

## Laboratorio di Tempo e Frequenza



Campioni di frequenza a quarzo dell'IEN (1950–1970)



Laboratorio di Tempo e Frequenza dell'INRIM (anni 2000)



Maser all'idrogeno

Dal 1970, la scala di tempo universale coordinato UTC dell'INRIM, basata sulla definizione del secondo SI, è realizzata mediante campioni atomici a fascio di cesio (attualmente 5) di tipo commerciale e 2 maser all'idrogeno, conservati in un apposito locale la cui temperatura è mantenuta a  $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ . L'orologio di riferimento per la realizzazione della scala, viene scelto tra i campioni disponibili in base alla regolarità del suo comportamento, dedotto dai confronti di tempo eseguiti tra gli orologi stessi e dalle correzioni fornite mensilmente dal BIPM.

La scala di tempo nazionale UTC(IEN) è derivata da un insieme di orologi atomici al cesio indipendenti ed è confrontata via satellite con le scale di tempo degli altri paesi. Essa è mantenuta entro  $\pm 100$  nanosecondi rispetto al riferimento internazionale UTC. La frequenza generata dal campione di riferimento viene corretta mediante un variatore continuo di fase in modo da mantenere UTC(IEN) entro i limiti predetti.

L'unità d'intervallo di tempo è realizzata presso l'INRIM con un'incertezza tipo relativa minore di  $1 \cdot 10^{-13}$ .



*L'incertezza relativa con cui viene realizzata l'unità d'intervallo di tempo campione UTC(IEN) è stata valutata nel 1991 tenendo conto:*

*a) dell'instabilità di frequenza dell'orologio atomico di riferimento, in un periodo compreso tra 1 e 30 giorni;*

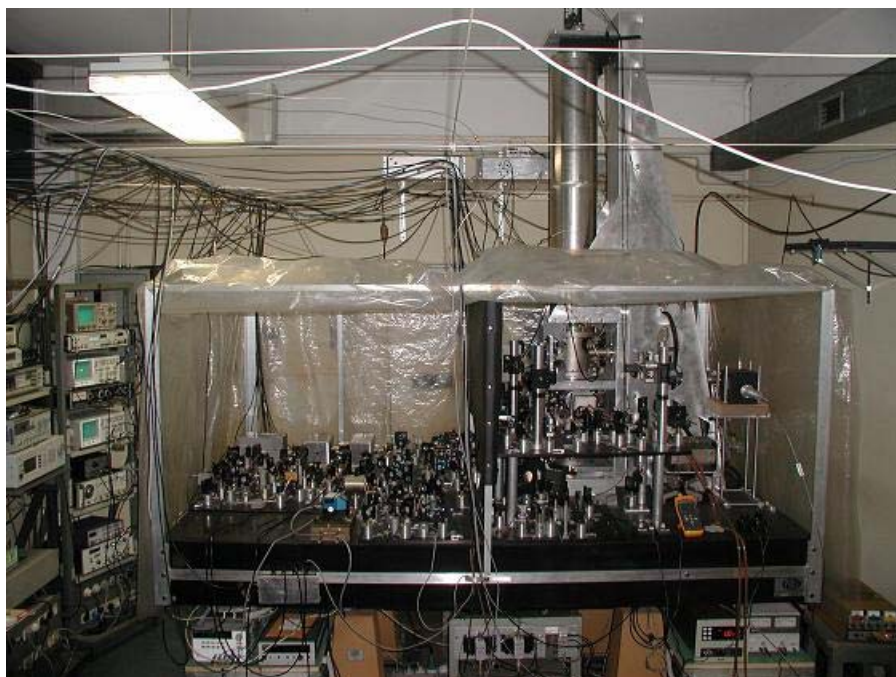
*b) della determinazione dello scarto tra la scala UTC(IEN), l'UTC del BIPM e quelle di altri laboratori metrologici primari, usando i sistemi di sincronizzazione satellitare GPS (Global Positioning System) e TWSTFT (Two Way Satellite Time and Frequency Transfer) ;*

*c) della determinazione della durata dell'unità di intervallo di tempo della scala UTC effettuata dal BIPM, rispetto alle migliori realizzazioni sperimentali dell'unità stessa, ottenuta da campioni primari di laboratorio.*

La datazione di un evento rispetto alla scala UTC, servendosi di opportuni sistemi di sincronizzazione, è stato stimato che possa essere effettuata con un'incertezza 10 ns con un livello di fiducia del 95%, che si riduce a 2 ns nel caso di datazione verso UTC(IEN).

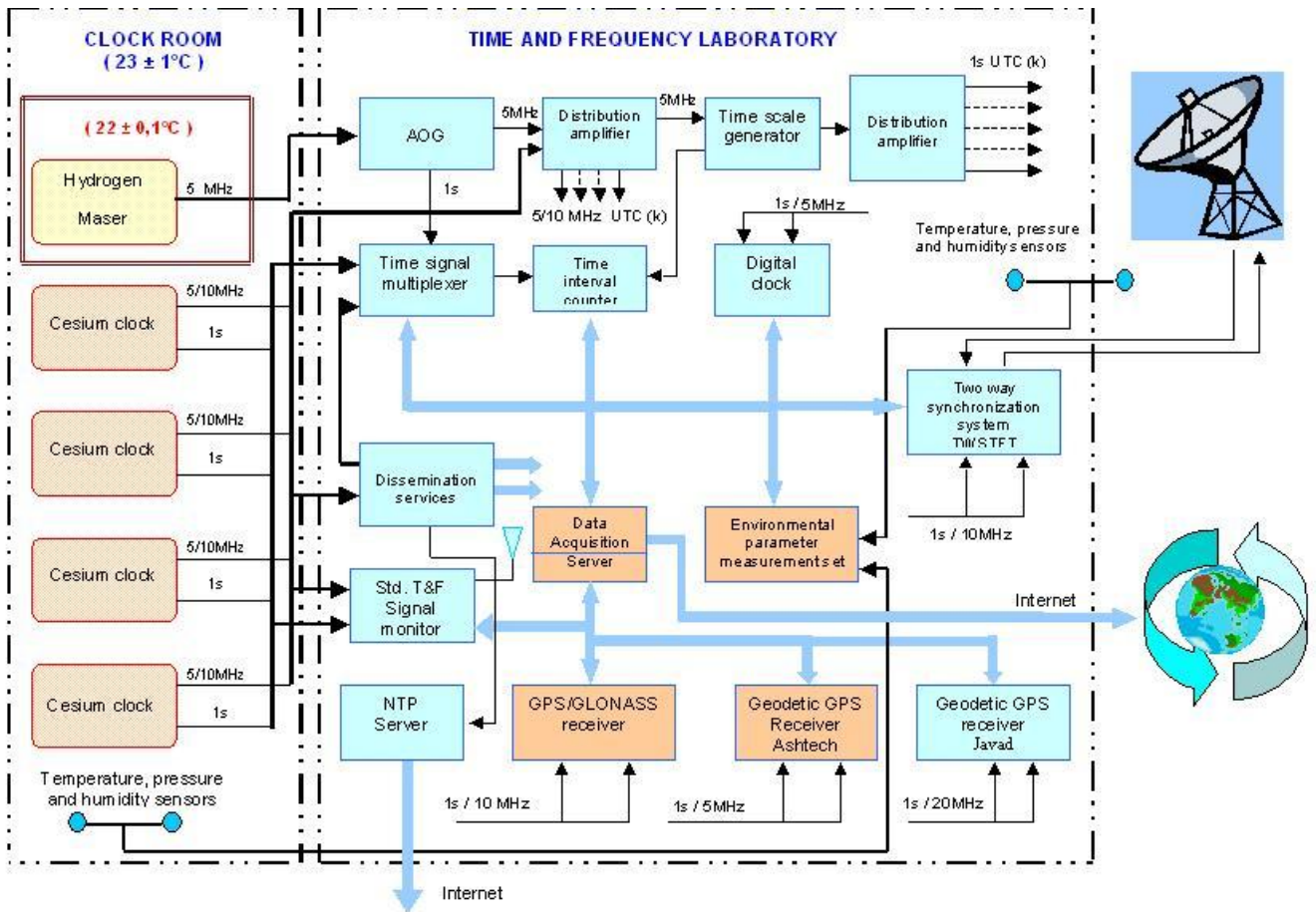
Dal confronti internazionali eseguiti, lo scarto relativo medio dell'unità di tempo della scala UTC(IEN) rispetto ad UTC negli anni dal 1990 al 2005, è risultato sempre largamente compreso entro  $1 \cdot 10^{-13}$ , in accordo con quanto riportato dal D.M. n.591 del 30 novembre 1993 relativo ai campioni nazionali delle unità SI.

A partire dal 2003 è operativo presso l'INRIM un campione primario di frequenza del tipo a fontana atomica, il quale impiega atomi di cesio raffreddati ad una temperatura di 1  $\mu$ K con tecniche di *laser cooling*, la cui accuratezza è dell'ordine di  $1 \cdot 10^{-15}$ . Durante gli ultimi due anni il campione primario a fontana ha partecipato ad esperimenti di confronto remoto di frequenza e viene utilizzato regolarmente sia dall'INRIM per la stima della frequenza dei propri orologi che dal BIPM per la valutazione dell'unità di intervallo di tempo del TAI (Tempo Atomico Internazionale).



I dati relativi alla scala di tempo UTC(IEN) vengono trasmessi mensilmente al BIPM che fornisce le correzioni relative all'UTC.

Le principali apparecchiature utilizzate per la generazione, il controllo e la disseminazione di UTC(IEN) e le funzioni da loro svolte, sono elencate nel seguito. Un sistema di acquisizione dati, basato su un contatore elettronico e controllato da un personal computer, permette di effettuare i confronti di tempo tra gli orologi ogni ora, ed altre misure di routine ad orari prestabiliti. Vi è inoltre un sistema di misura dedicato all'acquisizione dei segnali codificati trasmessi dalla RAI sulle sue reti radiofoniche che sono anche utilizzati per la riferibilità nell'ambito industriale.



Le misure di sincronizzazione sui segnali emessi dai satelliti del Global Positioning System, utili ai fini della riferibilità alle scale di tempo internazionali, sono gestite da appositi ricevitori che operano in modo conforme alle prescrizioni del Comitato Consultivo del Tempo e della Frequenza. I risultati delle misure eseguite sono inviati settimanalmente al BIPM mediante posta elettronica.

Il BIPM organizza periodicamente dei cicli internazionali per la taratura dei ritardi dei ricevitori GPS, che consistono nell'invio presso i laboratori metrologici di un ricevitore il cui ritardo è stato accuratamente valutato; l'INRIM è stato inserito in questi confronti a partire dal 1986.



Attualmente sono operativi presso l'INRIM anche tre ricevitori in grado di eseguire misure di codice e di fase sui segnali GPS.

Questi dispositivi organizzano i dati di misura in opportuni file secondo un formato standard (RINEX), da inviare ad un centro europeo di geodesia per l'elaborazione.

Utilizzando dati relativi a più laboratori metrologici dotati di tali ricevitori, pilotati mediante i segnali di riferimento delle rispettive scale di tempo, si possono ottenere dati di sincronizzazione tra gli orologi di riferimento a livello del nanosecondo.



Nel 1996 il Laboratorio si è dotato di una stazione ricetrasmittente, operante nella banda Ku (12 - 14 GHz), del tipo VSAT (Very Small Aperture Terminal) per partecipare ad una rete internazionale di sincronizzazione di orologi campione che utilizza un satellite geostazionario INTELSAT a 307°E ed il metodo di misura detto *a due vie*.

La stazione dell'INRIM, diventata operativa nel 2001, effettua ogni giorno più sessioni di misure con altri 8 laboratori metrologici europei e 2 americani: NPL (GB), OCA (FR) e OP(FR), PTB (DE), ROA (ES), VSL (NL), NIST SP(S), CH(CH).e USNO (USA).



Dal 2002 il laboratorio di tempo e frequenza dell'INRIM ha partecipato alle attività dell'ESA (European Space Agency) e della Comunità Europea per lo sviluppo del sistema di navigazione satellitare europeo Galileo, ed in particolare fino al gennaio 2005 allo sviluppo del sistema di riferimento temporale (Precise Timing Station) nell'ambito del progetto ESA "Galileo System Test Bed V1".

Sempre nell'ambito del progetto Galileo il laboratorio dal 2006 collaborerà, insieme ad altri istituti metrologici europei, alla realizzazione dell'ente di controllo metrologico "Time Service Provider" del sistema di navigazione.

Nell'ambito del "Consorzio Torino Time", contribuirà inoltre alla costituzione a Torino di un laboratorio che fornirà il tempo campione per Galileo.



L'attività di disseminazione di segnali di tempo campione, iniziata nel 1942 con l'invio alla RAI dei segnali orari, è stata successivamente estesa con le trasmissioni di tempo e frequenza campione su onda corta (IBF, 1951), con l'aggiunta del codice di data sui segnali orari RAI (1979), con l'esecuzione di misure giornaliere sui segnali di sincronismo di quadro televisivi per il confronto di oscillatori remoti (1970), con la generazione di un codice telefonico di data distribuito via modem (1991), ottenibile selezionando i numeri 011 3919 263/264, e con quella di un servizio NTP (Network Time Protocol) di disseminazione su rete informatica (indirizzi: <http://ntp1.ien.it/> e <http://ntp2.ien.it/>).

Le caratteristiche di questi servizi possono essere richieste all'INRIM anche tramite posta elettronica all'indirizzo [metf@inrim.it](mailto:metf@inrim.it) e sono riportate nel sito Internet dell'INRIM. Maggiori dettagli sul servizio NTP possono essere trovati all'indirizzo [http://www.ien.it/ntp/index\\_i.shtml](http://www.ien.it/ntp/index_i.shtml).

Per supplire alle eventuali interruzioni della rete a 220 V, tutta la strumentazione del Laboratorio di Tempo e Frequenza è alimentata attraverso un sistema di continuità dell'energia. Questo sistema è costituito da un gruppo elettrogeno, da tre gruppi di invertitori statici, di batterie di accumulatori e di raddrizzatori.

Il Laboratorio esegue a richiesta tarature di campioni e strumenti utilizzati nel settore del tempo e della frequenza e partecipa all'attività di accreditamento di laboratori quali Centri del Servizio di Taratura in Italia (SIT); organizza inoltre corsi di metrologia del tempo e della frequenza e svolge attività di consulenza tecnica su questi temi.

Nella tabella sottostante si riportano le capacità metrologiche di taratura (Calibration Measurement Capabilities) del laboratorio nel settore del tempo e della frequenza, riconosciute nell'ambito dell'accordo Mutual Recognition Arrangement (MRA) del 1999.

Calibration or Measurement Service			Measurand Level or Range			Measurement Conditions / Independent Variable		Expanded Uncertainty			
Quantity	Instrument or Artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	Units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence
Time scale difference	Local clock vs. UTC(IEN)	Time interval measurement	-1	+1	s	Pulse amplitude	> 1 V	2	ns	2	95 %
Time scale difference	Local clock vs. UTC	Time interval measurement	-1	+1	s	Prediction time	20 days	30	ns	2	95 %
Time scale difference	Local clock vs. UTC	Time interval measurements	-1	+1	s	Averaging time	5 days	10	ns	2	95 %
Time scale difference	Remote clock vs. UTC(IEN)	GPS common view comparisons	-1	+1	s	Averaging time	1 day	10	ns	2	95 %
Time scale difference	Remote clock vs. UTC(IEN)	RAI Coded Time Signal common view comparisons	-1	+1	s	Averaging time	3600 s	0,2	ms	2	95 %
Frequency	Local frequency standard	Phase time measurement	5	5	MHz	Averaging time	1 day	1E-13	Hz/Hz	2	95 %
Frequency	Local frequency standard	Phase time measurement	10	10	MHz	Averaging time	1 day	1E-13	Hz/Hz	2	95 %
Frequency	Remote frequency standard	GPS common view	10	10	MHz	Averaging time	1 day	1E-13	Hz/Hz	2	95 %
Frequency	Remote frequency standard	RAI Coded Time Signal common view comparisons	10	10	MHz	Averaging time	1 day	2E-9	Hz/Hz	2	95 %
Frequency	General frequency source	Frequency meter	1	1E5	Hz	Averaging time	1000 s	2E-07 to 2E-12	Hz/Hz	2	95 %
Frequency	General frequency source	Frequency meter	1E5	1E6	Hz	Averaging time	1000 s	2E-12 to 1E-12	Hz/Hz	2	95 %
Frequency	General frequency source	Frequency meter	1E6	1E9	Hz	Averaging time	1000 s	1E-12	Hz/Hz	2	95 %
Frequency	Local frequency standard	Frequency difference multiplication	5	5	MHz	Averaging time	100s	6E-13	Hz/Hz	2	95 %
Frequency	Local frequency standard	Frequency difference multiplication	10	10	MHz	Averaging time	100s	6E-13	Hz/Hz	2	95 %
Time interval	Chronometer	Stopwatch calibrator	1	86400	s			0,02	s	2	95 %
Time interval	Chronometer	Stopwatch calibrator	1	86400	s			2	µs	2	95 %

Un'informazione completa in merito è ottenibile sul sito web del BIPM ([www.bipm.org](http://www.bipm.org)). Selezionando l'acronimo "KCDB" (Key Comparisons Data Base).