

MONITORAGGIO CONOSCITIVO DEGLI SPOSTAMENTI CON TECNICHE GPS E GESTIONE DI UNA CONDIZIONE DI CRITICITÀ PER LA FRANA DI SERRA DI BUDA (ACRI-CS)

Giovanni GULLÀ, Daniela NICEFORO, Duilio D'ONOFRIO, Claudio REALI

CNR-IRPI c/o Via Cavour 4/6 – 87030 Rende (CS), tel 0984835358, fax 0984835319,
e-mail niceforo@irpi.cnr.it

Riassunto

Nell'inverno 1998-1999 è stato avviato lo studio del movimento franoso di Serra di Buda quando, con l'apertura di profonde ed estese fratture nel terreno e con forti deformazioni di una tratto della Strada Statale 660 che attraversa il versante, si è manifestata una delle rimobilizzazioni note.

La frana, localizzata su un versante in prossimità dell'abitato di Acri (CS), è parte di un'area più ampia interessata da un Sackung e coinvolge litotipi cristallino-metamorfici paleozoici profondamente alterati e degradati.

In seguito alla rimobilizzazione del 1998-99, è stata realizzata una rete di monitoraggio degli spostamenti superficiali, misurata con tecniche GPS, che ha consentito, in presenza di un presidio a vista, di gestire in sicurezza il transito lungo la SS 660. Successivamente alla fase di emergenza, la prosecuzione del monitoraggio conoscitivo, esteso anche ai movimenti profondi, ha consentito di definire i caratteri dimensionali e cinematici del fenomeno.

In particolare nel dicembre 2004 si è manifestata un'altra rimobilizzazione della frana, rilevata da una brusca accentuazione del movimento la cui velocità è progressivamente passata da 0.01 cm/giorno a circa 2.46 cm/giorno.

Nella nota viene focalizzata l'attenzione sulle misure condotte durante l'evento del dicembre 2004, evidenziando, con riferimento al caso trattato, il contributo che può fornire il monitoraggio degli spostamenti superficiali alla gestione delle condizioni di criticità che possono essere determinate da fenomeni franosi complessi e di grandi dimensioni.

Abstract

During the winter 1998-1999 is started the study of the landslide in the Serra di Buda region when, with the opening of large and deep cracks in the slope and with strong deformations on a stretch of hillside alongside National Road SS660, one of the known remobilizations has been manifested.

The landslide, localized at the entrance to the town of Acri (Calabria, Southern Italy), is part of a wider area affected by Sackung in which extremely weathered and degraded crystalline-metamorphic Palaeozoic lithotypes are present.

After the remobilization of 1998-1999, was set up a monitoring GPS network for control of superficial movements that enabled to control the traffic along the road, directly supervising the site. After the emergency phase, is started the monitoring of the deep movements, that enabled to specify the dimensional and kinematic features of phenomenon.

During the December 2004 a remobilization occurred, brought out from an abrupt increase of the movement passing from the speed of 0.01 cm/day to about 2.46 cm/day.

The data acquired during the event of December 2004 are analysed, pointing out the contribution that, with reference to treated case, can have the monitoring activities of superficial movements to manage emergencies of complex and extended landslides.

Introduzione

La frana di Serra di Buda, localizzata su un versante in prossimità dell'abitato di Aciri (CS) (Fig. 1), rappresenta per le sue caratteristiche dimensionali ed evolutive, un fenomeno di instabilità ad elevato impatto sociale, economico ed ambientale, tipico di molte situazioni che si riscontrano non solo in Calabria ma in molte parti di Italia e del mondo.



Figura 1 - Ubicazione del versante su cui è localizzata la frana di Serra di Buda.

Le problematiche determinate dai movimenti dell'area in frana in località Serra di Buda erano già note nel secolo scorso (Terranova et al., 2004). Successivamente alla mobilitazione dell'inverno 1998-99 fu predisposta una rete di monitoraggio conoscitivo degli spostamenti (superficiali e profondi) che ha permesso, tra l'altro, di gestire in sicurezza il transito lungo la SS 660 in occasione dell'evento di instabilità richiamato (Sorriso Valvo et al., 2001).

La prosecuzione dello studio successivamente all'inverno 1998-99 (Gullà et al., 2002; Gullà et al., 2004a; Gullà et al., 2004b) ha consentito di verificare e precisare alcuni importanti caratteri dimensionali e cinematici dell'instabilità. In particolare, alla fine di dicembre del 2004, in seguito all'accentuazione degli spostamenti rilevati in alcune delle stazioni di misura predisposte e controllate per il rilievo degli spostamenti su fratture (Sorriso Valvo et al., 2001), si è ritenuto di aumentare immediatamente la frequenza delle campagne di misura GPS per accertare l'effettivo cambiamento dell'andamento degli spostamenti superficiali. In tal modo è stato possibile rilevare una variazione della velocità degli spostamenti planimetrici da 0.03cm/giorno a 0.12cm/giorno, molto presumibilmente riferibile al 29 dicembre 2004.

Nel seguito, dopo aver descritto la rete di monitoraggio GPS, sono illustrati ed analizzati i dati acquisiti nella fase di criticità evidenziatasi nell'inverno 2004-05, e risoltasi a giugno 2005, ed è delineato il possibile contributo che il monitoraggio degli spostamenti superficiali può dare alla gestione di analoghe condizioni determinate da fenomeni franosi complessi e di grandi dimensioni.

Rete GPS per il monitoraggio conoscitivo e relative misure

La tecnica GPS, come è noto, consiste nel determinare la posizione del punto in osservazione attraverso la distanza di quest'ultimo rispetto ad almeno tre satelliti, la cui posizione nello spazio è nota con precisione. L'utilizzo di due ricevitori di cui uno (base) collocato in un punto di coordinate note e l'altro (rover) nel punto di cui si vuole determinare la posizione, consente di procedere in modalità differenziale e quindi di raggiungere precisioni dell'ordine del centimetro anche quando la distanza tra i due ricevitori è di qualche decina di chilometri.

La rete GPS per il monitoraggio degli spostamenti superficiali della frana di Serra di Buda è stata impiantata immediatamente dopo la mobilitazione dell'inverno 1998-99 ed è divenuta operativa da inizio aprile 1999 (Sorriso Valvo et al., 2001). La rete GPS è stata affiancata in una seconda fase da una rete controllata con una stazione totale che ha acquisito le misure degli spostamenti da ottobre 1999 a luglio 2002 (Gullà et al., 2002; Gullà et al., 2004b). Nel corso della prosecuzione

dello studio, la rete GPS è stata integrata con altri due punti, uno dei quali materializzato dalla testa di una verticale inclinometrica (S1A), Fig. 2. In definitiva la configurazione corrente della rete GPS, mostrata in Fig. 2, è costituita da otto punti di misura e da un punto fisso.

L'analisi complessiva delle misure acquisite sino a luglio 2002 ha consentito di definire i caratteri cinematici essenziali dell'instabilità che è classificata come uno scorrimento traslazionale (Gullà et al., 2002; Gullà et al., 2004b). Gli spostamenti planimetrici dell'area instabile presentano un andamento caratterizzato da più sequenze di accelerazione e decelerazione, con alcuni periodi in cui le velocità tendono ad azzerarsi o ad assumere valori estremamente contenuti. Relativamente al periodo in esame lo spostamento complessivo, pari a circa 50 cm, si è accumulato con velocità riferibili ai seguenti valori rappresentativi: circa 0.45cm/giorno per 40 giorni (1 aprile-10 maggio 1999) (Sorriso-Valvo et al., 2001); circa 0.07cm/giorno per 29 giorni (6 marzo-4 aprile 2000); circa 0.05cm/giorno per 94 giorni (14 gennaio-19 aprile 2001); circa 0.01cm/giorno per circa un anno (5 agosto 2001-8 luglio 2002), con un tratto iniziale caratterizzato da velocità quasi nulla (Gullà et al., 2004b).

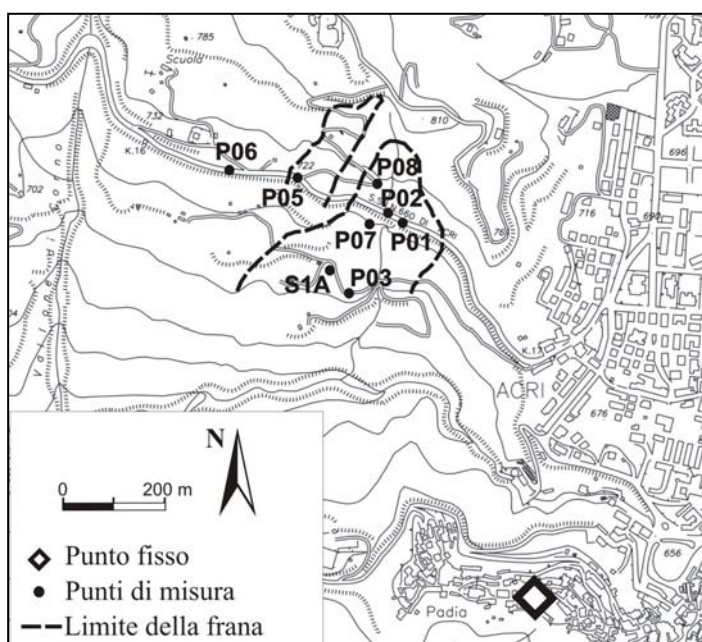


Figura 2 – Configurazione corrente della rete GPS.

Le ulteriori misure disponibili, riferite al 17 giugno 2003, sono mostrate nella Fig. 3 relativamente a due punti caratteristici della rete GPS. Si può rilevare dall'esame di quanto proposto che la velocità cresce da circa 0.24cm/giorno, al 27-01-2005, a circa 2.46cm/giorno, al 14-3-2005. La fase di accelerazione del movimento evidenziata è preceduta da due periodi caratterizzati rispettivamente da una velocità di circa 0.03cm/giorno e ancora prima di circa 0.15cm/giorno.

Possibile contributo alla gestione di una condizione di criticità della frana

Da quanto riportato nella Fig. 3 si evidenzia una prima e sostanziale variazione dell'andamento degli spostamenti intorno alla fine del 2004.

La misura condotta il 12 gennaio 2005, riferita a quella precedente del 14 dicembre 2004, porta infatti ad una valutazione della velocità, circa 0.12 cm/giorno, nettamente superiore rispetto a quella stimabile per il periodo immediatamente precedente, 0.03cm/giorno tra il luglio ed il dicembre 2004.

L'incremento della velocità evidenziato poteva, in generale, essere ragionevolmente ricondotto ad un ripristino della condizione cinematica registrata nel periodo giugno 2003-luglio 2004 (velocità di circa 0.15 cm/giorno). Tuttavia, il modo repentino con cui si è prodotta la variazione di velocità ha consigliato, pur essendo il monitoraggio conoscitivo, di aumentare la frequenza delle misure sulla

rete GPS. In particolare la programmazione delle misure è stata decisa sulla base dei risultati ottenuti dall'analisi dei dati in corso di evento condotta con due modelli: con un modello definito da una funzione matematica che interpola le misure man mano disponibili, il cui presupposto è l'assunzione che non cambi la fase di movimento della frana; con un modello proposto da Fukuzono (1985; 1990) che consente di stimare il "tempo di rottura" t_r attraverso lo studio del reciproco della velocità di spostamento misurata successivamente all'avvio della fase di rottura. Quest'ultimo metodo, utilizzato con successo per la previsione a posteriori di diversi movimenti franosi (Petley, 2004; Noverraz, Bonnard, 1991; Lateltin, Bonnard, 1995; Hungr, Kent, 1995; Kilburn, Petley, 2003; Vibert, Arnould, 1987), consiste nel diagrammare l'inverso della velocità in funzione del tempo e nel determinare il t_r che, se come avviene nel caso esaminato la funzione è rappresentata da una retta, è ottenuto dall'intersezione della retta interpolante con l'asse dei tempi.

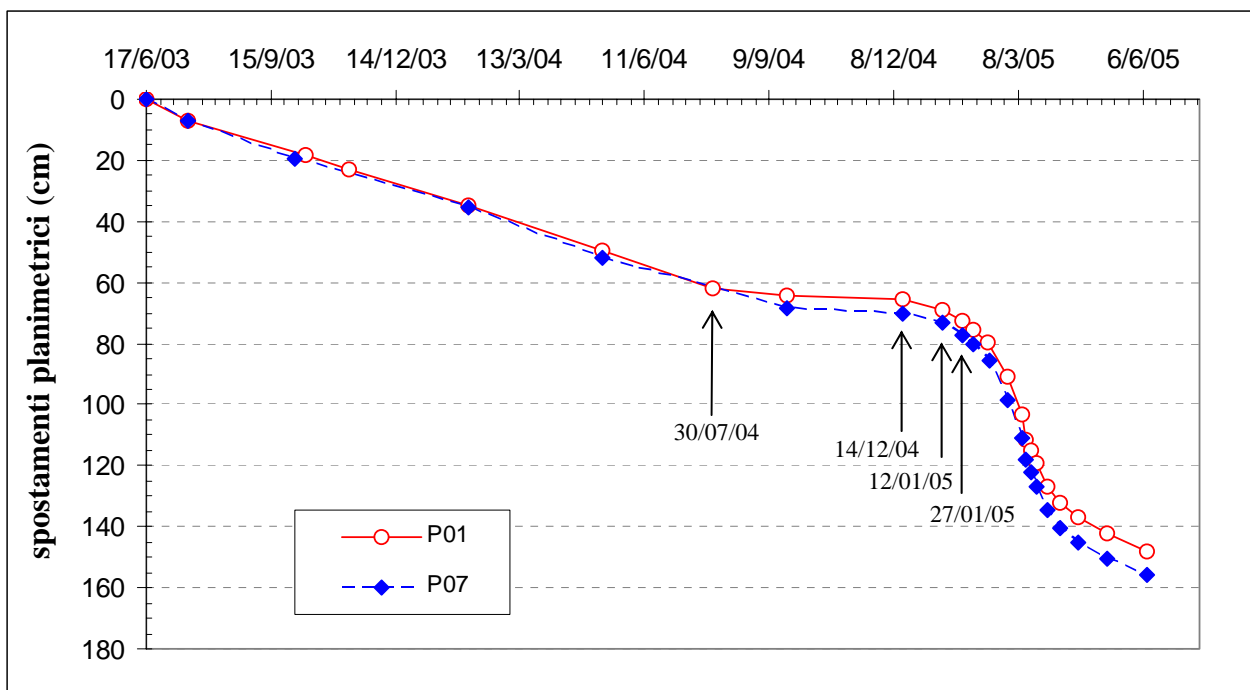


Figura 3 – Spostamenti misurati in due punti caratteristici della rete GPS.

Con le modalità indicate è stato possibile ottimizzare la frequenza delle misure GPS: per definire al meglio le curve degli spostamenti superficiali caratteristiche del movimento in una sua fase parossistica; per seguire con sufficiente approssimazione l'evoluzione cinematica del fenomeno al fine di consentire, con il presidio a vista, il transito o l'adozione di eventuali misure di limitazione-restrizione del traffico lungo la SS 660.

La figura 4a, in cui è riportato l'andamento del reciproco della velocità di spostamento per tutto il periodo di osservazione, consente di precisare la collocazione dell'inizio della fase di rottura alla metà di gennaio del 2005.

Con il modello di Fukuzono (1985; 1990) si stimano, utilizzando le misure effettuate sino al 14 marzo 2005, tempi di rottura collocati rispettivamente al 18 marzo 2005, per il punto P01, ed al 20 marzo 2005, per il punto P07 (Fig. 4b).

Coerentemente alle indicazioni fornite dai modelli utilizzati la misura successiva a quella del 14 marzo 2005 è stata condotta il 17 marzo 2005. La velocità stimata da tale misura ha segnalato un rallentamento del movimento e, quindi, un possibile cambiamento della fase cinematica che avrebbe potuto portare al collasso della frana di Serra di Buda.

Si può dunque constatare che le indicazioni ottenute dai due modelli utilizzati possono fornire, in termini generali, un utile contributo per la gestione di criticità determinate da mobilitazioni di frane complesse e di grandi dimensioni.

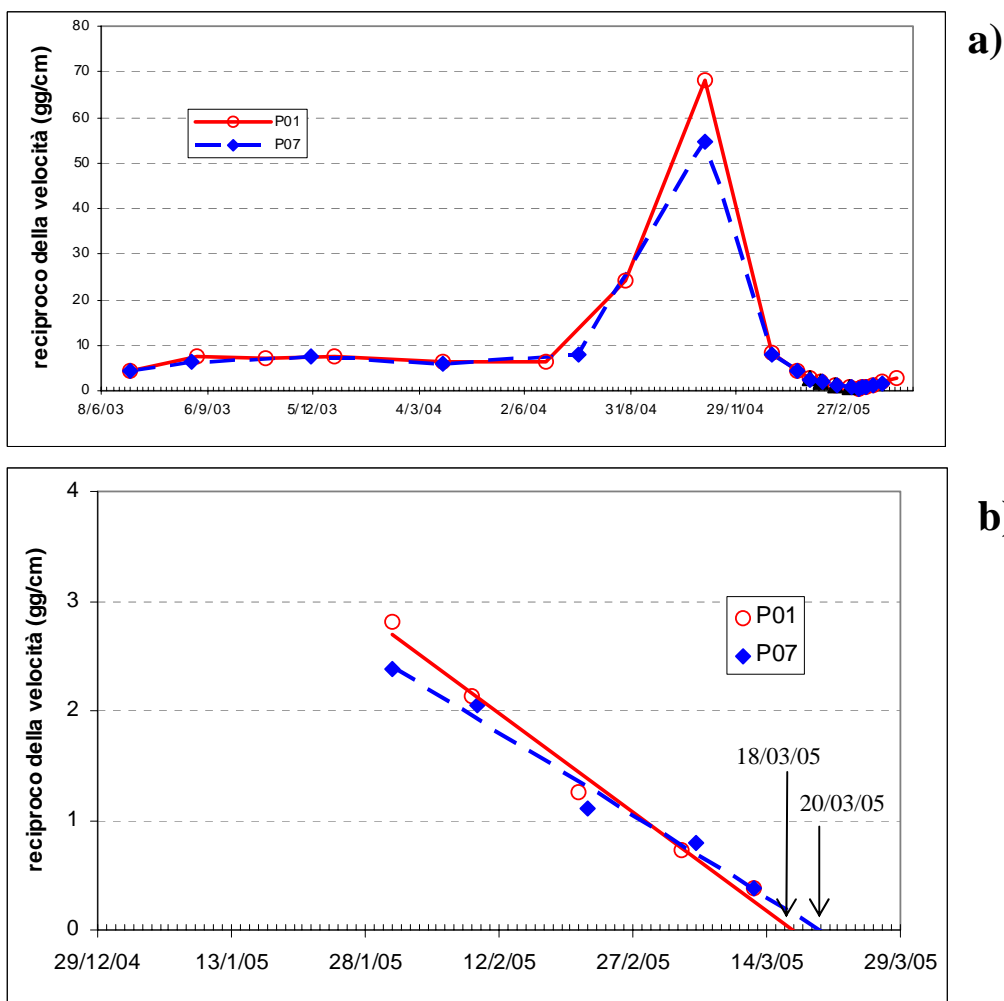


Figura 4 – Andamento nel tempo del reciproco della velocità di spostamento: a) per tutto il periodo di osservazione; b) nel periodo pre-rottura per la determinazione del t_r con il metodo di Fukuzono.

Conclusioni

Nella nota sono stati illustrati ed analizzati, riferendole alle precedenti misure, i dati GPS relativi ad una fase di movimento della frana di Serra di Buda che, a partire dalla fine di dicembre del 2004, ha determinato una condizione di criticità per l'utilizzo del versante e, in particolare, della SS 660, molto simile a quella che si è attivata nell'inverno 1998-99.

L'esame dei dati considerati per le specifiche finalità della presente nota evidenzia un andamento crescente della velocità di spostamento, per tutti i punti GPS che ricadono nell'area in frana, dalla metà di dicembre 2004 sino alla metà di marzo 2005 con valori che passano: da circa 0.24cm/giorno al 27-01-2005, a circa 2.46cm/giorno al 14-3-2005.

L'analisi dei dati evidenzia che la prosecuzione del movimento con le stesse modalità impostatesi a partire dal 29-12-2004 avrebbe molto probabilmente portato al collasso della frana in una data compresa tra il 18 ed il 20 marzo 2005.

I modelli utilizzati per ottimizzare il monitoraggio conoscitivo hanno anche consentito di supportare, limitatamente a quanto previsto (Gullà et al., 2004c), il presidio a vista della frana di Serra di Buda. In generale si può dunque concludere che la disponibilità di un robusto quadro di riferimento (Sorriso Valvo et al., 2001; Gullà et al., 2002; Gullà et al., 2004a; Gullà et al., 2004b) rende possibile ed utile il contributo del monitoraggio conoscitivo degli spostamenti superficiali per la gestione di criticità determinate da riattivazioni parossistiche del movimento in frane complesse e di grandi dimensioni.

L'esperienza condotta nell'inverno 2004-2005 evidenzia tuttavia che l'utilizzo di reti GPS misurate manualmente perde drasticamente di efficacia quando, all'approssimarsi di velocità dell'ordine dei 5-10cm/giorno, l'evoluzione del fenomeno può portare in tempi molto brevi al collasso del volume instabile. Nel caso di studio di Serra di Buda, l'aver definito con il monitoraggio conoscitivo i caratteri cinematici del movimento nelle sue fasi essenziali, rende fattibile la realizzazione di un sistema di monitoraggio definitivo per la gestione delle criticità.

Ringraziamenti

La nota prende spunto dalle attività svolte per conto della Regione Calabria (Settore Protezione Civile) relativamente allo studio della frana di Serra di Buda (Acri-CS). Si ringrazia in particolare l'ing. Edoardo D'Andrea, referente per la Regione Calabria della relativa convenzione.

Bibliografia

- Fukuzono T. (1985), "A new method for predicting the failure time of a slope", *Proceedings of the 4th International Conference and Field Workshop on Landslides*, Tokyo, Tokyo University Press, 145-150.
- Fukuzono T. (1990), "Recent studies on time prediction of slope failure" *Landslide News*, 4: 9-12.
- Gulla' G., Aceto L., Antronico L., Cilento M., Niceforo D., Perna E., Terranova O. (2004a), "Failure and post failure conditions of a landslide involving weathered and degraded rocks", *Proceedings of the 9th International Symposium on Landslides*, Rio de Janeiro, 28 June-7 July 2004.
- Gullà G., Bonci L., Cesi C., Calcaterra S., Gambino P., Niceforo D. (2002), "Spostamenti superficiali di una frana in rocce alterate e degradate", *Atti del Convegno nazionale "Conservazione dell'ambiente e rischio idrogeologico"*, Assisi, 11-12 Dicembre 2002, 505-512.
- Gulla' G., Niceforo D., Bonci L., Calcaterra S., Cesi C., Gambino P. (2004b), "Surface movements of a landslide involving weathered and degraded rocks", *Proceedings of the 15th Southeast Asian Geotechnical Conference*, Bangkok, 22-26 November 2004, 1: 375-378.
- Gullà G., Niceforo D., Sorriso Valvo M., D'Onofrio D., Reali C., Guardia S. (2004c), "Proposta di un Protocollo di controllo per la frana di Serra di Buda (Acri - Cosenza)" Convenzione di collaborazione fra il CNR-IRPI e Regione Calabria Assessorato "Foreste, Forestazione, Protezione Civile e Pari Opportunità" Dipartimento N. 11 - Settore regionale della Protezione Civile.
- Hungr O., Kent A. (1995), "Coal mine waste dump failures in British Columbia, Canada", *Landslide News*, 9: 26-28.
- Lateltin O., Bonnard Ch. (1995), "Reactivation of the Falli-Höllli landslide in the Prealps of Freiburg, Switzerland", *Landslide News*, 9: 18-21.
- Kilburn C.R.J., Petley D.N. (2003), "Forecasting giant, catastrophic slope collapse: lessons from Vajont, Northern Italy", *Geomorphology*, 54: 21-32.
- Noverraz F., Bonnard Ch. (1992), "L'écroulement rocheux de Randa, près de Zermatt", *Proceedings of the 6th International Symposium on Landslides*, Christchurch, 10-14 February 1992, Edited by D.H. Bell. A.A. Balkema, Rotterdam, 165-170.
- Petley D. N. (2004), "The evolution of slope failures: mechanism of rupture propagation", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4: 147-152.
- Sorriso Valvo, M., Antronico, L., Gabriele, S., Gullà, G., Tansi, C., Aceto, L., Greco, R., Niceforo, D., Dodaro, F. "Studio e monitoraggio della frana di Serra di Buda (Acri)", Relazione Finale. "Convenzione per lo studio geomorfologico e geotecnico del fenomeno franoso che interessa la SS660 in località Serra di Buda (Acri)", CNR-IRPI e Regione Calabria, Vol.1-2, Agosto 2001.
- Terranova O., Antronico L., Gulla' G. (2004), "Pluviometrical events and slope stability on weathered and degraded rocks (Acri, Calabria, Italy)", *Proceedings of the 9th International Symposium on Landslides*, Rio de Janeiro, 28 June - 7 July 2004.
- Vibert C, Arnould M. (1987) "An attempt at predicting the failure of a mountainous slope: the "La Clapière" slide at Saint-Etienne-de-Tinée (France)", *Landslide News*, 1: 4-6.