

PLANNING GNSS REALISTICO

Bianca FEDERICI (*), Domenico SGUERSO (**)

(*) Politecnico di Torino – DITAG, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino
bianca.federici@fastwebnet.it

(**) Università degli Studi di Genova, Via Montallegro 1, 16145 Genova
domenico.sguerso@unige.it

• Riassunto

La presenza sempre più diffusa delle reti di Stazioni Permanenti GNSS rende le tecniche di rilevamento satellitari sempre più semplici, veloci ed economiche, permettendo al tecnico di ottenere facilmente precisioni sub-decimetriche. L'esito e specie la speditività di campagne di misura GNSS traggono però vantaggio da una accurata fase di planning, soprattutto nel caso in cui il sito oggetto di rilievo presenti caratteristiche che rendano le osservazioni dei satelliti difficoltose. Per agevolare la ricerca di siti idonei alla monumentazione di stazioni permanenti GNSS, si è aggiornato un software, precedentemente sviluppato da uno degli autori; esso permette di ottenere carte di visibilità satellitare realistiche, che tengano cioè conto attraverso modelli digitali delle superfici dell'area di interesse, della morfologia del territorio e della eventuale presenza di edificato. Mediante tale software è stata effettuata un'analisi comparata della visibilità satellitare e dell'indice PDOP in funzione delle diverse costellazioni satellitari GNSS nell'arco delle 24 ore, per un'area territoriale particolarmente complessa. La valutazione della numerosità satellitare realisticamente visibile è integrata da un indice di visibilità percentuale valutato rispetto al numero di satelliti disponibili in assenza di ostruzioni, al fine di facilitare la scelta della posizione delle future stazioni permanenti GNSS della Regione Piemonte.

Abstract

The more and more spread presence of GNSS Permanent Station Networks makes the satellite survey techniques more simpler, quicker and cheaper, allowing the technician to obtain easily sub-decimetric precisions. However, the result and, above all, the speed of GNSS survey campaign get an advantage out of accurate planning, especially where the site to survey has characteristics that make the satellite observations difficult. To facilitate the search of sites suitable for the installation of GNSS permanent stations, a planning software, previously developed by one of the author, has been updated; it allows to obtain realistic satellite visibility maps, taking into account of the terrain morphology or buildings through digital surface models of the interesting area. By means of such software, a comparative analysis of satellite visibility in function of the different GNSS satellite constellation in the course of 24 hours in a particularly complex area was performed. The evaluation of satellite numbers realistically visible is integrated with an index of visibility percentage with respect to the number of satellite observable without obstructions, so to make easy the choice of the site for the future GNSS permanent stations of Piedmont Region.

• Introduzione

La presenza sempre più diffusa delle reti di Stazioni Permanenti GNSS rende le tecniche di rilevamento satellitari sempre più semplici, veloci ed economiche, permettendo al tecnico di ottenere facilmente precisioni sub-decimetriche.

Un'accurata pianificazione della campagna di misura può agevolare l'esito e soprattutto la speditività della campagna stessa; è prassi comune lasciare all'esperienza dell'operatore e ad un

planning privo di ostruzioni la scelta della finestra oraria nella quale effettuare le misure, affidando al sempre maggior numero di satelliti a disposizione il risultato del rilevamento. Il presente lavoro vuole valutare tale affidabilità effettuando un'analisi della reale visibilità satellitare in un'area sufficientemente complessa.

Lo strumento utilizzato è una nuova versione dei moduli già presentati da uno degli autori in Fruet et al. (1999 e 2000), che permettono di effettuare un planning realistico della visibilità satellitare, tenendo cioè automaticamente in conto le eventuali ostruzioni all'intervisibilità satellite-ricevitore, fornite dalla morfologia del terreno e della eventuale presenza di costruzioni antropiche.

Molti sono i software commerciali oggi disponibili che consentono di effettuare la pianificazione di rilievi per un certo numero di punti che però, come noto, solitamente prevedono ricognizioni in sito particolarmente onerose per valutare le ostruzioni e gli impedimenti al segnale.

I moduli scritti vogliono agevolare proprio la valutazione delle ostruzioni, permettendo di progettare una campagna di misure in funzione del numero di satelliti realmente visibili e del contributo fornito dalla loro configurazione geometrica, particolarmente utile in zone complesse per una scelta ottimale degli intervalli temporali e la relativa organizzazione della sessione di misura.

Un primo modulo determina le ostruzioni realistiche sulle aree in esame, a partire da modelli tridimensionali della superficie orografica e/o dell'edificato (Modello Digitale delle Superfici - DSM); in seguito, utilizzando i principali file di almanacco delle costellazioni GNSS a disposizione, un secondo modulo crea carte sia della realistica visibilità satellitare che dell'indice PDOP, entrambi valutati per singoli istanti o per una finestra temporale a scelta dell'operatore. In questo secondo caso i valori riportati per ciascun punto della carta, rappresentano la peggiore situazione riscontrabile in quel pixel nell'intero intervallo temporale, rispettivamente pari alla minima numerosità satellitare ed al massimo PDOP.

Tali algoritmi, scritti in linguaggio C, originariamente si basavano su funzioni proprie del software GIS free ed open source GRASS nella versione 5.0, quali moduli interni al software stesso.

Nel presente lavoro si è cercato di risolverne i problemi di portabilità, aggiornando le dipendenze verso le librerie presenti nell'attuale versione 6.3 di GRASS; questa infatti differisce particolarmente dalla versione 5.0 proprio nelle librerie che risultano per lo più esterne al software stesso, rendendo così la configurazione più stabile e meno dipendente da future modifiche interne, nell'ottica di una sempre maggiore portabilità del software GIS.

- **Analisi comparata di visibilità satellitare GNSS**
- È stata presa come zona campione della presente analisi un'area circostante la cittadina di Vinadio (Provincia di Cuneo) di dimensione 18 x 27 km e quote variabili tra i 700 m e i 3000 m, rappresentata da un DTM di maglia 50 m x 50 m.

L'almanacco impiegato, del 7 Agosto 2008, ha fornito la disponibilità di 30 satelliti su 31 della costellazione GPS e di 14 satelliti sui 26 dell'intera costellazione GLONASS, per un totale di 44 satelliti.

L'analisi è stata effettuata per le 24 ore della giornata del 8 Agosto 2008.

L'intento è quello di valutare le aree nelle quali risulti eventualmente impossibile l'impiego del posizionamento GNSS e per quanta parte della giornata; si assume a tal fine una finestra temporale pari ad un'ora, quale intervallo minimo considerato per effettuare un rilievo. Si noti che tale ipotesi comporta una discretizzazione di detta giornata su finestre orarie, per ciascuna delle quali sono state create due carte riportanti rispettivamente il minimo numero di satelliti e il massimo valore di PDOP che il generico utente registrerebbe in quel pixel, ossia in quella posizione; si ritiene preferibile infatti indicare non tanto la configurazione istantanea, quanto piuttosto quella che fornisca condizioni cautelative per l'intera durata del rilievo, difficilmente di durata inferiore all'ora. Per una più immediata interpretazione, tali carte sono state riclassificate nelle tre potenziali condizioni di rilievo: insufficienti, sufficienti e buone, alle quali si sono associati rispettivamente i colori nero, bianco e grigio. Per quanto riguarda la visibilità satellitare, si è distinto tra aree in cui il rilievo GNSS non risulta possibile in quanto con meno di 4 satelliti (condizione insufficiente), aree

in cui il numero di satelliti è idoneo per effettuare un rilievo (condizione sufficiente: 4-7 satelliti) ed aree in cui la visibilità satellitare è con più di 7 satelliti (condizione buona); i limiti tra le condizioni sufficienti e buone sono opinabili e per tale motivo possono essere diversamente scelti dall'utente. Per quanto riguarda l'indice PDOP, il contributo che la configurazione geometrica dei satelliti fornisce alla precisione del rilievo si è distinto nelle seguenti condizioni: buona (PDOP inferiore a 3), sufficiente (PDOP tra 3 e 7) ed insufficiente (PDOP superiore a 7 o non calcolabile nel caso siano osservabili meno di 4 satelliti).

In figura 1a e 1b si riportano a titolo d'esempio le carte relative alla sola costellazione GPS per la fascia oraria delle ore 23-24, rappresentativa delle condizioni medie dell'intera giornata.

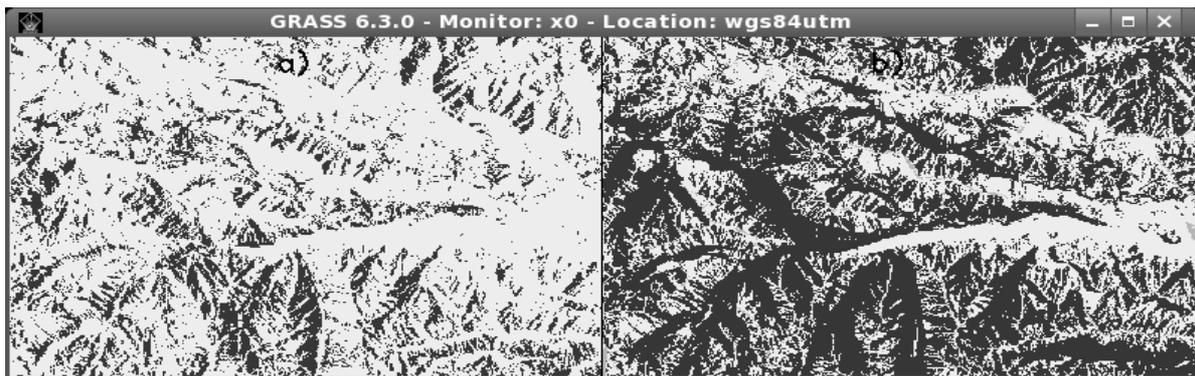


Figura 1 - a) carta visibilità satellitare GPS; b) carta PDOP per la costellazione GPS

Per quanto riguarda la visibilità satellitare per la fascia oraria 23-24, in figura 1a il 22% della regione è caratterizzata da condizioni insufficienti ad un rilievo GPS, in particolare per i versanti esposti a nord e ad est; il restante 78% è caratterizzata da visibilità sufficiente ma quasi mai buona. Sono state comunque osservate delle fasce orarie ottimali (dalle 7 alle 10 e dalle 18 alle 21) nelle quali solo il 5-10% della regione ha condizioni insufficienti ed il 10-15% è caratterizzato da condizioni buone.

Per quanto riguarda l'indice PDOP, in figura 1b il 58% della regione è caratterizzata da condizioni insufficienti, mentre solo il 2% assume valori buoni. Ciò evidenzia come in diverse situazioni critiche, il numero di satelliti potrebbe essere sufficiente per effettuare un rilievo ma la loro disposizione geometrica può essere tale da causare scarse precisioni al rilievo risultante. Tale comportamento è stato osservato anche in altri momenti della giornata; nelle fasce orarie 8-9, 9-10, 19-20 e 20-21, ad esempio, nelle quali la visibilità satellitare risulta insufficiente solamente nel 3-6% della regione, il valore del PDOP è per il 25-50% dei pixel con valore insufficiente al rilievo GPS. Nella fascia oraria 2-3 il 100% dei valori di PDOP risultano insufficienti, contro il 54% della regione con meno di 4 satelliti realisticamente visibili. Ciò evidenzia quanto sia utile ancora oggi individuare la finestra oraria ottimale per l'esecuzione del rilievo.

Le stesse valutazioni sono state effettuate considerando anche la presenza della costellazione GLONASS; le carte rappresentative della visibilità satellitare e del PDOP sono rispettivamente riportate nelle figure 2a e 2b.

Nella medesima fascia oraria delle figure 1, dalle 23 alle 24, la percentuale di territorio in cui sono visibili meno di 4 satelliti passa dal 22% al 2,5%, mentre per il 28,5% dell'area risultano realisticamente visibili oltre 7 satelliti. Anche il PDOP migliora, anche se in maniera meno marcata poiché il 32% della regione risulta comunque caratterizzato da valori insufficienti (contro il 58% della sola costellazione GPS), e solo il 5% assume valori buoni. L'apporto dell'attuale costellazione GLONASS risulta pertanto significativo, anche se non ancora risolutivo.

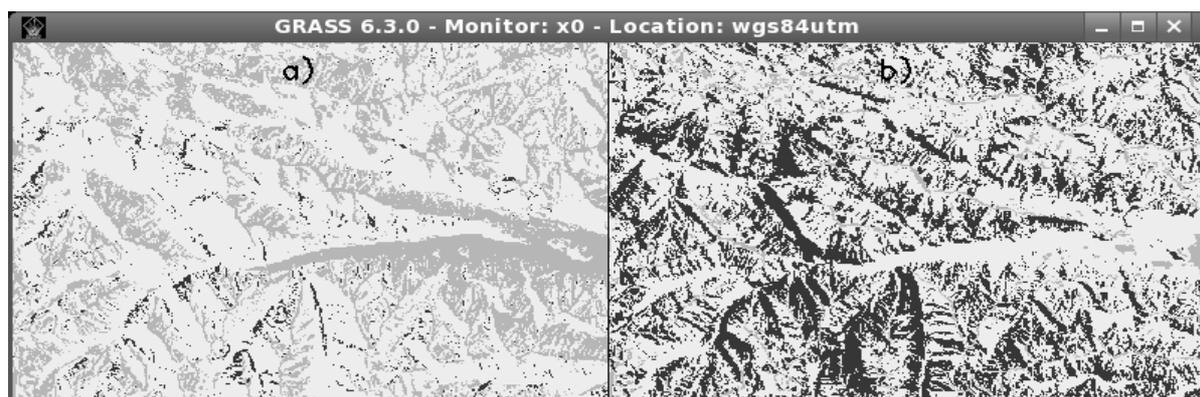


Figura 2 - a) carta visibilità satellitare GPS+GLONASS; b) carta PDOP GPS+GLONASS

Nelle tabelle 1 e 2, rispettivamente per la sola costellazione GPS o per entrambe le costellazioni GPS e GLONASS, sono riportate alcune statistiche relative alle percentuali di aree definite insufficienti, sufficienti o buone. Le percentuali di territorio riportate sono la media, il minimo ed il massimo tra i valori delle 24 fasce orarie, per ciascuna classe di rilievo.

| n_sat_min_h GPS | MEDIA | MIN | MAX |
|------------------------|--------------|------------|------------|
| insuf | 23,3 | 3,0 | 54,0 |
| suff | 73,7 | 46,0 | 91,0 |
| buono | 3,0 | 0,0 | 16,0 |

| pdop_max_h GPS | MEDIA | MIN | MAX |
|-----------------------|--------------|------------|------------|
| insuf | 56,8 | 25,0 | 100,0 |
| suff | 40,2 | 0,0 | 65,0 |
| buono | 3,1 | 0,0 | 11,0 |

Tabella 1 – Percentuali di territorio per visibilità satellitare e PDOP con la sola costellazione GPS

| n_sat_min_h GNSS | MEDIA | MIN | MAX |
|-------------------------|--------------|------------|------------|
| insuf | 3,5 | 0,0 | 18,5 |
| suff | 59,5 | 16,0 | 90,0 |
| buono | 36,9 | 2,5 | 84,0 |

| pdop_max_h GNSS | MEDIA | MIN | MAX |
|------------------------|--------------|------------|------------|
| insuf | 26,3 | 5,6 | 58,5 |
| suff | 62,1 | 41,5 | 78,0 |
| buono | 12,1 | 0,0 | 31,0 |

Tabella 2 - Percentuali di territorio per visibilità satellitare e PDOP, costellazioni GPS+GLONASS

Dal confronto tra le suddette tabelle si può notare l'apporto della costellazione GLONASS, anche se non ancora risolutivo, particolarmente evidente nelle drastiche riduzioni delle percentuali di territorio classificate insufficienti (rilevabili tanto nei valori medi, quanto nei valori estremi di minimo e massimo), quanto nell'incremento delle aree con buone condizioni di rilievo.

Si è quindi cercato di valutare se alcune porzioni di territorio risultassero eventualmente caratterizzate in ogni ora della giornata dall'impossibilità di effettuare rilievi GNSS, sia dal punto di vista della visibilità satellitare che da quella del PDOP; si è pertanto effettuata un'intersezione delle carte orarie precedentemente descritte, per individuare le eventuali aree definite insufficienti (nere) in ogni ora dell'intero arco giornaliero. Considerando la sola costellazione GPS, si è ottenuto che solo 746 pixel, corrispondenti allo 0,4% della regione considerata, soddisfano tale condizione relativamente alla visibilità satellitare mentre per quanto riguarda l'indice PDOP, l'8% della regione

ha valori considerati insufficienti in ciascuna delle 24 analisi orarie. Se questo risultato è da considerarsi favorevolmente allo sviluppo dell'impiego delle tecniche satellitari, occorre altresì tenere presente che nessun pixel ha soddisfatto le condizioni di buona visibilità satellitare per l'intera giornata. L'apporto della costellazione GLONASS fa sì che solo 3 pixel rimangano caratterizzati da visibilità insufficiente nell'arco delle 24 ore, mentre 1141 pixel, corrispondenti al 0,6%, sono sempre caratterizzati da una visibilità realisticamente buona. Per quanto riguarda l'indice PDOP, la porzione di regione caratterizzata sempre da valori insufficienti si riduce fino allo 0,7%; nessuna area risulta invece appartenere alla classe di PDOP buona (valori inferiori a 3) per l'intero arco della giornata, anche se 1600 pixel, pari al 0,8% del territorio in studio, sono classificati buoni per ben 22 ore, con valori di PDOP pari a 3 nelle restanti 2 ore.

Ne segue pertanto che, utilizzando un ricevitore in grado di ricevere i segnali da entrambe le costellazioni, pochissimi sarebbero i luoghi dove l'utente sarebbe impossibilitato per l'intera giornata ad effettuare un rilievo GNSS.

Calcolo dell'indice di visibilità percentuale

Per facilitare la scelta della posizione delle future stazioni permanenti GNSS della Regione Piemonte, nel secondo modulo è stata implementata la possibilità di effettuare il calcolo dell'indice di visibilità percentuale che il software TEQC dell'UNAVCO fornisce per ogni controllo di qualità. Tale indice rappresenta la percentuale del numero di osservabili effettivamente acquisite rispetto alla quantità massima acquisibile in assenza di ostruzioni, valutato sull'intera giornata, avendo ipotizzato un'angolo di cutoff pari a 5°.

Nel presente lavoro il calcolo della disponibilità satellitare e della numerosità di satelliti realisticamente visibili tenendo conto delle ostruzioni fornite dal DSM, viene effettuato ogni 5 minuti ed integrato sulle 24 ore; tali valutazioni sono state effettuate considerando la sola costellazione GPS, per una progettazione cautelativa della stazione permanente.

Nella figura 3 si riporta a titolo d'esempio la carta relativa a tale indice di visibilità percentuale per l'intera zona in studio (figura 3a), con un ingrandimento di dettaglio per il paese di Demonte (figura 3b, indicato mediante un riquadro in figura 3a) alla quale è stata sovrapposta la Carta Tecnica Regionale (CTR) della Regione Piemonte alla scala 1:10.000. I pixel di colore più scuro sono caratterizzati da valori elevati dell'indice, compresi tra l'80% e il 100%, indicativi di una buona visibilità satellitare, prevalentemente dislocati nelle porzioni di fondo valle più aperte e sui crinali; i pixel di colore più chiaro assumono valori percentuali minori, con valore minimo pari al 35% nella figura 3a, ed al 60% nella figura 3b.

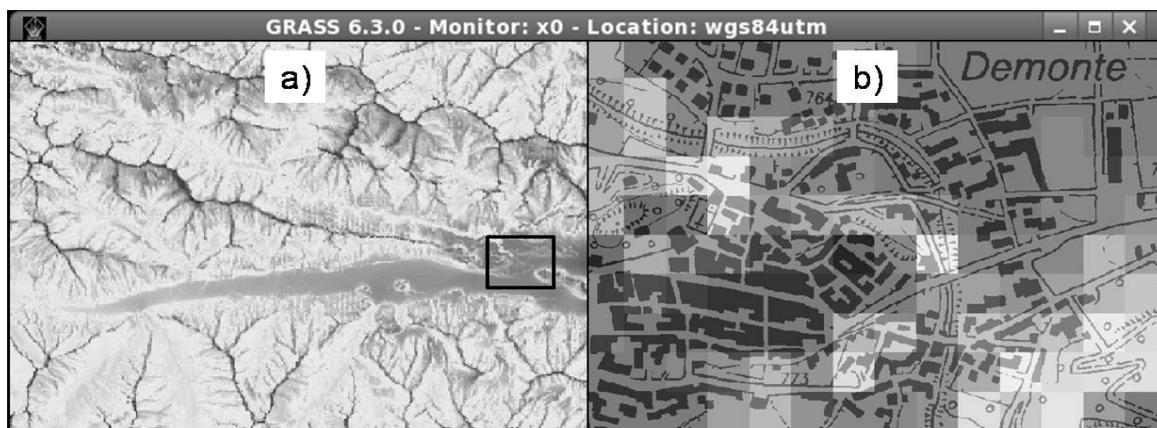


Figura 3 - a) carta dell'indice di visibilità percentuale; b) particolare per il paese di Demonte

I risultati relativi alla figura 3b evidenziano la discretizzazione planimetrica dell'analisi effettuata, pari alla risoluzione del Modello Digitale del Terreno (DTM) di 50 m x 50 m; i risultati ottenuti nel centro urbano sono da considerarsi solo indicativi in quanto l'analisi è stata effettuata considerando

le sole ostruzioni orografiche, trascurando pertanto quelle dovute agli edifici stessi, Una corretta valutazione delle ostruzioni sarebbe possibile integrando le informazioni fornite dal DTM con le altezze degli edifici riportate dalla cosiddetta carta dei tetti o, in alternativa, disponendo di un Modello Digitale delle Superfici (DSM).

Conclusioni

Un software per la pianificazione realistica delle campagne di rilevamento GNSS, già presentato in Fruet et al. (1999 e 2000) ed ultimamente aggiornato nelle librerie per una maggiore portabilità nelle versioni del GIS GRASS, è stato utilizzato come strumento di analisi per evidenziare l'importante contributo che la costellazione GLONASS fornisce nelle aree territoriali particolarmente critiche da un punto di vista della visibilità satellitare. Si è valutato come, per l'area oggetto di studio, la presenza della seconda costellazione renda pressoché nulle le aree nelle quali sia impossibile effettuare un rilevamento GNSS a causa dell'insufficiente numerosità satellitare; per contro, la percentuale della regione per la quale i valori di PDOP sono realisticamente superiori al 7 è ancora considerevole per una buona parte della giornata (tabella 2). Se ne deduce pertanto che l'attuale situazione satellitare non è ancora ottimale per consentire un rilievo satellitare con più di 7 satelliti e PDOP inferiore a 3 (specie dal punto di vista di quest'ultimo parametro) su gran parte del territorio analizzato per l'intero arco della giornata.

Inoltre è stato implementato l'indice di visibilità percentuale, ottenuto dal confronto tra i satelliti realisticamente visibili e quelli osservabili in assenza di ostruzioni, con un angolo di elevazione cutoff di 5°, al fine di facilitare la scelta della posizione delle future stazioni permanenti GNSS della Regione Piemonte.

L'algoritmo utilizzato per le suddette analisi, è in continua evoluzione principalmente per poterne estendere le applicazioni ad aree significativamente maggiori, ottimizzandone i tempi di calcolo. Si ritiene che questo strumento possa trovare utili applicazioni nei servizi di posizionamento offerti dalle reti di stazioni permanenti GNSS, favorendo una maggiore fruibilità delle informazioni, consultabili da parte dell'utente anche tramite Web-GIS.

• Ringraziamenti

Il presente lavoro è sviluppato nell'ambito del progetto PRIN2006 "Galileo ed il posizionamento satellitare modernizzato", coordinato dal Prof. F. Sansò del Politecnico di Milano.

Si ringrazia il Settore Informativo Territoriale della Regione Piemonte, nella persona del dirigente dott. Garretti, per aver messo a disposizione il DTM e la CTR per l'area oggetto di studio.

• Bibliografia

Carli D., Fruet G., Sguerso D., Zatelli P. (2000), "Nuovi sviluppi per la pianificazione di rilievi satellitari cinematici terrestri o aerei", *Atti della 4^a Conferenza Nazionale ASITA*, Genova 3-6 ottobre 2000.

Ciolfi M., Sguerso D., Zatelli P. (2000), "GIS applications with GRASS", *Geomatics Workbooks*, n. 1, pp. 1-12, ISSN 1591-092X. <http://geomatica.como.polimi.it/workbooks>. Ed. Geomatics Laboratory, Politecnico Milano-Polo Como.

Fruet G., Sguerso D., Zatelli P. (1999), "Planning GPS automatico con ostruzioni realistiche", *Atti della 3^a Conferenza Nazionale ASITA*, Napoli 9-12 novembre 1999, II 773-778.

Fruet G., Sguerso D. (2000), "La pianificazione di rilievi GPS/GLONASS in ambienti densamente urbanizzati", *Atti della 4^a Conferenza Nazionale ASITA*, Genova 3-6 ottobre 2000, II: 849-854.

Software GRASS del GRASS Development Team, 2006, ITC-irst, Trento: <http://grass.osgeo.org>

TEQC toolkit for GNSS data pre-processing, UNAVCO:
<http://facility.unavco.org/software/teqc/teqc.html>