

Alcune imprecisioni da evitare nella combinazione di reti GNSS simultanee

L. Biagi; F. Sansò

Politecnico di Milano – DIIAR c/o Polo Regionale di Como, via Valleggio 11, 22100 Como

Riassunto esteso

Si assuma che una rete debba essere compensata e si scelga di procedere in modo sequenziale e disgiunto: prima si compensano separatamente sottoreti con osservazioni in comune; quindi si ricompongono i relativi risultati, mediante le suddette osservazioni comuni. Idealmente, tale processo dovrebbe essere condotto in modo tale che la soluzione finale risulti uguale a quella ottenuta mediante una compensazione congiunta della rete completa: ciò è tanto vero per le stime dei parametri incogniti quanto per le stime delle loro covarianze. Il problema è classico della geodesia e ha una soluzione rigorosa per le reti terrestri, ove le osservazioni sono tipicamente incorrelate, che storicamente prende nome di “Helmert blocking”; nell’ambito dell’elaborazione delle reti permanenti GNSS, l’Helmert Blocking viene implementato con il cosiddetto Normal Equations (NEQ) Stacking, che può essere tradotto in Combinazione dei Sistemi Normali.

I dati delle reti permanenti GNSS vengono tipicamente elaborati per sessioni giornaliere, al fine di stimare coordinate, incognite ausiliarie e le relative covarianze. Per quanto riguarda i dettagli tecnici delle elaborazioni, si rammenta soltanto che tipicamente viene costruito un grafo aperto di basi e che vengono elaborate le relative doppie differenze; nel caso di reti a scala nazionale o più piccola, ovvero le reti locali, le linee guida internazionali suggeriscono l’inclusione di un certo numero di stazioni permanenti IGS, il cui baricentro viene fissato: in tal modo è rimossa la deficienza di rango intrinseca della rete, ovvero quella relativa a una traslazione. Il sistema normale da invertire nella stima ai minimi quadrati ha dimensione uguale al quadrato del numero di incognite, e ciò evidentemente pone un problema al numero di stazioni che può essere contemporaneamente elaborato; al presente, un normale server di calcolo riesce a effettuare l’elaborazione congiunta di circa 200 stazioni. Tale valore è superiore alle dimensioni di poche reti: la rete globale IGS, quelle continentali come EPN e alcuni casi limitati di reti locali, per le quali si rende necessario adottare un approccio di elaborazione distribuito; in ogni caso l’approccio distribuito è spesso applicato anche a reti più piccole. Per implementare l’approccio distribuito, innanzitutto si divide la rete in sottoreti che si sovrappongono, in modo tale che ogni stazione appartenga a un numero minimo assegnato di sottoreti: le sottoreti sono quindi compensate separatamente e le relative soluzioni sono quindi ricomposte mediante combinazione dei NEQ. E’ importante notare che la sovrapposizione delle sottoreti e l’appartenenza di ogni stazione ad un numero minimo di sottoreti non sono requisiti formali per la combinazione delle soluzioni: infatti la consistenza di eventuali reti disgiunte o semplicemente connesse è comunque garantita dalle osservazioni in comune, ovvero quelle ai satelliti, e dall’utilizzo di coordinate e prodotti IGS. In ogni caso la sovrapposizione garantisce la presenza di un certo numero di soluzioni per ogni stazione, e quindi il controllo incrociato delle relative stime. L’implementazione standard dell’approccio distribuito è basata su una prassi quotidiana ed è la seguente:

1. ogni sottorete viene elaborata da un’unità di calcolo;
2. il file contenente il NEQ risultante viene salvato e trasmesso a un centro di coordinamento;
3. il centro di coordinamento effettua la combinazione dei NEQ, stimando la soluzione finale quotidiana per tutta la rete.

Si noti che un'unità di calcolo, nella nostra accezione, è semplicemente un server e un insieme di procedure che effettuano l'elaborazione di una certa rete; quello che nella letteratura internazionale è normalmente detto Centro di Analisi può essere un insieme di più unità di calcolo e comunque prevede personale dedicato. E' ben noto nella letteratura internazionale che l'approccio di compensazione quotidiana di reti sovrapposte non è completamente corretto, perché nella combinazione all'ultimo passo i NEQ vengono considerati indipendenti, mentre in verità non lo sono: infatti sono generati a partire da insiemi di osservazioni condivise fra gruppi di sottoreti; in altri termini, è come se nel compensare una rete in un'unica elaborazione, si costruissero grafi di basi (di doppie differenze) chiusi, trascurando le loro correlazioni e introducendo così false ripetizioni di basi o chiusure di poligoni. Nel lavoro completo si analizza innanzitutto l'effetto di tale errore formale, ricorrendo al semplice esempio lineare del triangolo di livellazione: le stime di accuratezza delle osservazioni e dei parametri incogniti risultano falsate, ovvero troppo ottimistiche rispetto ad un'elaborazione rigorosa.

Nel lavoro viene quindi presentato un approccio alternativo per implementare un'elaborazione distribuita di reti permanenti GNSS, che soddisfi in modo rigoroso i requisiti di sovrapposizione fra le sottoreti. L'idea è molto semplice da un punto di vista concettuale; ogni giorno la rete viene separata in sottoreti semplicemente connesse, ovvero che condividono un'unica stazione. Per disporre di una configurazione a reti sovrapposte, la configurazione delle sottoreti cambia da giorno a giorno, in un ciclo su più giorni programmato a priori; con due unità di calcolo e ipotizzando che ogni stazione debba appartenere a due diverse sottoreti, si può impostare un ciclo basato sull'alternanza di giorni pari e dispari, ad esempio:

nei giorni dispari UC_1 elabora $\{S_1, \dots, S_{\lfloor \frac{1}{2}N \rfloor}, S_C\}$, UC_2 elabora $\{S_{\lfloor \frac{1}{2}N \rfloor + 1}, \dots, S_N, S_C\}$;

nei giorni pari: D2.1 UC_1 elabora $\{S_1, S_3, \dots, S_{N+1}, S_C\}$, UC_2 elabora $\{S_2, S_4, \dots, S_N, S_C\}$.

Tale ciclo, ogni due giorni, produce quattro sistemi normali relativi a quattro sottoreti sovrapposte che possono essere combinati in una soluzione finale; la stazione di connessione appartiene a tutte le sottoreti, mentre ogni altra stazione appartiene a due sottoreti sovrapposte. Naturalmente lo schema a ciclo su più giorni può essere molto più articolato rispetto a questo semplice esempio, in modo da garantire maggiori sovrapposizioni, o la distribuzione su più unità di calcolo. Evidentemente l'approccio a ciclo su più giorni implica un significativo coordinamento preventivo fra le diverse unità di calcolo e una maggior complessità di impostazione per ciascuna unità; per contro è meno oneroso dell'approccio tradizionale nel calcolo, poiché ogni giorno ciascun file di dati viene elaborato da un'unica unità di calcolo. Si noti che l'esistenza di una stazione di connessione fra le sottoreti dello stesso giorno simula esattamente la costruzione del grafo aperto ma connesso nell'elaborazione congiunta.

Al fine di verificare la fattibilità e i risultati dell'approccio a ciclo su più giorni, si è analizzato un caso di studio: in particolare sono stati acquisiti i dati di 30 stazioni permanenti appartenenti a Rete Dinamica Nazionale, per un periodo test di due settimane; la rete è stata prima compensata congiuntamente, per sessioni quotidiane. Quindi è stato simulato l'approccio distribuito tradizionale, dividendo la rete in tre sottoreti sovrapposte, in modo che ciascuna stazione appartenga a due sottoreti; le tre sottoreti sono state elaborate per sessioni quotidiane e i relativi NEQ sono quindi stati combinati; infine si è simulato l'approccio a ciclo su più giorni, applicando uno schema a giorni dispari e pari come quello sopra esemplificato. I risultati finali confermano quanto atteso: le stime di coordinate sono sostanzialmente uguali per tutti i tre approcci mentre le stime di covarianza differiscono significativamente; in particolare l'approccio tradizionale fornisce covarianze sottostimate rispetto alla compensazione congiunta, mentre l'approccio alternativo fornisce le covarianze corrette. Il lavoro completo è in fase di sottomissione agli International Symposia Volumes, Proceedings of the VII Hotine Marussi Symposium, 2009 Rome.