

## **RETI DI MONITORAGGIO INTEGRATO GPS-GEOTECNICO DELLE FRANE DI LAGO (CS) E COSTA LA GAVETA (PZ)**

Stefano CALCATERRA, Claudio CESI, Piera GAMBINO

ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Via Curtatone, 3 Tel. (+39) 0650074370

### **Riassunto**

I siti di Lago, nella provincia di Cosenza, e Costa La Gaveta a Potenza, sono oggetto di monitoraggio integrato permanente geodetico e geotecnico da parte del Servizio Geologico d'Italia in collaborazione con il CNR-IRPI di Cosenza, nel primo caso, e l'Università degli Studi Basilicata nel secondo.

Si tratta in ambo i casi di fenomenologie di frana che interessano versanti relativamente estesi, in parte urbanizzati e caratterizzati dalla presenza di infrastrutture viarie e/o ferroviarie e condizioni litologiche e idrogeologiche tutt'altro che concorrenti a determinare una stabilizzazione globale o locale. Di qui l'importanza di procedere alla completa realizzazione della rete di monitoraggio integrata permanente GPS e geotecnica. Tali reti si articolano in punti di misura periodici e permanenti sui corpi di frana e in punti esterni al dissesto tali da costituire i riferimenti per la misura degli spostamenti.

Nella presente nota sono presentati l'impianto delle reti di monitoraggio GPS-geotecniche in telemisura e i primi dati relativi alle misurazioni delle reti, completamente operative dal 2007, nel contesto del quadro conoscitivo acquisito in precedenza.

### **Abstract**

Continuous integrated GPS-geotechnical network has been installed in two different sites, Lago (CS) and Costa La Gaveta (PZ) by the Geological Survey of Italy in partnerships with the CNR-IRPI of Cosenza and the Basilicata University. Both cases represent landslide phenomena on wide urban slopes crossed by roads infrastructures e/o railway. Lithological and hydrogeological complex conditions don't favour the slope stabilization.

The GPS monitoring is based on periodic benchmark, permanent control stations inside the landslide area, and reference stations external to the instability. The study of environmental vulnerability and the related Civil Protection issues are the principal goals of the realization of a permanent GPS and geotechnical integrated network.

In this paper we present the architecture of two networks, realized on the base of previously studies conducted as well as the first data filed since the July 2007 in remote control.

### **Premessa**

A seguito dell'evento Sarno (maggio 1998), il quadro legislativo nazionale e regionale in materia di protezione dal rischio idrogeologico ha conosciuto una forte accelerazione. La Legge n. 226/98, nel delineare le principali azioni da intraprendere a difesa del territorio, individuava nel potenziamento delle reti di monitoraggio idro-meteo-pluviometrico uno degli strumenti per conseguire le azioni di previsione e prevenzione. In questo ambito il Servizio Geologico d'Italia-Servizio Geofisica (confluito prima in APAT e attualmente in ISPRA) ha realizzato due reti di monitoraggio GPS-geotecnico rispettivamente in territorio calabro, nel comune di Lago (CS), e in Basilicata, alla periferia est di Potenza. La realizzazione è frutto di una collaborazione tra il Servizio Geofisica e il Dipartimento della Protezione Civile da un lato e le istituzioni a livello regionale con compiti delegati alla pianificazione e gestione del Territorio dall'altro (Regione Basilicata e Autorità di bacino regionale della Calabria). Il progetto si è avvalso anche del supporto scientifico dell'Università degli Studi della Basilicata e del CNR-IRPI di Cosenza.

L'esperienza maturata negli anni dal Servizio Geofisica nel monitoraggio geodetico su versanti in frana ha guidato la progettazione delle due reti GPS per il controllo degli spostamenti superficiali. In ciascuna frana è stata prevista sia l'installazione di stazioni GPS in acquisizione continua sia la monumentazione di capisaldi GPS per un controllo periodico; sono inoltre collocati sensori geotecnici in punti considerati significativi ed acquisiti i dati registrati da stazioni meteo.

### **Descrizione delle reti geodetiche**

Le reti di monitoraggio GPS sui fenomeni di frana contemplano, per ciascun sito, l'installazione di almeno sei stazioni GPS in acquisizione continua e 10 vertici GPS a misura periodica, materializzati con capisaldi a centramento forzato, che permettano di completare il quadro conoscitivo della cinematica dell'area in studio. L'architettura delle reti prevede stazioni di riferimento (*Master*) ubicate su edifici situati in aree stabili e stazioni di controllo installate all'interno del corpo di frana. Le stazioni *Master*, dotate di antenna *choke ring* e ricevitori in grado di ricevere anche il segnale Glonass, sono inquadrare nel sistema ITRF2000 e la loro posizione è periodicamente controllata rispetto alle stazioni permanenti della rete EUREF. Le stazioni di controllo permanenti, dotate di strumentazione di tipo geodetico a doppia frequenza, sono state invece realizzate in prossimità delle verticali geotecniche con pilastri in cemento armato oppure su edificio. Pannelli fotovoltaici collegati a una batteria tampone garantiscono a tutte le stazioni di controllo l'alimentazione autonoma. Tutte le procedure di gestione remota dei ricevitori, trasferimento dei *raw data*, controllo di qualità dei dati, creazione dei file in formato RINEX e archiviazione sono eseguite in automatico dal software di gestione, Spider di Leica, presente sia presso il Centro di Raccolta Elaborazione e Controllo (CRED) nella sede del Servizio Geofisica, sia presso il Centro Locale di Controllo ubicato nei locali del Comune di Lago. Tale software, infine, esegue automaticamente il processamento dei dati, determinando le soluzioni giornaliere di ciascun punto di controllo rispetto alla stazione *Master*, considerata fissa, e gli spostamenti relativi.

Tutte le stazioni registrano in continuo con un intervallo di campionamento di 30" e un angolo di cut-off di 15°.

### La rete di Potenza

Il versante di Costa la Gaveta, situato in sinistra orografica del fiume Basento, alcuni chilometri a valle della città di Potenza, è interessato da due estesi corpi di frana principali e da vari corpi secondari. Si tratta di frane di tipo complesso ad evoluzione retrogressiva con origine per erosione al piede da parte del corso d'acqua più specificatamente scorrimenti rototraslativi che evolvono in colate di terra. I terreni coinvolti appartengono prevalentemente alla formazione delle Argille Varicolori (Cretaceo superiore-Oligocene inferiore) e gli spessori interessati dal movimento sono notevoli. Le informazioni raccolte dall'Università della Basilicata indicano, infatti, superfici di scorrimento a varie profondità, sino a 35 m dal piano campagna. Lungo gran parte di questo versante le deformazioni hanno causato negli anni notevoli danni a numerose abitazioni e coinvolto anche due importanti vie di comunicazione: la strada statale n. 407 "Basentana" e la linea ferroviaria FS Potenza-Metaponto in prossimità della galleria "Calabrese".

La rete di monitoraggio GPS è costituita da una stazione Master e 5 stazioni installate lungo il versante: 3 di esse all'interno del corpo di frana più orientale e 2 nel secondo, ubicate prevalentemente in modo da controllare i movimenti in prossimità delle due importanti vie di comunicazione (Figura 1). In aggiunta alle stazioni permanenti sono stati monumentati 10 vertici a centramento forzato, misurati annualmente con sessioni statiche della durata di alcune ore, con l'obiettivo di fornire informazioni su altre porzioni del versante, in particolare il settore compreso tra le due frane principali di cui non si conosce la cinematica, ma anche controllare gli spostamenti rilevati in corrispondenza delle verticali inclinometriche.

La rete GPS è affiancata, come previsto nel progetto, da una rete di monitoraggio dei parametri geotecnici, realizzata con il cofinanziamento della Regione Basilicata, progettata e gestita dall'Università degli Studi della Basilicata, Dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia

Applicata all'Ingegneria. Questo segmento è costituito da 11 verticali inclinometriche, alcune attrezzate con sonde fisse, e piezometri (piezometri di casagrande e celle piezometriche).

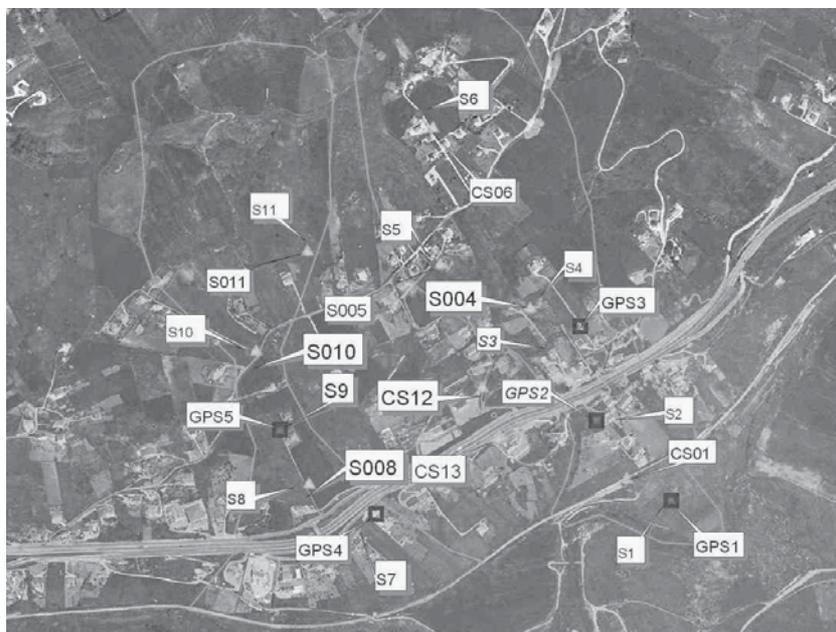


Figura 1 – Rete di Costa La Gaveta: **S** verticali geotecniche; **GPS** -stazioni GPS permanenti; **CS** -pnt i GPS a controllo periodico; **S** -pnt i GPS a controllo periodico in corrispondenza di verticali inclinometriche

### La rete di Lago

La Frana di Lago si estende lungo un versante prospiciente l'abitato di Lago e coinvolge le frazioni di Greci e Piscopie. Questo versante, coinvolto nell'area a nord di Piscopie dalla storica frana Pizzotto, è monitorato dal 1996 dal Servizio Geofisica, con campagne di misura GPS periodiche. Una rete di monitoraggio profondo, progettata e gestita dal CNR-IRPI di Cosenza, costituita da 6 verticali inclinometriche e 7 piezometri (piezometri di Casagrande e celle piezometriche) completa il quadro di indagini. Tale versante, interessato da rocce metamorfiche di basso grado, intensamente fratturate, è affetto da numerose instabilità sia superficiali sia profonde e già in passato interessato da importanti movimenti di massa (Sorriso Valvo et al., 1999). Il movimento di massa principale è riconducibile a una deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV), tipo Sackung, che coinvolge gran parte del versante in prossimità della già citata frana Pizzotto, cui si sovrappongono diffuse fenomenologie più superficiali. I movimenti registrati dalle misure GPS su più di 20 vertici GPS a monitoraggio periodico (Gullà et al., 2007), unitamente a quelli profondi hanno evidenziato negli anni un complesso quadro di deformazione permettendo di discretizzare settori a differente cinematiso e di ubicare le stazioni GPS permanenti in siti considerati rappresentativi di aree a comportamento omogeneo. La rete periodica costituita oggi nel suo complesso da 4 punti di riferimento esterni all'area in frana e 18 punti di controllo, misurati tutti in modalità statica con sessioni di almeno 3 ore con 3 ripetizioni, hanno permesso di distinguere un cinematiso differenziato per le aree di Piscopie e Greci. In particolare, per il settore di Piscopie si distingue una porzione sud-occidentale in cui sono stati registrati spostamenti superiori a 6 mm/y e una porzione nord-orientale dove i movimenti non sono significativi. Diversamente per l'abitato di Greci dove la porzione settentrionale dell'abitato caratterizzata da spostamenti evidentemente maggiori, con velocità di spostamento pari a 5-10 cm/anno e direzione di movimento verso ESE. Nella zona geograficamente intermedia di Acquafredda si osservano movimenti verso E, con velocità di spostamento variabili tra 0,5 e 2,5 cm/anno. Le conoscenze geologiche e morfologiche dell'area, i risultati ottenuti negli anni riguardo al cinematiso in atto e non ultimi le problematiche legate al



Figura 2 – Rete di Lago: monumentazione di una stazione GPS in continuo

di controllo all'interno della porzione di territorio occupata dalla DGPV (Figura 3). Le stazioni F1 e F2 nell'abitato di Piscopie, la stazione F3 nell'area denominata di Acquafredda, F4 e F5 nell'abitato di Greci sono tutte monumentate con un pilastro in cemento armato. L'alloggiamento della strumentazione è stato predisposto in un pozzetto prefabbricato interrato con apertura a piano campagna. La stazione *Master*, alimentata dalla rete, è alloggiata all'interno dell'edificio comunale, dove si trova il Centro Locale di Controllo costituito da un computer del tipo industriale, il modem GSM e i radio modem in numero pari a quello delle stazioni di controllo, mentre la comunicazione con il CRED di Roma avviene tramite linea ADSL. Ciascuna stazione di controllo è strutturata in maniera tale da poter comunicare con la stazione *Master* con una duplice modalità ovvero radio modem e modem GSM, permettendo di gestire la modalità di acquisizione in tempo reale e al contempo di controllare e comunicare dal CRED di Roma con le singole postazioni. Nel periodo di prova, durante il quale il sistema è stato testato, tutte le stazioni sono state impostate con un'acquisizione in modalità di streaming continuo di un secondo. I dati così trasmessi al Centro Locale di Lago sono automaticamente elaborati con sessioni di durata variabile in funzione dell'area controllata e dei movimenti attesi nei vari periodi dell'anno (da 30 min a 24 ore) e i movimenti sono rappresentati su grafici da un apposito modulo. Contemporaneamente i grafici e i dati sono trasferiti al CRED di Roma. La necessità di gestire contemporaneamente più modalità di acquisizione nasce dalle caratteristiche stesse del cinematiso della frana di Lago, quindi l'esigenza di poter controllare in tempo reale o più propriamente quasi reale i punti caratterizzati da velocità medie dell'ordine di vari cm/y, ubicati in aree urbanizzate o interessate dalla presenza di infrastrutture.

I risultati disponibili mostrano per il settore di Piscopie un buon accordo nel modulo dello spostamento e nella direzione rispetto a quanto fornito dai risultati delle misure periodiche per i punti prossimi alle stazioni permanenti e acquisiti per un intervallo temporale di 10 anni. Ovvero, è stata evidenziata una porzione prossima alla frana Pizzotto dove i movimenti non sono significativi (F1) e una sud-occidentale in cui sono stati registrati spostamenti dell'ordine di qualche cm/y (F2) verso ESE. I dati profondi forniti dagli inclinometri posizionati indicano per Piscopie una superficie di rottura che raggiunge i 30m di profondità con una ulteriore fascia di deformazione intorno ai

livello di urbanizzazione hanno guidato la scelta dei siti ad accogliere la monumentazione di stazioni GPS fisse (Figura 2).

La rete permanente di Lago è oggi costituita nel suo complesso da 6 stazioni di misura di cui una di riferimento, ubicata negli uffici comunali di Lago (stazione *Master*), e le altre



Figura 3 – Rete di Lago: localizzazione delle stazioni GPS in continuo

35m. Spostamenti più consistenti si osservano nell'abitato di Greci, dove la velocità media è pari a 4 cm/y verso SE, ma con velocità praticamente nulla fino a gennaio del 2008. Anche per il settore di Greci i dati inclinometrici disponibili forniscono indicazione sulla presenza di una superficie di rottura alla profondità di circa 25 m con azimut a 120°.

### Discussione dei primi risultati

Le stazioni di misura permanenti della rete di Lago hanno cominciato ad acquisire con una configurazione definitiva a partire da luglio 2007. Durante questo primo anno di misure, il sistema è stato tarato ottimizzando le modalità di acquisizione e di trasmissione del dato via radio dalle stazioni al Centro locale. Simulazioni matematiche svolte nell'ambito della progettazione di altre reti GPS permanenti hanno messo in evidenza che, per basi aventi lunghezza inferiore a 3 km, la precisione media dei vertici si mantiene a valori dell'ordine di 1÷2 centimetri anche per sessioni brevi della durata di 30min (Figura. 4) (Bonci et al., 2004). Sulla base

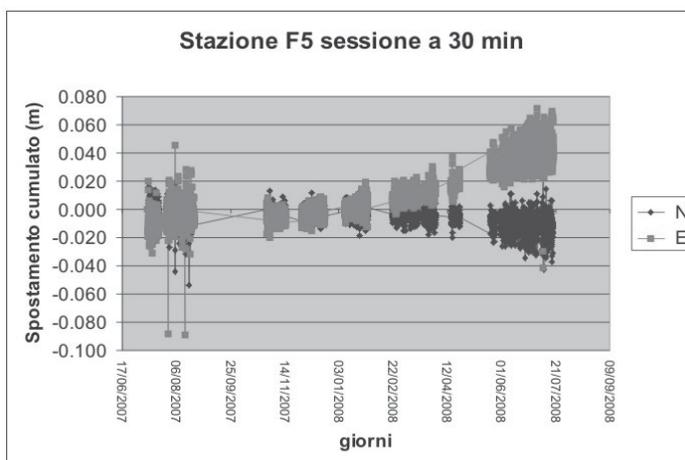


Figura 4 – Rete di Lago: spostamenti cumulati delle componenti N e E per la stazione F5

di questi risultati, inizialmente, le modalità di acquisizione sono state impostate per tutte le stazioni in continuo con *streaming* dei dati ogni secondo e sessioni a 30 min. Questo ha fornito un quadro dettagliato dell'andamento dei movimenti, confermando le conoscenze desunte dall'ampio numero di risultati offerti da 10 anni di campagne di misura. Successivamente, a partire da marzo 2008, solo le stazioni con spostamento non superiore a 1÷2 cm/y sono state impostate con passo di campionamento a 30s e sessioni a 24 ore (punti F1, F2 e F4) mentre le altre, che presentano spostamenti superiori alle precedenti ma comunque di entità contenuta, hanno continuato ad acquisire con sessioni di 30min. Se da un lato l'elaborazione con sessioni brevi permette di seguire l'evoluzione del processo in condizioni di emergenza e acquisire i parametri necessari per la definizione di un modello cinematico dall'altro, in condizioni non di allarme, sessioni di 24 ore forniscono con buona precisione il trend generale. Quindi la sperimentazione del primo periodo fornisce indicazioni utili sulle modalità di configurazione idonee al controllo dei movimenti in condizioni di emergenza qualora ce ne fosse la necessità.

Per quanto riguarda la Rete di Potenza le misure sono iniziate nel 2005 sulle verticali geotecniche, mentre le prime misure GPS sui vertici occupati periodicamente sono state eseguite nel luglio 2006, contemporaneamente all'installazione delle sonde inclinometriche fisse in due verticali, una in ciascuna frana. La Rete GPS infine è stata completata nel 2007 con l'avvio delle misure in continuo. Malgrado il periodo ancora breve di monitoraggio in continuo, i primi dati permettono già di valutare i movimenti dei due corpi di frana nei vari settori e mostrano un buon accordo tra i sistemi di misura. Le misure inclinometriche individuano bene le superfici di scorrimento, in alcuni fori fino a circa 35 metri di profondità, e le direzioni di spostamento, mentre le sonde fisse consentono di seguire con dettaglio le deformazioni profonde.

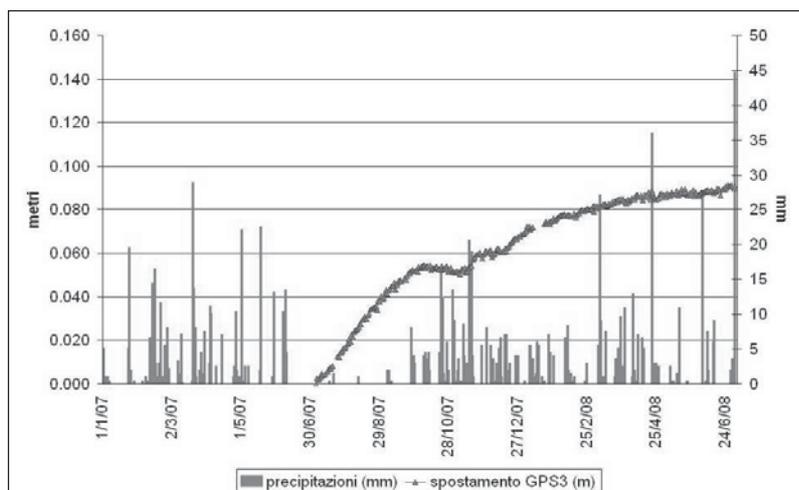


Figura 5 – Rete di Potenza: spostamenti planimetrici cumulati della stazione GPS5 e precipitazioni giornaliere

zioni (Figura 5). Il primo periodo di funzionamento delle due reti ha fornito utili informazioni riguardo alle modalità di progettazione di reti di controllo in tempo quasi reale, in particolare per quanto riguarda la monumentazione e la trasmissione dei dati. Inoltre è stato verificato che, nel caso di sistemi di controllo in continuo su versanti in frana caratterizzati da movimenti di alcuni centimetri l'anno, l'utilizzo di software in grado di semplificare le operazioni di gestione, trasferimento e processamento automatico dei dati permette di controllare, con buona precisione ed in tempo quasi reale, i movimenti di un versante per rispondere ad esigenze di protezione civile.

**Ringraziamenti** Si ringraziano per il supporto tecnico alla realizzazione e alla gestione delle reti periodiche: D.ssa V. Eulilli, Sig. D. Matarazzo, Ing. K. Merli, P.I. C. Pulsinelli, Sig. C. Reali, P.M. F. Vullo. Si ringraziano, inoltre, il Dott. M. Sorriso Valvo e l'Ing. G. Gullà, del CNR IRPI di Cosenza, e la Prof. C. Di Maio, dell'Università della Basilicata, per il contributo fornito nella realizzazione e gestione delle stazioni permanenti e per la disponibilità dei dati del monitoraggio geotecnico.

### Bibliografia

- Bonci L., Calcaterra S., Cametti A., Crespi M., De Vendictis L., Gambino P., Luzietti L., Merli K. (2004), "Definizione di un protocollo operativo per il monitoraggio degli spostamenti superficiali", *Boll. Soc. It. di Fotogrammetria e Topografia*, 3: 145-155
- Crespi M., (1996): "A software package for the adjustment and the analysis of GPS control networks". In *Reports on Surveying and Geodesy*. Ed. Unguendoli M., University of Bologna, edizioni Nautilus: 237-264
- Gullà G., Sorriso Valvo M., Bonci L., Cesi C., Calcaterra S., Eulilli V., Gambino P., Niceforo D., Reali C., Vullo F. (2007), "Displacements on a slope affected by deep-seated gravitational slope deformation: Lago, Calabria, Italy", *Geoitalia 2007, Sesto Forum Italiano di Scienze della Terra, Rimini 12-14 settembre 2007, Epitome*, 2
- Sorriso-Valvo M., Gullà G., Antronico L., Tansi C., Amelio M. (1999) – "Mass movement, geologic structure and morphologic evolution of the Pizzotto-Greci slope (Calabria, Italy)". *Geomorphology*, 30: 147-163

Le misure sui vertici della rete GPS a misura periodica sono eseguite occupando ogni punto tre volte con sessioni di alcune ore ed i dati sono elaborati utilizzando il software Bernese. I valori degli sqm delle coordinate, compensate utilizzando NetGPS (Crespi, 1996) sono inferiori a 2 mm in planimetria e pari circa un centimetro in quota. L'analisi delle serie temporali delle stazioni in acquisizione continua, anche se ancora limitate al primo anno, ha consentito di distinguere chiaramente, e con precisione millimetrica, i periodi in cui le velocità di spostamento sono maggiori e la loro correlazione con le precipita-