

# Effemeridi solari a confronto

L'autore illustra vari programmi che su internet, su PC o su smartphone calcolano i parametri astronomici solari utili agli gnomonisti e ne confronta i risultati con quelli ottenuti da fonti ritenute autorevoli, concludendo che a scopo gnomonico tutti sono da ritenersi soddisfacenti per lo meno per applicazioni generiche.

---

di Gianpiero Casalegno ([gian.casalegno@gmail.com](mailto:gian.casalegno@gmail.com))

## Introduzione

La posizione istantanea del Sole è un parametro utile se non indispensabile agli gnomonisti allo scopo di verificare la correttezza delle indicazioni orarie e calendariali delle proprie realizzazioni. Questo articolo si propone di elencare programmi e base dati che forniscono questa ed altre informazioni utili e di confrontarne i risultati.

I soli programmi che sono stati presi in considerazione sono quelli gratuiti o quasi, ovvero di costo contenuto. Per ognuno di questi viene fornita una breve descrizione insieme alle informazioni utili al suo recupero o acquisto.

Tutti i dati si riferiscono a programmi installabili su PC con tre eccezioni: *Horizons*, applicativo disponibile solo su web, che è stato preso come riferimento nel confronto tra i vari programmi; *Astronomical Almanac* che non è un programma bensì una pubblicazione nota a tutti gli astrofili del mondo, utilizzato come secondo elemento di verifica; *Almanacco UAI*, pubblicazione della Unione Astrofili Italiani.

Ecco la lista dei dati analizzati:

1. *Horizons* (valori di riferimento)
2. *Astronomical Almanac* (valori di verifica)
3. *Almanacco UAI* (valori di verifica)
4. *Geffem*
5. *The Dialist's Companion*
6. *Solex*
7. *Stellarium*
8. *AlmSun*
9. *Sun Ephemeris* (equivalente come risultati a *Orologi Solari* e *Sol Et Umbra*)

Questa lista non pretende di essere esaustiva ed è basata sulle conoscenze dell'autore, sulle sue ricerche effettuate su internet e sui suggerimenti di amici gnomonisti.

Si noti inoltre che il confronto è stato effettuato su dati relativi all'anno 2015: benché verosimile, non può essere garantito che risultati analoghi possano essere ottenuti anche per anni precedenti o successivi.

## Algoritmi

I metodi di calcolo utilizzati dai programmi di calcolo di effemeridi solari sono due:

1. la teoria VSOP87 di P. Bretagnon e G. Francou [rif. 1]  
Questa teoria consiste in una lunga serie di termini periodici che consentono il calcolo delle coordinate eliocentriche di ogni pianeta da Mercurio a Nettuno (circa 2500 termini per la Terra); le coordinate eliocentriche della Terra forniscono se rovesciate le coordinate geocentriche del Sole. L'algoritmo è ben descritto nel libro *Astronomical Algorithms* [rif. 2].
2. i modelli DExxx sviluppati dal Jet Propulsion Laboratory [rif. 3 - 4]  
Questi modelli rappresentano le posizioni, velocità e accelerazioni dei corpi principali del sistema solare, calcolati ad intervalli costanti di tempo mediante integrazione numerica delle equazioni del moto. I dati vengono distribuiti nella forma di coefficienti numerici di polinomi di Chebyshev. Le cifre che seguono l'acronimo DE (Development Ephemeris) distinguono il modello in base all'anno di emissione, l'accuratezza, la durata temporale coperta ecc.

## I programmi

1. *Horizons* (versione 28 settembre 2012)

Questo programma utilizza il modello DE431. È stato sviluppato dal Solar System Dynamics Group del JPL (Jet Propulsion Laboratory) ed è in grado di fornire accurate effemeridi degli oggetti del sistema solare.

È unicamente disponibile tramite internet con interfaccia web, email o telnet. L'interfaccia web è disponibile all'indirizzo <http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>.

L'output del programma consiste in una tabella in formato html o in formato testo.

In questo articolo i risultati di *Horizons* sono stati considerati il riferimento assoluto con cui confrontare tutti gli altri dati, in quanto originati dallo stesso ente che sviluppa i modelli DExxx ovvero i modelli più precisi disponibili attualmente.

2. *Astronomical Almanac*<sup>1</sup>

È un almanacco pubblicato dal U. S. Naval Observatory (USNO). Universalmente considerato la risorsa fondamentale per ogni tipo di dato astronomico, l'almanacco contiene per la gran parte le effemeridi del sistema solare oltre ad un catalogo di stelle e di oggetti extragalattici selezionati. Utilizza il modello DE430.

Nel contesto di questo articolo è stato utilizzato come ulteriore elemento di verifica oltre a *Horizons* per i dati che è stato possibile estrarne: ascensione retta, declinazione ed equazione del tempo.

3. *Almanacco UAI*<sup>2</sup>

È un almanacco pubblicato dall'Unione Astrofili Italiani ed è disponibile per download dal sito UAI [rif. 5]. L'almanacco contiene principalmente le effemeridi del sistema solare (Sole, Luna, pianeti, asteroidi, meteore). Utilizza la teoria VSOP87.

Anche questi dati (ascensione retta, declinazione ed equazione del tempo) sono stati utilizzati nel contesto di questo articolo come ulteriore elemento di verifica.

---

<sup>1</sup> I dati provenienti dall'*Astronomical Almanac* sono stati gentilmente forniti ed opportunamente interpolati da Giuseppe De Donà.

<sup>2</sup> Anche questi dati sono stati gentilmente forniti da Giuseppe De Donà ma possono essere ottenuti per interpolazione sui dati pubblicati.

4. GEFFEM (versione 01/2003)

Questo programma, ben noto agli gnomonisti italiani e non solo, è stato scritto da Gianni Ferrari ed è scaricabile dall'indirizzo

[www.gnomonicaitaliana.it/public/prg/G\\_EFFEM.zip](http://www.gnomonicaitaliana.it/public/prg/G_EFFEM.zip).

Implementa la teoria VSOP87 ed utilizza gli algoritmi di J. Meeus [rif. 2].

Essendo stato sviluppato per MS DOS, a partire da Windows 7 non può più essere lanciato direttamente ma necessita di un ambiente di simulazione dedicato: macchina virtuale (ad es. VirtualBox) o emulatore DOS (ad es. DOSBox). L'interfaccia del programma è mostrata in fig. 1.

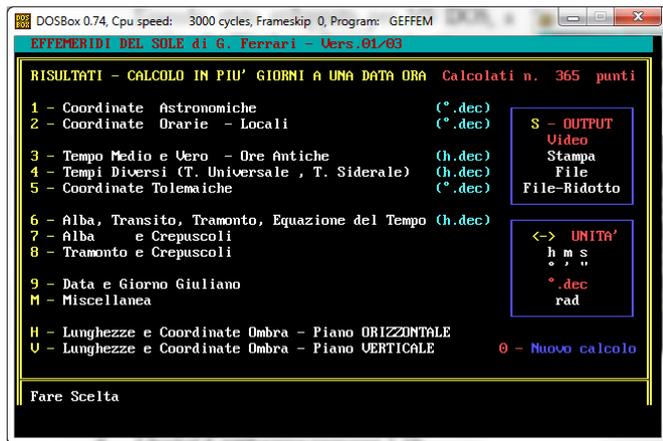


Fig. 1 - GEFFEM

Il programma permette di creare tabelle di effemeridi per passi temporali sia costanti (massimo 400) che arbitrari (massimo 20). Le date permesse sono comprese tra il 9999 A.C. ed il 9999 D.C.

5. The Dialist's Companion (versione 1.1b)

Scritto da Robert Terwilliger e Frederick Sawyer del North Atlantic Sundial Society (NASS), è come *GEFFEM* scritto per MS DOS e soffre quindi degli stessi problemi di compatibilità.

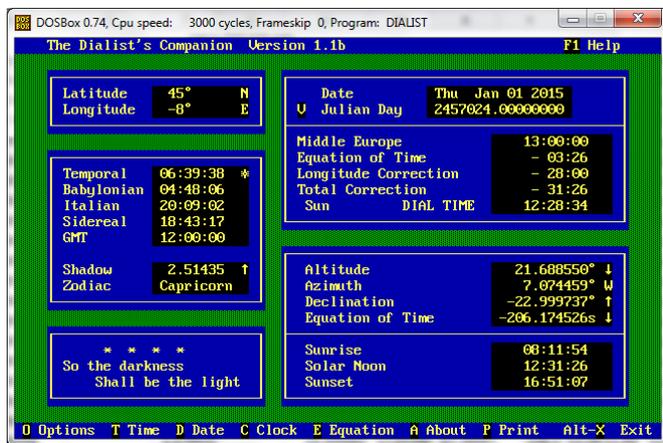


Fig. 2 – The Dialist's Companion

Non è più distribuito dalla NASS ma può essere richiesto all'autore di questo articolo.

Il programma utilizza la teoria VSOP87 ed implementa gli algoritmi descritti in [rif. 2].

L'interfaccia del programma è mostrata in fig. 2. Il dato temporale può essere compreso tra l'anno 1 e l'anno 2999.

Il programma può essere usato in *run mode* nel qual caso la data è la stessa impostata nel sistema operativo e l'ora si aggiorna in tempo reale insieme a tutti i dati delle effemeridi.

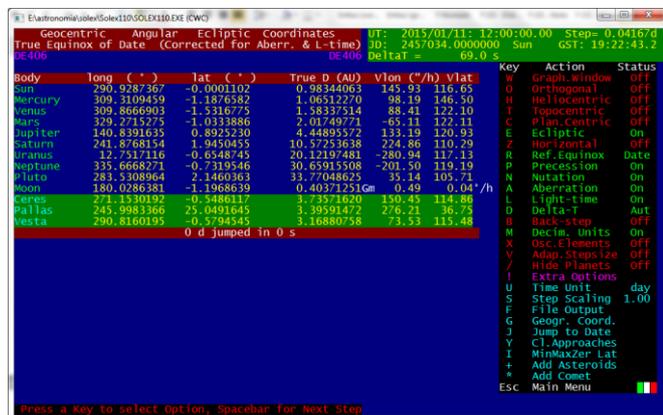


Fig. 3 - Solex

6. Solex 11.0 Light (revisione 05, 15/10/2010)

Questo programma è stato sviluppato da Aldo Vitagliano ed utilizza i modelli DE406 oppure DE421.

Il programma può essere scaricato dal sito [www.soleorb.it/](http://www.soleorb.it/) dove è disponibile anche una versione 12.0 beta.

L'interfaccia è in stile DOS (fig. 3) ma il programma è perfettamente compatibile con Windows 7 (e presumibilmente anche con versioni successive).

L'impostazione dell'ora del calcolo non è particolarmente facile e richiede un po' di pratica.

7. Stellarium (versione 0.14.1β 64 bit)

Scaricabile dal sito ufficiale [www.stellarium.org/it/](http://www.stellarium.org/it/).

È un software planetario open source molto amato dagli astrofili perché comprende una interfaccia grafica molto accattivante e realistica che rappresenta qualunque settore del cielo in qualunque istante e da qualunque località.

Il clock si evolve in tempo reale o alla velocità desiderata o ancora può essere bloccato per impostare data/ora voluti.

Cliccando su un oggetto celeste, come ad esempio il Sole, compare sullo schermo la relativa lista di effemeridi.



Fig. 4 - Stellarium

8. AlmSun - Astronomical compedium (versione 4.63m 845)

Questo programma del polacco Rafal Tomasik non è freeware ma richiede il pagamento di un piccolo obolo di 19 dollari, tutto sommato accettabile per le funzionalità che offre.

Il programma utilizza i modelli DE431 o DE406 a scelta dell'utente.

Alla pagina <http://almsun.pl/en/> vi è una ampia descrizione delle sue numerose funzionalità e si trovano le istruzioni per l'acquisto.

L'interfaccia del programma, pienamente compatibile con Windows, è mostrata in fig. 5.

È possibile visualizzare in forma grafica molte delle grandezze calcolate. Interessanti le funzioni originali

$$time = f(b) \qquad time = f(a) \qquad time = f(b, a)$$

che calcolano l'istante temporale in cui il Sole raggiunge l'azimut  $a$  e/o l'altezza  $b$ .

Il comando "Ephemeris" consente di ottenere una tabella con i valori di effemeridi desiderati calcolati ad intervalli di tempo prefissati.

*AlmSun* non è dedicato esclusivamente al Sole ma fornisce informazioni anche sui pianeti del sistema solare, stelle, asteroidi e comete.

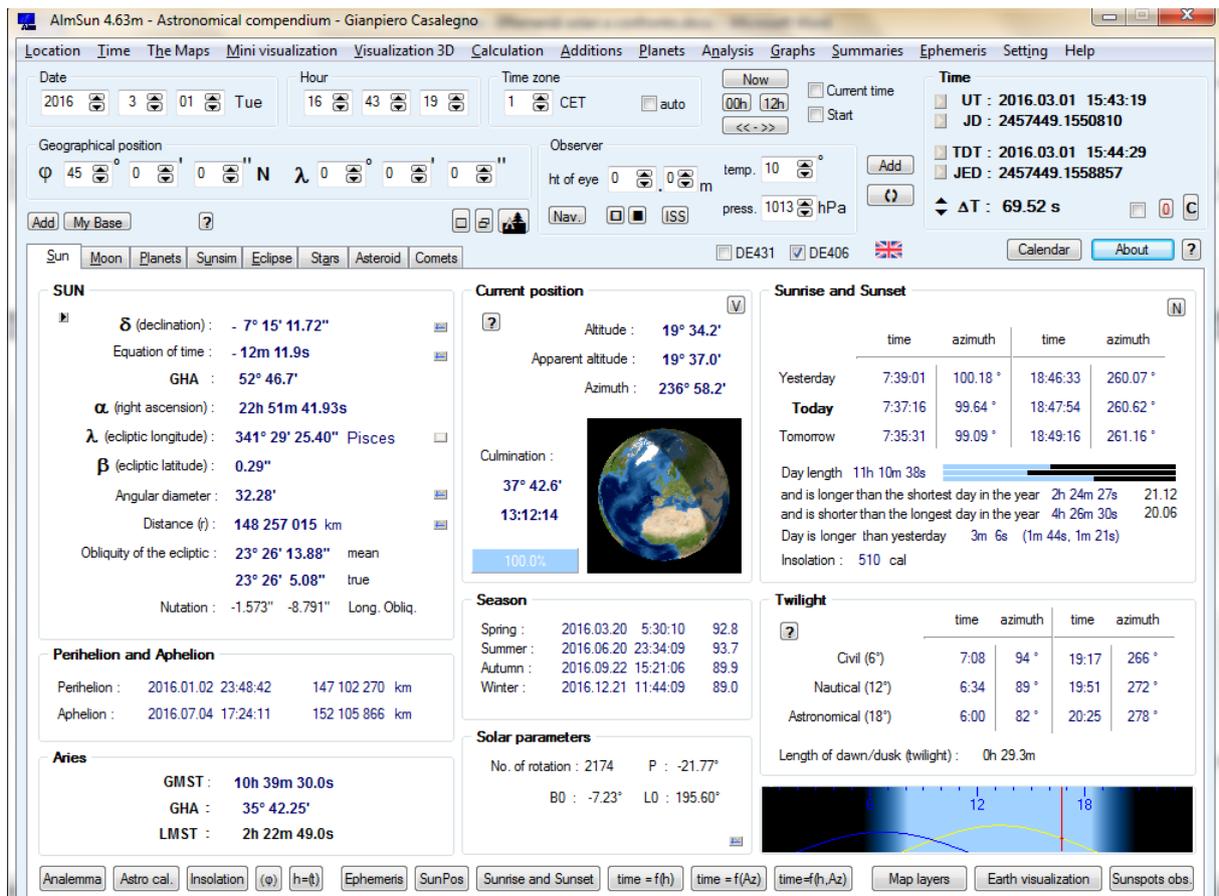


Fig. 5 - *AlmSun*

9. *Sun Ephemeris* (versione 1.0)

Questo programma è stato scritto dall'autore per rendere accessibili su PC i dati che già vengono forniti dalla sua app per Android *Sol Et Umbra* (ed in parte anche dal programma *Orologi Solari*) e soprattutto per consentire il calcolo di tabelle intere di dati.

Il programma, che implementa la teoria VSOP87, può essere scaricato gratuitamente dal sito dell'autore [www.sundials.eu](http://www.sundials.eu).

La fig. 6 mostra l'interfaccia principale del programma che è sviluppato in modo nativo per l'ambiente Windows. Qui vengono introdotti i dati di input per i quali ottenere le effemeridi solari, tra questi la data che copre il periodo che va dal 1/1/1900 al 1/1/3000<sup>3</sup>. Da notare tra i valori calcolati i tempi delle preghiere islamiche e della direzione della Mecca, parametri insoliti ma utili per alcuni tipi di orologi solari.

Il comando "Calcola" → "Tabella" permette di calcolare e salvare in vari modi una tabella con i valori di effemeridi desiderati nel range temporale impostato ad istanti equispaziati.

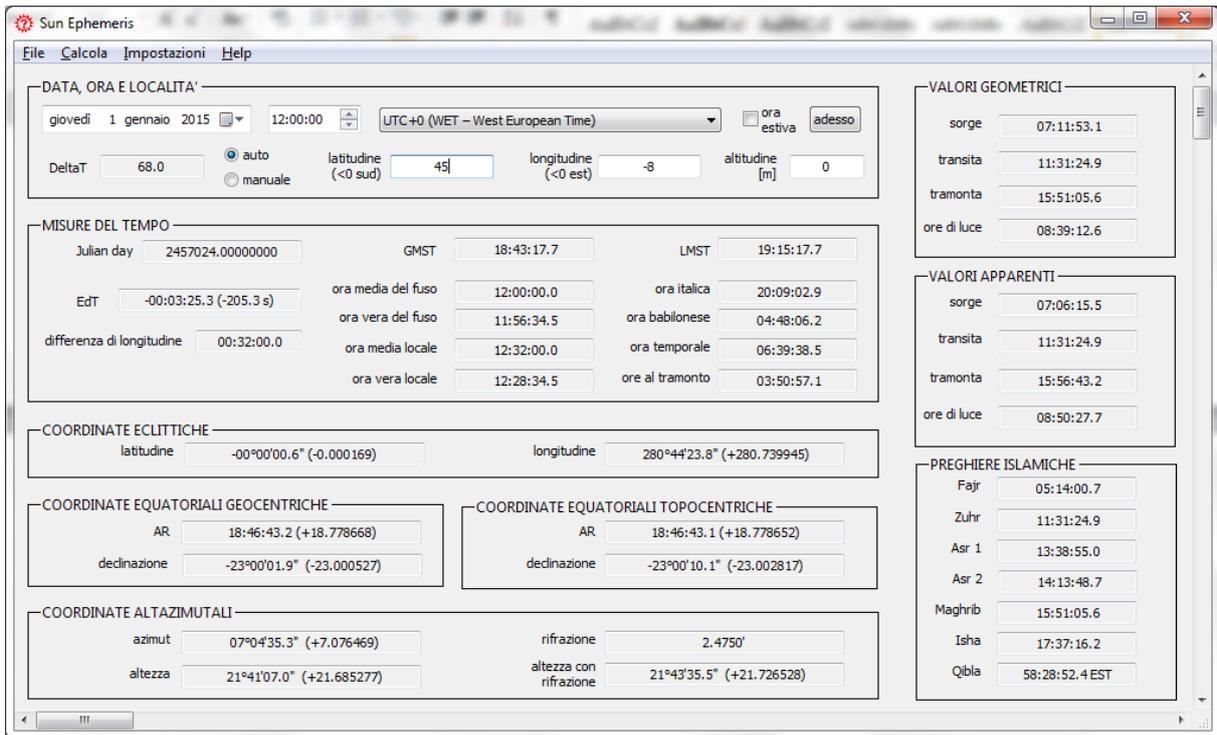


Fig. 6 – Sun Ephemeris

## Il confronto

Il confronto è stato realizzato calcolando i parametri solari ritenuti più importanti in gnomonica, ovvero:

- longitudine eclittica apparente
- ascensione retta geocentrica
- declinazione geocentrica
- azimut
- altezza
- equazione del tempo

alle ore 12 di UT<sup>4</sup> nei giorni 1, 11, 21 di ogni mese dell'anno 2015. I parametri topocentrici (azimut ed altezza) sono stati valutati per coordinate geografiche 45° nord e 8° est. La rifrazione atmosferica non è stata presa in considerazione. I risultati sono stati quindi confrontati con quelli ottenuti dal programma *Horizons* e gli errori risultanti sono stati messi in una serie di grafici che permettono di avere una visione generale delle prestazioni di ogni programma.

<sup>3</sup> La limitazione al 1/1/1900 potrebbe in futuro essere superata in quanto non è dovuta al programma in sé, che potrebbe in realtà accettare qualunque data, quanto alle librerie che forniscono il controllo per la selezione della data.

<sup>4</sup> Per quanto riguarda altri aspetti relativi all'istante del calcolo, si rimanda all'appendice "Sulle scale temporali utilizzate" al termine di questo articolo.

La tabella 1 illustra per ogni programma/almanacco l'acronimo utilizzato nei grafici ed i dati che è stato possibile utilizzare nei confronti.

<i>sorgente dei dati</i>	<i>acronimo</i>	<i>longitudine</i>	<i>AR</i>	<i>declinazione</i>	<i>azimut</i>	<i>altezza</i>	<i>EdT</i>
<i>Astronomical Almanac</i>	<i>AA</i>		✓	✓			✓
<i>Almanacco UAI</i>	<i>AU</i>		✓	✓			✓
<i>Geffem</i>	<i>GF</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>The Dialist's Companion</i>	<i>DC</i>			✓	✓	✓	✓
<i>Solex</i>	<i>SO</i>	✓	✓	✓	✓	✓	
<i>Stellarium</i>	<i>ST</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>AlmSun</i>	<i>AS</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Sun Ephemeris</i>	<i>SE</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tab. 1 – Elenco dei dati disponibili

### 1. Longitudine eclittica apparente

La longitudine solare è il parametro che in gnomonica stabilisce l'ingresso del Sole nei vari segni zodiacali, ognuno ampio 30°, ed è quindi indispensabile per valutare la correttezza delle linee diurne in un quadrante.

I grafici di fig. 7 e 8 mostrano su scale diverse gli errori ottenuti.

Tutti i programmi mostrano un errore inferiore al secondo d'arco con l'eccezione di *Stellarium* che presenta un errore superiore ai 20 secondi. In particolare *Solex*, *AlmSun* e *Sun Ephemeris* sono praticamente coincidenti.

Si noti che un secondo d'arco di longitudine corrisponde a quasi 25 secondi di tempo: un errore di 20 secondi d'arco comporta quindi un errore di circa 8 minuti nel calcolo dell'istante di un equinozio o di un solstizio !

### 2. Ascensione retta geocentrica

L'ascensione retta è stata inserita nel confronto per completezza anche se viene generalmente poco usata in ambito gnomonico.

I due grafici di fig. 9 e 10 mostrano il risultato (espresso in secondi d'arco benché l'ascensione retta sia comunemente misurata in ore, minuti e secondi) ancora con due scale verticali diverse.

Di nuovo l'errore è contenuto in circa un secondo d'arco eccetto che per *Stellarium*.

### 3. Declinazione geocentrica

La declinazione solare è un altro parametro fondamentale in gnomonica.

Il risultato del confronto è mostrato nelle fig. 11 e 12.

L'errore risultante è inferiore al mezzo secondo d'arco eccetto che per *Stellarium* (quasi 10 secondi) e *The Dialist's Companion* (oltre 20 secondi).

Si noti la coincidenza dei risultati di *Astronomical Almanac*, *Solex*, *AlmSun* e *Sun Ephemeris*.

4. Azimut

Con l'azimut si passa ai parametri topocentrici.

Il risultato del confronto è mostrato nelle fig. 13 e 14.

L'errore arriva a oltre 40 secondi d'arco per *The Dialist's Companion* e per *Stellarium* mentre resta entro i 4 secondi per tutti gli altri programmi.

*Sun Ephemeris* in particolare si distingue con un errore massimo di circa 0.5 secondi.

5. Altezza

Il risultato del confronto è mostrato nelle fig. 15 e 16.

A parte *The Dialist's Companion* con oltre 30 secondi d'arco, per tutti gli altri programmi l'errore è contenuto entro i 10 secondi.

In particolare *Geffem* e *Sun Ephemeris* presentano un errore massimo di circa 0.5 secondi.

6. Equazione del tempo

Il risultato è mostrato nelle fig. 17 e 18.

Come si vede tutti i programmi eccetto *Stellarium* e *Dialist's Companion* forniscono un risultato quasi coincidente con un errore massimo di 0.15 secondi.

### Conclusioni

I risultati ottenuti permettono di affermare che per un uso generico gli strumenti di calcolo esaminati sono tutti altrettanto validi, fatta eccezione per il calcolo della longitudine eclittica dove l'errore di *Stellarium* è un po' troppo elevato.

Quando però si dovesse richiedere una precisione maggiore, ad es. nel caso di orologi solari monumentali e meridiane, allora *Stellarium* e *The Dialist's Companion* sarebbero a parere dell'autore da scartare.



Fig. 7 – Errore di longitudine eclittica

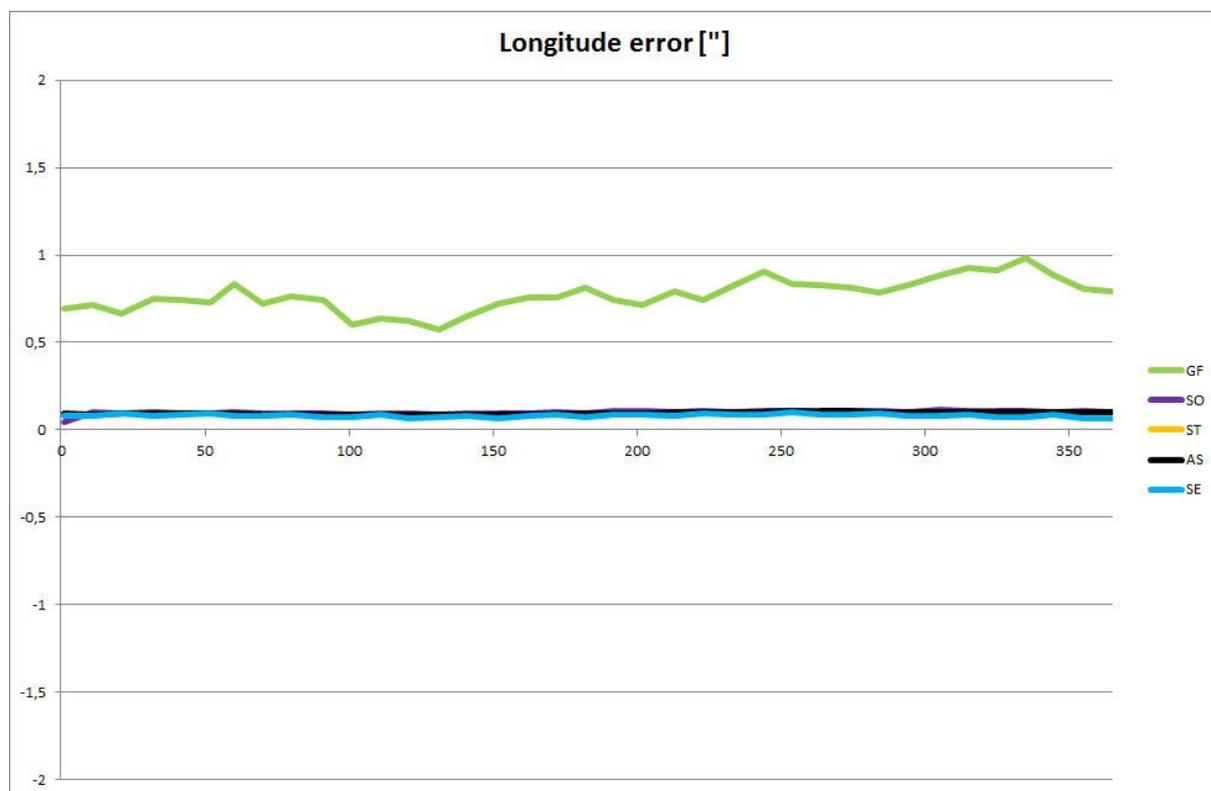


Fig. 8 – Errore di longitudine eclittica (ingrandimento)

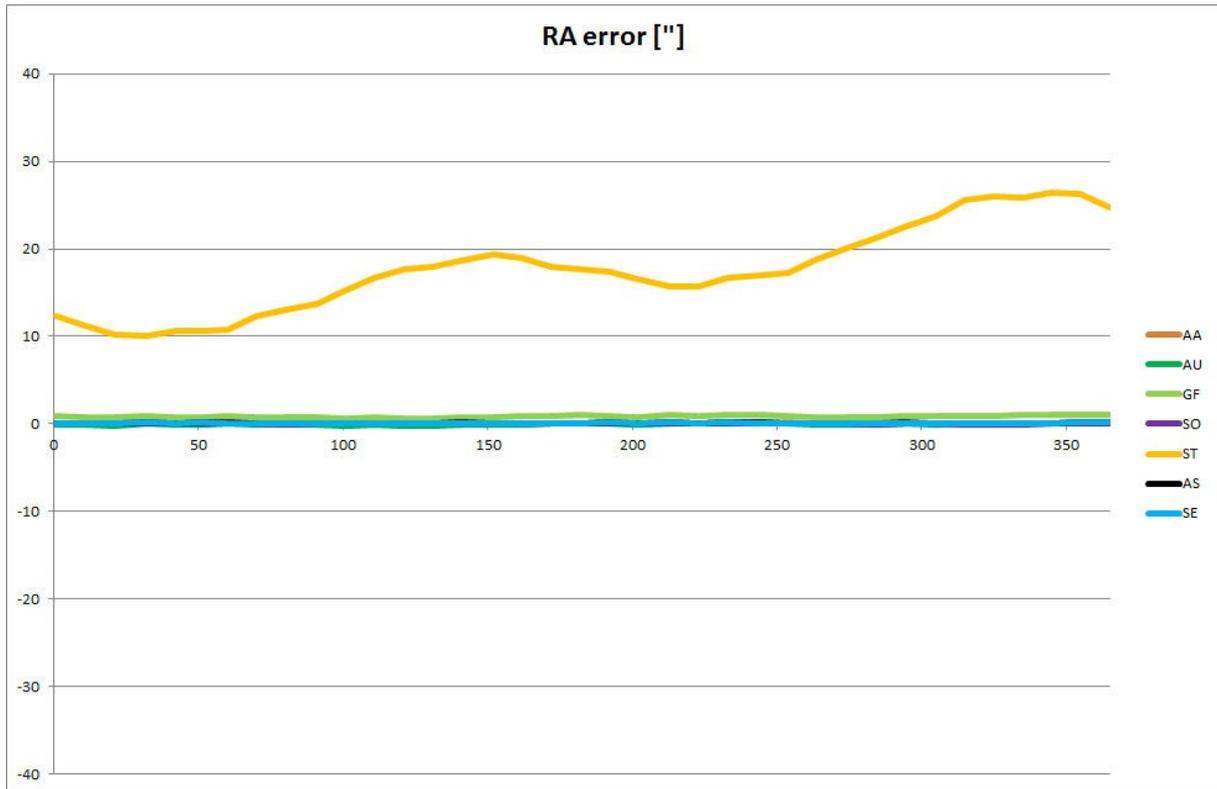


Fig. 9 – Errore di ascensione retta



Fig. 10 – Errore di ascensione retta (ingrandimento)

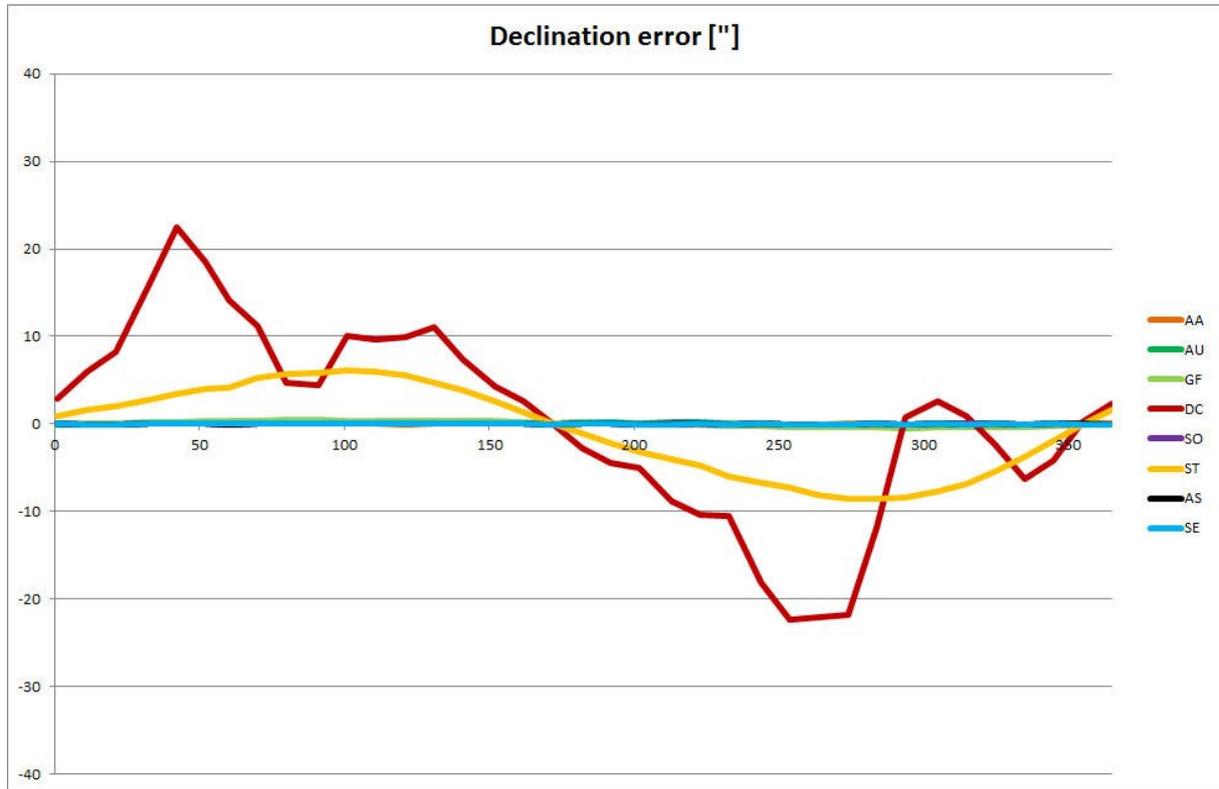


Fig. 11 – Errore di declinazione

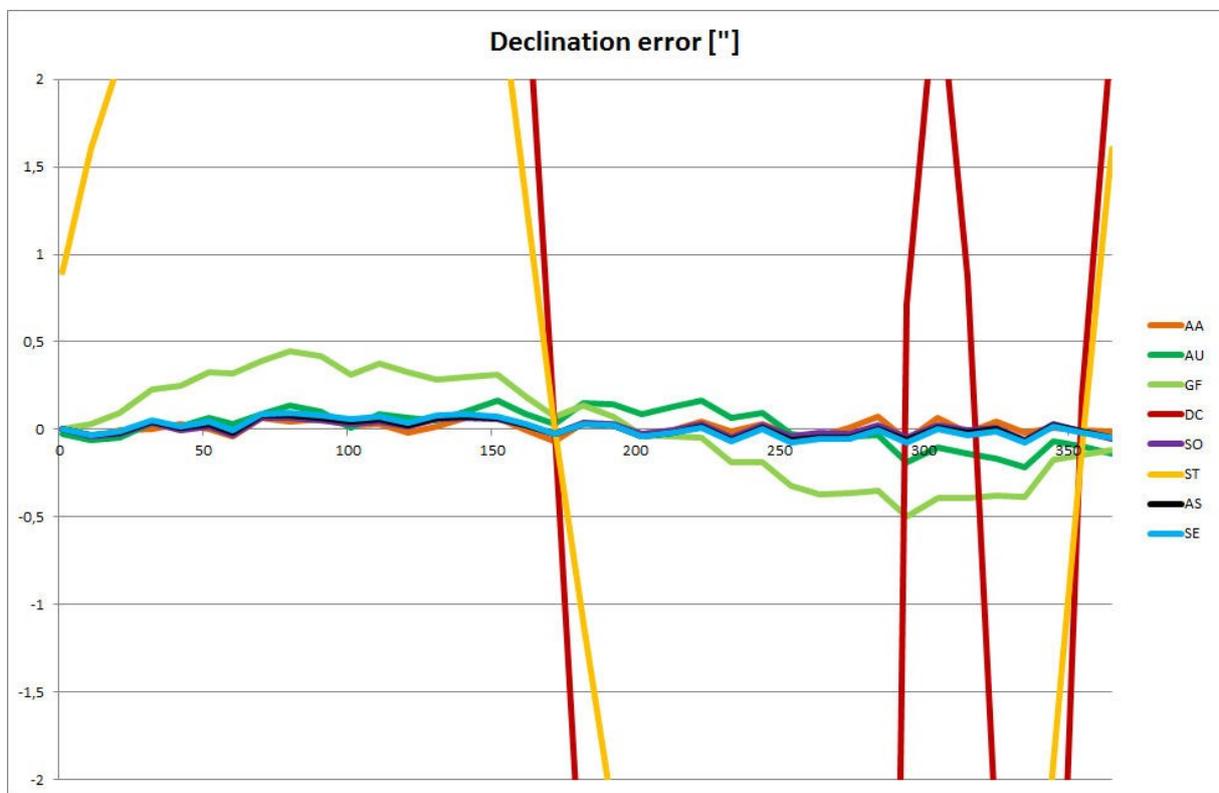


Fig. 12 - Errore di declinazione (ingrandimento)

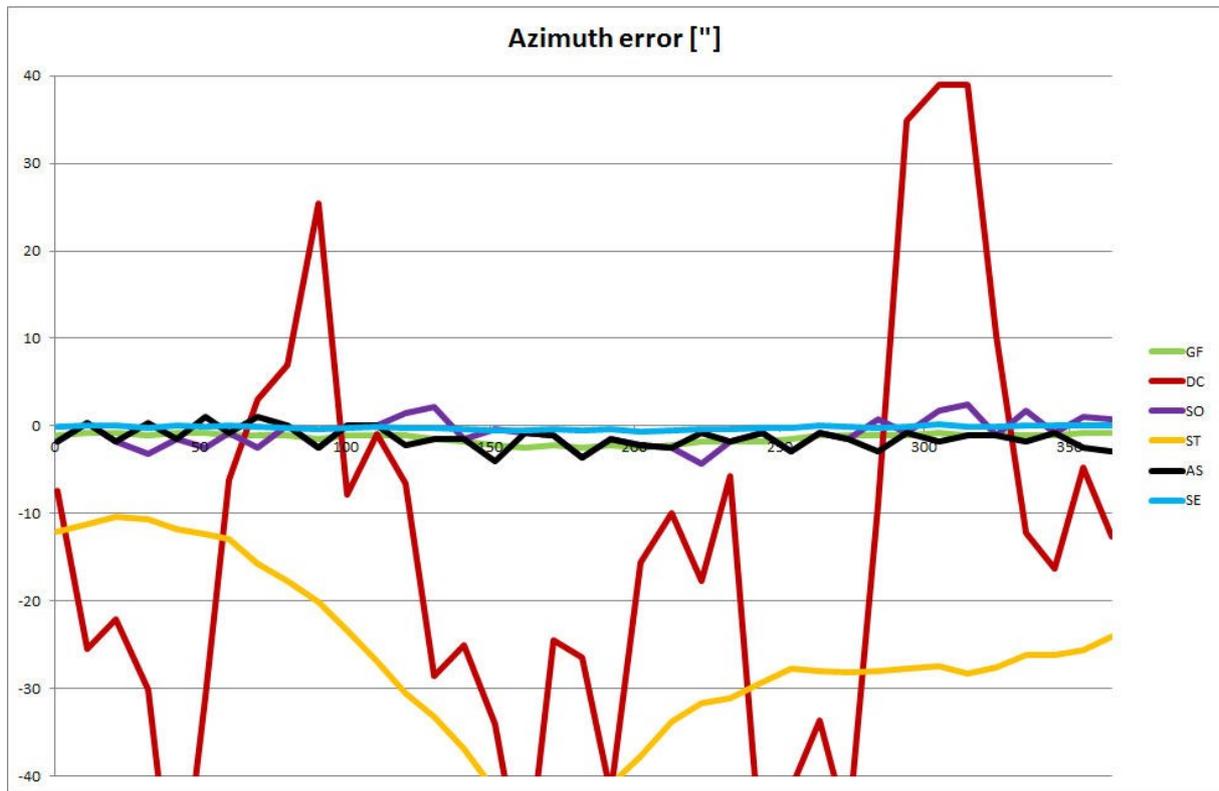


Fig. 13 - Errore di azimut

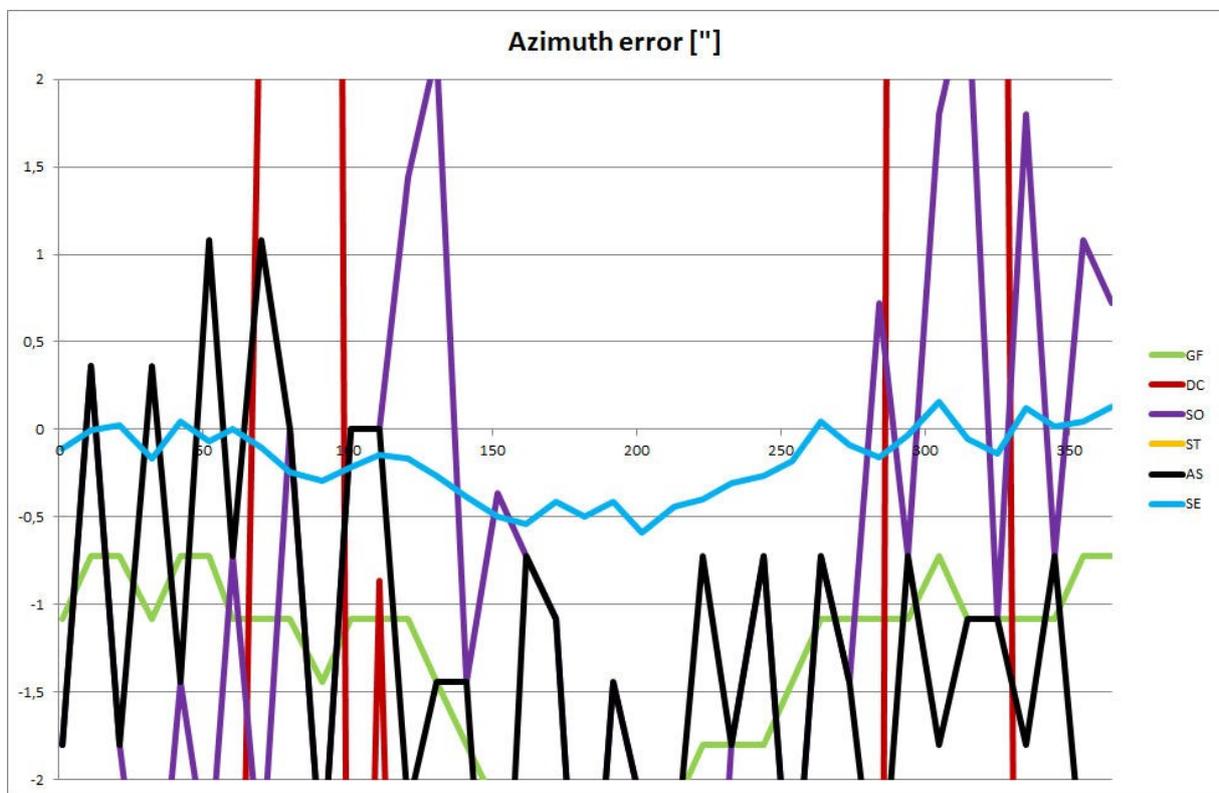


Fig. 14 - Errore di azimut (ingrandimento)

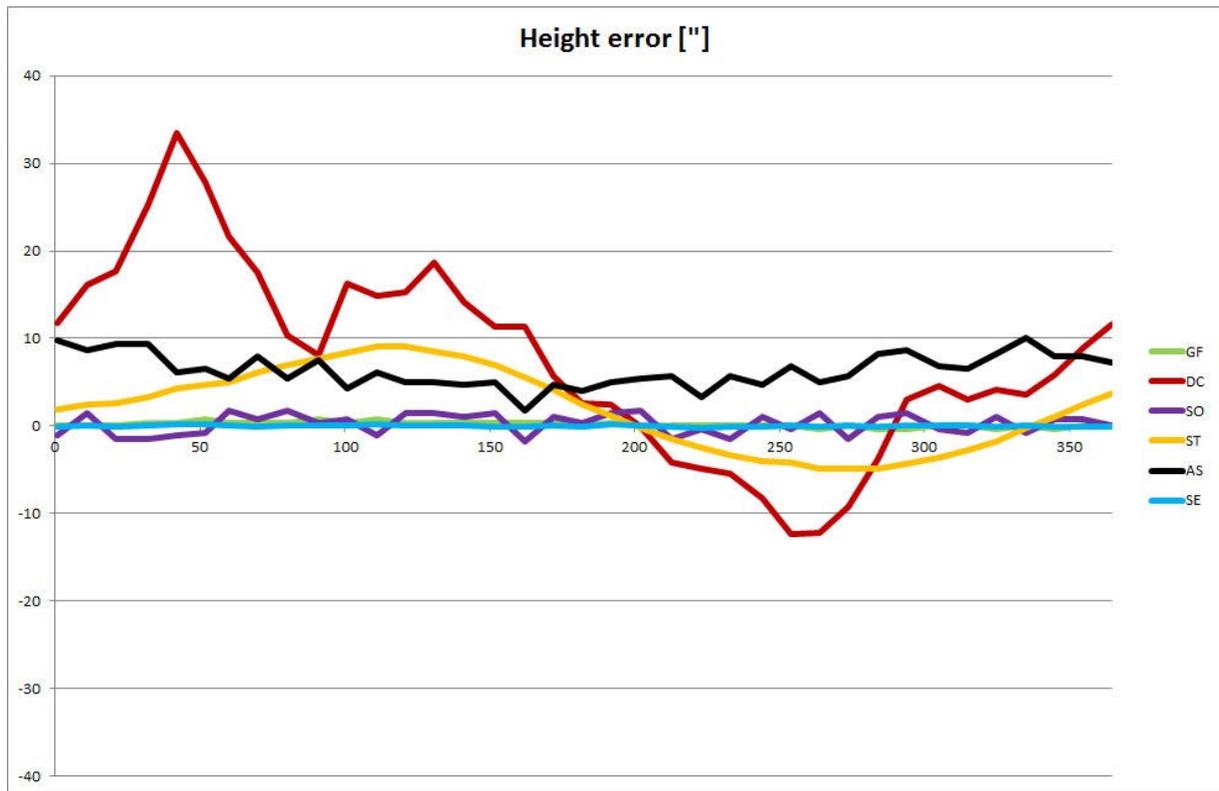


Fig. 15 - Errore di altezza

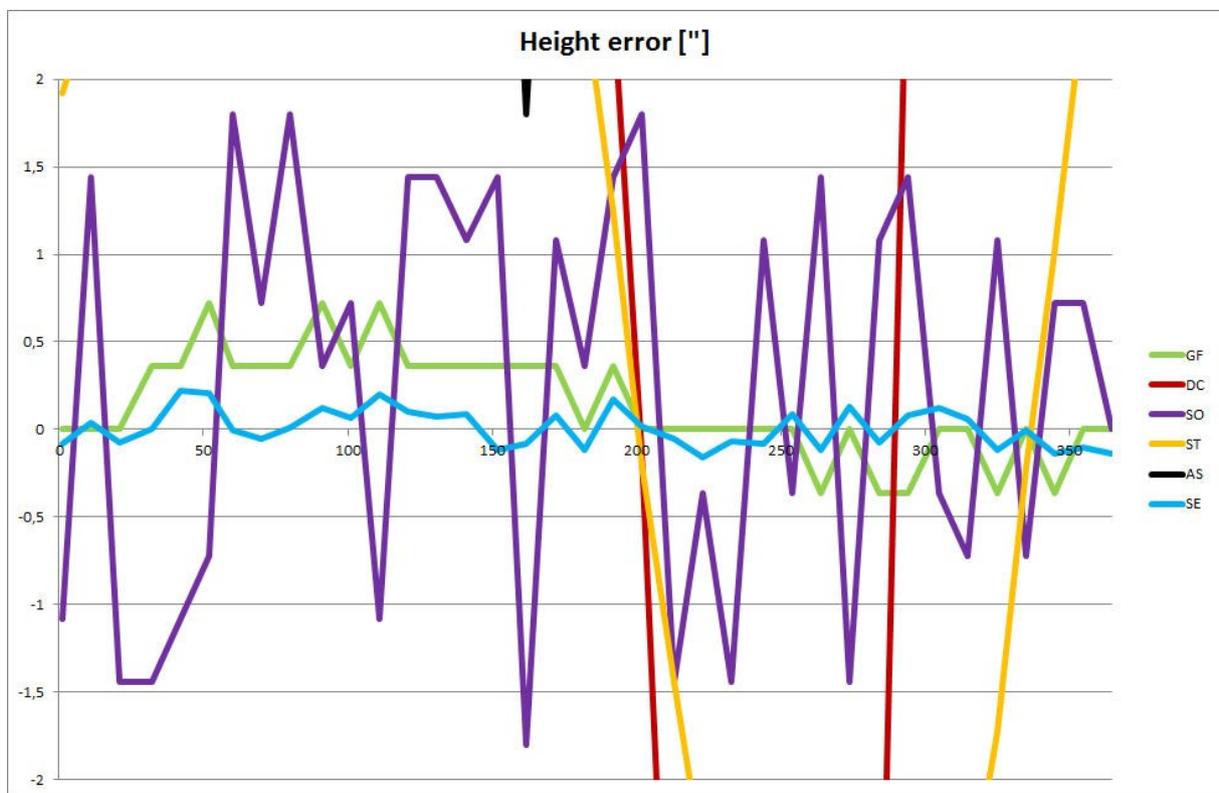


Fig. 16 - Errore di altezza (ingrandimento)

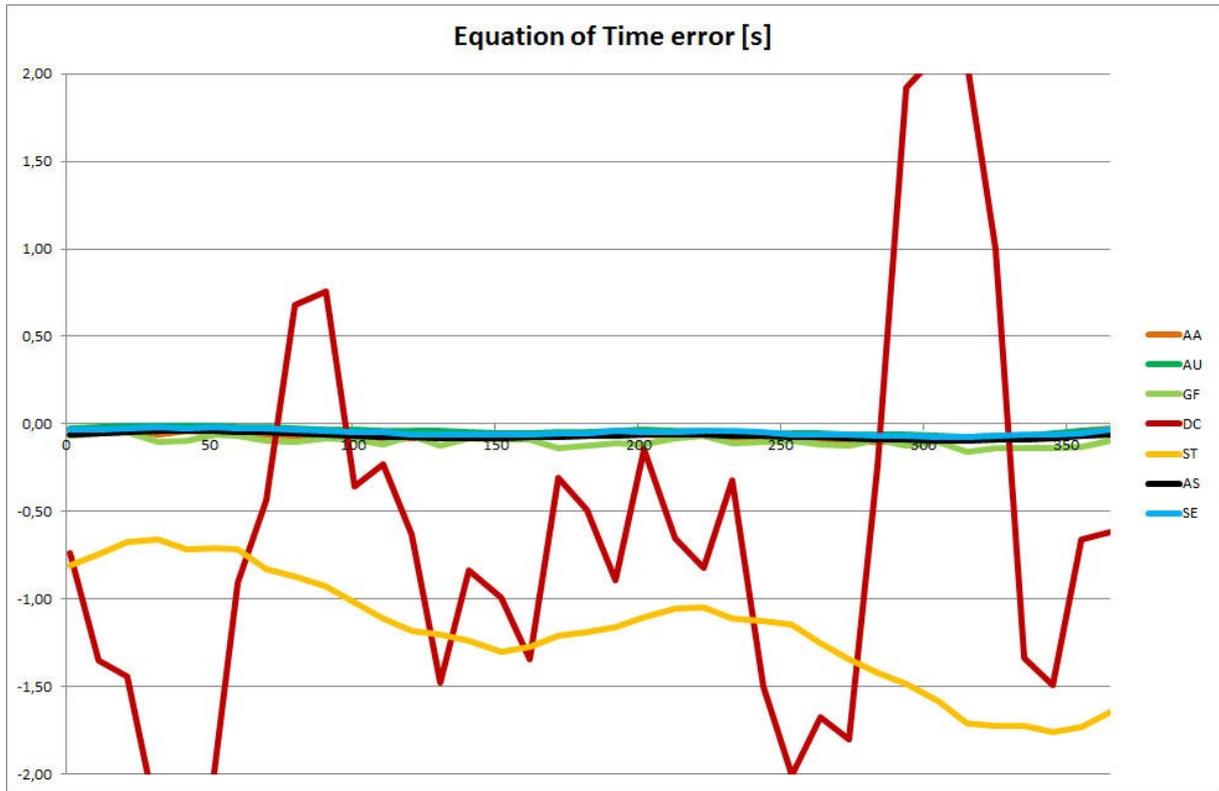


Fig. 17 – Equazione del tempo

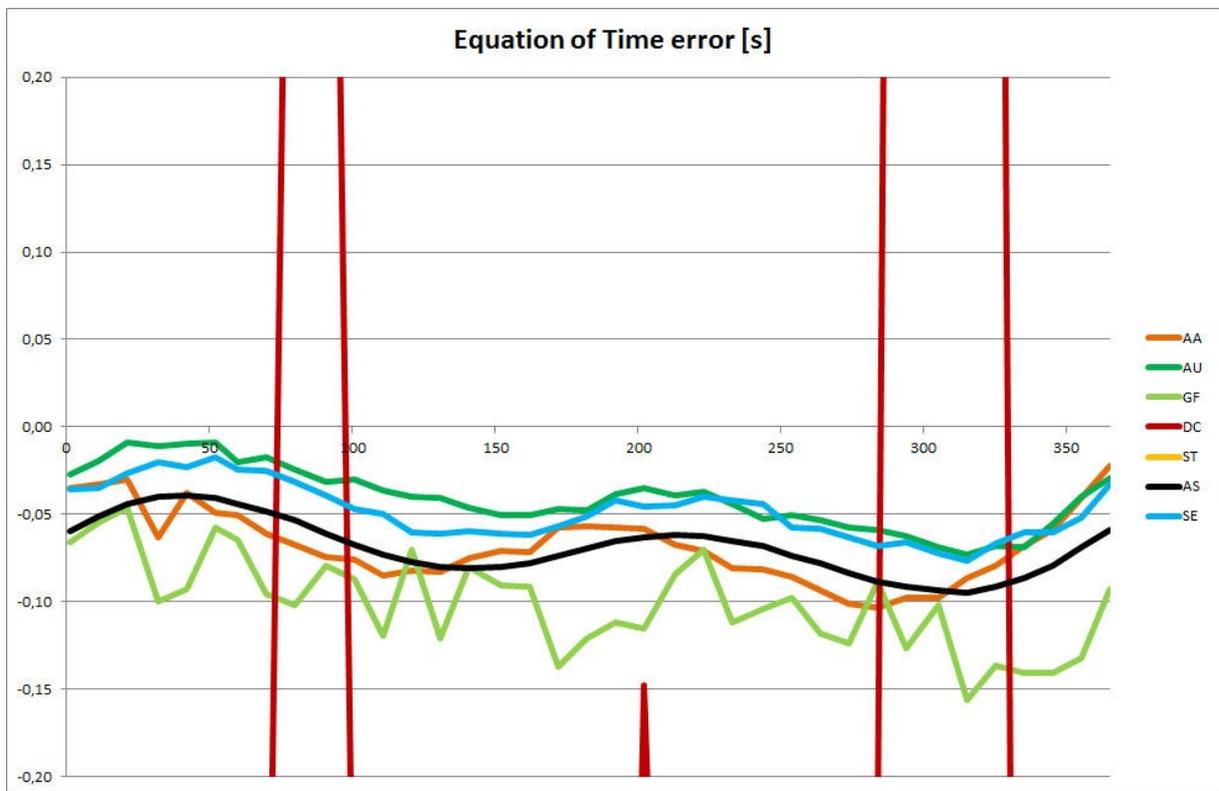


Fig. 18 – Equazione del tempo (ingrandimento)

## Appendice

### Sulle scale temporali utilizzate

Può essere utile un breve cenno alle scale temporali in uso in astronomia ed in particolare a quelle utilizzate per i calcoli citati in questo articolo.

Come è noto, il periodo di rotazione della terra, che ha storicamente originato il nostro sistema orario di 24 ore, non è costante nel tempo e tende a rallentare a causa principalmente dell'attrito delle maree.

I calcoli astronomici necessitano invece di un sistema orario costante e preciso: questo è stato fino al 1967 il Tempo delle Effemeridi (**ET**), sostituito nel 1984 dal Tempo Dinamico Terrestre (**TDT**) e nel 2001 dal Tempo Terrestre (**TT**).

Il Tempo Terrestre è uguale al Tempo Atomico Internazionale (**TAI**), risultato della media di circa 200 orologi atomici dislocati in circa 50 laboratori in tutto il mondo, a meno di una differenza costante di 32.184 secondi.

L'orologio legato alla rotazione terrestre è denominato Tempo Universale (**UT**) (di cui esistono varie definizioni ma la cui differenza resta sempre inferiore a circa 0.03 secondi) ed è legato a **TT** da una grandezza che varia nel tempo e che è denominata  $\Delta T = TT - UT$ .

Il valore esatto di  $\Delta T$  può essere noto solamente a posteriori ed è misurato e distribuito dall'ente *IERS* (*International Earth Rotation and Reference Systems Service*); per il futuro è solamente possibile effettuarne delle stime estrapolando l'andamento attuale.

Nella normale vita civile si ha però la necessità di un orologio che rimanga legato alla rotazione della terra (per evitare nel tempo grossi scostamenti tra ora misurata e posizione del Sole nel cielo) ma che contemporaneamente sia anche costante nel tempo (per evitare di dover regolare continuamente gli orologi per adeguarli al rallentamento terrestre).

Questa apparentemente inconciliabile esigenza è soddisfatta dal Tempo Universale Coordinato (**UTC**).

**UTC** è uguale al **TAI** a meno di un numero intero di secondi: quando si rende necessario, a **UTC** viene aggiunto o tolto un cosiddetto *secondo intercalare* (*leap second*) in modo tale che la differenza tra **UT** e **UTC** (denominata  $\Delta UT$ ) si mantenga inferiore a 0.9 secondi<sup>5</sup>.

La fig. 19 illustra l'andamento di  $\Delta T$  e  $\Delta UT$  negli anni 1973 - 2010.

I programmi esaminati in questo articolo richiedono che il dato temporale sia espresso nel sistema **UT**, con la sola eccezione di *Horizons* che prevede invece come input un istante in **UTC**. Al fine di poter confrontare correttamente i risultati ottenuti è stato quindi necessario calcolare il valore di **UTC** in corrispondenza delle ore 12 di **UT** di ogni data considerata nel confronto.

A tale scopo sono stati utilizzati i *Bulletin B 324 - 336* emessi dallo *IERS* [rif. 6].

Per un approfondimento sulle scale temporali in uso oggi e nel passato, consultare le pagine di [rif. 7] e [rif. 8].

---

<sup>5</sup> L'ultimo secondo intercalare è stato introdotto il 30 giugno 2015.

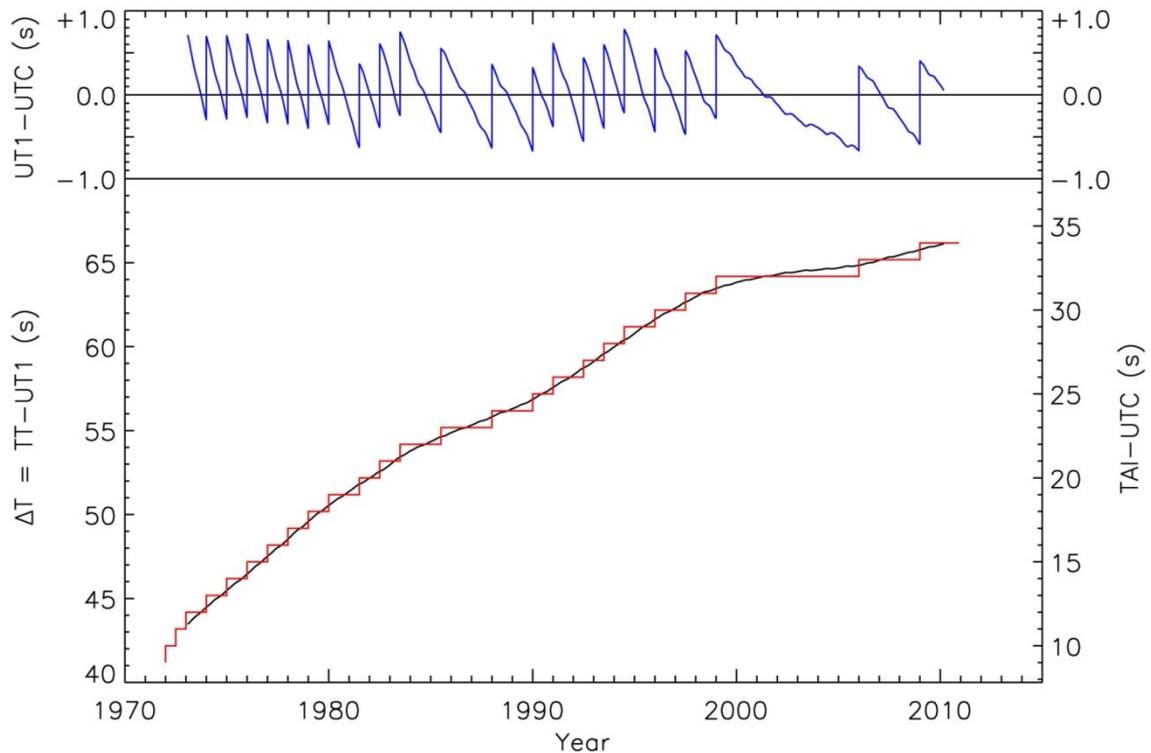


Fig. 19 – Valori di  $\Delta T = TT-UT$  (curva nera), differenza tra TAI e UTC (curva rossa) e valori di  $\Delta UT = UT-UTC$  (curva blu) dal 1973 al 2010  
(estratto da "Delta T: Terrestrial Time, Universal Time and Algorithms for Historical Periods" [www.staff.science.uu.nl/~gent0113/deltat/deltat.htm](http://www.staff.science.uu.nl/~gent0113/deltat/deltat.htm))

## Riferimenti

- [1] P. Bretagnon e G. Francou, "Planetary theories in rectangular and spherical variables. VSOP87 solutions", Astronomy and Astrophysics 202, pag. 309-315, 1988
- [2] Jean Meeus, "Astronomical algorithms", Willmann-Bell Inc., Richmond, Virginia, Second Edition, 1998
- [3] Wikipedia, "Jet Propulsion Laboratory Development Ephemeris", [https://en.wikipedia.org/wiki/Jet\\_Propulsion\\_Laboratory\\_Development\\_Ephemeris](https://en.wikipedia.org/wiki/Jet_Propulsion_Laboratory_Development_Ephemeris)
- [4] "JPL Planetary and Lunar Ephemerides", [http://ssd.jpl.nasa.gov/?planet\\_eph\\_export](http://ssd.jpl.nasa.gov/?planet_eph_export)
- [5] "UAI – Unione Astrofili Italiani", [www.uai.it/](http://www.uai.it/)
- [6] "IERS – Earth orientation data", [www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/EarthOrientationData/eop.html](http://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/EarthOrientationData/eop.html)
- [7] Paul Schlyter, "Timescales", <http://stjarnhimlen.se/comp/time.html>
- [8] Steve Allen, "Time Scales", [www.ucolick.org/~sla/leapsecs/timescales.html](http://www.ucolick.org/~sla/leapsecs/timescales.html)

Nel sito di Orologi Solari [www.orelogisolari.eu](http://www.orelogisolari.eu) nella sezione "bonus" del numero corrente è possibile scaricare il file Excel contenente tutti i dati ed i grafici del confronto. E' possibile scaricare inoltre la versione in lingua inglese dell'articolo.