

## **DATI MEDI GIORNALIERI DELLA SCALA UTC(IEN) VERSO IL GPS TIME**

Valerio Pettiti, Franco Cordara

### **1 – Introduzione**

Il sistema di radionavigazione satellitare GPS (Global Positioning System), consente di determinare la posizione in tempo reale, con incertezze a livello di metri o decine di metri, di un oggetto posto in qualunque punto della Terra o in prossimità di essa. Oltre a questo, il sistema fornisce anche la possibilità di datare, con incertezze a livello di nanosecondi, un evento rispetto alla scala GPS, la quale è mantenuta in accordo con la scala UTC(USNO) (United States Naval Observatory) che, a sua volta, si discosta di poche decine di nanosecondi rispetto alla Scala di Tempo Internazionale Coordinato UTC. Il sistema GPS pertanto, ampiamente utilizzato sia a livello locale che internazionale, è un accurato sistema di sincronizzazione per riferire oscillatori ed orologi campione ad un riferimento nazionale o internazionale dell'unità del secondo SI.

Il Laboratorio di Tempo e Frequenza dell'IEN, utilizza regolarmente il sistema GPS sia per riferire a livello internazionale la scala di tempo nazionale UTC(IEN), sia per garantire a laboratori metrologici remoti la riferibilità verso UTC(IEN).

I ricevitori GPS utilizzati per svolgere la localizzazione e la sincronizzazione, sono attualmente dei dispositivi multicanale, in grado di osservare e decodificare il segnale emesso dai satelliti del sistema visibili in ogni momento sopra l'orizzonte. Il numero di satelliti che costituiscono il sistema GPS, distribuiti uniformemente su alcune orbite ad un'altezza di circa 20 000 km dalla Terra, sono almeno 24, quelli che possono essere osservati contemporaneamente da un ricevitore terrestre variano abitualmente da 7 a 11.

I ricevitori GPS svolgono due funzioni fondamentali: a) eseguono misure di distanza (range), basandosi sul tempo di volo di un segnale di riferimento temporale, emesso da ogni satellite, rispetto a quello dell'orologio locale; b) ricevono e decodificano il messaggio di navigazione emesso da ogni satellite che contiene le informazioni essenziali per utilizzare i dati di misura. A partire da queste informazioni, il ricevitore è in grado di fornire serie temporali di "range" (in generale di "pseudo-range" poiché le misure di tempo di volo sono riferite a due differenti scale di tempo, GPS e locale), opportunamente identificate e datate, indicate talvolta come "osservazioni", da utilizzare per elaborazioni successive.

Disponendo come succede abitualmente di osservazioni multiple su più satelliti, che hanno in comune la posizione dell'antenna ricevente, il ricevitore può elaborare in tempo reale la posizione di tale antenna nel sistema di riferimento GPS, utilizzando allo scopo le misure di distanza e le informazioni di posizione del satellite inviate nel messaggio di navigazione. Questo è possibile quando si dispone di dati relativi ad almeno quattro satelliti, che consentono di risolvere un sistema costituito da tre incognite, le coordinate dell'antenna ricevente, più una quarta, lo scarto di tempo tra la scala GPS e quella locale. Quando però è nota a priori la posizione dell'antenna ricevente, disponendo di osservazioni su uno o più satelliti, è possibile ottenere in tempo reale lo scarto di tempo tra l'orologio locale e la scala GPS.

### **2 – Dati GPS dell'IEN**

I due ricevitori GPS dell'IEN, utilizzati per la riferibilità internazionale della scala UTC(IEN) e per quella degli oscillatori dei laboratori metrologici nazionali (3SN mod. GNSS 300T e AOB mod. TTS-2), organizzano i dati di misura secondo il formato previsto dalla scheda internazionale di misura coordinata dal BIPM denominata "Common-View". Essa prevede l'esecuzione di 89/90 cicli giornalieri di misura intervallati

di 16 minuti; per ogni ciclo, identificato mediante l'ora iniziale UTC, vengono registrati i segnali di un numero di satelliti compreso abitualmente tra 7 e 11, per un totale di circa 850 dati di misura giornalieri. Ognuno di questi dati, che rappresenta lo scarto di tempo medio tra UTC(IEN) ed il segnale di riferimento della scala GPS ricostruito localmente dal ricevitore per ogni satellite, è calcolato a partire da 780 dati di scarto di tempo con cadenza 1 s. I ricevitori determinano mediante regressione lineare su questi 780 dati, il valore di scarto di tempo  $\Delta t_i$  stimato in corrispondenza del baricentro del periodo di misura, la pendenza della retta di regressione  $P_i$  e lo scarto tipo  $\sigma_j$  dei residui rispetto alla retta. Tali dati vengono registrati nella memoria interna del ricevitore, associandoli alla data giuliana modificata MJD ed all'ora iniziale di misura  $t_i$  espressa in UTC, unitamente ad una serie di altre informazioni secondo un formato definito a livello internazionale (CGGTTs). Tutte le misure vengono eseguite in modo automatico e trasferite sulla banca dati IEN.

Nella Tabella 1 è riportato, come esempio, un segmento di un file settimanale di misure GPS eseguite presso l'IEN mediante uno di questi ricevitori, avendo selezionato le prime 18 colonne da sinistra dei dati contenuti nel file originale; esse si riferiscono al 1 ottobre 2004 (MJD: 53279). Oltre all'intestazione, che elenca i dati caratteristici del ricevitore e della stazione di misura, nella tabella sono riportate le prime 15 linee dei dati di misura, estratte dalle 862 disponibili per quel giorno.

Tabella 1 – Esempio di dati GPS dell'IEN

```
GGTTS GPS DATA FORMAT VERSION = 01
REV DATE = 1995-11-01
RCVTR = 3S NAVIGATION GNSS-300T #X #0043 1992 01D
CH = 100
IMS = 99999
LAB = IEN
X = +4476544.43m(GPS) +4476544.43m(GLO)
Y = +600406.49m(GPS) +600406.49m(GLO)
Z = +4488743.59m(GPS) +4488743.59m(GLO)
FRAME = WGS84(GPS) WGS84(GLO)
COMMENTS = For GLONASS, the satellite position in WGS84. (WGS84->PZ90 DATUM relation: 0.0 0.0 2.0 0.0
0.0 0.0 -0.000002)
INT DLY = 3600.0ns(GPS), 3807.0ns(GLO)
CAB DLY = 0.0ns, GPS DLY = -1889.0ns, GLO DLY = 0.0ns
REF DLY = 0.0ns, 0.0 ps/s AT 0 00:00:00
REF = UTC(IEN)
CKSUM = 5C
```

PRN	CL	MJD	STTIME	TRKL	ELV	AZTH	REFSV	SRSV	REFGPS	SRGPS	DSG	IOE	MDTR	SMDT	MDIO	SMDI	CK
			hhmmss	s	.ldg	.ldg	.lns	.lps/s	.lns	.lps/s	.lns		.lns	.lps/s	.lns	.lps/s	
1	FF	53279	000200	615	96	1645	-3657386	+283	-325	+302	312	102	456	-293	136	-20	32
22	FF	53279	000200	780	290	500	-156727	-18	-305	-21	126	56	162	+33	90	+12	C4
28	FF	53279	000200	780	143	3196	-427730	-51	-259	-46	95	5	313	-65	123	-8	D4
15	FF	53279	000200	780	193	818	-3276540	-224	-310	-172	132	112	237	+67	110	+13	1F
20	FF	53279	000200	780	152	2235	+1190631	-131	-229	-98	136	132	298	-124	120	-17	36
19	FF	53279	000200	780	783	1816	+60431	+158	-231	+161	53	96	80	+2	50	+0	A7
3	FF	53279	000200	780	418	1543	-483701	-26	-361	+6	87	215	118	+17	71	+9	B5
14	FF	53279	000200	780	371	935	+283607	-20	-244	-28	79	188	130	-8	77	-3	C2
11	FF	53279	000200	780	463	2867	-1535869	-29	-269	+4	55	238	108	-11	66	-6	F2
22	FF	53279	001800	780	226	501	-156767	-411	-348	-413	197	56	204	+55	102	+14	0D
28	FF	53279	001800	780	169	3137	-427753	+44	-276	+50	95	5	267	-32	116	-5	DC
15	FF	53279	001800	780	137	864	-3276638	-105	-358	-52	152	112	327	+128	124	+15	3B
20	FF	53279	001800	780	217	2268	+1190569	-155	-259	-122	129	132	212	-62	104	-15	41
19	FF	53279	001800	780	706	1721	+60422	-69	-236	-66	55	96	83	+4	52	+2	9D
1	FF	53279	001800	780	168	1618	-3657396	+149	-315	+168	205	102	270	-107	116	-17	50

I dati effettivamente utilizzati dall'IEN per la riferibilità, selezionati tra tutti quelli disponibili sul file, sono quelli riportati nelle colonne identificate dalle seguenti sigle:

- MJD: data giuliana modificata (Modified Julian Date) del giorno di misura;
- STTIME: ora iniziale UTC del ciclo di misura (hhmmss);
- REFGPS: scarto di tempo tra UTC(IEN) ed il riferimento GPS (decimi di ns);
- DSG: scarto tipo dei dati di misura rispetto alla retta di regressione (decimi di ns).

Per consentire ai laboratori metrologici che utilizzano le misure GPS dell'IEN di riferire il proprio oscillatore locale alla scala UTC(IEN), dai file di dati descritti prima, vengono periodicamente estratti i valori medi giornalieri di UTC(IEN) – GPS, che sono resi disponibili agli utenti sul sito web dell'IEN.

### 3 – Dati resi disponibili sul sito dell'IEN

A partire dai file settimanali di dati tipo quelli descritti in Tabella 1, organizzati secondo la modalità prevista dal BIPM (dal martedì al lunedì successivo), mediante un programma di conversione vengono calcolati per ogni giorno i valori medi di circa 850 dati di scarto di tempo UTC(IEN) – GPS e organizzati secondo file mensili. Questo procedimento si svolge in due fasi successive: a) il calcolo del valor medio per “epoche”, cioè utilizzando tutti i dati disponibili (abituamente da 7 a 11) relativi ad altrettanti satelliti per una determinata epoca, cioè uno degli 89/90 cicli giornalieri di misura distanziati di 16 minuti; b) il calcolo della regressione lineare dei valori medi ottenuti dalle varie epoche estesa al periodo di un giorno. Per ognuna delle fasi precedenti, i dati sono sottoposti ad un filtro statistico ( $3\sigma$ ) per rimuovere quelli anomali. Per quanto riguarda la regressione lineare, applicata su dati che coprono un periodo di 24 ore, vengono utilizzati i valori medi di tutte le epoche di misura che iniziano nel giorno considerato e, a partire dai parametri della regressione, viene fornito un valore medio in corrispondenza delle ore 00:00 UTC del giorno considerato. Oltre allo scarto di tempo medio giornaliero UTC(IEN) - GPS, viene calcolato lo scarto relativo medio di frequenza corrispondente su base giornaliera.

In Tabella 2 è riportato come esempio un file di dati mensile ottenuto da questo programma di conversione, esso riguarda il mese di ottobre 2004 (MJD: 53279 – 53309). È costituito da tre colonne, la data giuliana modificata “MJD”, quella dello scarto di tempo medio “UTC(IEN) – GPS”, espresso in nanosecondi, e quella dello scarto relativo medio di frequenza “ $y$ ” espresso in unità di  $10^{-13}$ .

Tabella 2 – Esempio di valori medi mensili dell'IEN (settembre 2004)

MJD	UTC(IEN) – GPS [ns]	$y$ [ $10^{-13}$ ]
53279	-29.7	0.1
53280	-25.4	-0.5
53281	-21.8	-0.4
53282	-21.0	-0.1
53283	-18.0	-0.3
53284	-16.8	-0.1
53285	-13.7	-0.4
53286	-10.9	-0.3
53287	-11.3	0.1
53288	-18.6	0.8
53289	-21.8	0.4
53290	-20.7	-0.1
53291	-15.6	-0.6
53292	-17.2	0.2
53293	-19.6	0.3
53294	-19.4	0.0
53295	-15.6	-0.4
53296	-8.7	-0.8
53297	-6.4	-0.3
53298	2.0	-1.0
53299	2.9	-0.1
53300	3.1	0.0
53301	4.1	-0.1
53302	4.8	-0.1
53303	2.2	0.3
53304	0.2	0.2
53305	3.3	-0.4
53306	2.3	0.1
53307	2.8	-0.1
53308	3.0	0.0
53309	1.7	0.2

I file di dati sono identificati mediante una sigla del tipo: “*IEN\_GPS\_mmmmy.txt*”, dove “*mmm*” sono le prime tre lettere del nome del mese considerato (in inglese), mentre “*yy*” le decine e le unità dell’anno; nel caso del mese di ottobre 2004 come nell’esempio di Tabella 2, il nome assegnato al file è:

"IEN\_GPS\_OCT04.txt". I file di dati messi a disposizione sul sito web dell'IEN, vengono aggiornati almeno una volta al mese (abituamente ogni 14 giorni) pertanto, il file dell'ultimo mese può risultare incompleto.

Per quanto riguarda il generico dato di scarto relativo di frequenza  $y_i$  (terza colonna del file), esso viene ottenuto calcolando la variazione dello scarto di tempo medio da un giorno all'altro divisa per il numero di secondi di un giorno (86400), secondo la relazione:

$$y_i = -\frac{[UTC(IEN) - GPS]_i - [UTC(IEN) - GPS]_{i-1}}{86400} \quad (1)$$

Per quanto riguarda il segno, un valore positivo di  $y$  indica una frequenza del segnale di riferimento di UTC(IEN) superiore a quella della scala GPS, e viceversa nel caso contrario.

Per quanto riguarda l'incertezza associata ai dati di scarto di tempo riportati nei file, si deve considerare che i ricevitori GPS sono soggetti al ritardo del sistema ricevente e dei cavi di connessione, i quali vengono tarati periodicamente dal BIPM ed introdotti all'interno del ricevitore, questo provvede poi automaticamente a compensare le letture. Una stima fatta dal BIPM dell'incertezza residua di questa correzione di ritardo è:  $u_{RT} = 5$  ns, alla quale va sommata in modo quadratico l'incertezza su un giorno dovuta all'instabilità del sistema:  $u_{IN} = 2$  ns; ottenendo così un'incertezza estesa con coefficiente di copertura  $k = 2$  (il numero dei g.d.l. è tale da giustificare tale fattore):

$$U = 2 \cdot \sqrt{u_{RT}^2 + u_{IN}^2} = 11 \text{ ns} \quad (2)$$

Per quanto riguarda invece l'incertezza associata allo scarto relativo di frequenza calcolato come indicato nella (1), assumendo che il ritardo del ricevitore e dei cavi sia costante da un giorno all'altro o tale da contribuire in modo trascurabile, il solo contributo d'incertezza è quello d'instabilità  $u_{IN}$  il quale, determinato a partire dalla relazione (1), e trascurando l'incertezza sul periodo di 86400 s, può essere espresso come:

$$U_y = 2 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot u_{IN}}{86400} = 7 \cdot 10^{-14} \quad (3)$$

#### 4 – Accessibilità ai dati sul sito dell'IEN

I dati mensili descritti in precedenza, sono resi disponibili presso il sito web dell'IEN mediante il seguente percorso:

<http://www.ien.it>

dal menù sulla sinistra: **Ricerca & Sviluppo – Settori – Metrologia Elettromagnetica di Tempo e Frequenza – Scarti UTC(IEN)-GPS;**

o direttamente dalla pagina principale selezionando:

<http://www.ien.it/tf/time/gps/gpsdati.shtml>

Ulteriori informazioni sono reperibili alla pagina:

<http://www.ien.it/tf/time/gps/gpsinfo.shtml>

Una volta raggiunta la cartella che contiene i file, i quali sono registrati in formato testo secondo le regole descritte, e sono contraddistinti dal nome che richiama mese e anno, è sufficiente aprire il file d'interesse, ottenendo le tre colonne di dati analoghe a quelle descritte in Tabella 2. Il file può essere anche copiato in una cartella personale per successive elaborazioni, e dal momento che è di tipo testo, può essere agevolmente importato in un foglio Excel.