

## La misura di tempo nella navigazione

Nel '500 e '600 furono proposte svariate soluzioni, alcune particolarmente bizzarre, nel tentativo di risolvere il problema della misura della longitudine in mare.

Eppure era noto da sempre che se il sole è a mezzogiorno (in *culminazione*) di un dato luogo esso si troverà a mezzogiorno un'ora dopo su un luogo distante  $15^\circ$  più a ovest del precedente. Questo perché la Terra compie una rotazione (fino alla metà del '600 era il sole) completa in 24 ore:  $360^\circ/24h = 15^\circ/h$ .

Comunque solo nella prima metà del '500 venne l'idea che il calcolo della longitudine si poteva ottenere confrontando a bordo di una nave il mezzogiorno locale, quello corrispondente al momento del sole in culminazione, con l'ora segnata da un orologio che è la stessa del porto di partenza o di un qualunque altro riferimento di longitudine nota.

La differenza oraria poteva convertirsi in distanza geografica tenendo conto della latitudine (ad es.  $15^\circ$  all'equatore non corrispondono alle stesse miglia nautiche ai tropici).

Per risolvere tale problema occorre prima di tutto disporre di orologi meccanici, che proprio sotto la spinta di tale esigenza furono ideati dai maggiori scienziati del '600, Galilei, Huygens e Hooke, per poi trovare nel secolo successivo una realizzazione meccanica in grado di limitare quella che tecnicamente è conosciuta come *deriva degli strumenti*, cioè l'inconveniente di accumulare gli errori di misura nel corso di una navigazione che poteva durare mesi, con sollecitazioni anche violente provocate dai movimenti della nave.

D'altro canto un errore di soli quattro minuti, corrispondente a  $1^\circ$  di longitudine, si traduce all'equatore in 60 miglia nautiche. All'orologio comunque occorre affiancare anche un valido strumento di misura dell'altezza di un astro, il cui sviluppo ebbe origine nella prima metà del '700, e opportune effemeridi con cui poter raffrontare le ore non solo con il sole a mezzogiorno, per giunta modificato dall'equazione del tempo, ma anche in altri momenti, al tramonto ad esempio, o tramite le stelle, informazioni che venivano fornite dagli astronomi con i loro strumenti di osservazione e misura, lontani dai porti di partenza.

Gli inglesi, che furono i primi a sviluppare, con la seconda metà del '700, un cronometro marino, utilizzarono come  $0^\circ$  di longitudine il meridiano passante per Greenwich, un quartiere londinese sede dell'Osservatorio astronomico Reale.

La Francia pose a Parigi il proprio meridiano di riferimento e così altri Paesi adottarono un proprio meridiano. In effetti tutti questi diversi meridiani erano riferimenti per attività topografiche, più che riferimenti per i naviganti i quali, nel corso della fine del '700 e nella prima metà del secolo successivo, nella maggioranza facevano uso delle effemeridi inglesi e quindi del meridiano di Greenwich.

Di fatto il primo meridiano di Greenwich venne spostato quattro volte nel corso di circa due secoli per ritrovarsi alla metà dell'800 passante per l'edificio contenente l'*Airy Transit Circle*,

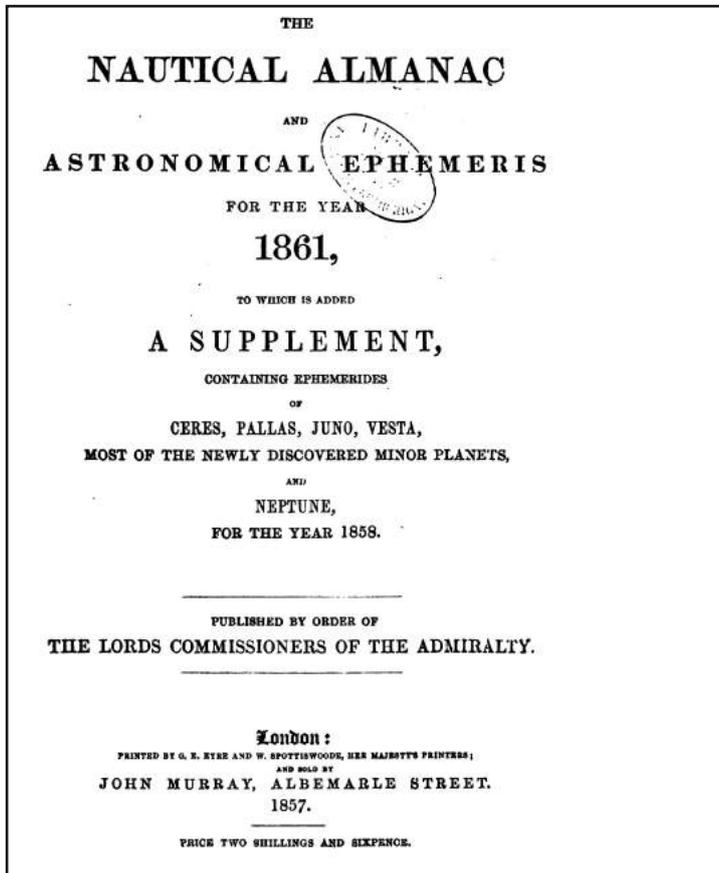


**Linea tratteggiata: indica il meridiano  $0^\circ$  in corrispondenza del "Airy Transit Circle"; linea continua: è il meridiano di riferimento del WGS84**

uno strumento appositamente fatto realizzare dall'astronomo George Airy (1801 – 1892), per determinare le posizioni delle stelle e di altri oggetti celesti osservando il loro transito al meridiano (circle) e la loro *distanza zenitale* (l'angolo compreso tra l'oggetto celeste e la verticale dell'osservatore).

Con l'espansione dei viaggi e l'incremento delle comunicazioni nel 19° secolo, divenne urgente la

disponibilità di uno standard di longitudine comune a livello mondiale. Così nel 1884, 25 Paesi, tra cui l'Italia, si riunirono a Washington (USA) nella Conferenza Internazionale dei Meridiani (*International Meridian Conference*) per trovare una soluzione comune. Con 22 voti a favore fu deciso di considerare fondamentale il meridiano passante per Greenwich.



La Francia si astenne dal voto e continuò a utilizzare il meridiano di Parigi fino al 1911.

Non è strano il comportamento della Francia e degli altri rappresentanti se si pensa che all'epoca nelle marinerie di molte nazioni erano in uso le tavole effemeridi del *The Nautical Almanac* (1767–1959), una pubblicazione edita dall'Osservatorio inglese, mentre le navi francesi utilizzavano proprie effemeridi basate sul meridiano di Parigi.

È da notare che fino al 1774 le effemeridi compilate dai francesi facevano riferimento al meridiano di Greenwich (molte cose cambiarono con la Rivoluzione francese che ebbe inizio 15anni dopo).

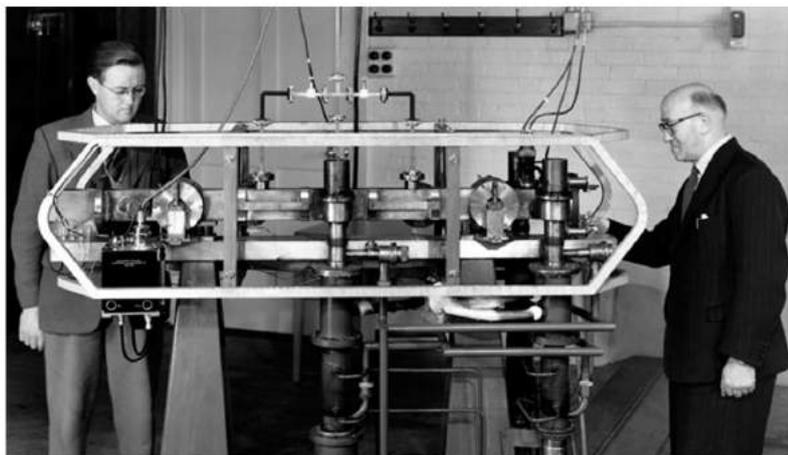
Connesso al meridiano fondamentale è la valutazione dello scorrere delle ore.

Il *tempo solare medio* calcolato all'Osservatorio inglese era detto *Greenwich Mean Time* (GMT) in cui il

giorno astronomico, quello applicato nelle effemeridi ed almanacchi nautici, cominciava a mezzogiorno. Nel 1925 venne deciso di far coincidere il giorno astronomico del meridiano 0° con quello civile che ha inizio con la mezzanotte. Tale GMT durò fino al 1928 quando ci si rese conto che il termine non esprimeva con chiarezza la suddetta innovazione, poteva essere ambiguo.

Nel 1928 quindi il GMT venne sostituito da una nuova unità, il *Tempo universale* (UT – *Universal Time*).

Il tempo UT, come il precedente GMT, corrispondeva inizialmente all'ora solare media (media aritmetica di un cospicuo numero di rilievi astronomici), poi il progresso nelle misure ha dato origine a diverse denominazioni di Tempo Universale che vennero definite nel 1955. Quel primo UT venne indicato come UT0, assegnando ad UT1 il tempo di maggiore precisione, basato sulla misura dell'angolo di rotazione della Terra, denominazione moderna del tempo solare medio valutato al meridiano di Greenwich, ad uso astronomico e nella navigazione. Furono definiti altri due tempi più precisi denominati UT1R e UT2 introdotti per correggere ulteriori cause di variazione del tempo che trovarono applicazione in campo scientifico. In ogni caso si trattava comunque di tempi non stabili per l'intrinseca derivazione da misure astronomiche per quanto di precisione progressivamente crescente. In quello stesso 1955, quasi a voler risolvere, almeno in parte, il secolare problema del tempo, il fisico inglese Louis Essen (1908-1997), già inventore dell'orologio a quarzo, realizzò il primo prototipo di orologio atomico al cesio.



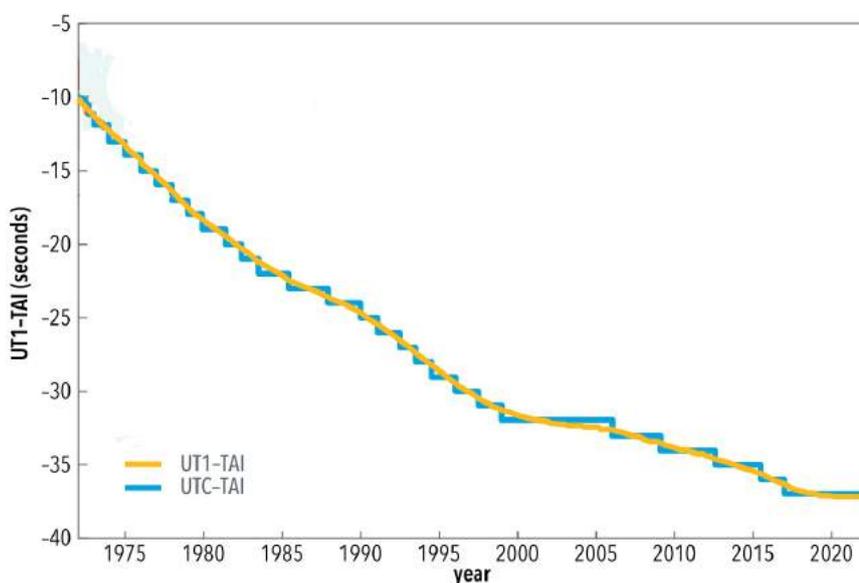
**Il primo orologio atomico al cesio (1955) costruito da L. Essen (a destra) e J. Perry, successivamente installato all'osservatorio di Greenwich (UK)**

Il principio alla base di tale innovativo orologio discende dalla peculiarità che tutti gli atomi di cesio-133 sono identici, capaci, quando assorbono o rilasciano energia, di produrre radiazioni esattamente della stessa frequenza, il che rende tali atomi degli orologi perfetti. La disponibilità di un tale tipo di orologio e soprattutto i risultati scientifici ottenuti con esso, spinsero gli enti normatori a impiegare il nuovo tempo atomico.

Nel 1960, il CCIR (*Consultative Committee on International*

*Radio*), gruppo di consulenza tecnica sull'assegnazione ed uso dello spettro radio dell'ITU (*International Telecommunications Union*) formalizzò il nuovo concetto di UTC (*Coordinated Universal Time* - Tempo coordinato universale), sotto la spinta della ormai diffusa pratica di trasmissioni radio di segnali orari, iniziata con regolarità nel 1910 in Francia, Germania e Stati Uniti per scopi geodetici e di supporto alla navigazione, una modalità di comunicazione che richiese da subito un coordinamento tra i vari centri di emissione, un'esigenza che aveva portato alla costituzione nel 1913 del *Bureau International de l'Heure* (BIH) quale servizio dell'*International Astronomical Union*.

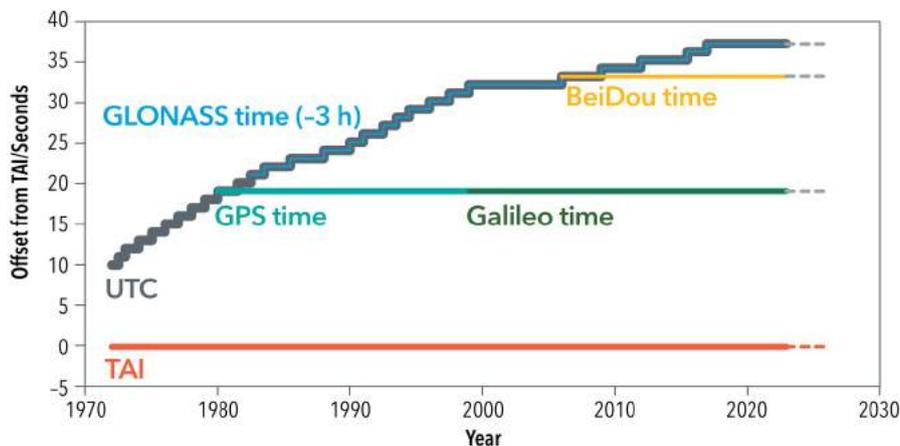
Fu proprio la suddetta rete radio a trasformare il precedente UT in *Coordinated*, coordinato, che però non fu solo un cambio di nome, ma una nuova scala temporale globale che venne introdotta per la prima volta l'anno successivo, anche se solo dal 1° gennaio 1972 esso assumerà le caratteristiche ancora oggi in uso. L'UTC coincide, a meno di un certo numero di secondi intercalari, con il Tempo atomico internazionale (TAI).



**Differenze delle scale temporali nel corso degli anni (fonte BIMP)**

In effetti i secondi di differenza vengono inseriti, su assegnazione dell'*International Earth Rotation and Reference Systems Service* (IERS), per fare in modo che, come media sugli anni, il Sole sia al meridiano di Greenwich entro 0,9 secondi dalle 12:00:00 UTC. A titolo informativo alla data del presente articolo: TAI – UTC = 37 s.

La gestione di sistemi complessi non applica il tempo UTC: un secondo intercalare su tutti gli orologi satellitari nello stesso istante è un rischio. Pertanto i sistemi di navigazione satellitare globali (escluso GLONASS) hanno optato per sincronizzare i propri orologi e la scala temporale con l'UTC ad una certa data, senza aggiungere successivamente eventuali secondi intercalari. Così l'ora GPS e Galileo è avanti di 18 secondi rispetto all'UTC, mentre l'orario di BeiDou è avanti di 4 secondi. Tuttavia, la differenza di tempo rispetto all'UTC è contenuta nel messaggio di trasmissione GPS e solitamente è applicata in automatico dai ricevitori GPS.



**Scale temporali dei principali sistemi di navigazione satellitare (fonte BIPM)**

### Approfondimenti

- *Tempo Atomico Internazionale (TAI)*, scala temporale basata sul tempo generato da circa 450 orologi atomici presenti in laboratori di 85 nazioni (al 2020). I segnali degli orologi vengono trasmessi al *BIPM (Bureau international des poids et mesures)*, l'Ufficio internazionale dei pesi e delle misure a Sèvres appena fuori Parigi, che provvede al calcolo del TAI, basandosi su una media ponderata dei dati ricevuti attribuendo il peso a ciascun orologio in funzione della corrispondente stabilità a lungo termine
- L' *International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS)* tra il 1984 e il 1988, sulla base di dati satellitari ed altre misurazioni, ha posto il meridiano di riferimento internazionale (noto come meridiano IERS o **IRM - International Reference Meridian**) a circa 102 metri ad est del **GMT** (oggi tale sigla è associata allo storico meridiano fondamentale di Airy, non più al corrispondente tempo). L'IRM è quindi, come concordato da tutte le nazioni del pianeta, il vero meridiano primo del mondo. È anche il riferimento per il sistema geodetico WGS 84, base del sistema satellitare GPS.
- Il centro IERS pubblica ogni sei mesi (il 1° gennaio e il 1° luglio) un bollettino in cui annuncia se verrà aggiunto un secondo intercalare all'UTC alle 24 del 30 giugno o del 31 dicembre dello stesso anno.