

VALUTAZIONE E CONFRONTO TRA DIFFERENTI STRATEGIE DI PRECISE POINT POSITIONING

Mattia DE AGOSTINO, Marco PIRAS

Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria per l'Ambiente, il Territorio e le Geotecnologie – DITAG
C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino
Tel. +390110907675, Fax: +390110907699
mattia.deagostino@polito.it, marco.piras@polito.it

Riassunto

La qualità e la congruenza dei prodotti GNSS per il posizionamento di precisione (effemeridi, clock, parametri di rotazione terrestre, ecc) è notevolmente aumentata, in particolare da quando si è definito un sistema di riferimento consistente, caratterizzato da misure unicamente GPS, denominato IGS05. Questo miglioramento ha portato benefici sia per il posizionamento di precisione in post-elaborazione, sia notevoli ricadute sul posizionamento Precise Point Positioning (PPP). Disponendo di prodotti di qualità più elevata è possibile raggiungere precisioni centimetriche anche in PPP. L'obiettivo di questo lavoro è definire una possibile relazione tra precisione e lunghezza della campagna di misura, considerando in particolare due differenti scenari, impiegando un ricevitore con e senza orologio atomico.

L'interesse a questo tema deriva anche dalla sempre più drammatica esigenza di intervenire in tempi rapidi in zone colpite da catastrofi naturali: in tali scenari, infatti, risulta difficoltoso poter effettuare interventi che richiedano una qualsiasi specie di georeferenziazione del dato, come ad esempio un volo di ricognizione con UAV, immagini satellitari finalizzate alla costruzione di cartografia aggiornata per l'invio di soccorsi. Il test è stato condotto prendendo in considerazione due software: Waypoint Grafnav e la procedura automatica CSRS-PPP, del Natural Resource Canada. Lo scopo del lavoro è anche quello di capire se si possono raggiungere precisioni adeguate, anche utilizzando programmi commerciali e semplici da usare. In questo lavoro si tratteranno tutte le possibili combinazioni tra ricevitori utilizzabili, prodotti IGS disponibili e lunghezza delle sessioni, al fine di definire una plausibile relazione tra tutti questi fattori.

Abstract

The quality and the congruence of the GNSS products for the positioning of precision (ephemeris, clocks, parameters of terrestrial rotation, etc) are particularly increased, since a new reference system has been defined, using GPS measurements only. This system is called IGS05. This amelioration has carried benefits for the positioning of precision as post-elaboration, in particular for the precise point positioning (PPP). The positioning accuracy increases if better products are used. The purpose of this job is to define a possible relationship between precision and length of the country of measure, considering two different sceneries particularly, using a receiver with and without atomic clock. This topic is particularly interesting because more and more it needs to have a GPS permanent station where a natural disaster was happened. Nowadays the use of UAV, involved for flight of recognition is really frequently. Two different software have been involved: Waypoint Grafnav and the procedure automatic CSRS-PPP, by the Natural Resource Canada. The purpose of the job is to define the capability of these methods.

Introduzione

Nel posizionamento GPS per raggiungere precisioni centimetriche si ricorre solitamente ad un approccio con osservazioni differenziate. Nella maggior parte dei casi si lavora un posizionamento relativo, se possibile, oppure se le condizioni di lavoro lo consentono, si effettua un posizionamento RTK. A volte però, ci si trova ad operare in zone in cui non sono presenti stazioni permanenti GPS nelle vicinanze per effettuare un rilievo in *real time* e la distanza con la stazione GPS più vicina non consente di effettuare un posizionamento relativo. Una valida alternativa è il posizionamento in *Precise Point Positioning* (PPP), che utilizza osservazioni non differenziate, ma richiede la conoscenza dei modelli di bias. Con l'utilizzo dei prodotti forniti dall'IGS (effemeridi precise, clock file, EOP, etc) è possibile definire tutti questi modelli, inoltre non occorre più avere lunghe sessioni di misura, ma in alcuni casi anche poche ore sono sufficienti per ottenere una posizione con precisioni centimetriche. Questa è sicuramente una svolta nel mondo del posizionamento satellitare, in particolare in condizioni in cui la natura degli eventi (es. catastrofi naturali) richiedono brevi tempi di intervento molto rapidi (< 48 ore).

Richiami sul precise point positioning (PPP)

Il posizionamento relativo, come noto, consente di raggiungere precisioni centimetriche (o migliori), sulla stima della baseline tra due ricevitori, mediante particolari combinazioni di osservazioni differenziate. Questa operazione, permette di rimuovere o ridurre tutti gli errori comuni presenti nei due ricevitori. Nel posizionamento PPP, gli errori comuni non possono essere eliminati, ma solamente modellati: tale soluzione è affetta ad esempio dai fenomeni geofisici, come il moto delle placche tettoniche e le maree terrestri. Inoltre le osservazioni sono affette anche dagli effetti di troposfera e ionosfera.

A questi effetti/errori, legati alla natura che ci circonda, si aggiungono poi altri errori insiti nel tipo di misura effettuata, legati sia al satellite quali l'errore di orologio, la variazione del centro di fase, il ritardo di gruppo differenziale, la relatività, sia al ricevitore, come ad esempio l'errore di orologio e la variazione del centro di fase. La soluzione di PPP, essendo un metodo non differenziato, richiede quindi che i singoli contributi di errore vengano stimati (Witchayangkoon, 2000). Ipotizzando di disporre di un ricevitore doppia frequenza GPS, è possibile considerare come osservazioni, la combinazione *iono-free*, in maniera da ridurre l'effetto legato alla ionosfera.

Le relazioni sono:

$$P_{IF} = \frac{f_1^2 P_1}{f_1^2} - \frac{f_2^2 P_2}{f_2^2} = \# + cdt + d_{trop} + dm_{IF} + \Phi_1 + cdt_s + \Phi_{P_{IF}} \quad [1]$$

$$\Phi_{IF} = \frac{f_1^2 \Phi_1}{f_1^2} - \frac{f_2^2 \Phi_2}{f_2^2} = \Phi + cdt + d_{trop} + \frac{cf_1 N_1}{f_1^2} - \frac{cf_2 N_2}{f_2^2} + \#m_{IF} + \Phi_{\epsilon} + cdt_s + \Phi_{IF} \quad [2]$$

dove:

P_i : misura di codice su L_i in metri;

Φ_i : misura di fase su L_i in metri;

ρ = distanza geometrica reale in metri;

dt = errore dell'orologio del ricevitore;

dt_s = errore dell'orologio del satellite;

$\delta\epsilon_r$ = errore di effemeridi;

d_{trop} = ritardo troposferico in metri;

N_i = ambiguità di fase su L_i in cicli;

dm_i = effetto di multipath misurato sul codice L_i in metri;

δm_i = effetto di multipath misurato sulla fase Φ_i in metri;

$\epsilon(.)$ = noise.

Le componenti relative all'errore di orologio del satellite e all'errore di effemeridi possono essere rimossi dall'equazioni se si usano effemeridi precise e prodotti di orologio (file .clk). Rimangono da stimare le componenti di errore di orologio del ricevitore e il ritardo troposferico.

Prodotti IGS per il Precise Point Positioning

L'International GNSS Service (IGS) produce una serie di prodotti utili sia per il posizionamento statico di precisione, sia per il precise point positioning. Effemeridi precise per tutti i satelliti disponibili, parametri di orientamento terrestre (EOP) e le correzioni degli errori di orologio dei satelliti sono i principali prodotti impiegati per il PPP.

Il servizio IGS si basa su una rete globale di stazioni permanenti GNSS, in grado trasmettere e comunicare i dati ad un centro di controllo, al fine di collezionare i dati grezzi e creare i diversi prodotti.

IGS Products		Availability	Interval	Accuracy
GPS Satellites	Ephemerides			
	Predicted	Real Time	15 min	50 cm
	Rapid	1-2 days	15 min	10 cm
	Final	10-12 days	15 min	5 cm
	Clocks			
	Predicted	Real Time	15 min	150 ns.
Rapid	1-2 days	15 min	0.5 ns.	
Final	10-12 days	15 min	0.3 ns.	
IGS Station Positions	Weekly Solutions	< 4 weeks	7 days	3-5 mm
Earth Orientation	Pole			
	Rapid	1-2 days	1 day	0.2mas
	Final	10-12 days	1 day	0.1mas
	Pole Rates			
	Rapid	1-2 days	1 day	0.4 mas/day
	Final	10-12 days	1 day	0.2 mas/day
	UT1-UTC			
	Rapid	1-2 days	1 day	0.20ms
Final	10-12 days	1 day	0.05ms	
Length of Day				
	Rapid	1-2 days	1 day	0.06ms/day
	Final	10-12 days	1 day	0.03ms/day
Tropospheric Zenith Delay		< 4 weeks	2 hours	0.4cm

Figura 1: prodotti IGS disponibili

Effemeridi e errori di orologio del satellite

Le orbite finali, intese come combinazione di effemeridi, possono essere ottenute in differenti modi. Nello specifico, le orbite IGS sono prodotte mediante una combinazione pesata delle effemeridi trasmesse dalle singole stazioni permanenti della rete IGS al centro di controllo. Mediante il confronto e la combinazione delle effemeridi di un paio di settimane, si ottengono le orbite finali con precisione centimetrica ($\sigma = 1-5$ cm) in ognuna delle coordinate. Normalmente, una soluzione "rapida" può essere ricavata utilizzando 15-20 stazioni, calcolando la soluzione alla fine della giornata. Questa soluzione è disponibile circa 20 ore dopo aver raccolto tutte le osservazioni e la precisione raggiungibile è di circa 20-50 cm.

L'IGS ha cercato di creare una consistenza tra le effemeridi e i prodotti di orologio IGS. Per quest'ultimo si tiene conto di una soluzione combinata composta da due stime. La prima è una stima pesata, considerando l'orologio stimato da un centro di analisi dei dati invece che quello del satellite senza SA. La seconda stima è effettuata correggendo l'orologio del centro di analisi, prima della combinazione, basandosi sulla differenza delle componenti radiali tra l'orbita definita dal centro di analisi e le orbite IGS combinate.

Il sistema di riferimento: una componente importante

A livello internazionale è definito un sistema di riferimento convenzionale denominato ITRF (International Terrestrial Reference Frame), che è determinato ed aggiornato, mediante l'impiego di osservazioni di differente natura, originate da tecniche spazio-geodetiche quali VLBI, LLR e SLR. Oltre a queste, sono state aggiunte dalla nascita del sistema ITRF ad oggi, l'utilizzo di misure GPS e di Doppler derivanti dal satellite DORIS. Il sistema è periodicamente ridefinito, garantendo la continuità tra i differenti frame, mediante set di parametri di trasformazione e di velocità (14 parametri). Dal 2000, all'ITRF, si è affiancato il sistema IGBYY, poi IGSYY. Questo sistema di riferimento utilizza solamente le osservazioni GNSS delle stazioni permanenti della rete IGS. In questo modo, si ottiene un sistema più consistente rispetto all'ITRF, in cui le osservazioni utilizzate sono pesate diversamente in base alla loro natura. Il sistema IGS (oggi IGS05) è ormai di fatto lo standard usato per inquadrare i prodotti forniti dall'IGS, inoltre la maggior parte delle stazioni permanenti GNSS stanno iniziando a migrare verso questo sistema di riferimento, abbandonando di fatto l'ITRF. Esistono differenti procedure per il passaggio tra i due sistemi di riferimento, in particolare la procedura più rigorosa risulta quella proposta da Boucher-Altamimi (2000). La definizione corretta del sistema di riferimento è molto importante, in particolare in ambito nazionale, dove la realizzazione del sistema nazionale è l'ETRF89 (Betti et al., 2007).

Descrizione dei test effettuati

Questo lavoro ha una duplice finalità: analizzare le potenzialità del posizionamento PPP e individuare la strategia migliore da usare in condizioni di emergenza.

I fattori coinvolti in questa analisi sono:

- tipo di ricevitore (geodetico);
- tipo di orologio usato dal ricevitore (atomico, interno);
- effemeridi usate (precise / rapide)
- lunghezza delle osservazioni (1, 2, 3, 6, 12 e 24 h);
- altri prodotti IGS disponibili (ad esempio file .clk, riguardanti gli errori degli orologi dei satellite).

Le osservazioni GNSS analizzate sono relative alla stazione permanente "VERC" sita presso la II Facoltà del Politecnico di Torino a Vercelli. Il ricevitore è un Topcon Odyssey, allestito con frequenza esterna al rubidio. Di tale stazione sono disponibili le coordinate in IGS05, calcolate semestralmente utilizzando la rete test piemontese di stazioni permanenti, gestita dal Politecnico di Torino. Della stazione VERC si dispongono sia dati con orologio atomico sia senza orologio atomico (rilevati prima della sua installazione). Nella tabella che segue è riportato lo schema riassuntivo delle prove effettuate.

Tipo di misura	Prodotti Usati	Lungh. Sessioni	Data
<i>Doppia Freq. – con AC</i>	<i>IGS - SP3 e Clk (precise)</i>	<i>1,2, 3, 6, 12, 24 h</i>	<i>07/05/2008</i>
<i>Doppia Freq. – senza AC</i>	<i>IGS - SP3 e Clk (precise)</i>	<i>1,2, 3, 6, 12, 24 h</i>	<i>20/05/2007</i>
<i>Doppia Freq. – con AC</i>	<i>IGS - SP3 e Clk (rapide)</i>	<i>1,2, 3, 6, 12, 24 h</i>	<i>07/05/2008</i>
<i>Doppia Freq. – senza AC</i>	<i>IGS - SP3 e Clk (rapide)</i>	<i>1,2, 3, 6, 12, 24 h</i>	<i>20/05/2007</i>
<i>Doppia Freq. – con AC</i>	<i>Procedura CSRS</i>	<i>1,2, 3, 6, 12 h</i>	<i>07/05/2008</i>
<i>Doppia Freq. – senza AC</i>	<i>Procedura CSRS</i>	<i>1,2, 3, 6, 12 h</i>	<i>20/05/2007</i>

Tabella 2: schema prove eseguite

I dati sono stati elaborati seguendo due procedure diverse: la prima ha previsto l'utilizzo del software commerciale Waypoint Grafnav v8.10, che utilizza un approccio non differenziato e combinato. La seconda elaborazione, invece, è stata svolta considerando un servizio on-line di

trattamento dati della Natural Research Canada, chiamato CSNR-PPP. Grazie ai tempi brevi di analisi e invio dei risultati, i servizi on line stanno sempre più divenendo una realtà operativa. Gli stessi dati e le stesse sessioni, sono state trattate in entrambe le procedure e i risultati sono stati poi comparati.

Risultati

I risultati ottenuti, in merito a tutte le prove fatte e alle combinazioni svolte, sono molte, quindi di seguito verranno riportate solamente i report delle analisi più significative, dove le righe R sono quelle relative alle soluzioni ottenute con prodotti *rapidi*, mentre P quelle con prodotti *precisi*.

1) test doppia frequenza con orologio atomico

- *Analisi con Waypoint Grafnav*

L'analisi è stata svolta, confrontando la soluzione PPP con la soluzione statica, definita tenendo conto della variazione del DATUM. Il confronto può essere sinteticamente descritto dalle seguenti tabelle, riguardanti le differenze tra le coordinate registrate e il relativo valore di scarto quadratico medio.

	1 ora			3 ore			6 ore			12 ore		
	ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]	ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]	ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]	ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]
R	-0.023	0.018	-0.053	-0.004	0.001	-0.032	-0.005	0.003	-0.008	-0.039	0.003	-0.010
P	-0.063	-0.008	0.008	-0.022	-0.003	-0.026	-0.016	-0.009	-0.020	-0.029	-0.013	-0.025
	1 ora			3 ore			6 ore			12 ore		
	σE [m]	σN [m]	σh [m]	σE [m]	σN [m]	σh [m]	σE [m]	σN [m]	σh [m]	σE [m]	σN [m]	σh [m]
R	0.072	0.032	0.054	0.019	0.010	0.022	0.014	0.008	0.014	0.171	0.104	0.189
P	0.016	0.004	0.009	0.016	0.001	0.004	0.006	0.001	0.007	0.003	0.001	0.004

Tabella 3: Risultati prove PPP - con orologio atomico

- *Analisi con CSRS-PPP, del Natural Resource Canada*

Questo servizio on line è attivo dal 2003. Iscrivendosi gratuitamente, è possibile accedere ad una serie di servizi tra cui quello del PPP. L'utilizzo è molto semplice. Si inseriscono i dati in formato RINEX, il tipo di antenna ed inizia l'elaborazione. Dopo pochi minuti i report dell'elaborazione sono disponibili. I risultati ottenuti della nostra prova sono riportati di seguito.

1 ora			3 ore			6 ore			12 ore		
ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]	ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]	ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]	ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]
0.041	0.004	-0.059	0.019	0.031	0.021	0.021	0.022	0.006	0.029	0.021	0.017
σE [m]	σN [m]	σh [m]	σE [m]	σN [m]	σh [m]	σE [m]	σN [m]	σh [m]	σE [m]	σN [m]	σh [m]
0.028	0.011	0.026	0.009	0.004	0.005	0.004	0.001	0.006	0.002	0.001	0.004

Tabella 4: Risultati prove PPP – procedura CSRS

I risultati ottenuti con la procedura CSRS sono abbastanza in linea con quelli ottenuti con Grafnav, in particolar modo con quelli definiti con i prodotti precisi.

2) test doppia frequenza senza orologio atomico

- *Analisi con Waypoint Grafnav*

Come nel caso precedente, anche per questo set di dati sono state aggiornate le coordinate, in maniera da poter esser confrontate con l'ultimo ricalcolo a disposizione.

	1 ora			3 ore			6 ore			12 ore		
	ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]	ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]	ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]	ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]
R	-0.142	-0.023	-0.128	-0.055	-0.015	0.014	-0.020	-0.015	-0.009	0.017	-0.031	-0.093
P	-0.067	-0.009	-0.073	-0.020	-0.012	0.016	-0.018	-0.010	-0.006	-0.010	-0.006	-0.041
	1 ora			3 ore			6 ore			12 ore		
	σE [m]	σN [m]	σh [m]	σE [m]	σN [m]	σh [m]	σE [m]	σN [m]	σh [m]	σE [m]	σN [m]	σh [m]
R	0.138	0.096	0.136	0.163	0.098	0.163	0.073	0.054	0.088	0.256	0.307	0.449
P	0.012	0.010	0.013	0.007	0.003	0.012	0.005	0.002	0.013	0.006	0.002	0.015

Tabella 5 Risultati prove PPP – procedura CSRS

- Analisi con CSRS-PPP, del Natural Resource Canada

Con la stessa procedura descritta prima, è stata trattata la seconda serie di dati a disposizione.

	1 ora			3 ore			12 ore		
	ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]	ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]	ΔE [m]	ΔN [m]	Δh [m]
	-0.115	0.010	-0.035	0.007	-0.006	-0.041	-0.001	-0.010	0.010
	σE [m]	σN [m]	σh [m]	σE [m]	σN [m]	σh [m]	σE [m]	σN [m]	σh [m]
	0.042	0.021	0.050	0.012	0.005	0.017	0.003	0.001	0.005

Tabella 6 Risultati prove PPP – procedura CSRS

In questo caso la soluzione CSRS si assesta, nei brevi periodi, a metà tra quella definita con prodotti precisi e quella ottenuta con prodotti rapidi. Solo nei lunghi periodi la soluzione risulta simile a quella precisa.

Conclusioni

L'utilizzo dei prodotti rapidi consente di ottenere precisioni centimetriche, anche con poche ore di dati (3-6 ore). Entrambe le procedure sono abbastanza semplici da utilizzare, anche se sicuramente la procedura CSRS risulta maggiormente immediata e rapida. Si evidenzia, come noto, una maggiore precisione nelle componenti planimetriche rispetto all'altimetria. Queste caratteristiche rendono il PPP molto utile in processi in cui è richiesta una soluzione rapida della posizione, come ad esempio in casi di eventi naturali. Il posizionamento PPP può essere sfruttato come base per definire le coordinate di una stazione semi-permanente, al fine di utilizzare sul terreno un posizionamento RTK oppure per la l'utilizzo di flotte UAV per operazione di ricognizione o rilievo fotogrammetrico. L'impiego di brevi sessioni è anche dovuta alla limitata presenza di *cycle slips* all'interno dei dati. L'impiego di un orologio atomico è sicuramente vantaggioso sia associato a prodotti precisi ma in particolar modo anche a prodotti *rapidi*. Si detona un sostanziale decremento della precisione delle soluzioni *rapide* quando si utilizzano lunghe sessioni di dati (> 12 ore). Questo fenomeno potrebbe essere legato sia alla modellizzazione dell'orologio del ricevitore sia ad un fenomeno di sovra-correzione della ionosfera, ma il tutto è ancora in fase di analisi e studio.

Bibliografia

- Witchayangkoon B. (2000), Elements of GPS precise point positioning, Ph.D Thesis, The University of Maine.
- Natural Resources Canada (2004), On-line Precise Point Positioning: 'How to Use' Document.
- Betti B., Biagi L., Passoni D., Tornatore V., Cina A. Pesenti M., Piras M., Barrile V., Meduri G. (2007), "Interoperabilità e integrazione tra reti NRTK interagenti e inserimento nei sistemi geodetici e cartografici ufficiali", ASITA 2007, Torino, Proceeding.