 marzo	(ore 02:00)	01	28 ottobre	(ore 03:00)	01
31 marzo	(ore 02:00)	02	27 ottobre	(ore 03:00)	02
30 marzo	(ore 02:00)	03	26 ottobre	(ore 03:00)	03
28 marzo	(ore 02:00)	04	31 ottobre	(ore 03:00)	04
27 marzo	(ore 02:00)	05	30 ottobre	(ore 03:00)	05
26 marzo	(ore 02:00)	06	29 ottobre	(ore 03:00)	06
25 marzo	(ore 02:00)	07	28 ottobre	(ore 03:00)	07
30 marzo	(ore 02:00)	08	26 ottobre	(ore 03:00)	08
29 marzo	(ore 02:00)	09	25 ottobre	(ore 03:00)	09
28 marzo	(ore 02:00)	10	31 ottobre	(ore 03:00)	10
27 marzo	(ore 02:00)	11	30 ottobre	(ore 03:00)	11
25 marzo	(ore 02:00)	12	28 ottobre	(ore 03:00)	12

L'inizio è riferito all'ora invernale, la fine a quella estiva. Le ore 24:00 indicano l'ultimo istante di tempo del giorno precedente mentre le ore 00:00 il primo istante del giorno seguente.

legenda

CEST = Central European Summer Time
 CET = Central European Time
 ET = Ephemerids Time
 GMST = Greenwich Mean Sidereal Time
 GMT = Greenwich Mean Time = UT
 IAT = International Atomic Time
 JD = Julian Day
 MJD= Modified Julian Day
 ST = Sidereal Time
 TCB = Barycentric Coordinate Time
 TCG = Geocentric Coordinate Time
 TDB = Barycentric Dynamical Time
 TDT = Terrestrial Dynamical Time
 TML = Tempo Medio Locale
 TT = Terrestrial Time = TDT
 UT = Universal Time = GMT
 UTC = Universal Time Coordinate

Per saperne di più:

http://www.bipm.fr/en/scientific/tai/time_server.html

sito del Bureau International des Poids et Mesures di Sèvres (Parigi)

<http://www.ien.it>

sito dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale *Galileo Ferraris* di Torino

<http://www.iers.org/>

sito dell'International Earth Rotation and Reference Systems Service