

Verifica delle prestazioni di un codice per la simulazione delle orbite GNSS combinato all'uso di modelli digitali del terreno (Skyplot_DEM)

Stefano Gandolfi

DICAM – ARCES - Facoltà di Ingegneria – Università di Bologna
Viale Risorgimento 2, Bologna tel. 051-2093102, fax. 051-2093114, stefano.gandolfi@unibo.it

Riassunto

Il crescente numero delle costellazioni GNSS (dovuto al consolidamento della costellazione GONASS ed alla ormai imminente nascita sia del sistema Galileo che del sistema cinese Beidou) consentirà di poter disporre, nel caso fosse garantita l'interoperabilità tra essi, di un numero di satelliti per il posizionamento e la navigazione molto elevato. In aree pianeggianti, ed in assenza di ostacoli il disporre di numerosi satelliti permetterà un moderato miglioramento sul posizionamento (prevalentemente in termini di accuratezza) mentre in aree ad alta densità abitativa (dove la visibilità del cielo risulta essere ridotta), la possibilità di disporre di numerosi satelliti consentirà di aumentare la probabilità di realizzare il posizionamento anche dove ora tale possibilità è oggettivamente molto ridotta. Nell'attesa che tali scenari diventino operativi è comunque possibile operare con simulazioni. Recentemente è stato sviluppato nel DICAM un codice che da un lato è in grado di simulare orbite GPS, GLONASS e Galileo (estendibile facilmente anche ad altre eventuali costellazioni) e dall'altro, mediante l'utilizzo di modelli digitali del terreno, è in grado di poter simulare mappe di "ostacoli" per ogni punto di osservazione. Nell'ipotesi che il codice riproduca fedelmente sia la mappa degli ostacoli sia le orbite, tale strumento può essere considerato utile sia per la pianificazione/progettazione di rilievi, sia per comprendere eventuali scenari futuri (considerando in particolar modo la presenza di nuove costellazioni) che nel giro di pochi anni potrebbero essere operativi. Terminata la fase di realizzazione del codice, è stata necessaria una fase di verifica mediante misure "sul campo". Nel lavoro vengono mostrati, oltre ad alcuni risultati ottenibili dalle simulazioni, i risultati delle verifiche condotte volte a verificare la aderenza alla realtà di quanto ottenuto dalle simulazioni.

Abstract

Satellite survey techniques are becoming increasingly relevant for several applications such as surveying, environmental positioning, and navigation. The possibility of using this technique is strongly dependent on the possibility of receiving data from at least four satellites, as the accuracy is dependent on both the number of visible satellites and on their relative positions in the sky.

The presence of natural (such as mountains) and anthropic (such as buildings) obstacles reduce sky visibility, in some cases significantly, thereby reducing the position accuracy or the possibility of determining a position (in the case of less than four satellites). The evolution of satellite positioning technologies will result in the possibility that in the near future, many constellations can be used to determine the position of a receiver. Additionally, the Glonass constellation will be improved and the new Galileo constellation will be deployed. Starting from digital elevation models (DEM), orbits (broadcast or precise), and eventually Keplerian parameters of new constellations, an open source software has been realized with the aim of performing more accurate planning and simulations of the skyplot (the map of the visible satellites) in a point or region for a defined window of time. The software permits the simulation of the current constellation and the simulation

of future scenarios by considering the interoperability between NAVSTAR-GPS, GLONASS, Galileo, and other systems. The simulation, conducted using DEM, permits the definition of a more correct obstacle map for each point. Of course, the DEM is more detailed and accurate, resulting in a more precise obstacle map and thus a more precise simulation. At the end of the software development some tests has been performed comparing the results simulation with the results obtained by some campaign survey.

1. Introduzione

La possibilità di eseguire un posizionamento con tecnologia satellitare GNSS è legata al numero di satelliti visibili contemporaneamente da un osservatore. Nel caso di posizioni assolute di codice il numero di satelliti è 4 mentre per posizionamenti di precisione in tempo reale (RTK) il numero minimo di satelliti è 5. Partendo da questa base teorica i sistemi di navigazione satellitare presentano costellazioni che consentono di rendere disponibili almeno 4 satelliti 24 ore al giorno in qualsiasi punto del globo ma nell'ipotesi che la superficie terrestre sia un ellissoide privo di montuosità e di ostacoli di natura antropica. Quando ci si trova ad operare in contesti reali il numero di satelliti visibili può essere differente da quello teorico proprio per via di ostacoli di origine naturale o antropica e può capitare che la costellazione visibile non consenta il posizionamento.

Tale limite è forte nei centri cittadini dove l'alta densità abitativa limita fortemente la visibilità del cielo e dunque la ricezione dei segnali provenienti dai satelliti GNSS. D'altra parte accanto al consolidato sistema GPS altre costellazioni sono in fase di consolidamento (GLONASS) o di realizzazione (Galileo e Beidou). In un prossimo futuro sarà possibile dunque disporre di un numero di satelliti in orbita molto superiore a quello attuale e, se si supereranno alcuni aspetti di natura politica e tecnologica, i segnali emessi da costellazioni differenti potranno essere utilizzati assieme per eseguire il posizionamento (interoperabilità e compatibilità tra sistemi). Le tecnologie ora disponibili nell'ambito del rilievo e della rappresentazione della superficie terrestre consentono la realizzazione di modelli digitali del terreno anche di elevata accuratezza e densità. Se sono presenti ormai da tempo modelli digitali globali le tecniche di laser a scansione consentono ora di rappresentare in modo molto dettagliato ed in formato digitale anche aree particolarmente complesse quali gli agglomerati urbani. Partendo da tali considerazioni è stato sviluppato un codice che combina tali prodotti e che si pone l'obiettivo di simulare in modo più "reale" le *performances* di singoli (o combinati) sistemi di navigazione satellitare considerando anche ostacoli di natura antropica o naturale.

2. Il Codice Skyplot DEM.

Il codice, realizzato in linguaggio C++ ed utilizzando le *shell* grafiche di gnuplot e GMT (Generic Mapping Tools) consente di realizzare simulazioni in due modalità ("punto singolo", "area di studio") fornendo, per ogni modalità, prodotti in formato numerico e grafico.

Nella modalità "punto singolo", l'operatore è tenuto ad impostare, su un apposito file di input, alcuni parametri obbligatori (nome del file di effemeridi precise/broadcast e/o nome del file contenente i parametri orbitali di ulteriori costellazioni in formato yuma, posizione del punto di osservazione, finestra temporale di simulazione, angolo di cut-off) ed facoltativamente il nome del file contenente il modello digitale del terreno dell'area interessata dalla simulazione. Il codice in output fornirà i seguenti prodotti: Skyplot, Grafico del andamento del numero di satelliti (per ciascuna costellazione considerata e totale) e del parametro GDOP complessivo con tutte le costellazioni interoperabili al variare del tempo (Figura 1).

Nella modalità "area di studio" l'operatore è tenuto ad impostare gli stessi parametri di cui sopra ma al posto di inserire le coordinate del punto di osservazione si devono impostare i limiti dell'area di studio mediante i valori di Xmin, Ymin e Xmax Ymax (individuando un area più o meno rettangolare). Si sottolinea come nel codice le coordinate possono essere impostate come geografiche o cartografiche UTM. Nel caso si scegliesse tale modalità il codice fornirà alcune mappe contenenti il numero medio di satelliti e di GDOP nell'area interessata per la finestra temporale considerata (figura 2).

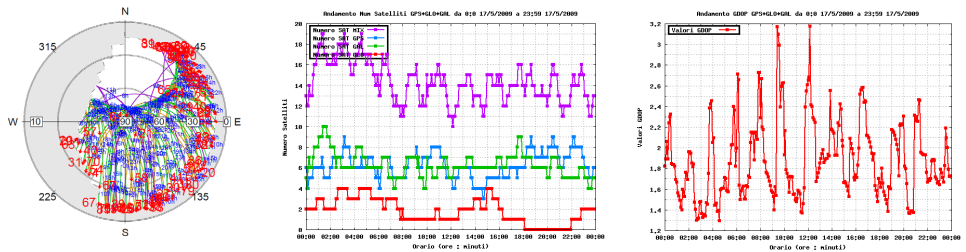


Figura 1 – Rappresentazione dei prodotti generati dal codice di simulazione nella modalità punto singolo (Skyplot, Grafico del numero di satelliti e GDOP relativo).

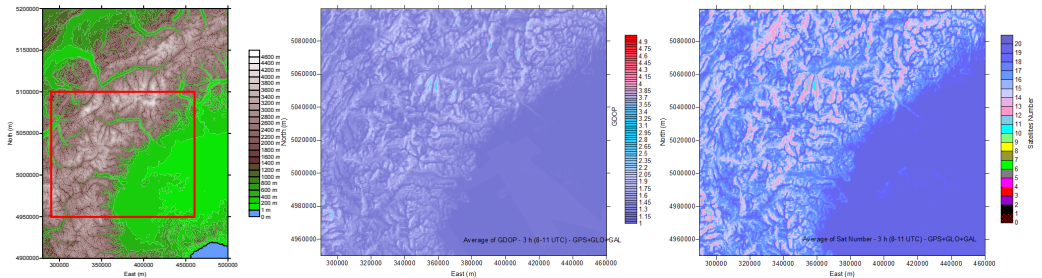


Figura 2 – Rappresentazione dei prodotti generati dal codice di simulazione nella modalità area di studio (Area test, Mappa del numero medio di satelliti e di GDOP per ogni punto della griglia).

3. Verifica delle prestazioni del codice su casi reali

Messo a punto il codice, la fase conclusiva è quella oggetto di questa nota. Qualsiasi codice di simulazione, se non sono presenti problemi formali produce un risultato. Il fatto che tale risultato sia effettivamente realistico è sempre da verificare e per tale studio il problema è stato separato in due parti. Inoltre essendo la modalità “area di studio” una estensione del caso “punto singolo” la verifica è stata realizzata considerando solo la modalità “punto singolo”.

Considerando il fatto che il codice lavora principalmente su due fronti distinti (componente di simulazione delle orbite e componente di generazione delle mappe degli ostacoli a partire da modelli digitali del terreno) e che combina i risultati a posteriori, la verifica alla quale si è proceduto e consistita nella verifica del corretto funzionamento delle due componenti.

Per quanto attiene la prima parte (quella di simulazione delle orbite), si è proceduto a verificare che, dato un sito ed una finestra temporale, lo skyplot dei satelliti GPS fosse correttamente interpretato. In altre parole, a partire da una acquisizione su un sito scelto a campione comunque non privo di ostacoli superiori ad un angolo di cut-off di 10°, si è verificata la soluzione prodotta dal codice con quella reale.

Per quanto attiene la fase di validazione della mappa degli ostacoli generata dal codice a partire da un modello digitale del terreno si è operato confrontando tale mappa con una ottenuta per via topografica classica (con l’uso di un teodolite). Per questa seconda fase il modello digitale del terreno utilizzato è stato una porzione del centro di Pavia (gentilmente messo a disposizione dal Prof. Vittorio Casella dell’Università di Pavia) ed ottenuto da un volo laser scanner.

3.1 Validazione della componente di simulazione delle orbite

La parte di validazione della componente di simulazione/rigenerazione orbite è stata condotta operando in due modi. Da un lato si è confrontato il risultato delle simulazioni del codice SKYPLOT_DEM con quelle del codice Visual dell’Università di Delft (il quale consente di eseguire simulazioni di scenari senza però considerare modelli digitali del terreno ma consentendo

di inserire costellazioni in formato YUMA) e dall'altro considerando anche alcune acquisizioni sul tetto della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna. Per quanto attiene la prima verifica (tra due codici di simulazione) i risultati ottenuti sono esattamente gli stessi. Per quanto concerne il confronto con dati realmente acquisiti, i risultati sono risultati leggermente differenti. In figura 3 viene mostrato il grafico delle differenze tra dato acquisito e simulato considerando la sola costellazione GPS, lo skyplot simulato e la mappa degli ostacoli ottenuta mediante teodolite.

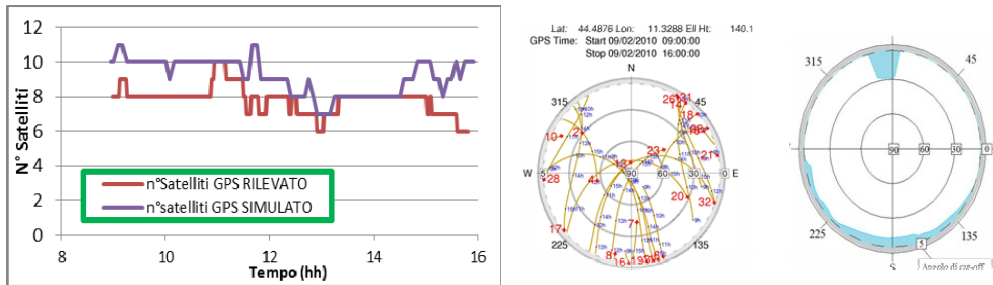


Figura 3 – Figura di sinistra: differenze tra acquisizioni reali e simulazioni ottenute sul tetto della facoltà di ingegneria dell'Università di Bologna, figura centrale: skyplot ottenuto dalla simulazione, figura di destra mappa degli ostacoli ottenuta con teodolite.

Da una attenta analisi, la differenza riscontrata tra il dato simulato e quello rilevato è da attribuirsi sempre a satelliti che si trovavano molto bassi e che nella simulazione non erano oscurati mentre nella realtà si. Dal test condotto è possibile affermare dunque che la parte di simulazione di orbite è stata realizzata correttamente.

3.2 Validazione della componente di simulazione della mappa degli ostacoli



Figura 4 – Veduta aerea dell'area interessata dal test.

La validazione di tale componente del codice si presenta interessante per due ragioni. Da un lato la verifica della correttezza del codice e dall'altro la valutazione della capacità di modelli digitali del terreno di poter essere utilizzati per tali scopi. Come anticipato per la verifica sono stati realizzati alcuni rilievi in punti campione opportunamente scelti. Tali rilievi sono stati effettuati nella città di Pavia poiché, per tale località, la Facoltà di Ingegneria di Bologna dispone di un DEM gentilmente offerto dal Professor Vittorio Casella dell'Università di Pavia, fondamentale per la simulazione. L'area di cui si disponeva del modello digitale con passo ad 1m è quella riportata in figura 4 (dove sono stati riportati anche i punti

individuati come punti campione per il test). In figura 5 vengono mostrati i risultati delle mappe degli ostacoli ottenute per via topografica (blocco di 4 figure di sinistra e blu), quelle ottenute da un DEM ricampionato a 5 metri (blocco di 4 figure al centro e rosse) e infine quelle ottenute dal DEM originale campionato a 1 metro (blocco di 4 figure al centro e rosse). La scelta di ricampionare il DEM a 5 metri è stata adottata per permettere al codice realizzato di essere più veloce quando esso viene utilizzato nella modalità area di studio. Il confronto mostra differenze in alcuni casi anche significative che hanno richiesto alcuni approfondimenti. Da una attenta analisi è emerso come la maggior parte delle differenze riscontrate fosse attribuibile alla presenza di vegetazione, rilevata dal rilievo laser scanner ma non rilevata dal rilievo topografico avvenuto nel mese di febbraio 2010. Ciononostante, le differenze riscontrate in termini di differenza di area coperta (ma suddivisa in ottanti) è stata del 10% circa con un massimo del 15%. Tale dato, seppur limitato nel numero di

test, risulta essere più che soddisfacente. Un secondo test è stato eseguito utilizzando il modello digitale originale con passo di campionamento di circa 1m. In Figura 5 vengono mostrate le mappe degli ostacoli ottenute da un DEM a 1 metro. Da analoghe analisi condotte sul DEM a 5 metri sono emerse alcune inaspettate anomalie. Ad eccezione della mappa degli ostacoli relativa all'area test 4 i risultati ottenuti sono del tutto equivalenti a quelli ottenuti con il modello a 5 metri. La mappa 4 invece presenta anomalie molto significative che portano ad una differenza tra la maschera misurata con teodolite e quella ottenuta dal DEM del 45%. Dopo alcune analisi più approfondite sul contesto si è arrivati ad individuare il motivo di tali differenze. Il codice, quando si trova ad operare in presenza di un DEM associa il punto di osservazione al nodo della griglia a lui più vicino e non considera una ipotetica altezza dell'antenna dalla superficie. Tale approssimazione risulta essere non particolarmente significativa quando il modello digitale del terreno è poco dettagliato ma risulta essere molto impattante quando il modello è particolarmente denso.

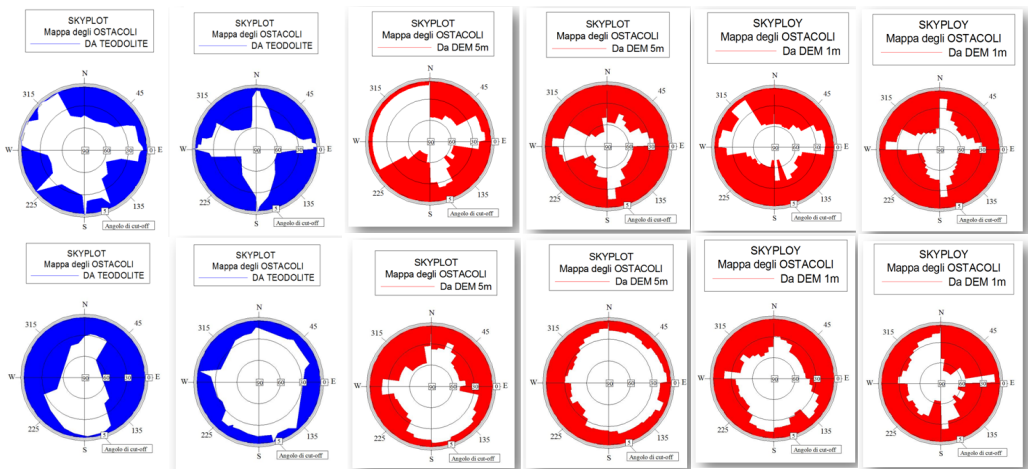


Figura 5 – Confronto tra mappe degli ostacoli sui quattro siti prescelti ottenuti per via topografica (blu) e mediante l'uso di un DEM ricampionato a 5 metri. Mappe degli ostacoli sui medesimi punti ma ottenute da un DEM a 1m.

Nel caso in oggetto il sito 4 era collocato in prossimità di un parcheggio auto e nel modello ad un metro utilizzato le autovetture erano ancora presenti. Il punto di osservazione era “collocato casualmente” tra alcune autovetture e dunque il cono di visibilità risultava essere particolarmente ridotto. Tale risultato ha dunque indotto ad apportare una modifica al codice che attualmente consente di impostare una altezza dell'antenna.

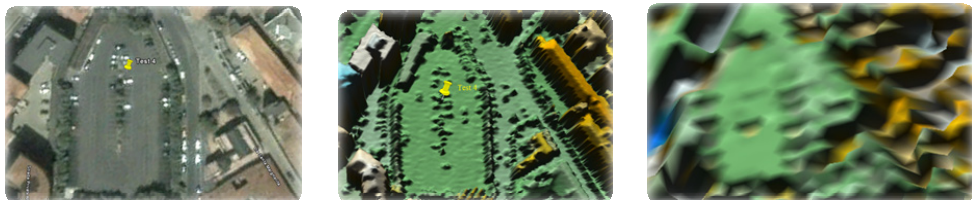


Figura 6 – Dettaglio dell'area attorno al punto test 4. La figura di Sinistra mostra l'immagine aerea, la figura centrale il DEM a 1 m mentre la figura di destra mostra il DEM a 5m.

4. Alcuni risultati del codice di simulazione

Verificata la correttezza nel modo di operare del codice di simulazione realizzato nel presente paragrafo si intende mostrare i risultati di alcune simulazioni condotte. In Figura 7 si mostra la simulazione condotta sull'area di Pavia dove era disponibile il DEM. La simulazione si riferisce ad un periodo di acquisizione di 1 ore circa ed è stata svolta simulando dapprima la sola costellazione GPS poi la compresenza delle costellazioni GPS Glonass e Galileo complete. Le due immagini di sinistra mostrano la media del parametro GDOP nel periodo considerato mentre le due di destra mostrano il numero medio di satelliti visibili.

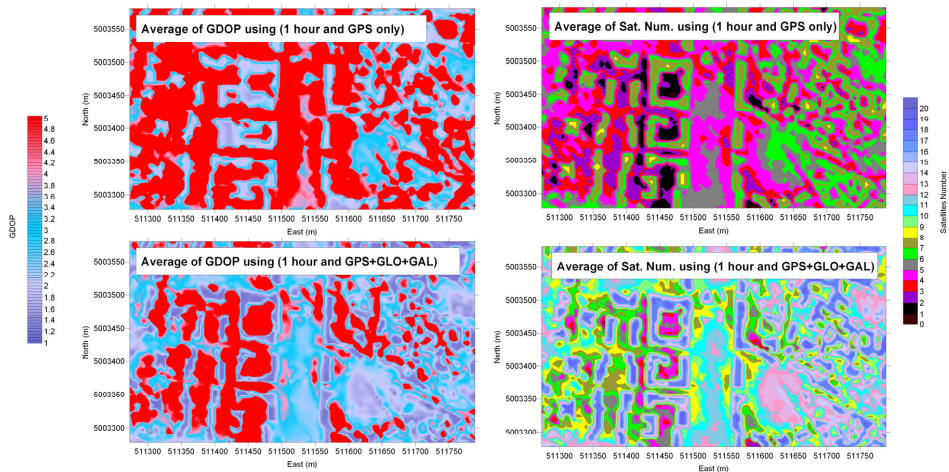


Figura 7 – Simulazioni in modalità area di studio della zona del centro di Pavia dove era disponibile il modello digitale da rilievo lidar.

Come è possibile osservare dal risultato della simulazione la possibilità di disporre di più costellazioni consentirà di poter operare più tranquillamente con tecniche GNSS anche in aree altamente urbanizzate.

Conclusioni

A Seguito della realizzazione di un codice di simulazione di orbite GNSS a partire da parametri orbitali kepleriani e/o effemeridi che considera, ai fini della definizione delle maschere di visibilità modelli digitali del terreno, è stata necessaria la esecuzione di alcuni test volti a verificare la correttezza del funzionamento del codice. A tal fine sono stati condotti test che hanno evidenziato il corretto funzionamento della procedura ma anche messo in luce alcune anomalie che hanno richiesto uno sviluppo del codice. Terminata questa fase di validazione il codice attualmente consente di eseguire simulazioni utili ai fini della pianificazione di rilievi con tecniche GNSS.

Ringraziamenti

L'autore desidera ringraziare il Geom. Giuseppe Capone ed il laureando Dott. Gennaro Vecchiarino per aver realizzato i rilievi necessari alla verifica del codice.

Bibliografia

Gandolfi S., La Via L. (2010), SKYPLOT_DEM: a tool for GNSS planning and simulations, sottomesso alla rivista Applied Geomatics edita da Springer