

## **Integrazione dei dati EGNOS nel software goGPS: analisi dei miglioramenti ottenuti nel posizionamento cinematico con ricevitori di basso costo**

Stefano Caldera (\*), Maria Clara de Lacy (\*\*), Antonio Herrera (\*\*),  
Eugenio Realini (\*\*\*), Mirko Reguzzoni (\*\*\*\*)

(\*) GReD srl, spin-off del Politecnico di Milano, Via Valleggio 11, 22100 Como, Italy  
(\*\*) Dpto. Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén, España  
(\*\*\*) RISH, Research Institute for Sustainable Humansphere, Kyoto University, Japan  
(\*\*\*\*) DIAR, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italy

### **Riassunto**

goGPS è un *software* di navigazione libero e *open source* (<http://www.gogps-project.org>) per il processamento di dati GPS, sia in modalità relativa rispetto ad una stazione di riferimento (anche virtuale, VRS), sia in modalità di posizionamento assoluto. goGPS è in grado di utilizzare osservazioni di codice e di fase ottenute da ricevitori geodetici o di basso costo. In particolare è implementato un filtro di Kalman applicato direttamente alle osservazioni GPS e basato su un modello dinamico a velocità o accelerazione costante in caso di posizionamento cinematico. Il posizionamento può essere ulteriormente supportato da vincoli di percorso (ad esempio una ferrovia), oppure mediante osservazioni aggiuntive estratte da un modello digitale del terreno (DTM) per aumentare l'accuratezza lungo la direzione verticale. In questo lavoro sono state aggiunte le correzioni ionosferiche e di pseudorange fornite dal sistema satellitare EGNOS al modulo di posizionamento assoluto del *software*; queste correzioni permettono di migliorare le prestazioni di goGPS anche senza una stazione di riferimento, per esempio in assenza di connettività Internet. L'utilizzo di EGNOS fornisce quindi una soluzione intermedia rispetto al posizionamento assoluto *stand-alone* e quello relativo supportato da un servizio di reti permanenti. In particolare i risultati ottenuti con l'integrazione di EGNOS sono stati studiati sulla base di dati acquisiti dal ricevitore a basso costo u-blox AEK-4T.

### **Abstract**

goGPS is a free and open source navigation software that processes raw GPS data in differential mode with respect to a network of permanent stations and in stand-alone mode. It can use both code (C/A, P) and phase (L1, L2) measurements obtained from geodetic or low-cost devices. goGPS applies a Kalman filter directly on GPS observations, estimating a position at every epoch also by exploiting a dynamic model (constant velocity or acceleration). The positioning is optionally supported by route constraints (e.g. a railway). Moreover, it is possible to introduce into the filter an additional observation extracted from a digital terrain model (DTM) in order to increase the positioning accuracy in the vertical direction. In this work the ionospheric and pseudorange corrections provided by EGNOS have been introduced in the stand-alone module of the software. An analysis of the improvements reached in the presence of EGNOS have been studied from data acquired by low-cost receiver u-blox AEK-4T.

### **Introduzione**

goGPS è un *software* di navigazione sviluppato dal Laboratorio di Geomatica del Politecnico di Milano – Polo Territoriale di Como, in ambiente MATLAB; è stato progettato con l'obiettivo

primario di migliorare l'accuratezza del posizionamento in tempo reale con ricevitori GPS di basso costo (Realini, 2009; Pertusini et al. 2008, 2009, 2010). goGPS può lavorare in modalità assoluta o relativa; nel secondo caso si basa sulle doppie differenze di codice e fase, ricevendo i dati del ricevitore attraverso una porta COM e i dati della stazione permanente / rete attraverso internet per mezzo del protocollo NTRIP (oppure leggendo file RINEX per il post-processamento). Può eseguire il posizionamento sulla base di un semplice minimi quadrati epoca per epoca oppure applicando un filtro di Kalman che consideri anche la dinamica del ricevitore. goGPS può anche utilizzare i dati di un modello digitale del terreno (DTM o DEM), se disponibile, per migliorare l'accuratezza della componente verticale. Le prove condotte e descritte in (Realini, 2009) hanno dimostrato che, in alcuni casi, l'accuratezza del posizionamento ottenuta con strumentazione di basso costo e goGPS era dello stesso ordine di grandezza di quella attesa da ricevitori monofrequenza professionali (Leica GS20), passando da accuratze di 2-4 metri (strumento di basso costo in modalità *stand-alone*) fino a pochi decimetri (goGPS in modalità relativa in tempo reale con filtro di Kalman). Ulteriori informazioni possono essere trovate sul sito <http://www.gogps-project.org/>.

E' importante inoltre notare che goGPS è periodicamente aggiornato per aggiungere nuove funzionalità e per tenere in considerazione le novità introdotte nel sistema GNSS; in particolare in questo lavoro si presentato i primi risultati relativi all'introduzione nel *software* del sistema SBAS (*Space-Based Augmentation System*). In particolare, vengono riportati i miglioramenti ottenuti nel posizionamento *stand-alone* in seguito all'utilizzo, all'interno di goGPS, delle correzioni ionosferiche e di pseudorange trasmesse dai satelliti EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*).

### Il sistema di navigazione basato sui satelliti EGNOS

Recentemente l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha finanziato l'avviamento del sistema SBAS europeo EGNOS:

- EGNOS Open Service, disponibile dal 1 Ottobre 2009,
- EGNOS Safety of Life, disponibile dal 2 Marzo 2011.

Il segnale EGNOS è trasmesso da tre satelliti geostazionari: due satelliti Inmarsat-3 e il satellite Artemis ESA. I satelliti sono controllati da un segmento terrestre, che consiste in 34 RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations), 4 centri di controllo e 6 stazioni di invio (<http://www.egnos-pro.esa.int/publication.html>).

Il segnale emesso dai satelliti EGNOS contiene informazioni riguardanti la posizione di ogni satellite GPS, la precisione dei loro orologi atomici e informazioni sul disturbo ionosferico. In Tabella 1 si riportano i miglioramenti introdotti dall'utilizzo congiunto di GPS ed EGNOS nella modellizzazione delle singole componenti dell'errore totale che incidono sul posizionamento GPS in condizioni normali.

Sorgente di errore	GPS	GPS+EGNOS
Orbite e sincronizzazione degli orologi	1 m	0.5 m
Errore troposferico	0.25 m	0.25 m
Errore ionosferico	2 m	0.3 m
Rumore del ricevitore	0.5 m	0.5 m
Multipath	0.2 m	0.2 m
UERE (Somma quadrata degli errori - 1 $\sigma$ )	2.31 m	0.83 m
HDOP (geometria dei satelliti visibili)	1.1 m	1.1 m
Accuratezza nel posizionamento orizzontale (1 $\sigma$ ) = UERE x HDOP	2.54 m	0.92 m
Accuratezza nel posizionamento orizzontale (2 $\sigma$ , 95%)	5.08 m	1.84 m

Tabella 1. Errori GPS-EGNOS: ordini di grandezza in condizioni normali.

### Il posizionamento assoluto di codice

Per posizionamento GPS assoluto di un ricevitore si intende la determinazione delle sue coordinate e *offset* d'orologio a partire dalle sole osservazioni satelliti-ricevitore (Hofmann-Wellenhof et al. 1992). Nel caso di ricevitori di basso costo, questo tipo di posizionamento si realizza tipicamente mediante sole osservazioni di codice (al limite lisciate con la fase) attraverso un minimi quadrati basato sulla seguente equazione di osservazione:

$$P_R^S(t) + v_p(t) = \rho_R^S(t) + c(dt_R(t) - dt^S(t)) + I_R^S(t) + T_R^S(t) \quad [1]$$

dove:

- $P_R^S(t)$  è l'osservazione di codice o pseudodistanza,
- $v_p(t)$  è l'errore casuale dell'osservazione di codice,
- $\rho_R^S(t)$  è la distanza geometrica tra ricevitore e satellite,
- $dt_R(t)$ ,  $dt^S(t)$  sono i termini associati agli *offset* degli oscillatori rispettivamente del ricevitore e del satellite,
- $I_R^S(t)$  è il ritardo ionosferico,
- $T_R^S(t)$  è il ritardo troposferico.

Per realizzare questo posizionamento è necessario disporre di osservazioni contemporanee da almeno quattro satelliti: ad ogni epoca, infatti si avranno da stimare le tre coordinate del ricevitore (supposto in movimento) e il suo *offset* d'orologio, che non può essere considerato costante. A partire dal segnale emesso dai satelliti EGNOS è possibile ottenere sia una stima del disturbo ionosferico che una correzione alla pseudodistanza misurata, sfruttando informazioni sulle posizioni dei satelliti GPS e sull'accuratezza dei loro orologi atomici migliori rispetto a quelle trasmesse nelle effemeridi *broadcast*. In questo modo è possibile migliorare la stima della posizione del ricevitore ad ogni epoca, specialmente nel caso di ricevitori di basso costo in grado di acquisire solamente una frequenza (portante L1), come per esempio il ricevitore u-blox AEK-4T (<http://www.u-blox.com>). E' stato quindi implementato all'interno di goGPS un modulo in grado di acquisire e processare i dati EGNOS; i risultati ottenuti dalle prime sperimentazioni sono presentati nella seguente sezione.

### Sperimentazione e risultati

I miglioramenti ottenuti nel posizionamento assoluto con l'uso dei dati EGNOS sono stati valutati attraverso una sperimentazione effettuata sul tetto dell'edificio del Politecnico di Milano – Polo Territoriale di Como, posizionando il ricevitore u-blox su di un *marker* di coordinate note posto su un pilastro a pochi metri dalla stazione permanente internazionale COMO, appartenente alla rete europea EPN (*EUREF Permanent Network*), vedi Figura 2. In particolare il rilievo è consistito in misure della durata di dieci minuti, con una frequenza di campionamento di 1 Hz, acquisite collegando il ricevitore a basso costo u-blox AEK-4T al *software* goGPS.

Al fine di valutare quantitativamente il miglioramento apportato da EGNOS, i dati sono stati processati ai minimi quadrati utilizzando l'equazione di osservazione (1) stimando la posizione del ricevitore ad ogni epoca, con e senza le correzioni fornite da EGNOS. I risultati di questa analisi sono presentati in Figura 3: nel grafico si può osservare come la nuvola di punti ottenuta a partire dalle coordinate calcolate con goGPS usando EGNOS (quadrati rossi) sia molto più prossima alla posizione vera (punto origine del grafico) rispetto a quella ottenuta usando solo le osservazioni GPS (rombi blu). I triangoli verdi rappresentano la soluzione GPS+EGNOS fornita dal *software* interno del ricevitore u-blox; si nota come, nonostante tale nuvola di punti sia meno dispersa rispetto alle soluzioni goGPS, essa risulti non centrata nella posizione reale del *marker*. La dispersione ridotta della nuvola di punti è dovuta al fatto che la soluzione interna del ricevitore u-blox è ottenuta utilizzando sia un filtro di Kalman che l'osservazione di fase L1, mentre la soluzione goGPS è di puro codice in *stand-alone*.



*Figura 2. Luogo dell'esperimento e monumentazione del marker test.*

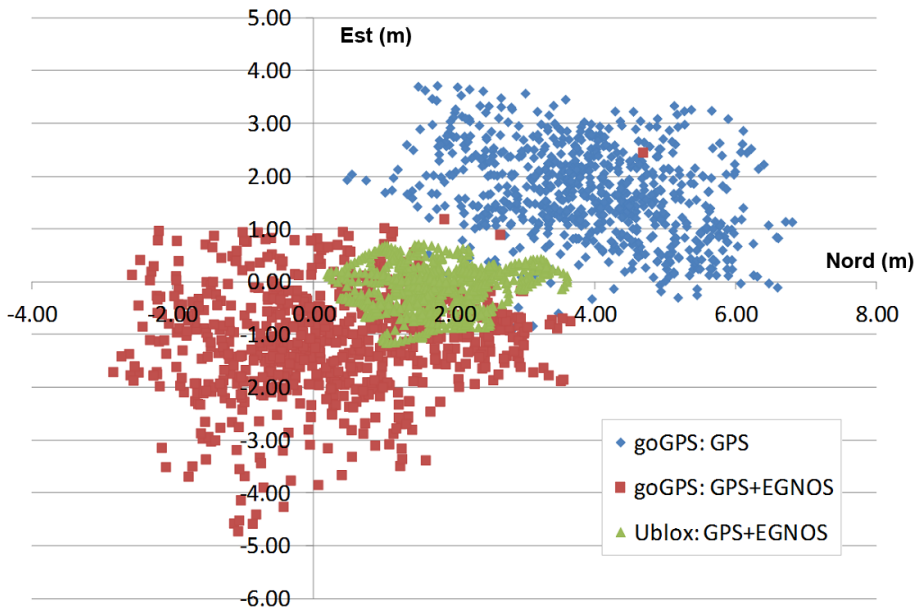


Figura 3. Coordinate ottenute mediante l'utilizzo di goGPS (con e senza EGNOS) e la soluzione interna del ricevitore u-blox (con EGNOS).

## Conclusioni

In questo lavoro sono stati studiati i miglioramenti ottenibili tramite EGNOS nel posizionamento assoluto in tempo reale con ricevitori di basso costo. A tal fine si è utilizzato il *software* di posizionamento goGPS per il quale è stato appositamente creato un nuovo modulo in grado di decodificare e utilizzare le correzioni inviate dai satelliti EGNOS. Il modulo è stato sperimentato attraverso l'acquisizione di osservazioni di codice e il loro processamento in modalità *stand-alone* durante una sessione di dieci minuti, (frequenza di campionamento di 1 Hz), utilizzando un ricevitore di basso costo posizionato su un punto di coordinate note; i risultati di questa prova hanno dimostrato l'effettivo miglioramento dell'accuratezza della posizione stimata rispetto all'utilizzo del solo segnale GPS. Attualmente sono in corso ulteriori prove in scenari differenti per confermare la bontà dei primi risultati.

Nel prossimo futuro si intende implementare il modulo di applicazione delle correzioni ionosferiche e di pseudodistanza inviate da EGNOS anche allo stimatore di goGPS che utilizza congiuntamente i dati di codice e fase e sfrutta il filtro di Kalman. Inoltre si prevede di introdurre l'utilizzo della costellazione GLONASS per migliorare ulteriormente la stima della posizione del ricevitore.

## Riferimenti bibliografici

- Biagi L. (2009), "I fondamentali del GPS", *Geomatic Workbooks, Vol. 8. ISSN 1591-092X*
- Brovelli M.A., Realini E., Reguzzoni M., Visconti M.G. (2008), "Comparison of the performance of medium and low level GNSS apparatus, with and without reference networks". *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, El-Sheimy N., Vettore A. (eds), vol. XXXVI, part 5/C55, pp. 54-61. ESA (2009), "User guide for EGNOS application developers", *ED. 1.1, 07/30/2009*
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. (1992), *GPS Theory and Practice*. Springer, New York

- Pertusini L., Realini E., Reguzzoni M. (2008), “GoGPS: un software per navigare vincolati a linee e superfici”. *Atti della 12<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA*, 21-24 Ottobre 2008, L’Aquila, Italy, Vol. II, pp. 1627-1632
- Pertusini L., Realini E., Reguzzoni M. (2009), “Utilizzo del software goGPS per la navigazione di precisione con ricevitori a basso costo”. *Atti della 13<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA*, 1-4 Dicembre 2009, Bari, Italy
- Pertusini L., Realini E., Reguzzoni M., Sampietro D., Valentini L. (2010). “Uso del software goGPS per la produzione della sentieristica di un parco con strumenti a basso costo”. *Atti della 14<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA*, 9-12 Novembre 2010, Brescia, Italy, pp. 1433-1438
- Realini E. (2009), “goGPS free and constrained realative positioning with low cost receivers”. *Tesi di Dottorato, Politecnico di Milano*
- Realini E., Yoshida D., Reguzzoni M., Raghavan V. (2012). “Enhanced satellite positioning as a web service with goGPS open source software. *Applied Geomatics*, Vol. 4, N. 2, pp. 135-142, DOI: 10.1007/s12518-012-0081-5
- Sansò F. (2006), *Navigazione geodetica e rilevamento cinematico*. Polipress, Milano
- U-blox (2008), “NMEA, UBX Protocol Specification”, *GPS.G5-X-07036-D*