

Errori nelle misure GPS

R. Cefalo

Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Università di Trieste

Tipologie di errori

I principali **errori** nelle misure GPS possono essere suddivisi nei seguenti gruppi:

1) Errori legati ai satelliti

- errori di orologio
- errori di posizione dei satelliti
- errori legati alla geometria dei satelliti

2) Errori legati alla propagazione del segnale in atmosfera

- errore ionosferico
- errore troposferico

Tipologie di errori

3) Errori legati alla strumentazione a terra

Antenne:

- errore legato all'instabilità del centro di fase
- errore legato all'eccentricità del centro di fase

Ricevitori:

- errore di orologio del ricevitore
- errore intrinseco di misura
- errore legato all'intervallo di filtraggio delle osservazioni

Tipologie di errori

- 4) Errori indotti dalle condizioni ambientali:
 - multipaths

Effetti degli errori nelle misure pseudorange stand-alone

FONTE DI ERRORE	Errore (m)
Errore di orologio satellite	3.00
Errore di effemeridi	2.50
Errore ionosferico	10.00
Errore troposferico	1.00
Rumore del ricevitore	1.25
Multipath	variabile
UERE (total User Equivalent Range Error)	10.90
HDOP 1.5, VDOP 2.5	
Precisione orizzontale	16.35
Precisione verticale	27.25
Precisione 3D	31.78 ⁴

Tab. 2.1 Precisioni delle misure Pseudorange

⁴ Ipotizzando un errore di multipath pari ad 1 m (in realtà tale errore ha valori anche molto più elevati, raggiungendo, su superficie ghiacciata, anche i 50 m).

Posizionamento del singolo punto GPS (precisione 1σ)

- C/A code (SPS)	10 m
- P (Y) code (PPS)	5 m

Tab. 2.2

Errori di orologio

Da un punto di vista teorico, un orologio perfetto è costituito da un oscillatore avente frequenza costante e da un contatore che conteggia il numero di cicli.

Gli oscillatori impiegati per generare i segnali e per misurare il tempo nei satelliti e nei ricevitori dovrebbero quindi possedere due requisiti:

- la stabilità nel tempo;
- il sincronismo rispetto al tempo GPS;

- tali condizioni non sono indipendenti dal momento che, ipotizzando di aver sincronizzato tutti gli oscillatori ad una certa epoca, la sincronizzazione può mantenersi solo se è garantita una adeguata stabilità, ovvero se le loro frequenze rimangono sufficientemente costanti nel tempo.

- Dal punto di vista pratico, però, non è possibile realizzare una sincronizzazione perfetta e comunque non potrebbe essere conservata poiché non esistono oscillatori a frequenza costante, ma solo oscillatori molto stabili.
- L'impossibilità di soddisfare i requisiti sopra esposti causa gli **errori di orologio**.

- In genere gli errori di sincronizzazione più elevati si verificano tra i satelliti ed un ricevitore oppure tra ricevitori diversi, anche se della stessa casa.
- I difetti di sincronizzazione tra satelliti sono piuttosto contenuti essendo essi dotati di quattro oscillatori molto stabili (rubidio/cesio/idrogeno).

- Nella soluzione alle differenze seconde gli asincronismi con e tra gli orologi dei satelliti vengono eliminati, mentre
- nelle correzioni DGPS trasmesse in RTCM, essi sono inclusi in tutti gli altri errori.

Errori di posizione dei satelliti

- Le informazioni sulla posizione dei satelliti sono trasmesse al ricevitore mediante un messaggio navigazionale pseudocasuale (codice D) con frequenza 50 Hz.
- Tale messaggio contiene oltre ad informazioni relative ai parametri di correzione dell'orologio, all'almanacco ed allo stato di salute dei satelliti, le effemeridi degli stessi in ricezione espresse in forma di parametri kepleriani la cui validità è limitata nel tempo.

- Tali effemeridi, chiamate effemeridi predette, vengono calcolate compensando ai minimi quadrati i dati relativi alla settimana precedente ed utilizzando anche i dati relativi alle 12-24 ore precedenti.

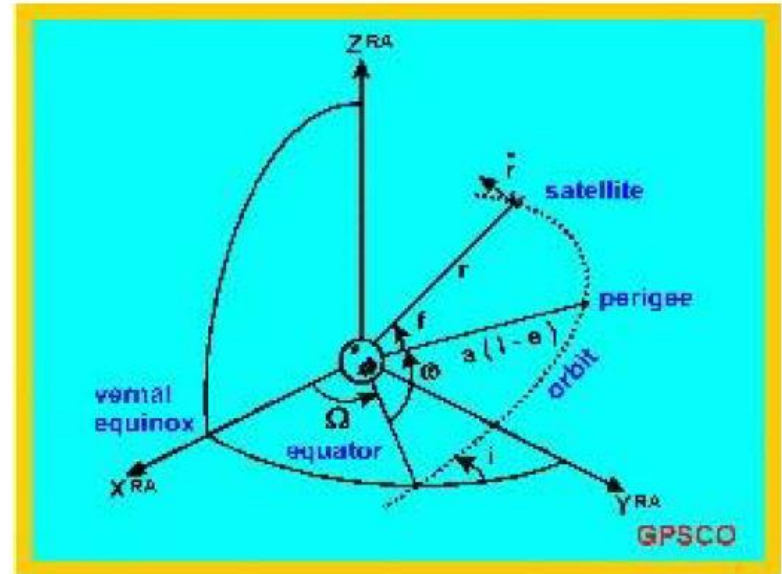


Fig. 2.1 I parametri orbitali dei satelliti GPS⁵

Effemeridi precise

- Una precisione maggiore sulla posizione dei satelliti viene fornita dalle effemeridi precise che vengono calcolate presso le stazioni di monitoraggio del segmento di controllo in base ai dati effettivi registrati; in questo caso si ottengono delle orbite interpolate e non estrapolate, con una precisione di $5 \div 10$ metri.

SPS e PPS

- Attualmente esistono due tipi di servizio a disposizione degli utenti:
- Precise Positioning Service (PPS) ad uso degli utenti autorizzati e
- Standard Positioning Service (SPS) per usi civili.

Quest'ultimo era stato progettato per fornire informazioni di posizione con un errore di 300 m, ma già con il completamento dei satelliti del 1° Blocco tale errore si rivelò significativamente più ridotto e cioè pari a circa 30 m.

Selective Availability (SA)

- Ciò aveva spinto il Governo USA a sviluppare un programma denominato **Selective Availability (SA)**, che era stato introdotto nei satelliti del Blocco II°, con cui, per questioni di sicurezza, venivano degradate le prestazioni del sistema mediante un algoritmo non disponibile, fornendo agli utenti non autorizzati posizionamenti con un'accuratezza di circa 100 m nel 98% dei casi.
- Nel rimanente 2% l'errore poteva essere superiore.

Selective Availability (SA)

- Si trattava globalmente di un processo di "dithering", con un errore stocastico che influenzavano gli orologi dei satelliti e di un processo "epsilon", con una degradazione artificiale delle effemeridi (+ 50 m) e dell'errore di orologio del satellite ($\sim \pm 0,3 \mu\text{s}$) contenuto nel messaggio inviato.

- La Selective Availability dal 2 Maggio 2000 è stata abolita per decisione del Presidente Clinton con un comunicato ufficiale.
- Rimangono ovviamente, nel GPS non differenziato (stand-alone) tutti gli errori dovuti alla propagazione in atmosfera (ionosfera e troposfera), all'influenza dell'errore del ricevitore, e soprattutto gli errori dovuti a riflessioni multiple dei segnali GPS su superfici orizzontali e verticali (multipaths) che, come si vedrà, combinati assieme, possono dare errori anche dell'ordine delle decine di metri.

- Utilizzando la metodologia GPS differenziale, con cui alla stazione Master vengono calcolati gli errori di posizione e/o pseudorange indotti e successivamente diffuse le correzioni ai vari utenti vicini, gli errori sistematici, correlati fra le due stazioni, vengono eliminati ottenendo una **precisione di posizione di 2-5 m.**

POSIZIONI STAND ALONE SENZA SELECTIVE AVAILABILITY

(22 Maggio 2000)

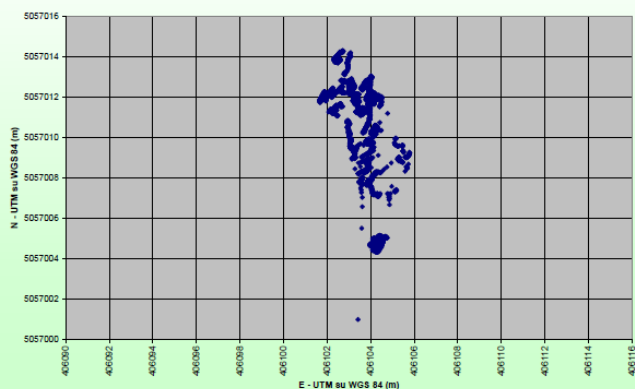


Fig. 2.1.1.2a Dispersione di un set di dati registrati su un vertice del Dipartimento di Ingegneria Civile, dopo l'abolizione della SA

POSIZIONI STAND ALONE SENZA SELECTIVE AVAILABILITY

(2 Maggio 2000)

UTM - WGS84	Coord. Nord (m)	Coord. Est (m)	Quota ellissoidica (m)
Coordinate del vertice	5057002.301	406107.398	163.908
Valore medio	5057001.835	406107.451	163.275
Differenza val.medio-coordinate vertice	- 0.466	0.053	- 0.633
sqm	1.754	2.443	5.728
Valore max	5057012.632	4061170795	197.749
Valore min	5056996.806	406101.083	140.589
Δ max-min	15.826	16.412	57.160

Parametri statistici calcolati sulle posizioni pseudorange registrate in una sessione di 15 ore utilizzando un ricevitore Novatel MiLLennium ed un'antenna choke ring

Fig. 2.1.1.2 b Analisi effettuate sulle posizioni pseudorange stand-alone registrate in una sessione di 15 ore con un ricevitore Novatel MiLLennium e antenna choke ring su un vertice del Dipartimento di Ing. Civile

Errori legati alla propagazione del segnale in atmosfera

- La propagazione degli errori ionosferici e troposferici dipende dalla propagazione del segnale e dalla struttura dell'atmosfera. A causa delle differenti posizioni occupate dai ricevitori a terra i segnali seguono cammini diversi e con condizioni atmosferiche non omogenee.
- Le misure differenziali sono affette pertanto da un errore residuo la cui entità dipende dalle condizioni atmosferiche locali, dalla posizione dei satelliti e dalla lunghezza della base fra i due ricevitori.

Errori legati alla propagazione del segnale in atmosfera

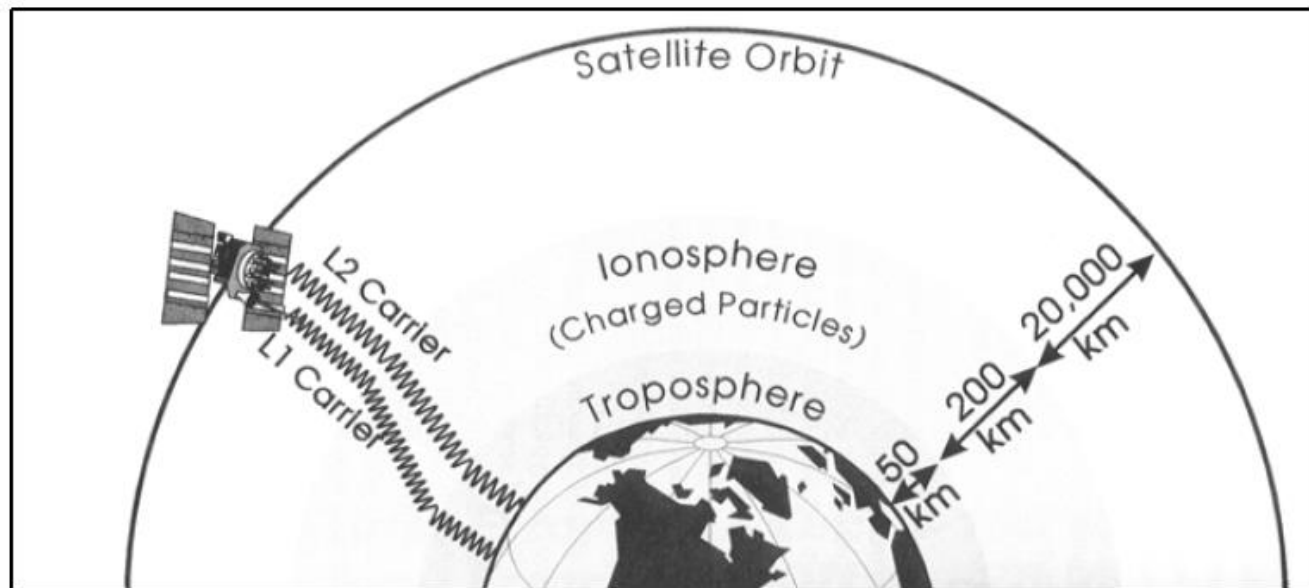


Fig. 2.1.1.3 Troposfera e ionosfera

Errore ionosferico

- Gli errori di propagazione del segnale in ionosfera sono fortemente correlati al contenuto di elettroni liberi in uno strato ad altezza compresa fra circa 70 km e 1000 km.
- Essi dipendono dalla lunghezza d'onda e possono quindi essere misurati utilizzando ricevitori a doppia frequenza (L1 ed L2).

- Il ritardo di propagazione è inversamente proporzionale al quadrato della frequenza. Considerata dunque la propagazione lungo un determinato percorso, i ritardi sulle due portanti L1 ed L2 sono rispettivamente:

$$\Delta t_1 = \cos t \frac{M}{f_1^2}$$

$$\Delta t_2 = \cos t \frac{M}{f_2^2}$$

dove f_1 ed f_2 sono le frequenze delle due portanti, ed M è la densità degli elettroni.

- Viene calcolata una combinazione lineare priva sia delle incognite di fase che degli effetti dei ritardi ionosferici (soluzione iono-free).
- Utilizzando ricevitori a singola frequenza gli errori vengono corretti tramite modelli: per gli usi operativi viene largamente utilizzato quello di Klobuchar.

- Il ritardo ionosferico comporta un errore nella misura della distanza di varie decine di metri.
- D'altra parte gli effetti ionosferici non hanno una natura localizzata e pertanto non producono residui apprezzabili per basi inferiori a 100 km.

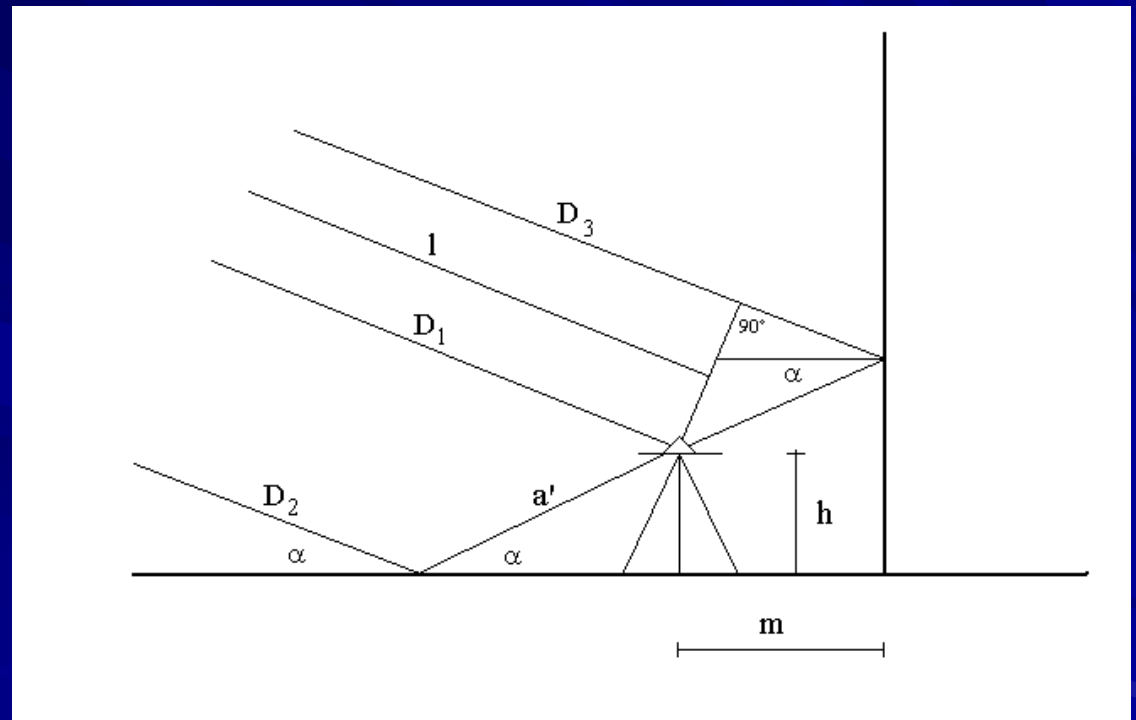
Errore troposferico

- L'influenza dell'**errore troposferico** ha natura maggiormente locale ed è principalmente dovuta alle variazioni del coefficiente di rifrazione troposferico in una fascia che va dalla quota del ricevitore fino a circa 70 km, costituita essenzialmente da aria secca e da vapore acqueo.
- In questa zona si evidenzia una curvatura del cammino di propagazione del segnale e un decremento della velocità dell'onda elettromagnetica.
- L'indice di rifrazione dipende dalla pressione barometrica, dalla temperatura e dall'umidità. Esso varia inoltre significativamente con la quota.

- L'influenza dell'errore troposferico è fortemente dipendente dall'elevazione dei satelliti e dalla temperatura. Per gradienti di temperatura orizzontali inferiori ad 1° su 100 km ed elevazioni satellitari superiori a 10° , l'errore residuo non eccede il valore di 0,4 m per basi fino a 500 km.
- In condizioni meteorologiche estreme (ad esempio durante un temporale) questo errore residuo può però raggiungere valori più elevati.

Errori legati alle condizioni ambientali - Multipath

Gli errori cosiddetti da multipaths sono dovuti all'interferenza nell'antenna fra il segnale diretto proveniente dal satellite ed il segnale riflesso da una o più superfici a terra. L'entità di tali errori varia a seconda che si considerino le misure pseudorange, che risultano sperimentalmente più sensibili a tali effetti, o quelle di fase.



- Le condizioni ambientali influenzano significativamente le misure pseudorange sulle quali si manifestano errori di ampiezza rispettivamente pari a ± 10 m, ± 20 m, ± 40 m.
- Per quanto riguarda le misure di fase l'errore ε raggiunge un valore massimo di 2,5 cm.

Parametri statistici – PDOP

- Oltre che dall'influenza degli errori fino a qui visti, la precisione di una misura GPS dipende anche dalla disposizione dei satelliti nello spazio durante l'intervallo scelto per le osservazioni.
- Questa dipendenza viene espressa tramite un parametro geometrico chiamato PDOP (Positioning Dilution of Precision).

Parametri statistici – PDOP

- Il PDOP rappresenta il contributo della configurazione geometrica alla accuratezza del posizionamento.

In pratica indicando con σ_0 la precisione delle misure, la precisione nel posizionamento tridimensionale σ è data da:

$$\sigma_{\text{posizionamento}} = \sigma_0 \cdot PDOP$$

Il $PDOP$ rappresenta la radice quadrata della traccia della matrice di varianza – covarianza delle coordinate del punto a cui si riferisce:

$$PDOP = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2}$$

Parametri statistici – PDOP

- Migliore è la configurazione satellitare scelta e minore è il valore del PDOP ad essa associato, e di conseguenza migliore è il risultato nel posizionamento che si può ottenere, a parità di altre fonti di errore.
- Una buona configurazione satellitare è quella con un numero di satelliti sovrabbondanti (> 4) e ben distribuiti spazialmente all'interno della semisfera cui appartiene il punto di osservazione.

Parametri statistici – PDOP

$$GDOP(\text{Geometrical DOP}) = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_t^2}$$

$$HDOP(\text{Horizontal DOP}) = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$$

$$VDOP(\text{Vertical DOP}) = \sigma_z$$

$$TDOP(\text{Time DOP}) = \sigma_t$$

- I valori dei vari tipi di DOP vengono forniti dai diversi software in commercio per un dato giorno, intervallo di osservazione e per una data posizione approssimata in coordinate geografiche.

PDOP

Conoscerne preventivamente il valore può essere molto utile per la programmazione delle osservazioni sia statiche che **cinematiche**.

In particolare per queste ultime è molto importante scegliere accuratamente la costellazione da utilizzare tenendo conto del fatto che, ovviamente, i satelliti bassi sull'orizzonte vengono eclissati più facilmente dagli ostacoli durante il movimento.

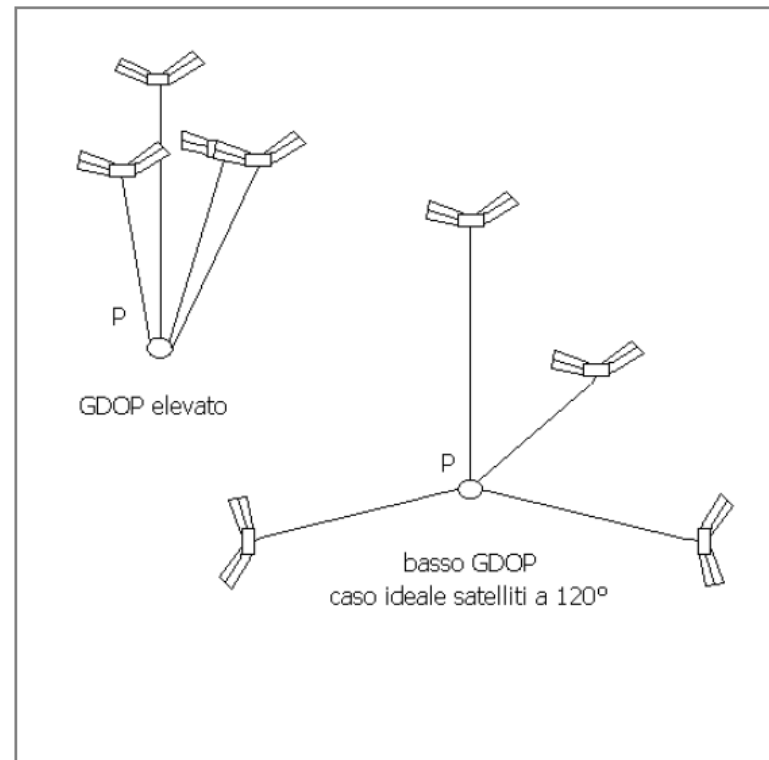


Fig. 2.2.1 Esempi di configurazioni satellitari ed influenza sul parametro GDOP (3D Geometrical PDOP)

Software di planning

Home | Canadian Geospatial Directory | GIS Jobs | Geospatial Books | Historic Cartography | Contribute Information

GPS Planning Software allows you to optimize your Survey

After working on many different projects with various companies and partners, it still amazes me how many people do not consult with the latest GPS Almanacs and GPS Planning Software for planning GPS Missions prior to heading out to survey or collect GPS data. Especially for more precise GPS work and we all know how projects these days continue to demand better accuracy as technology evolves.

There is a handy little FREE GPS Planning Software package for planning of GPS Missions provided by Trimble that we use, and is available to download free from their website. This powerful little GPS utility can run from your laptop or PC allowing you to analysis GPS coverage for any given day helping you to determine visibility for GPS, GLONASS, IGSO and geostationary satellites. When you know what times of day have the best optimal GPS coverage then you can better plan the rest of your survey work.

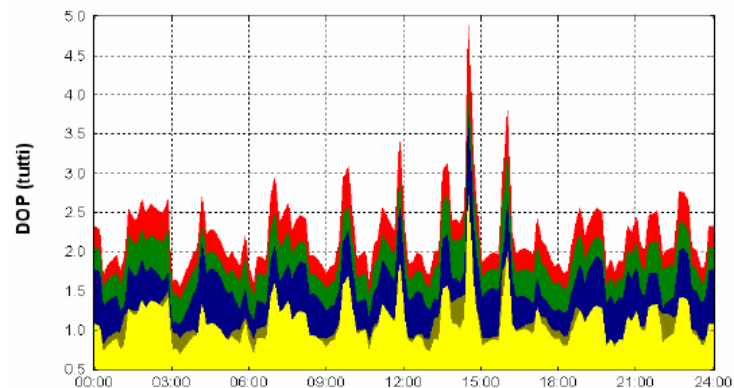


The GPS Planning Software allows you to optimize your base destination region with multiple station locations allowing you to determine where it would be best to record observations, determine elevation masks, generate graphs showing satellite coverage, DOP coverage, and create sky plots of GPS satellites.

When you use the planning software you have to remember to download the latest GPS almanac because unlike your GPS equipment, your PC will not automatically update itself with the latest Ephemeris Data. Trimble also helps out by providing this information for you on their website, but it is also provided on various other GPS related websites as well.

Update

⚠ TRIMBLE NOW OFFERS AN ONLINE VERSION [HTTP://WWW.TRIMBLE.COM/GNSSPLANNINGONLINE/#/SETTINGS](http://WWW.TRIMBLE.COM/GNSSPLANNINGONLINE/#/SETTINGS)



Geometrica
Posizionale
Verticale
Orizzontale
Ora

GDOP
PDOP
VDOP
HDOP
TDOP

