

Prestazioni di un sistema di monitoraggio geodetico basato su ricevitori GNSS a singola frequenza e basso costo

Massimiliano Chersich^(a), Davide Curone^(a), Roberto Devoti^(b), Alessandro Galvani^(b),
Marco Osmo^(a), Vincenzo Sepe^(b)

^(a) Esri Italia, Via Casilina 98, 00182 Roma, Tel: +39 06 40696.1, Fax: +39 06 40696.333, mchersich@esriitalia.it

^(b) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti, Via di Vigna Murata 605, 00143 Roma, roberto.devoti@ingv.it

Riassunto

SENDAS (*Surface Network Deformation Analysis System*) è un sistema di monitoraggio GNSS basato su ricevitori a singola frequenza e basso costo sviluppato da Esri Italia e attualmente in uso per il monitoraggio di due frane, una presso Tirano (SO) e una presso Tolmezzo (UD), una deformazione gravitativa profonda presso Fiastra (MC) e un sito di stoccaggio di gas naturale presso Cellino Attanasio (TE) gestito da Edison S.p.A.. I campi di applicazione sono il monitoraggio statico di siti soggetti a subsidenza, instabilità di versante, faglie attive, bradisismo, ecc. e strutturale (ponti, viadotti, edifici). In questo articolo si sottolineano i punti di forza di SENDAS ed in particolare i bassi consumi energetici, la compattezza e leggerezza, la versatilità di configurazione, la facilità di installazione del sistema nel suo complesso e la proprietà dei dati, che può essere esclusiva dell'Utente finale. Le prestazioni di SENDAS ottenute durante la collaborazione tra Esri Italia e INGV sono qui illustrate, con particolare enfasi sulla ripetibilità degli spostamenti misurati e la pendenza delle serie storiche, in ottimo accordo con quelle ottenute con ricevitori geodetici collocati su una deformazione gravitativa di versante nei pressi di Fiastra (MC).

Abstract

SENDAS (Surface Network Deformation Analysis System) is a GNSS geodetic monitoring system based on single-frequency low-cost GNSS receivers developed by Esri Italia and currently used for the monitoring of two landslides, one near Tirano (SO) and the other near Tolmezzo (UD), of a deep-seated gravitational slope deformation site near Fiastra (MC) in collaboration with INGV and a natural gas storage site near Cellino Attanasio (TE) managed by Edison S.p.A.. SENDAS application fields are static monitoring of subsidence, slope instability, active faults, bradyseism, etc. and structural monitoring (bridges, viaducts, buildings, etc.). In this article SENDAS strengths are shown and in particular the low energy-consumption rate, lightness and compactness, flexibility in configuration, the ease of use of the whole system and the data ownership that can be End-user's exclusive. SENDAS performances obtained during the on-going Esri Italia – INGV collaboration are hereafter shown, with particular emphasis in the repeatability of measured displacements and slope of historic series, in good agreement with those obtained by geodetic receivers co-located on a deep seated gravitational deformation site near Fiastra (MC).

Introduzione

Con il progetto SIMULATOR (cofinanziato dalla Regione Lombardia), Esri Italia ha realizzato SENDAS (Curone et al., 2015), un sistema basato su sensori GNSS per applicazioni di monitoraggio geofisico e strutturale, concretizzando la sperimentazione iniziata diversi anni addietro sulle prestazioni di diversi ricevitori GNSS cosiddetti di “fascia bassa”, ovvero non progettati specificamente per applicazioni geodetiche, al fine di valutare il loro impiego in

applicazioni di monitoraggio statico. L'obiettivo a cui si guardava era tentare di modificare la cultura dominante che vede il monitoraggio statico di superficie limitato a strumentazione professionale di costo molto elevato. SENDAS è quindi la soluzione di Esri Italia che recepisce i più recenti sviluppi tecnologici in fatto di qualità dei segnali rilevati con ricevitori GNSS "di fascia bassa". Questa è aumentata in modo significativo, in particolare in termini di stabilità degli oscillatori e di capacità di registrare contemporaneamente osservabili GNSS provenienti da satelliti appartenenti a diverse costellazioni. Per questo, sull'onda del recente orientamento globale verso componenti elettronici a basso costo e alte prestazioni, anche il campo del monitoraggio geodetico guarda con sempre maggiore interesse all'utilizzo di questo tipo di ricevitori (Heunecke et al., 2011; Cina et al., 2013). L'affidabilità del sistema è dimostrata dal suo utilizzo operativo sulla frana di Tolmezzo (UD) dove l'INOGS (D. Zuliani et al., 2016), il Comune e la Protezione Civile ricevono con frequenza giornaliera un report sullo stato della frana ed eventuali early-warning in caso di riattivazione della stessa.

Dopo una breve descrizione di SENDAS nel suo insieme, l'articolo si concentra sulle prestazioni del sistema ottenute durante il suo utilizzo presso il lago di Fiastra (Fiastra, MC) confrontando i risultati ottenuti con quelli provenienti da ricevitori geodetici collocati e processati utilizzando il SW Bernese.

Architettura del Sistema

SENDAS consiste in una rete *wireless* a topologia *mesh* di ricevitori GNSS L1 (U-blox M8T), ognuno dei quali è in grado di acquisire le osservazioni GNSS e di trasmetterle in tempo reale utilizzando radio-modem (868MHz) a una «stazione *master*» dotata di modem GPRS. La stazione *master* trasmette i dati a un *server* di calcolo remoto sul quale sono installati SW differenti per compiere le seguenti operazioni: acquisire i dati ancillari necessari al processamento GNSS (effemeridi precise, parametri ionosferici e troposferici, etc.); processare in modalità statico-relativa mediante software NDA Lite (Chersich et al., 2002) le linee di base della rete utilizzando *batch* di dati di 1h, 6h, 12h e 24h; rendere disponibile sotto forma di servizi *web* i database con le informazioni della elaborazione della rete (spostamenti, parametri di qualità del dato GNSS, ecc.) e di telemetria dei ricevitori (tensioni delle batterie, dei pannelli solari, ecc.) ad una applicazione *client* messa a disposizione dell'utente finale; generare *report* periodici e inviarli a *mailing-list* definite dall'utente; in caso di spostamenti oltre soglia (impostata dall'utente) o di malfunzionamenti, sollevare allarmi e inviarli agli indirizzi presenti nella *mailing-list*. L'ultima componente del sistema è l'applicazione *client* per la visualizzazione grafica delle serie storiche delle *baseline* stimate, i parametri di qualità del dato GNSS, i parametri di telemetria e per l'analisi in *post-processing* (Curone et al., 2015).

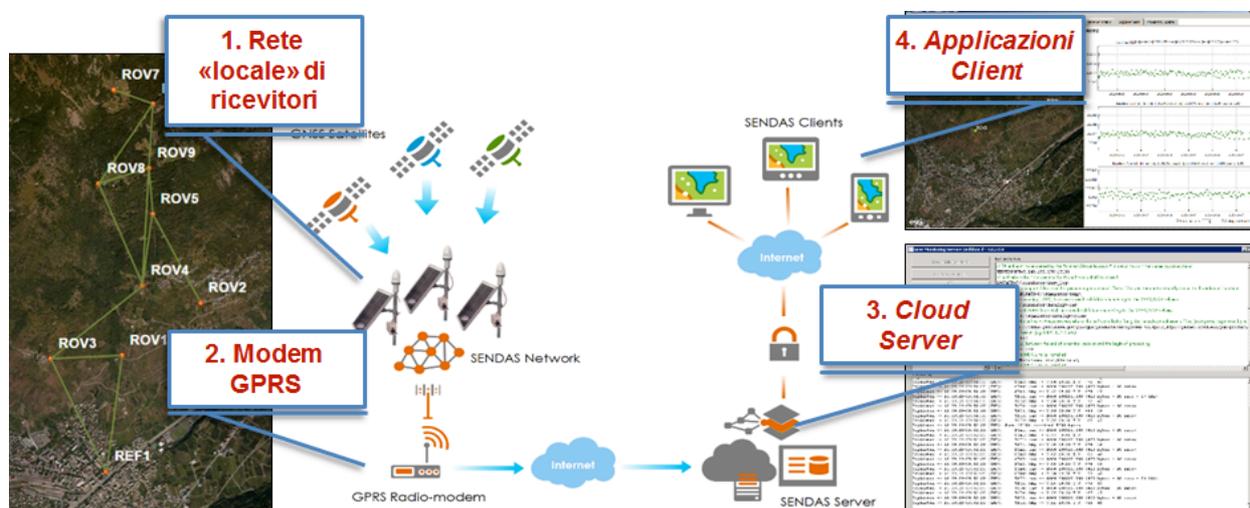


Figura 1 – SENDAS: architettura del sistema.

E' opportuno sottolineare che il consumo di ogni nodo SENDAS, grazie alla sue caratteristiche elettroniche, è in media inferiore a 400mW; ha un ingombro e un peso limitato (inferiore a 3.5kg, batterie e pannello solare inclusi), il che consente facilità di installazione e trasporto; ha un'architettura di rete per la trasmissione dei dati facilmente adattabile e versatile.

Il solo limite di funzionamento è costituito dalla distanza tra ricevitori che non deve essere superiore a 10km in modo da limitare l'effetto del ritardo differenziale imputabile all'attraversamento dei segnali GNSS nella ionosfera.

Area di test e descrizione dell'esperimento

A partire dall'Ottobre del 2015 Esri Italia e INGV stanno conducendo una sperimentazione con cui validare le prestazioni di SENDAS sul monte Frascare vicino al lago di Fiastra (MC). Il sito mostra chiare evidenze geomorfologiche di una deformazione gravitativa profonda caratterizzata da spostamenti verticali (calcolati con misure DInSAR) di più di 15 cm in 7 anni (Tolomei et al., 2013). All'inizio della sperimentazione sono stati installati quattro punti SENDAS (nominati da STA1 a STA4), come mostrato in Figura 2. Inoltre, STA1 e STA3 sono co-locati con due ricevitori a doppia frequenza di qualità geodetica (Leica GX1230 con antenna LEIAT 504), chiamati FIAA e FIAB. Gli spostamenti di STA1 rispetto a STA3 ricavati con SENDAS sono stati confrontati con quelli di FIAA rispetto a FIAB computati con il Bernese SW, al fine di mettere in evidenza le differenze nei risultati ottenuti da una strumentazione 'low-cost' rispetto a quella fornita da un equipaggiamento professionale.

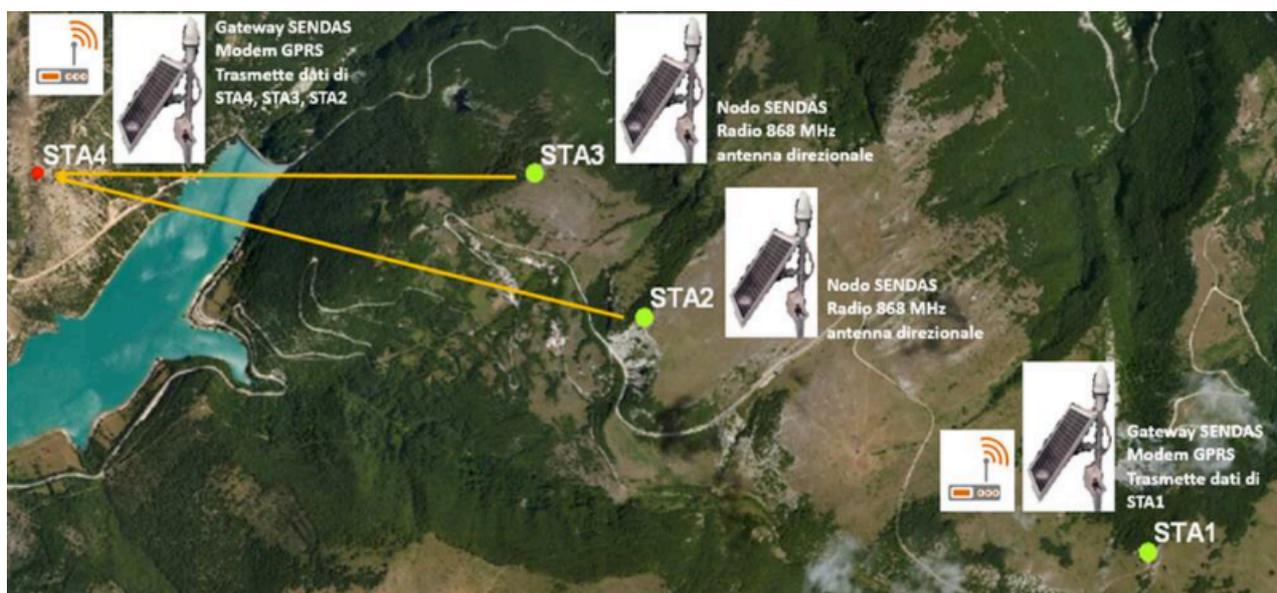


Figura 2 – Installazione di Fiastra (MC) dei quattro punti SENDAS per la collaborazione Esri Italia-INGV analizzata.

Risultati

L'installazione di SENDAS a ridosso dell'inverno ha costituito un test serio per l'affidabilità dell'*hardware* collocato in ambiente ostile e pensato per permanere per lunghi periodi di tempo nello stesso luogo ove sono possibili basse temperature, molti giorni consecutivi di pioggia, grandine, neve, vento. Questo ha permesso di ottimizzare il dimensionamento del modulo di alimentazione elettrica, in modo da consentire ai punti SENDAS lo svolgimento in continuo delle normali operazioni di acquisizione e trasmissione dei dati GNSS anche dopo più di 6 giorni consecutivi di completa assenza di illuminazione solare efficace nella ricarica delle batterie. La configurazione adottata attualmente prevede pannelli solari da 20W e una batteria da 12Ah per

ogni punto SENDAS, mentre un pannello da 50W e una batteria da 20Ah sono stati installati sulle stazioni *gateway* che hanno il compito, oneroso in termini energetici, di trasmettere i dati attraverso il modem GPRS.

La Figura 3 contiene una Tabella che riassume le ripetibilità (RMS) in planimetria e quota ottenute come media di 6 campioni della durata di 15 giorni consecutivi ciascuno al variare della durata delle sessioni e della distanza tra i ricevitori.

Displacement RMS (mm)						
Receivers Baseline Height diff.	STA3-STA4 1.1km 62m		STA2-STA4 2.3km 173m		STA1-STA4 3.3km 329m	
Session Length	Height	Plan	Height	Plan	Height	Plan
1h	5.3	3.4	6.6	3.6	8.9	4.6
6h	2.8	1.9	4.1	2.0	6.9	2.8
12h	2.4	1.6	3.8	1.7	4.6	2.3
24h	1.8	1.3	2.7	1.4	3.5	2.0

Figura 3 –Ripetibilità delle misure ottenute con SENDAS.

I grafici in Figura 4 mostrano la serie storica degli spostamenti relativi tra FIAB e FIAA (in blu), e tra STA1 e STA3 (in arancione) utilizzando sessioni di 24h di dati, e le corrispondenti rette di regressione con cui si stimano le velocità relative. La retta in verde è ottenuta con SENDAS, quella in giallo è l'analoga per le stazioni FIAA e FIAB ottenuta con SW Bernese.

La stima della velocità di spostamento ottenuta con SENDAS è in accordo, a meno di pochi decimi di millimetro/anno, con quella calcolata con i ricevitori geodetici. La serie storica ottenuta con il sistema SENDAS inoltre è molto più continua, segno della buona affidabilità del sistema e della sua capacità di trasmettere i dati senza interruzioni significative.

Conclusioni

SENDAS è il sistema di monitoraggio GNSS per applicazioni di monitoraggio geofisico e strutturale di Esri Italia basato su ricevitori 'low-cost' e sull'analisi dei dati GNSS allo stato dell'arte in modalità statico relativa. SENDAS si trova attualmente installato presso quattro siti distinti, e in uno di questi, grazie alla collaborazione in corso tra Esri Italia e INGV che ha curato il monitoraggio e l'analisi dei risultati, è stato possibile confrontare le sue prestazioni con quelle ottenute da ricevitori professionali co-locati. I risultati ottenuti mostrano l'assenza di differenze sostanziali nella stima degli spostamenti dei punti monitorati utilizzando strumentazioni così diverse in termini di costo, ingombro e consumo: le ripetibilità delle misure ottenute con SENDAS sono sub-centimetriche, anche analizzando sessioni della durata di poche ore di dati, e i *trend* che si derivano dalle serie storiche degli spostamenti sono in ottimo accordo a quelli provenienti da ricevitori di qualità geodetica.

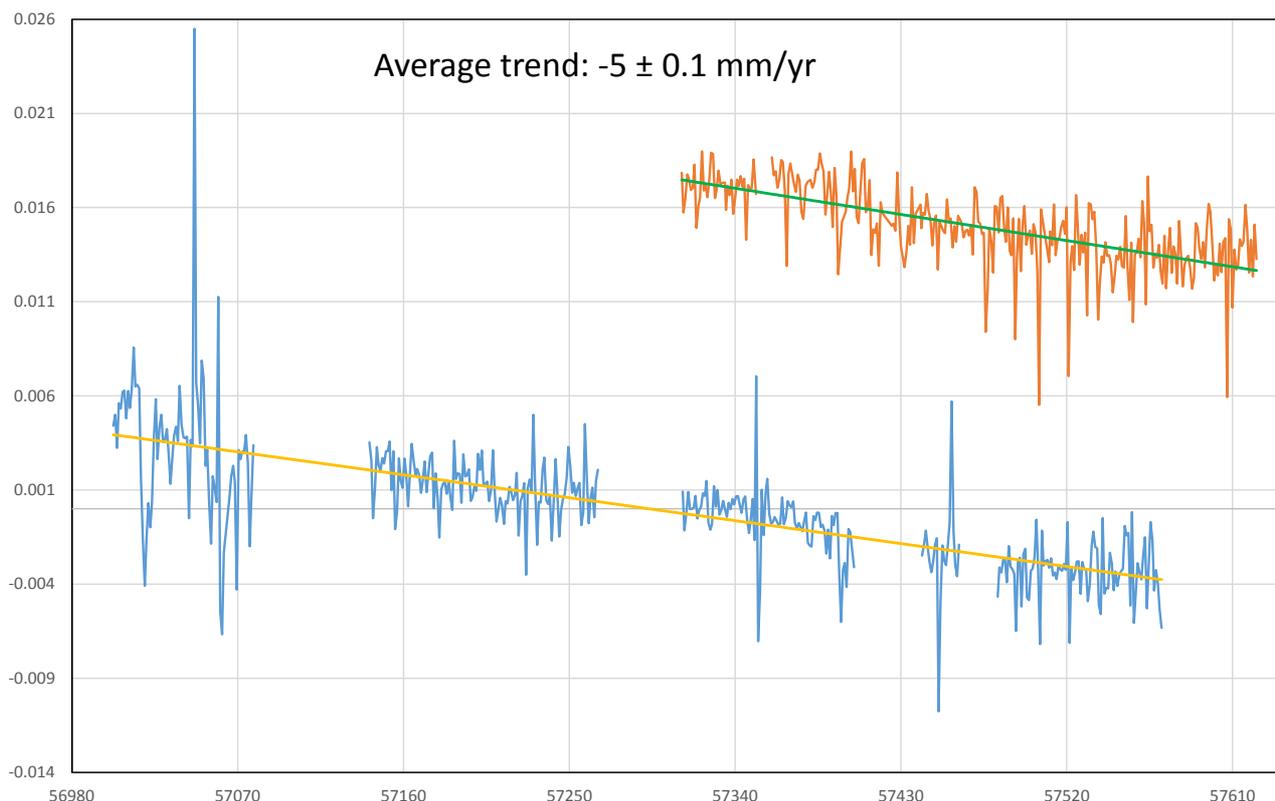


Figura 4 – In arancione la serie storica ottenuta da SENDAS per la baseline STA1-STA3, in blu la serie storica ottenuta da Bernese SW per FIAB-FIAA (ricevitori di classe geodetica co-locati).

Tra gli altri punti di forza di SENDAS vanno citati il modello di fornitura (il software di calcolo e i dati generati possono si trovano su *server* ad esclusivo accesso dell'utente), la versatilità nel sistema di trasmissione dei dati, che permette al sistema di adattarsi a differenti esigenze di monitoraggio, la possibilità di utilizzare come stazioni *reference* o *rover* qualsiasi stazione permanente situata nelle vicinanze (entro 10km) dei punti SENDAS della rete da monitorare.

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., Amodio A., Osmo M., Chersich M. (2015), “Un sistema per il monitoraggio geofisico con ricevitori GNSS a singola frequenza: l'esperienza del progetto SIMULATOR”, Atti della 19° Conferenza Nazionale ASITA, 297-304.
- 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.
- Tolomei C., Taramelli A., Moro M., Saroli M., Aringoli D., Salvi S. (2013), “Analysis of Deep-seated Gravitational Slope Deformations impending over Mt. Frascare (Central Italy) by geomorphological assessment and DinSAR approach”, Geomorphology, 201 (2013), 281-292.
- Zuliani D., Fabris P., Del Negro E., Bertoni M., Duri G. (2016), “Monitoraggio con sistema GNSS SENDAS: OGS e il case history della frana di Tolmezzo”, Conferenza Esri Italia 2016, 20-21 Aprile, Roma.