

Un sistema per il monitoraggio geofisico con ricevitori GNSS a singola frequenza: l'esperienza del progetto SIMULATOR

Davide Curone, Angelo Amodio, Marco Osmo, Massimiliano Chersich

Esri Italia S.p.A., Via Ferrata 1, 27100 Pavia - tel.: 0382-524482 - e-mail: dcurone@esriitalia.it

Riassunto

Nell'ambito del progetto SIMULATOR (Sistema integrato e modulare per la prevenzione, previsione, monitoraggio e gestione dei rischi naturali e antropici), co-finanziato da Regione Lombardia, Esri Italia sta sviluppando un sistema di monitoraggio autonomo e in continuo di deformazioni del suolo, da utilizzare in aree soggette a frane.

Il sistema è composto da una rete di sensori, sviluppati appositamente per il progetto, ciascuno costituito da un ricevitore GNSS a singola frequenza e relativa antenna, un modulo di alimentazione elettrica basato su pannello fotovoltaico e un radio-modem per la trasmissione delle osservabili GNSS e dei dati di telemetria su scala locale (distanza massima di 5 Km). I sensori formano una rete con topologia *mesh*, in grado di trasmettere i dati ad un "nodo *master*" dotato di modem GPRS. I dati trasmessi dal nodo *master* vengono salvati e processati periodicamente su un server mediante il software NDA Lite, sviluppato da Esri Italia. Tale software processa le osservabili GNSS in modalità statico-relativa ed è stato progettato e ottimizzato per essere utilizzato con dati di ricevitori a singola frequenza formanti piccole reti (distanze inter-base fino a 10 Km). Il software aggiorna automaticamente le serie storiche degli spostamenti di ciascun punto monitorato con ripetibilità millimetrica e frequenze di aggiornamento impostabili da 1 ora fino a 24 ore.

Report periodici trasmessi agli utenti autorizzati ed una applicazione client basata su tecnologia *Esri ArcGIS Runtime* consentono di visualizzare le serie storiche degli spostamenti e di controllare lo stato di funzionamento del sistema.

Il sistema è stato recentemente installato in un'area del Monte Masuccio, nei pressi dell'abitato di Tirano (SO), sito storicamente soggetto a fenomeni franosi identificato con il supporto della Comunità Montana Valtellina di Tirano.

Abstract

In the framework of SIMULATOR project (Integrated modular system for prevention, forecast, monitoring and management of natural and anthropic risks), co-financed by the Lombardy Region, Esri Italia is developing an autonomous monitoring system that allows computing continuous measures of ground deformations, to be exploited in areas subjected to landslide phenomena.

The system is composed by a network of custom developed sensors, each one containing a single frequency GNSS receiver, a power supply system based on photovoltaic panels and a radio-modem which allows the transmission of GNSS and telemetry data up to a distance of five kilometers. Sensors form a mesh network, which transmits data to a master node provided with GPRS modem.

A remote server saves and processes data transmitted by the master node. NDA Lite, a software developed by Esri Italia, is used for GNSS data processing. NDA Lite works in differential mode and it is optimized in order to work with data acquired by single frequency receivers forming local area networks (with baseline lengths up to 10 Km). The server automatically updates historic series of displacements of each point with millimeter-level repeatability and with frequencies ranging between 1 and 24 hours.

Periodic reports sent by e-mail to authorized users and a client application based on Esri ArcGIS Runtime technology allow to visualize displacements and to check the status of the system.

Recently, the system has been installed in the area of Monte Masuccio, a site historically subject to landslides, identified in collaboration with the Comunità Montana Valtellina di Tirano (SO).

Introduzione

Frane, terremoti e fenomeni di subsidenza rappresentano alcune delle principali cause di danneggiamento e di crollo di edifici e di infrastrutture, tali da provocare perdite spesso di natura ingente, in termini di vite umane e di danni economici.

La tecnologia GNSS (*Global Navigation Satellite System*) è stata ampiamente utilizzata negli ultimi venti anni per il monitoraggio degli spostamenti superficiali del terreno, in particolare per mantenere sotto controllo aree soggette a spostamenti estremamente lenti (anche di entità sub-centimetrica nell'arco di mesi o anni) e per individuare per tempo condizioni anomale, con lo scopo ultimo di minimizzare le conseguenze degli eventi calamitosi in corso.

I segnali GNSS hanno il grande vantaggio di essere disponibili praticamente ovunque sul pianeta e in qualunque condizione meteorologica e di visibilità. Per questo motivo è possibile realizzare sistemi di monitoraggio basati sul GNSS che funzionano in modo continuo e sono adattabili ad una ampia varietà di scenari applicativi ed aree geografiche.

Il problema maggiore nell'uso di questa tecnologia è legato al costo della strumentazione. Fino a pochi anni fa era infatti possibile ottenere prestazioni adatte a queste applicazioni (ripetibilità sub-centimetrica) solo utilizzando costosi ricevitori geodetici a doppia frequenza, il cui impiego portava il costo del sistema di monitoraggio a cifre significativamente superiori a 10.000 Euro per ogni punto. I miglioramenti nei sistemi satellitari (modernizzazione del GPS, nuovi investimenti in Glonass, operatività di Galileo), nei ricevitori GNSS e nei software di analisi dati permettono ora di ottenere prestazioni adeguate anche con ricevitori a singola frequenza progettati specificamente per applicazioni ad alta precisione.

Attualmente, anche la qualità dei segnali rilevati con ricevitori “di fascia bassa” (non progettati specificamente per applicazioni geodetiche) è aumentata in modo significativo, in particolare in termini di stabilità degli oscillatori e di capacità di registrare contemporaneamente osservabili di satelliti appartenenti a diverse costellazioni. Per questo, sempre maggiore attenzione è posta all'utilizzo di questo tipo di ricevitori in applicazioni di monitoraggio statico (Heunecke et al., 2011; Cina et al., 2013).

Nell'ambito del progetto di ricerca SIMULATOR (cofinanziato da Regione Lombardia con fondi FESR – bando regionale per la realizzazione di progetti di ricerca industriale e sviluppo sperimentale nel settore delle *smart cities and communities*), Esri Italia ha investigato l'uso di diversi ricevitori GNSS a singola frequenza per applicazioni di monitoraggio statico. Lo scopo delle attività è stata la realizzazione di un sistema di monitoraggio basato su reti di ricevitori GNSS “a basso costo”, da installare in aree soggette a frana, capace di misurare in modo continuo le deformazioni di una serie di punti ritenuti significativi dal punto di vista geologico.

I prossimi paragrafi descrivono l'architettura del sistema sviluppato e i risultati ottenuti durante i test prolungati in ambiente controllato eseguiti prima dell'installazione finale sulla frana del Monte Masuccio presso Tirano (SO). Un'ultima sezione descrive le recenti attività di installazione presso il sito identificato nell'ambito del progetto.

Architettura del sistema

Il sistema di monitoraggio realizzato, la cui architettura è mostrata in *Figura 1-a*, è composto da una rete *mesh* di ricevitori GNSS a singola frequenza da installare nel sito oggetto di monitoraggio, un nodo “*master*” dotato di modem GPRS per la trasmissione remota di osservabili e dati di telemetria e da un *server* remoto che processa periodicamente i dati ricevuti e pubblica su web i risultati delle analisi. Il sistema è completato da una applicazione *desktop* mediante la quale utenti autorizzati possono accedere ai risultati delle analisi e ai parametri di funzionamento della rete.

I prossimi paragrafi descrivono in dettaglio le diverse componenti.

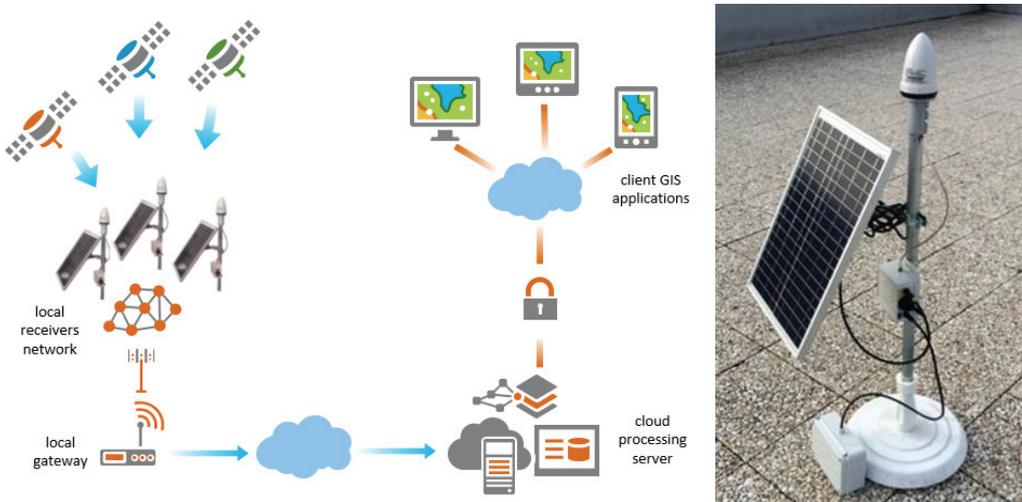


Figura 1 - (a) architettura del sistema di monitoraggio. (b) ricevitore dotato di modulo di alimentazione (pannello fotovoltaico e batteria) e antenna GNSS a singola frequenza.

1. Nodi sensori: Ogni ricevitore (mostrato in *Figura 1-b*) contiene un ricevitore GNSS a singola frequenza e la relativa antenna, una scheda di memoria per il *backup* locale dei dati, un *modem* radio per la trasmissione dei dati su scala locale (fino a una distanza massima di 5 Km in condizioni di visibilità ottica in caso di utilizzo di antenne direzionali ad alto guadagno) e un modulo di alimentazione basato su pannello fotovoltaico e batteria tampone.

Dopo una fase di analisi delle prestazioni di diversi tipi di moduli GNSS (in termini di qualità delle osservabili prodotte, funzionamento in modalità multi-GNSS, stabilità dell'orologio interno, consumi elettrici, costo unitario) si è scelto di integrare nei ricevitori *chip* U-BLOX M8T e antenne MOBI MBGPS30.

La potenza richiesta per il funzionamento di ogni nodo è tale da permettere di utilizzare per l'alimentazione pannelli fotovoltaici da 20W (dimensione 35 x 60 cm) e batterie da 6V con capacità 12 Ah. Test preliminari hanno mostrato come queste batterie possano mantenere in funzione il ricevitore per almeno sei giorni anche in assenza di alimentazione elettrica e come, in condizioni di illuminazione "ideali", il processo di ricarica giornaliera della batteria abbia durata inferiore a 90 minuti.

Tutte le componenti elettriche sono posizionate all'interno di contenitori con livello di protezione da acqua e polveri IP65, in modo da garantirne il funzionamento anche in condizioni ambientali "ostili" per lunghi periodi di tempo.

Per la loro ridotta dimensione, i nodi possono essere installati direttamente sul terreno, su strutture pre-esistenti o su edifici. Uno dei ricevitori appartenenti ad una rete locale può essere installato nelle vicinanze dell'area da monitorare, in un sito non soggetto a spostamento, e può essere usato come stazione di riferimento per la rete (come dimostrato nella sezione relativa alla validazione), nel caso non siano presenti in zona stazioni istituzionali che pubblicano le proprie osservabili.

2. Nodo master: uno dei nodi installati in un sito di monitoraggio (non necessariamente il nodo utilizzato come stazione di riferimento) è dotato sia di un radio *modem* analogo a quello dei restanti nodi, sia di un *modem* GPRS per la trasmissione remota in tempo reale dei dati acquisiti da sé

stesso e dai nodi collegati. La scelta di utilizzare in una installazione un solo ricevitore dotato di modem GPRS ha diverse ragioni; in particolare:

- Necessità di ridurre i consumi e la dimensione delle componenti di ogni singolo nodo (la trasmissione remota dei dati con protocollo GPRS rappresenta infatti la principale voce di consumo elettrico per il nodo, fatto che obbligherebbe ad aumentare il dimensionamento pannello solare e della batteria tampone);
- Necessità di ridurre i costi dell'installazione, sia in termini di strumentazione (il costo di un modem GPRS è non trascurabile rispetto al costo delle restanti componenti di un nodo) che di costi ricorrenti (abbonamento con un gestore telefonico per il traffico dati generato da ogni SIM installata);
- Possibilità di installare nodi-sensori anche in aree nelle quali non è presente la copertura GPRS (e.g. ricevitori installati in area montana in quota), i cui dati possono essere "trasportati" localmente fino al fondo-valle, dove è installato il nodo *master*.

Per facilitare l'installazione anche in aree dove i vincoli orografici non garantiscono la visibilità ottica tra ogni nodo e il *master* è stata implementata una strategia di trasmissione *mesh*, sfruttando la quale ogni nodo può essere programmato in modo da ricevere e ri-trasmettere le osservabili e i dati di telemetria di altri nodi, operando quindi da "ponte" tra i nodi più lontani o nascosti e il *master*. Per poter coprire aree vaste o con vincoli tali da non permettere la trasmissione dei dati ad un unico punto di raccolta, è stata infine prevista la possibilità di installare in una stessa area più nodi *master*, in modo da dividere i ricevitori installati in più sotto-reti, i cui dati vengono trasmessi in parallelo al server di calcolo.

3. Server di calcolo: i dati ricevuti da tutti i nodi *master* installati in un sito vengono trasmessi ad un *server* di calcolo remoto, sul quale sono installati strumenti *software* che implementano le seguenti funzionalità:

- Ricezione, interpretazione (conversione dal formato binario con cui sono generate le osservabili e i dati di telemetria a formati testo standard) e salvataggio dei dati acquisiti.
- *Download* periodico da siti *ftp* istituzionali di file RINEX con le osservabili di ricevitori esterni alla rete che possono essere utilizzati nelle analisi (e.g. stazioni istituzionali da utilizzare come riferimento o come ulteriori "rover" da monitorare) e dei file ancillari utilizzati per l'analisi delle osservabili GNSS (e.g. file di effemeridi).
- Processamento periodico dei dati ricevuti per il calcolo delle posizioni medie dei ricevitori su intervalli temporali impostati dall'utente (variabili tra 1 e 24 ore). Il sistema permette di processare in parallelo acquisizioni di durata differente, in modo da generare serie storiche con diversa periodicità. In questo modo è possibile sia l'identificazione "precoce" di spostamenti rapidi e di ampiezza elevata (e.g. pochi centimetri), sia la misura di spostamenti millimetrici più lenti (visibili osservando le serie storiche con periodo di aggiornamento di 12 o 24 ore). L'analisi dei dati GNSS avviene in modalità statico-relativa, utilizzando il *software* NDA Lite, sviluppato da Esri Italia S.p.A (Chersich et al., 2002). Questo strumento permette di processare dati di ricevitori a singola frequenza installati in modo da formare reti locali, con distanza inter-base inferiore a 10 Km. Recentemente, il *software* ed è stato ottimizzato per l'utilizzo con osservabili GNSS da ricevitori "di fascia bassa", caratterizzati in particolare dall'elevata ampiezza e variabilità degli *offset* degli orologi interni. Le prestazioni ottenibili con questo strumento, in termini di ripetibilità delle misure in funzione di distanza inter-base e lunghezza delle sessioni analizzate, sono riportate in (Curone, Chersich, 2011).
- Generazione e trasmissione via e-mail di report giornalieri sullo stato della rete, riportanti sia grafici e statistiche relative agli spostamenti di ogni punto monitorato, sia indicazioni relative al corretto funzionamento dei nodi-sensori (parametri di ricarica delle batterie, qualità della trasmissione *wireless* locale, qualità delle osservabili GNSS acquisite, etc.).

- Pubblicazione mediante servizi *web* degli stessi parametri inclusi nei report, ai quali è possibile accedere mediante una applicazione *client* realizzata *ad hoc* per il progetto o mediante applicazioni *custom* realizzate dagli utilizzatori.

4. **Applicazione *client*:** tutti i dati relativi a spostamenti dei punti monitorati e al corretto funzionamento delle componenti del sistema possono essere visualizzati in tempo reale attraverso una applicazione *desktop*, realizzata con tecnologia *Esri ArcGIS Runtime (Figura 2)*. L'interfaccia principale dell'applicazione mostra la mappa dell'area monitorata; selezionando ogni ricevitore si possono visualizzare grafici relativi ai parametri di telemetria (tensione di batteria e pannello fotovoltaico, rapporto segnale/rumore e qualità della trasmissione *wireless* locale, rapporto segnale/rumore delle osservabili GNSS, percentuale di osservabili acquisite su attese, percentuale di *cycle slip* sulle fasi, percentuale di sessioni processate e di sessioni ad ambiguità fissata) e agli spostamenti (componenti quota, est e nord della linea di base tra la stazione di riferimento ed il ricevitore selezionato). L'aggiornamento di tutti i parametri avviene simultaneamente al calcolo degli stessi sul server remoto.

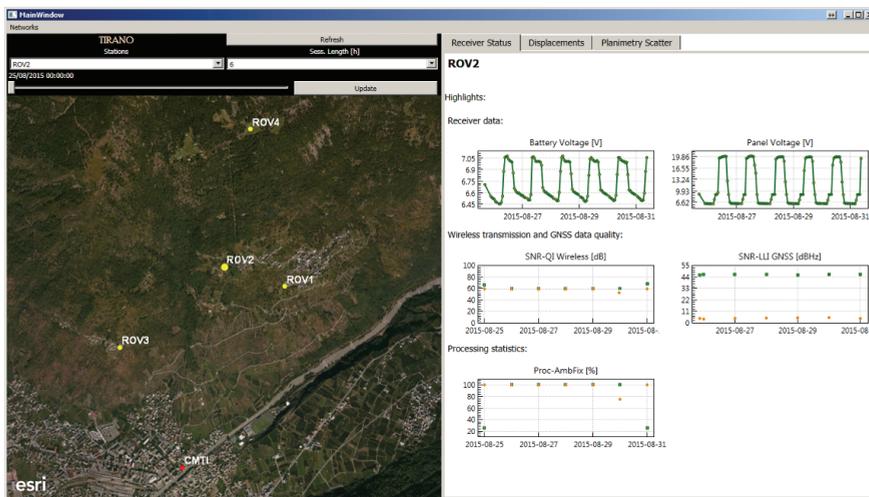


Figura 2 - Interfaccia principale dell'applicazione client per la visualizzazione dello stato della rete di monitoraggio.

Validazione preliminare

Le prestazioni del sistema di monitoraggio, in termini di affidabilità del sistema, qualità delle soluzioni prodotte e ripetibilità delle misure, sono state quantificate mediante un test realizzato durante i mesi di Luglio e Agosto 2015 presso la sede Esri Italia di Pavia.

Setup sperimentale. Durante il test una serie di nodi sensori è stata installata in due siti, in modo da formare linee di base con lunghezza compresa tra 150 metri e 7 Km circa. Nell'area del test è inoltre presente una stazione GPS permanente, gestita dal Laboratorio di Geomatica del Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura (PAVI), i cui dati possono essere scaricati gratuitamente in file orari in formato RINEX¹.

I ricevitori sono stati mantenuti in funzione per un periodo di 23 giorni consecutivi durante i quali hanno continuamente trasmesso le proprie osservabili al server di calcolo. Lo stesso server è stato programmato in modo da scaricare ed utilizzare nelle analisi le osservabili della stazione PAVI come riferimento. Infine, il server è stato programmato in modo da processare serie storiche di sessioni di durata 1, 2, 3, 4, 6, 12 e 24 ore.

¹ <http://geomatics.unipv.it/stazione-permanente-pavi/rinex-correzioni-differenziali>

Per semplicità vengono presi in considerazione nella descrizione di seguito solo i due ricevitori di test posti alle distanze “limite” di 160 metri (TST1) e 7 Km (TST2) dalla stazione PAVI. La tabella seguente riporta le principali caratteristiche dei ricevitori e la loro distanza approssimata da PAVI (componenti est, nord, quota e modulo della linea di base):

ID	Modello ricevitore	Modello antenna	Dist. Est. [m]	Dist. Nord [m]	Dist. Quota [m]	Dist. Modulo [m]
PAVI	LEICA GRX1200PRO	LEICA LEIAT504	-	-	-	-
TST1	U-BLOX M8T	MOBI MBGPS30	129	95	2	160
TST2	U-BLOX M8T	MOBI MBGPS30	2598	6586	45	7080

Figura 3 - Caratteristiche dei ricevitori utilizzati nel test e distanze dalla stazione di riferimento.

Al termine del test, i dati acquisiti da TST1 e TST2 sono stati anche riprocessati utilizzando NDA Lite in modo da generare serie storiche di durata analoga alle precedenti, utilizzando TST1 come stazione di riferimento (distanza tra i due ricevitori pari a 7040 metri) e TST2 come rover.

Lo scopo di questa ultima prova è la verifica della qualità delle stime di spostamento che si possono ottenere utilizzando reti composte solo da ricevitori a singola frequenza (nel caso limite di distanza tra i ricevitori superiore a 7 km), da utilizzare, ad esempio in siti in cui non siano presenti o non sia possibile accedere direttamente ai dati forniti da stazioni permanenti “istituzionali”.

Indicatori prestazionali: per ciascuna linea di base e durata delle sessioni, le prestazioni del sistema di monitoraggio sono state valutate in termini di:

- Percentuale di sessioni processate rispetto alle sessioni attese;
- Percentuali di sessioni “ad ambiguità fissata” (indicatore di maggiore qualità della soluzione) rispetto alle sessioni processate;
- Ripetibilità delle soluzioni “ad ambiguità fissata”, in termini di errore quadratico medio (RMS) delle componenti est, nord, quota e modulo della linea di base.

Risultati: si riportano di seguito alcune tabelle che riassumono i risultati ottenuti, sulla base degli indicatori descritti nel paragrafo precedente.

Baseline	Distanza [m]	Durata delle sessioni [ore]						
		24	12	6	4	3	2	1
PAVI – TST1	160	100.0	97.8	98.9	99.3	98.9	98.9	98.7
PAVI – TST2	7080	100.0	97.8	98.9	99.3	98.9	98.9	98.7
TST1 – TST2	7040	100.0	97.8	98.9	99.3	98.9	99.3	98.8

Figura 4 - Percentuale di sessioni processate rispetto alle sessioni attese in funzione della durata per ogni linea di base.

Baseline	Distanza [m]	Durata delle sessioni [ore]						
		24	12	6	4	3	2	1
PAVI – TST1	160	100.0	100.0	98.9	100.0	100.0	100.0	98.0
PAVI – TST2	7080	100.0	100.0	100.0	99.3	100.0	99.6	92.8
TST1 – TST2	7040	100.0	100.0	100.0	99.3	98.4	98.5	91.0

Figura 5 - Percentuale di sessioni ad ambiguità fissata rispetto alle sessioni processate in funzione della durata.

Baseline	Distanza [m]	Durata delle sessioni [ore]						
		24	12	6	4	3	2	1
PAVI – TST1	160	0.653	0.786	1.191	1.407	1.513	1.863	1.991
PAVI – TST2	7080	2.329	2.838	4.369	4.409	5.441	5.936	7.660
TST1 – TST2	7040	2.367	2.928	4.663	4.763	5.477	5.722	7.266

Figura 6 - RMS [mm] del modulo della linea di base in funzione della durata delle sessioni.

Baseline	Distanza [m]	Durata delle sessioni [ore]						
		24	12	6	4	3	2	1
PAVI – TST1	160	0.455	0.673	1.236	1.253	1.626	2.016	1.811
PAVI – TST2	7080	1.539	2.015	2.807	3.302	3.531	4.320	6.033
TST1 – TST2	7040	1.315	1.885	2.902	3.141	3.563	3.949	4.622

Figura 7 - RMS [mm] della componente est della linea di base in funzione della durata delle sessioni.

Baseline	Distanza [m]	Durata delle sessioni [ore]						
		24	12	6	4	3	2	1
PAVI – TST1	160	0.945	1.038	1.446	1.685	1.768	2.009	2.592
PAVI – TST2	7080	2.310	2.989	4.281	4.302	5.419	5.813	7.356
TST1 – TST2	7040	2.480	3.050	4.497	4.649	5.439	5.724	7.332

Figura 8 - RMS [mm] della componente nord della linea di base in funzione della durata delle sessioni.

Baseline	Distanza [m]	Durata delle sessioni [ore]						
		24	12	6	4	3	2	1
PAVI – TST1	160	1.001	1.073	1.474	1.499	2.308	3.245	3.846
PAVI – TST2	7080	7.099	9.190	10.840	12.140	12.927	14.257	15.877
TST1 – TST2	7040	6.727	9.662	10.311	12.021	12.611	14.164	15.287

Figura 9 - RMS [mm] della componente quota della linea di base in funzione della durata delle sessioni.

Discussione: i risultati ottenuti durante i test preliminari dimostrano l’affidabilità del sistema anche durante sessioni prolungate di acquisizione. In tutti i casi, infatti, la percentuale di sessioni processate supera il 98% delle sessioni attese, a testimonianza del trascurabile numero di epoche non acquisite o caratterizzate da errori di trasmissione. Inoltre, la percentuale di sessioni “ad ambiguità fissata” (maggiore del 90% delle sessioni processate, anche in caso di analisi di serie storiche orarie) dimostra la elevata qualità media delle misure effettuate, nonostante l’utilizzo di strumentazione non direttamente progettata per applicazioni di alta precisione.

La ridotta ripetibilità della componente quota delle linee di base con lunghezza superiore a 5 Km (o con differenza di quota significativa) è dovuta alla modellazione non ancora adeguata dei ritardi di propagazione dei segnali GNSS nella troposfera. L’implementazione di uno stimatore del ritardo troposferico zenitale è in fase di sviluppo. Tale stimatore consentirà di migliorare le prestazioni del software di elaborazione nei casi succitati ed è uno dei prodotti del progetto SIMULATOR.

La ripetibilità delle misure è coerente con quanto ottenuto processando con lo stesso *software* segnali GPS di coppie di ricevitori geodetici posti ad analoghe distanze (Curone, Chersich, 2011).

Infine, analizzando i risultati ottenuti usando come riferimento una stazione permanente o un ricevitore a singola frequenza uguale ai ricevitori usati come “*rover*” (sia in termini di percentuale di sessioni ad ambiguità fissata sia in termini di ripetibilità delle misure), si nota come le prestazioni ottenute siano del tutto confrontabili. Tale risultato permette di ipotizzare l’utilizzo degli stessi ricevitori anche come stazioni di riferimento nei casi in cui non sia possibile accedere ai dati di stazioni permanenti istituzionali.

Installazione di test sul Monte Masuccio (Sondrio)

Una volta completata la fase di sperimentazione preliminare, nel mese di Settembre 2015 è in corso l’installazione di sette ricevitori nel sito di sperimentazione del Monte Masuccio, nelle immediate vicinanze dell’abitato di Tirano (SO), sito storicamente soggetto a fenomeni franosi individuato in collaborazione con i tecnici della Comunità Montana Valtellina di Tirano.

Il *setup* adottato prevede che uno dei ricevitori, da utilizzare come riferimento, sia installato sull’edificio sede della Comunità Montana, al centro dell’abitato, nel fondo-valle. Questo nodo funge sia da *master* per la trasmissione remota dei dati acquisiti (è dotato di modem GPRS), sia da stazione di riferimento per il calcolo degli spostamenti dei ricevitori *rover*.

I restanti sei ricevitori vengono installati sul versante nord della valle, a una distanza compresa tra 1.3 Km e 3.4 Km dalla stazione di riferimento e con una differenza di quota compresa tra 300 e 1200 metri.

Nell'installazione di antenne GPS, ricevitori, moduli di alimentazione elettrica e antenne per la trasmissione locale dei dati vengono sfruttate, laddove presenti, strutture come pali in acciaio di linee elettriche a bassa tensione o dell'illuminazione pubblica (*Figura 10*). Solo dove non sono già presenti strutture adatte (e.g. installazione di ricevitori su roccia) verranno predisposti supporti specifici.

La scelta di ancorare i ricevitori a strutture pre-esistenti è stata fatta per testare la qualità del posizionamento anche in presenza di condizioni di visibilità satellitare non ottimale (per via della parziale ostruzione del cielo) o per la presenza di *multipath* causato dagli oggetti nelle immediate vicinanze dell'antenna GNSS.

I ricevitori saranno lasciati in funzione per un periodo di almeno sei mesi, al termine del quale i dati raccolti verranno analizzati con lo scopo di quantificare l'affidabilità del sistema in uno scenario operativo reale (esposizione prolungata a condizioni meteorologiche avverse), nonché le prestazioni ottenibili in termini di qualità e continuità delle misure.



Figura 10 – (a, b) installazione di due ricevitori su supporti pre-esistenti (pali dell'illuminazione pubblica e linea a bassa tensione). (c) Dettaglio di una installazione.

Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento va al Dott. Giovanni Di Trapani della Comunità Montana Valtellina di Tirano (SO), per il prezioso supporto nelle fasi di identificazione dei siti ed installazione dei ricevitori utilizzati nella sperimentazione nel sito di Monte Masuccio (SO).

Riferimenti bibliografici

Chersich M., De Giovanni A., Osmo M. (2002), “NDA: Un Tool Italiano per il Processamento Automatico di Dati da Reti GPS Permanenti”, *Atti della 6° Conferenza Nazionale ASITA*, 769-774.

Cina A., Piras M., Bendea H.I. (2013), “Monitoring of landslides with mass market GPS: an alternative low cost solution”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W3*.

Curone D., Chersich M. (2011), “Prestazioni del software di analisi dati GPS NDA Lite in applicazioni di monitoraggio strutturale”, *Atti della 15° Conferenza Nazionale ASITA*, 809-820.

Heunecke O., Glabsch J., Schuhbäck S. (2011), “Landslide Monitoring Using Low Cost GNSS Equipment – Experiences from Two Alpine Testing Sites”, *Journal of Civil Engineering and Architecture*, Volume 5, No. 8, 661-669.