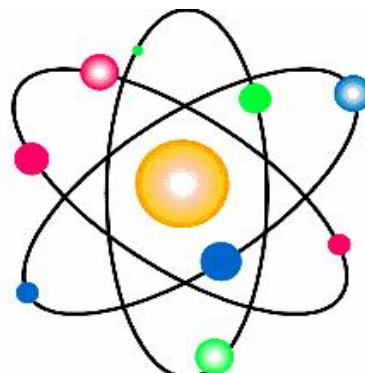


## Scale di tempo di riferimento

La definizione del secondo atomico adottata nel 1967, fu il coronamento dell'attività di ricerca svolta negli anni cinquanta dai fisici inglesi Essen e Parry che realizzarono il primo orologio a fascio di cesio, migliorando l'accuratezza della realizzazione del secondo di due ordini di grandezza già nel 1955.



L'inizio "ufficioso" della Scala di Tempo Atomica (TA) risale a questo anno, anche se solamente a metà degli anni sessanta si poté contare su un numero significativo di orologi a fascio di cesio commerciali, che funzionassero con continuità in diversi laboratori metrologici. Questo consentì di "datare" eventi su una scala chiamata atomica perchè basata sul conteggio degli intervalli di tempo originati da un oscillatore atomico, a partire da una origine che fu fissata alle ore 0 UT (Tempo Universale) del 1° gennaio 1958.

Tuttavia la realizzazione dell'unità di tempo nei singoli laboratori differiva di alcune unità di  $10^{-11}$ , fatto che causava delle divergenze di decine o di centinaia di microsecondi tra gli orologi nell'arco di tempo di un anno. Questo fatto spinse la comunità scientifica a considerare l'opportunità di realizzare una scala di tempo internazionale che costituisse un riferimento comune per tutti i metrologi.

Di questo fu incaricato il Bureau International de l'Heure di Parigi, che già dal 1911 coordinava a livello mondiale le attività della metrologia del tempo, ed il risultato pratico fu il calcolo di una scala di tempo atomico denominata infine Temps Atomique International (TAI), che nel 1971 fu dichiarata essere il riferimento scientifico ufficiale per le misure di tempo dalla XIV Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure.

Tale scala media era realizzata utilizzando le letture degli orologi atomici custoditi nei vari laboratori, ed era stata "sincronizzata" con la scala di tempo astronomico UT2 alle ore 0 del 1° gennaio 1958.

In base a considerazioni diverse, si ritenne opportuno continuare la costruzione delle scale di tempo UT0, UT1, UT2 (\*) basate sulle osservazioni astronomiche. Fu così messo in evidenza che tra la scala di tempo atomico TAI e quella utilizzata per la navigazione UT1, si manifestava uno scarto crescente con il trascorrere del tempo, per cui fu deciso dagli organismi competenti in sede internazionale, di definire una scala che raccordasse le due precedenti.

- (\*) UT0: Tempo solare medio riferito al meridiano d'origine del sistema internazionale dei fusi orari (Greenwich)
- (\*) UT1: è la scala precedente corretta per gli effetti della migrazione dei poli (polodia) e rappresenta la posizione angolare della Terra e le sue fluttuazioni; è utile per ricavare l'informazione della longitudine
- (\*) UT2: è la scala di tempo ottenuta correggendo la precedente per le variazioni stagionali riscontrate nella velocità di rotazione della Terra

Questa scala, la cui origine è stata fissata al 1° gennaio 1958, fu chiamata Universal Time Coordinated (UTC), e dal 1° gennaio 1972 è stata adottata come riferimento anche nell'uso civile e legale oltre che scientifico. In pratica, questa scala ha la stessa unità di scala di quella di tempo

atomico TAI, ma differisce da questa di un numero intero di secondi secondo la seguente relazione:

$$TAI - UTC = n \cdot t$$

dove  $n \cdot t$  è un numero intero di secondi di scarto che al 1° gennaio 2006 sarà pari a 33.

Questo scarto trae origine dal fatto che deve essere soddisfatta la seguente relazione:

$$DUT1 = UT1 - UTC < 0,9 \text{ s}$$

e che la scala di tempo rotazionale UT1 accumula un ritardo medio giornaliero dell'ordine di qualche millisecondo.

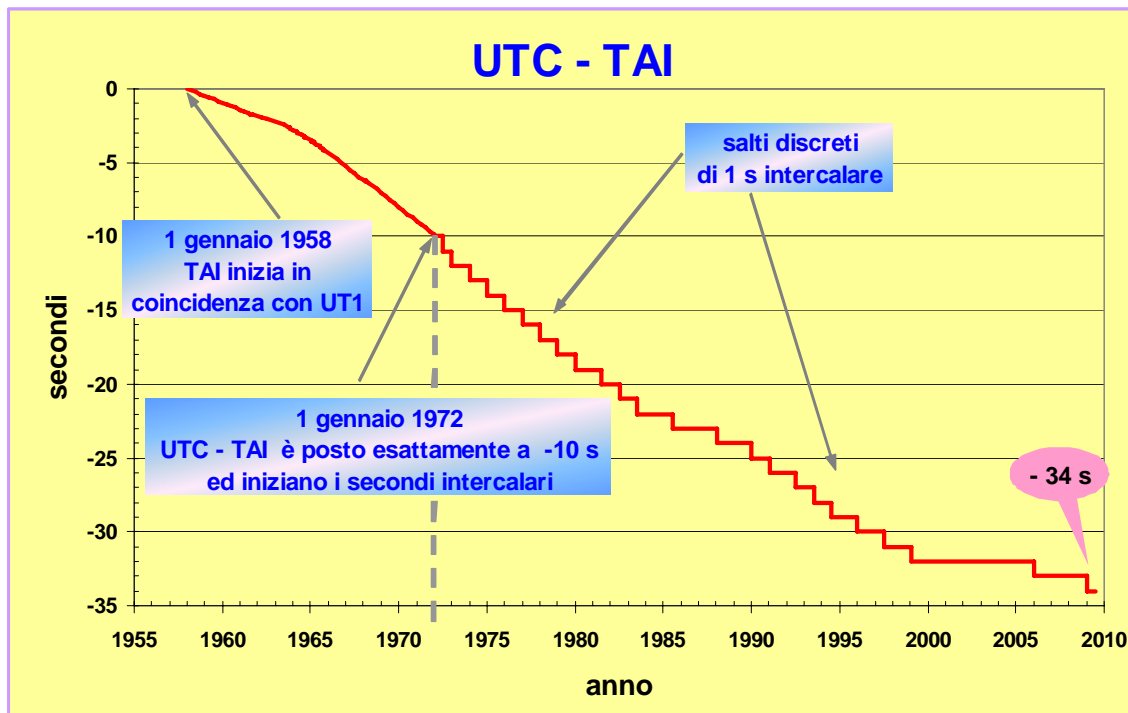
Per convenzione internazionale e su segnalazione dell'International Earth Rotation Service, tutti i laboratori metrologici apportano correzioni intere di un secondo alle scale di tempo UTC locali, quando lo scarto tra le scale UT1 e UTC si approssima al limite suddetto.

Le date preferenziali fissate per questa operazione sono il 31 dicembre ed il 30 giugno, e la correzione sugli orologi viene effettuata al secondo 59 dell'ultimo minuto delle date predette. I segnali di tempo generati e distribuiti dai vari Enti metrologici vengono ovviamente corretti di conseguenza.

Nella tabella sottostante sono riportate le correzioni della frequenza media ed i salti di tempo sulla scala UTC dal 1961 a tutto il 2005 mentre il grafico successivo riporta l'andamento della scala di tempo UTC nei confronti della scala di tempo atomico TAI per il periodo dal 1958 a tutto il 2005.

Data (alle 0 h UTC)	Correzioni di frequenza [Hz]	Correzioni di tempo [s]
1 gennaio 1961	-1,50E-08	0
1 agosto 1961	-1,50E-08	0,05
1 gennaio 1962	-1,30E-08	0
1 novembre 1963	-1,30E-08	-0,1
1 gennaio 1964	-1,50E-08	0
1 aprile 1964	-1,50E-08	-0,1
1 settembre 1964	-1,50E-08	-0,1
1 gennaio 1965	-1,50E-08	-0,1
1 marzo 1965	-1,50E-08	-0,1
1 luglio 1965	-1,50E-08	-0,1
1 settembre 1965	-1,50E-08	-0,1
1 gennaio 1966	-3,00E-08	0
1 febbraio 1968	-3,00E-08	-0,1
1 gennaio 1972	0	-0,107758
1 luglio 1972	0	-1

1 gennaio 1973	0	-1
1 gennaio 1974	0	-1
1 gennaio 1975	0	-1
1 gennaio 1976	0	-1
1 gennaio 1977	0	-1
1 gennaio 1978	0	-1
1 gennaio 1979	0	-1
1 gennaio 1980	0	-1
1 luglio 1981	0	-1
1 luglio 1982	0	-1
1 luglio 1983	0	-1
1 luglio 1985	0	-1
1 gennaio 1988	0	-1
1 gennaio 1990	0	-1
1 luglio 1991	0	-1
1 luglio 1992	0	-1
1 luglio 1993	0	-1
1 luglio 1994	0	-1
1 gennaio 1996	0	-1
1 luglio 1997	0	-1
1 gennaio 1999	0	-1
1 gennaio 2006	0	-1
1 gennaio 2009	0	-1

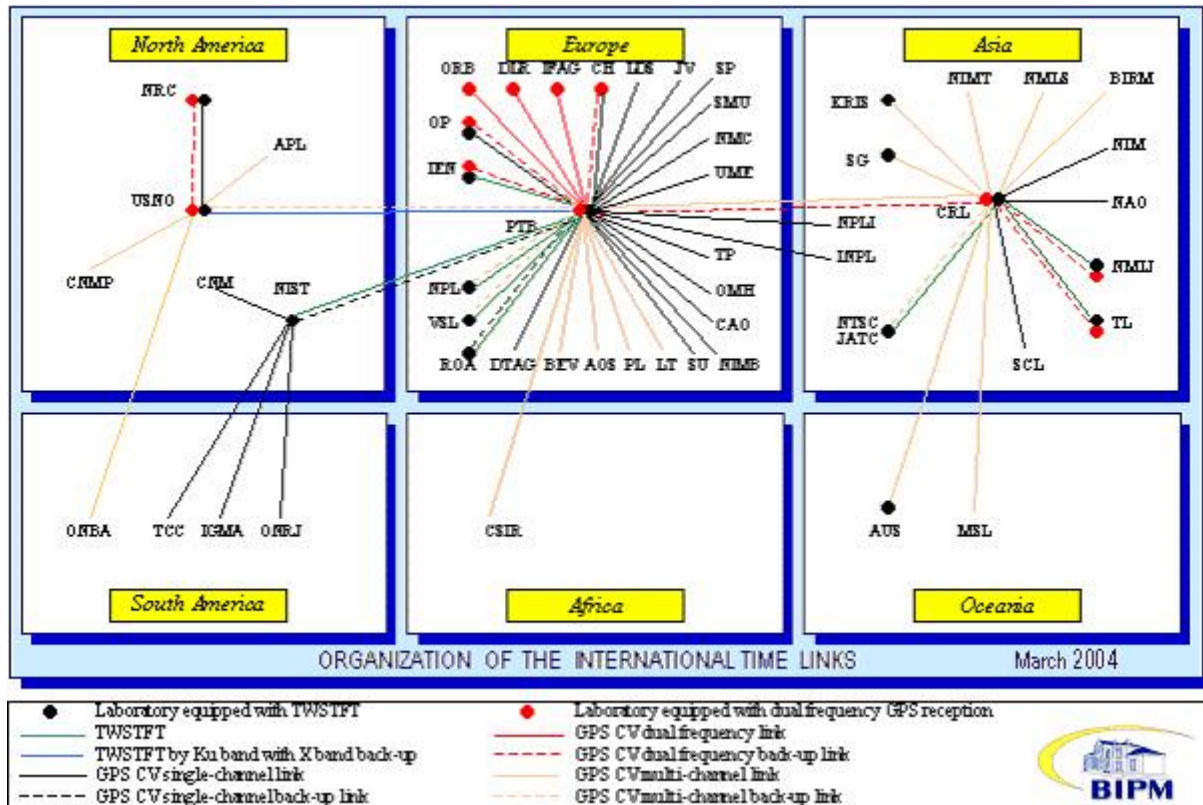


E' opportuno a questo punto fornire qualche dettaglio su come sono realizzati attualmente i riferimenti internazionali TAI e UTC che, dal 1988, sono di competenza della Section du Temps del Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) di Parigi. Queste scale sono ottenute dall'elaborazione pesata, su base mensile, dei dati di circa 250 orologi atomici custoditi in più di 50 centri metrologici situati nei vari continenti. L'algoritmo utilizzato a questo scopo, denominato ALGOS, è ottimizzato ai fini della stabilità a lungo termine e dell'accuratezza della scala media.

L'accuratezza della durata dell'unità di intervallo di tempo viene garantita dal confronto della scala atomica così ottenuta (EAL=Echelle Atomique Libre) verso i campioni primari realizzati in Italia (INRIM), Germania (PTB), Francia (OP), Giappone (NICT), USA (NIST), Gran Bretagna (NPL). L'incertezza associata alla durata dell'unità di intervallo di tempo TAI, nei confronti delle migliori realizzazioni primarie del secondo SI, negli ultimi anni si è sempre mantenuta entro alcune unità di  $10^{-15}$ .

Per poter confrontare i dati degli orologi atomici custoditi nei laboratori metrologici, si utilizzano sistemi di sincronizzazione satellitari, tra i più impiegati vi è il GPS - Global Positioning System, che consentono di ottenere le incertezze necessarie alla valutazione degli orologi atomici.

I collegamenti di sincronizzazione utilizzati dal BIPM sono riportati nella figura seguente (fonte BIPM).



Gli istanti di ricezione dei segnali di sincronizzazione e le modalità di misura sono fissati per tutti i centri dal BIPM in modo da ottimizzare l'impiego degli apparati disponibili nei laboratori.

Da alcuni anni, su un certo numero di collegamenti, viene utilizzato preferibilmente il sistema di sincronizzazione satellitare a due vie TWSTFT (Two Way Satellite Time and Frequency Transfer), che consente di raggiungere una incertezza di 1 ns nei confronti tra le scale di tempo.

Il BIPM pubblica mensilmente sul sito web: [www.bipm.org](http://www.bipm.org) una circolare (Circular T) in cui sono riportati gli scarti tra la scala UTC e quelle dei laboratori che vi hanno contribuito. L'incertezza di questi scarti, ottenuta mediante una elaborazione a posteriori dei dati misurati e delle correzioni comunicate dall' International GNSS Service (IGS), è di alcuni nanosecondi nel caso dell'utilizzo dei segnali GPS.

Un utilizzatore che non partecipi direttamente a queste attività riservate ai laboratori primari, può comunque ottenere la riferibilità alle scale internazionali TAI e UTC sia collegandosi ad un laboratorio metrologico nazionale, sia ricevendo dei segnali orari emessi secondo la scala UTC.