

## APPLICAZIONI PER IL MONITORAGGIO DEL TERRITORIO CON INFRASTRUTTURE DI STAZIONI PERMANENTI GPS

Luca GUSELLA (\*), Luca PASQUINI (\*\*), Arianna PESCI (\*\*\*), Fabiana LODDO (\*\*\*),  
Giuseppe CASULA (\*\*\*), Nicola CENNI (\*\*\*\*), Carlo CORSARI (\*\*\*\*\*)

(\*) Eurotec S.n.c., p.le Lubiana, 11/a - 43100 Parma - luca.gusella@eurotecparma.com

(\*\*) ASSOGEO S.r.l. Via Brodolini 10/F - 20049 Concorezzo (MI) - l.pasquini@assogeo.com

(\*\*\*) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna, via Donato Creti, 12 - 40128 Bologna -  
pesci@bo.ingv.it; loddo@bo.ingv.it; casula@bo.ingv.it

(\*\*\*\*) Dipartimento di Fisica, Settore Geofisica, Università degli Studi di Bologna, Viale Berti Pichat, 8  
40127 Bologna - nicola.cenni@unibo.it

(\*\*\*\*\*) Sihnet - Strada Cavedole 12/c - 41100 Modena – cborsari@sihnet.it

### Riassunto

Le reti di stazioni permanenti GPS per le applicazioni in tempo reale (*Network RTK*) sono tra le infrastrutture tecniche più interessanti per quanto concerne le operazioni di rilievo e di rappresentazione del territorio. Le applicazioni cosiddette *Real-Time* comprendono la topografia, il tracciamento di opere ingegneristiche, il rilievo catastale, il monitoraggio di aree di dissesto. Le diverse infrastrutture hanno caratteristiche peculiari, in particolare, le reti dotate di tecnologia VRS (*Virtual Reference Station*) permettono la generazione di stazioni virtuali in punti predeterminati del territorio, garantendo precisioni operative sufficienti a gran parte delle necessità tecniche.

Nel presente lavoro, si vuole cercare di delineare gli ambiti applicativi delle tecniche di monitoraggio GPS in tempo reale (RTK e VRS) per la creazione di modelli digitali del terreno attraverso l'uso cinematico del ricevitore. In particolare, saranno analizzati i risultati ottenuti utilizzando le tecniche VRS e RTK e confrontati i risultati ottenuti in tempo reale con quelli derivati da post elaborazione dei dati di osservazione.

### ABSTRACT

GPS networks for real time applications (*Network RTK*) are arising as infrastructures for environmental survey. Real time applications could be: topography, engineering stakeout, cadastral surveys, landslide areas monitoring. A *Network RTK* infrastructure has its proper characteristics, in particular *Virtual Reference Station* technology are permitting the generation of "virtual stations" in any part of the survey, permitting an increasing precision for most technical needs.

In this work, the application of monitoring using network of permanent stations will be evaluated, in particular where, as in the North Italy, these infrastructures are more diffuse.

GPS data will be evaluated either in VRS real time and post-process, using VRS solution or single base solutions, demonstrating applications in selected case studies.

### Introduzione

La determinazione di modelli digitali del terreno ed il loro uso applicativo è uno dei campi di interesse del rilievo topografico. In dipendenza dall'estensione e dalle finalità applicative del rilievo (modellistica idraulica, cartografia solo per citare alcuni esempi) porta all'impiego di opportune tecniche geomatiche sia per l'esecuzione, sia per il controllo e la calibrazione dei risultati ottenuti.

L'esecuzione di un rilievo di una superficie, sia esso di caratteristiche naturali sia di caratteristiche ingegneristiche, può essere effettuata utilizzando diverse tecniche:

- fotogrammetria
- *laser – scanner*
- stazione totale
- sistemi GNSS Geodetici (comunemente indicati come GPS)

La scelta della strumentazione con la quale effettuare il rilievo viene effettuata analizzando le caratteristiche di operatività e di precisione richieste dall'oggetto di interesse, oltre che da considerazioni di carattere economico/pratico.

L'uso di sistemi fotogrammetrici è ampiamente documentato in letteratura (Baldi et al. 2008; Fabris et al. 2007), e sicuramente si presta per l'esecuzione di rilievi di ampie porzioni di territorio, con caratteristiche di produttività e di sicurezza, in quanto è un sistema di rilevamento remoto e dunque bene si presta ad essere utilizzato in condizione di rischio. Tuttavia, qualora la porzione di territorio sia di dimensioni non sufficienti tali da giustificare l'impiego di sistemi aerei o qualora la morfologia del territorio, caratterizzata da similitudini in diverse aree di interesse ne renda difficile la restituzione stereoscopica, vengono preferiti altri sistemi.

Una valida alternativa all'uso della fotogrammetria è rappresentata sicuramente dal *laser – scanner*, sia esso aviotrasportato o terrestre. Il rilievo di ampie porzioni di territorio giustifica l'uso di strumentazione aerea; nel caso di piccole zone, come ad esempio frane o discariche, l'uso di un *laser – scanner* terrestre rappresenta una valida soluzione.

Prestazioni simili, anche se con tempi di realizzo del rilievo diversi dovuti alla struttura stessa della strumentazione, si ottengono utilizzando stazioni totali motorizzate, in grado di rilevare oltre 10 punti per secondo a distanze che superano le centinaia di metri, permettendo il rilievo di ampie porzioni di territorio. Tuttavia, la presenza di vegetazione e di ostacoli, obbliga ad utilizzare diverse stazioni tra loro collegate, rendendo più oneroso il rilievo e la sua successiva restituzione.

L'uso di strumentazione GNSS di tipo geodetico è anch'esso un sistema impiegato per la definizione di modelli digitali del terreno, particolarmente quando le caratteristiche del territorio permettano di raggiungere la zona di interesse. Questo tipo di rilievo, per la precisione fornita e per la rapidità di esecuzione, è usato anche per il collaudo di ampie porzioni di territorio il cui modello di elevazione sia ottenuto in via fotogrammetrica o *laser-scanner* da aereo. La diffusione di questo tipo di strumentazione permette inoltre l'esecuzione di questo tipo di rilievo anche a professionisti quali geometri ed ingeneri. Nel prosieguo dell'articolo, dopo una breve descrizione di questa ultima tecnica di rilievo, saranno presentati alcuni casi applicativi relativi al rilievo cinematico satellitare di porzioni di territorio.

### Caratteristiche di un rilievo GNSS

Il rilievo tramite strumentazione satellitare geodetica può essere effettuato utilizzando diverse modalità operative, ciascuna delle quali caratterizzata da particolari pregi e particolari precisioni di rilievo. Nell'uso descritto in questo articolo, verrà preso in considerazione il rilievo di tipo cinematico di profili e di porzioni di territorio. Come è noto, il rilievo in questa modalità può essere eseguito con due tecniche specifiche: in tempo reale (RTK, *Real Time Kinematic*) oppure eseguendo una elaborazione dei dati acquisiti in campagna da almeno due strumenti, una stazione base fissa ed un *rover* in movimento (*Post – Processing* PP). La tabella 1 contiene un breve elenco delle principali caratteristiche di questi diversi tipi di rilievo cinematico.

Caratteristica	Tempo Reale (RTK)	Post Processing (PP)
Numero minimo di satelliti	5	4
Tempo di inizializzazione	<1 minuto	Rilievi ininterrotti di 8 minuti
Precisione teorica	1 cm + 1 ppm orizzontale 2 cm + 1 ppm verticale	1 cm + 1 ppm orizzontale 2 cm + 1 ppm verticale
Ripresa di inizializzazione	< 1 minuto	< 3 minuti su punto noto
Controllo in tempo reale della bontà del rilievo	Possibili false inizializzazioni, individuabili in campagna	<i>Cycle slips</i> e ostruzioni del segnale vengono segnalati, ma non è possibile un controllo in tempo reale dei punti acquisiti
Possibilità di eseguire il rilievo in assenza di copertura radio o telefonica	No	Il rilievo è possibile in ogni condizione di copertura radio o telefonica

Tabella 1 - Caratteristiche dei rilievi GPS cinematico RTK e Post – Processing (PP).

## Test applicativi

Per valutare le eventuali differenze tra le due diverse tipologie di rilievo GPS cinematico, sia in tempo reale sia post processato, sono stati eseguiti alcuni rilievi test. Nel testo ci si riferisce a tre diverse tecniche:

RTK (*Real Time Kinematics*): Si intende con questo termine il rilievo eseguito in tempo reale, tramite collegamento *radiomodem* tra ricevitore base, fisso in un punto di coordinate note, ed un ricevitore mobile, chiamato *rover*.

PP (*Post Processing*): Si intende con questo termine il rilievo eseguito in post-elaborazione impiegando i dati di osservazione RINEX ottenuti durante il rilievo RTK. Il *post processing* è stato eseguito sia utilizzando i dati della stazione base, sia utilizzando i dati RINEX virtuali con le medesime coordinate della stazione base.

VRS: Si intende con VRS (*Virtual Reference Station*, Landau, 2002) il rilievo in tempo reale utilizzando come stazione base una stazione virtuale in prossimità del rilievo ed il rilievo in post elaborazione utilizzando file RINEX virtuali con coordinate identiche a quelle della stazione base utilizzata per il rilievo RTK e PP da singola stazione.

In seguito con i dati ottenuti con le diverse tecniche sono stati ricavati i modelli digitali del terreno (DTM, *Digital Terrain Model*), prodotto tipico per questo tipo di applicazione, utilizzando come metodo di interpolazione il *Triangulated Irregular Network*, ragguagliato su di una griglia regolare di passo 20 cm. Successivamente, le superfici prodotte con le diverse metodologie di rilievo sono state confrontate al fine di evidenziare le affinità e le differenze che le diverse metodologie di rilievo comportano ed per valutarne le eventuali criticità. Sono stati effettuati due test applicativi, il primo su di una strada, oggetto spesso determinato con metodologie cinematiche vista la semplicità di esecuzione, la seconda su di una formazione tipica dell'Appennino, un calanco del parco dei Gessi presso Ozzano dell'Emilia (BO).

Sono stati impiegati due ricevitori Trimble mod. R6 (tabella 2), in modalità VRS è stata impiegata la rete di stazioni permanenti GPS ASSOGEO (<http://www.gps.assogeo.it>, Gusella, 2007).



Ricevitore Trimble R6 – radio trasmittente/ricevente integrata

- Tecnologia Trimble R-Track per supporto GLONASS

- 72 canali:

- Codice GPS L1 C/A, portante a pieno ciclo L1/L2

- Codice GLONASS L1 C/A, codice L1 P, codice L2 P, portante a pieno ciclo L1/L2

- Supporto SBAS WAAS/EGNOS

Precisione per il rilevamento cinematico:

Orizzontale:  $\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$

Verticale:  $\pm 20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$

Tempo di inizializzazione: Normalmente <25-30 secondi

Affidabilità di inizializzazione: Normalmente >99,9%

Tabella 2 - Caratteristiche tecniche della strumentazione impiegata

### Test applicativo 1: Strada

Sono stati eseguiti due rilievi separati: il primo, collegando il ricevitore via telefonino GPRS alla rete di stazioni permanenti ASSOGEO, il secondo impiegando il sistema *radiomodem* per collegare il *rover* alla stazione base.

Le coordinate della base, dalla quale è stato poi eseguito il rilievo RTK, sono state rilevate utilizzando la rete di stazioni permanenti, in modo da avere coerenza tra le coordinate dei due rilievi. I diversi rilievi sono stati poi riferiti nel sistema di coordinate UTM-WGS84, senza utilizzare alcun modello del geoido nella correzione delle quote.

In figura 1 a e b sono rappresentati i due modelli digitali del terreno ottenuti impiegando rispettivamente il sistema VRS ed il sistema RTK in tempo reale. Pur essendo il tracciato leggermente differente, il risultato del confronto tra le due superfici, sottraendo alla superficie RTK la superficie ottenuta tramite VRS (figura 2,c), mostra una buona congruenza. La differenza di quota punto a punto, tra il punto RTK ed il punto VRS più vicino nell'area del rilievo, è riportata nel grafico di figura 1,d, nel quale si evidenzia che oltre il 60% dei punti è all'interno della tolleranza di 5 cm.

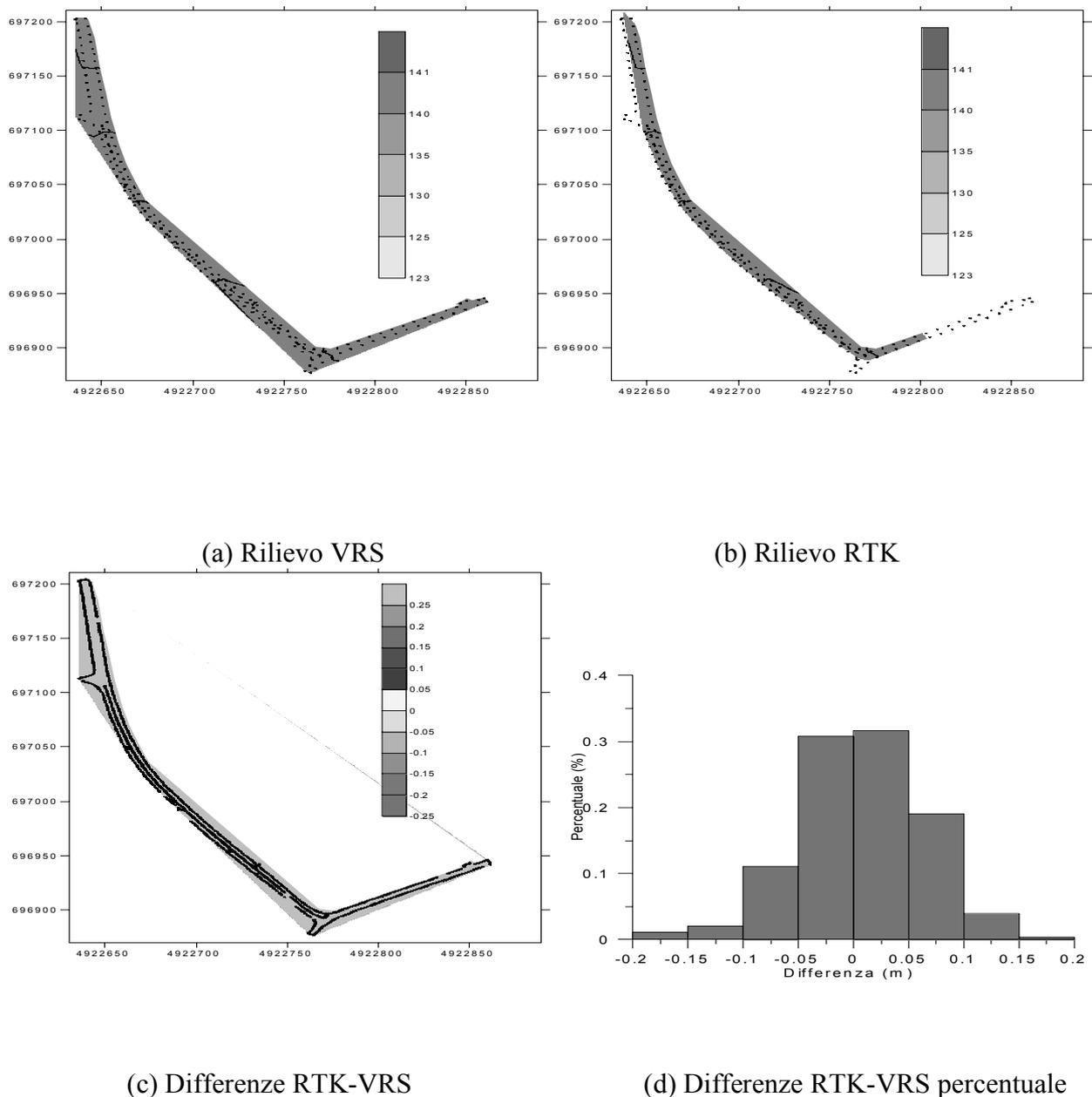


Figura 1 – Confronto applicativo su di una strada dei sistemi di rilievo GPS. Le misure sono riportate in metri

### Test applicativo 2: Calanco

Il secondo caso di studio ha riguardato un elemento naturale (calanco), per il quale sono da considerare i seguenti aspetti:

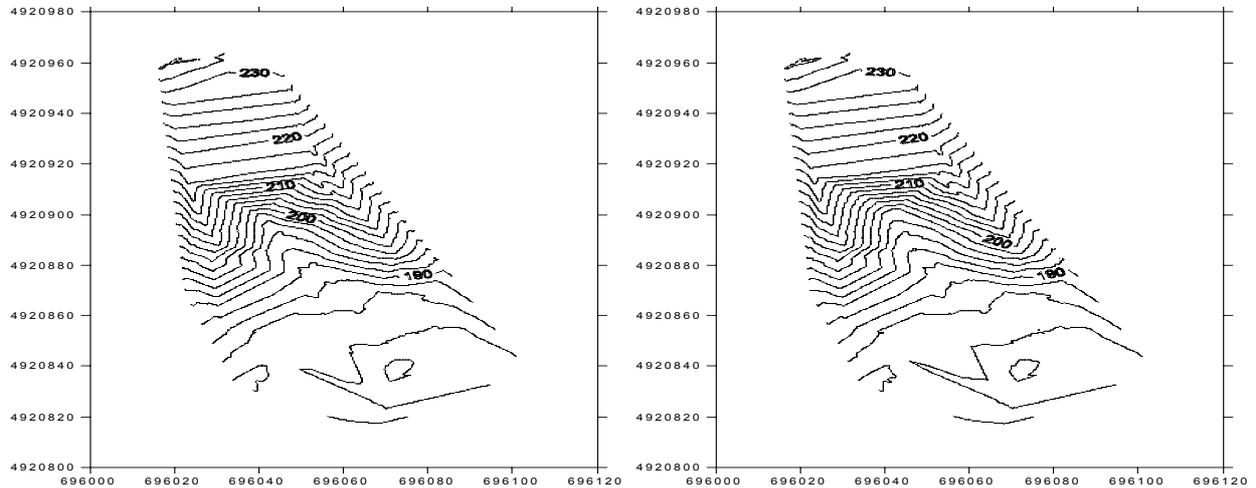
- 1) impossibilità di accedere a tutte le superfici
- 2) assenza di copertura GPRS, e dunque impossibilità di lavorare in modalità VRS in tempo reale.

Il rilievo è stato effettuato in RTK, rispetto ad una stazione base inquadrata successivamente con la rete di stazioni permanenti per rendere coerenti le coordinate; i dati del tempo reale sono stati successivamente processati con i dati della stazione base e i RINEX VRS ottenuti dalla rete di stazioni permanenti Assogeo.

In figura 2 sono riportati i risultati del rilievo.

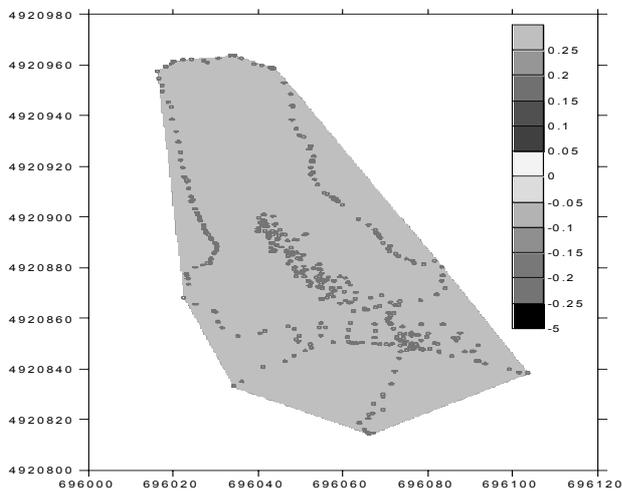
Gli andamenti dei DTM in tempo reale e post processati (figura 2, a e b) presentano le stesse caratteristiche.

I DTM ottenuti in tempo reale sono stati poi confrontati, con le metodologie elencate sopra, con i DTM ottenuti dal *post processing* singola base e dal *post processing* del file RINEX VRS ottenuto dalla rete di stazioni permanenti. Le differenze maggiori (figure 2, c e d) si riscontrano nelle zone accidentate del rilievo nelle quali non è stato possibile eseguire un congruo numero di misure per una valutazione accurata della superficie.

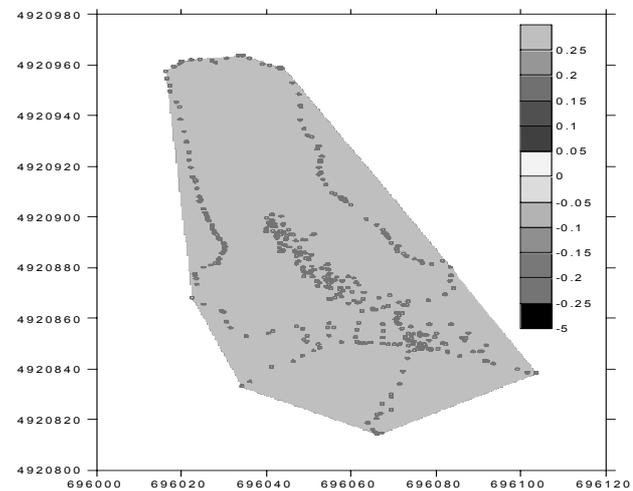


(a) Rilievo RTK

(b) Rilievo PP Singola base



(c) RTK- PP da singola base



(d) RTK- VRS in *post processing*

Figura 2 - Rilievo sull'area dei calanchi, modelli digitali del terreno (linee di livello) ottenute con le due diverse tecniche (RTK e PP, figure a e b) e relative differenze (figure c,d). Le misure sono riportate in metri

### **Conclusioni**

Nel presente lavoro è stata presentata una metodologia operativa per il rilievo GNSS di ambienti naturali e di opere ingegneristiche, dimostrando che la metodologia di rilievo in tempo reale utilizzando il solo *rover* ottiene risultati le cui differenze con quelli ottenuti utilizzando il classico rilievo *base - rover* sono ampiamente al di sotto alle precisioni richieste da questo tipo di applicazioni.

L'uso di una rete di stazioni permanenti ha diversi vantaggi dal punto di vista operativo, determinati principalmente dal fatto di avere un'unica strumentazione al lavoro e dunque un solo operatore.

La possibilità di ottenere un rilievo georiferito nello stesso sistema di riferimento semplifica inoltre le operazioni di controllo multitemporale dell'oggetto del rilievo, limitando la necessità di istituire una rete di inquadramento.

### **Bibliografia**

- Gusella L., Pasquini L., Belò M. (2007), "Il posizionamento GPS/RTK mediante tecnologia Virtual Reference Station), Atti del Convegno Nazionale SIFET 2007
- Landau H., Vollath U., Chen X. (2002), "Virtual Reference Station Systems", *Journal of Global Positioning Systems* (2002) Vol. 1, No. 2: 137-143
- Baldi P., Cenni N., Fabris M., Zanutta A. (2008), "Kinematics of a landslide derived from archival photogrammetry and GPS data", *Geomorphology* (2008), doi: 10.1016 - j.geomorph.2008.04.027
- Fabris M., Baldi P., Achilli V., Bragagnolo D., Cenni N., Loddo F., Menin A., Targa G., Salemi G. (2007), "Generazione ed analisi di un modello tridimensionale dell'isola di Salina (Arcipelago delle isole Eolie) ottenuto da un rilievo aerofotogrammetrico ed estratto mediante tecniche digitali", Atti del Convegno Nazionale SIFET 2007, 150-157.