

## **Monitoraggio “near real time” di rischio frane: un GIS per la gestione dell'emergenza**

Bertacchini Eleonora (\*), Castagnetti Cristina (\*), Capra Alessandro (\*),  
Dubini Marco (\*\*), Boni Emanuele (\*)

(\*) DIMeC –Dip. Ingegneria Meccanica e Civile–, Università di Modena e Reggio Emilia, Via vignolese 905  
41125 Modena (Italy), tel. +39 059 205 6298, fax. +39 059 2056126

alessandro.capra@unimore.it, cristina.castagnetti@unimore.it

(\*\*) DiDiSAG - Dipartimento di Discipline Storiche, Antropologiche e Geografiche, Università di Bologna  
Piazza S. Giovanni in Monte 2 40124 Bologna, marco.dubini@unibo.it

### **Riassunto**

La presente ricerca è stata condotta nell'ambito del progetto PRIN07 “*Rilievo e analisi multi-temporale in un Sistema di Informazioni Geo-spaziali per il monitoraggio dei movimenti e delle deformazioni di aree soggette a rischio territoriale*” ed anche nell'ambito di convenzioni stilate con il Servizio Tecnico di Bacino degli affluenti del Po, sede di Modena. L'obiettivo del lavoro è la realizzazione di un Sistema di Informazioni Geo-spaziali (GIS) per la valutazione e la gestione del monitoraggio di aree soggette a rischio frane basato su misure provenienti da molteplici strumentazioni (topografiche e geotecniche).

L'area test, la frana dei Boschi di Valoria, ubicata a Frassinoro (MO), è stata utilizzata come caso di studio sia per dimensioni sia per entità dei movimenti, particolarmente elevati in fase di acuta riattivazione (spostamenti fino a 10m al giorno).

La caratteristica principale del sistema è la multidisciplinarietà, l'integrazione di molteplici approcci che diventano vicendevolmente i protagonisti da cui estrarre informazioni a seconda del lettore interessato: l'area è stata studiata con varie tecnologie, quali tecniche di posizionamento satellitare (GPS - *Global Positioning System*), stazione totale automatizzata, rilievi laser scanner da aereo (voli LiDAR - *Light Detection And Ranging*), strumentazione geotecnica (estensimetri, piezometri, inclinometri) e radar interferometrico terrestre (GB Sar - *Ground Based Synthetic aperture radar*).

Avere a disposizione una tale mole di dati è certamente una condizione invidiabile, a patto che sia subordinata ad un'adeguata organizzazione della stessa, al fine di renderla fruibile e soprattutto rapidamente consultabile: si è deciso così di raccogliere e visualizzare il tutto in un GIS. E' stata posta particolare attenzione alla modalità di aggiornamento del sistema, che dovrebbe essere visualizzabile quasi in tempo reale: dati provenienti dalla stazione totale robotizzata e dal GPS, in continua acquisizione in sito, devono essere resi disponibili e visibili agli organi competenti il prima possibile, in modo da permettere un efficace e rapido intervento in caso di eventi di una certa entità. Da questa necessità è nato il problema, che in un primo momento era sembrato banale, della georeferenziazione dei dati in pseudo real time: le misure in frana fatte dalla stazione totale e le posizioni calcolate dei prismi sono prodotte in un sistema locale, ma devono essere trasformate nel sistema ETRF2000 (*European Terrestrial Reference Frame*) per essere congruenti con quelle risultanti dai GPS rover posti in frana. Si aggiunge la necessità di trasformare tutto il database corrente in modo da sovrapporlo alla cartografia regionale, fornita in ED50 UTM\* per l'Emilia Romagna. Il GIS realizzato può essere efficacemente preso in considerazione come strumento per la pianificazione e la gestione di situazioni di emergenza a seguito di eventi di disastro causati da fenomeni di dissesto idrogeologico (frane).

## Abstract

The research is included in the PRIN07 project -Multi-temporal surveying and analysis in Geospatial Information System for monitoring areas subject to landslide risk-. The final purpose is the design and implementation of a GIS (Geographic Information System) focused on landslides monitoring based on multiple technologies.

The case study is the Valoria landslide, located in Frassinoro (Modena, Italy), which was chosen as test site both for its largeness and for considerable displacements detected during the re-activation (10 m/day).

The main feature of this system is the integration of multiple and different approaches and technologies such as satellite-based positioning (GPS - Global Positioning System), automated total station, airborne laser scanner (LiDAR - Light Detection And Ranging), geotechnical instruments (extensometers, piezometers, inclinometers) and ground-based radar (GB Sar - Ground Based Synthetic aperture radar). Such a large amount of data is a very good condition but a suitable management is strongly required in order to make it available to all users which need to consult them. As a consequence, a full GIS has been developed to collect all information.

Great attention has been paid to the database updating, which should be as much automated as possible. The database, indeed, should be displayed and ready for queries in near real time. Just an example is provided by GPS and total station data which are continuously collected on the site: the request is to be as soon as possible available for the remote Authority in order to allow suitable, quick and effective actions in case of emergency.

This requirement highlighted the problem of geo-referencing all the data in the same reference frame in near real time mode. Total station data are related to a local frame, but they need to be transformed in the ETRF2000 (European Terrestrial Reference Frame) in order to be consistent with GPS coordinates. In addition to that, the whole database should be finally referred to the regional reference frame, which is the ED50 UTM\* concerning the Emilia Romagna Region. This is important to match with the available cartography. The designed GIS could be easily taken into account as a support for planning and scheduling operations in case of emergency due to disasters such as landslides.

## Introduzione

La Frana di Valoria si colloca sul versante Nord-Ovest del Monte Modino, nell'Appennino settentrionale, in provincia di Modena (Regione Emilia Romagna). E' una frana di dimensioni considerevoli, che comprende un'area di oltre 1.6 Km<sup>2</sup>, e che si estende dai 1.450m s.l.m.m. del crinale, fino ai 500m s.l.m.m. del Torrente Dolo. In Figura 1 ne è riportata una fotografia e la collocazione geografica.

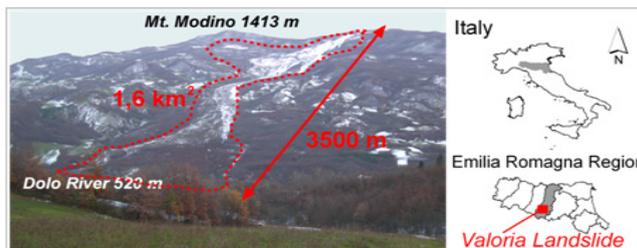


Figura 1 – Frana di Valoria. Foto e inquadramento geografico.

Dal 2001, momento in cui la frana ha subito una consistente riattivazione, altri fenomeni analoghi ma di minor entità si sono verificati nell'autunno degli anni 2005, 2007 e 2008 e nella primavera del 2009. La frana non è mai stata completamente ferma, infatti nei periodi intercorrenti tra le fasi di maggiore attività si sono sempre riscontrate riattivazioni, anche se solo parziali. Un primo momento di studio, nel periodo 2001-2007, è consistito nel monitoraggio periodico con strumentazione

geotecnica (inclinometri, cavi TDR, piezometri ed estensimetri) e nel monitoraggio continuo con piezometri, inclinometri e estensimetri, attivi ancora oggi (Corsini et al., 2005). Nel 2007-2008, il monitoraggio periodico è stato integrato con i dati della stazione totale ed è stato predisposto il sistema per il monitoraggio continuo integrato GPS-stazione totale, attivo dal 2008 (Bonaccorso et al., 2009). Campagne periodiche GPS (*Global Positioning System*) sono state condotte a partire dal 2001, nelle zone maggiormente attive, su punti notevoli, appositamente materializzati (Bertacchini et al., 2009; Borgatti et al., 2006; Manzi et al., 2004; Ronchetti et al., 2007). La frana è stata campo test anche per rilievi LiDAR (*Light Detection And Ranging*) (2006-2007-2009) e per strumentazione GB-Sar (*Ground Based Synthetic aperture radar*) (23-25 Febbraio 2009) (Chambers et al., 2010; Corsini et al., 2006). Sulla base di considerazioni geologiche e dei movimenti rilevati con le campagne periodiche e il monitoraggio continuo, la frana è stata suddivisa in diverse aree (Figura 3-d-) che verranno descritte più dettagliatamente nel seguito. Inoltre, l'evoluzione del fenomeno franoso determina l'esistenza di alcune criticità ancora persistenti nonostante i molteplici interventi di ripristino e messa in sicurezza. Queste criticità riguardano la zona di testata-coronamento (dove è presente un metanodotto Hera), la colata principale (scavalcata dal Ponte della strada fondovalle Dolo) e la zona di piede, che ha tendenza all'occlusione del Torrente Dolo (Figura 2).

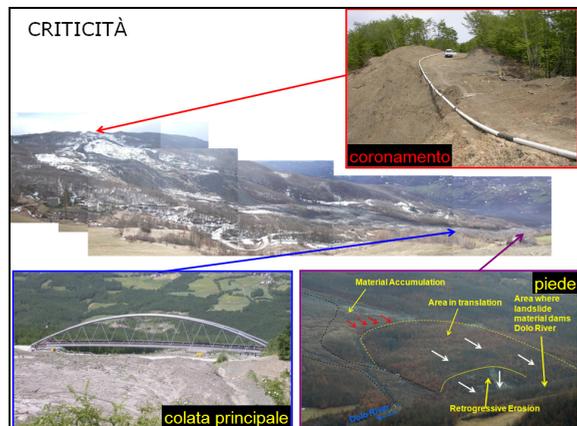


Figura 2 – Criticità: metanodotto in coronamento, ponte che scavalca la colata principale e Torrente Dolo nella zona del piede.

### Il GIS e i database del monitoraggio

Per gestire agevolmente la mole di dati relativi alla Frana di Valoria, per cui sono state condotte campagne con molteplici strumenti e tecniche diversificate si è deciso di costruire un GIS (*Geographic Information System*) (Carrara et al., 1991). Sono state affrontate, e sono ancora oggetto di studio, due problematiche oggi risolte solo in parte. La prima è inerente la georeferenziazione di tutte le informazioni e la trasformazione tra sistemi di riferimento: da cartesiano locale, della stazione totale, a ETRF2000 (*European Terrestrial Reference Frame*) del GPS, a UTM\* ED50 che è il sistema di riferimento in vigore per la Regione Emilia Romagna e che è utilizzato dalle utenze finali, come Servizi Tecnici di Bacino, Dipartimento di Protezione Civile, ecc. Il secondo problema affrontato, in parte ancora aperto, riguarda il continuo aggiornamento del sistema informativo. Ogni strumento, facendo particolare riferimento a quelli che acquisiscono in continuo, infatti è gestito da un software proprietario che crea database di archiviazione dei dati non sempre immediatamente importabili nel GIS. Lo sforzo maggiore è stato rivolto all'automazione della procedura di importazione e visualizzazione dei dati. Ad oggi il GIS creato è gestibile da un utente esperto, mentre l'intento è quello di perfezionarlo per far sì che possa essere utilizzato da un operatore che deve gestire un'emergenza e che possa "schiacciare un bottone" e ottenere le informazioni di cui necessita in "near real time". La trasformazione tra sistema di riferimento locale e ETRF2000 è stata

calcolata utilizzando la posizione della stazione totale e punti di controllo esterni alla frana, chiamati "RIF", materializzati con dispositivo per il centramento forzato (Figura 3-b- e -c-). Su questi punti sono state realizzate misure sia con strumentazione GPS che con la stazione totale. Mentre per il passaggio da ETRF2000 a UTM\*ED50 si sono sfruttati i parametri forniti dalla Regione.

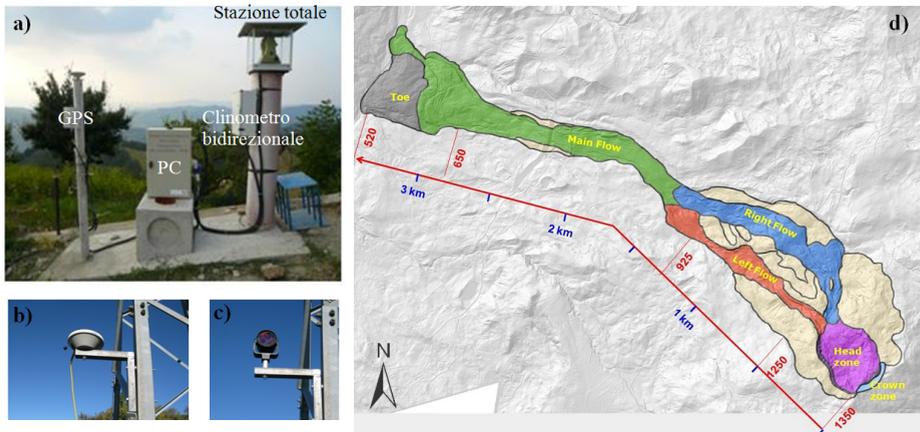


Figura 3 – a) Master unit (GPS, stazione totale e clinometro bidirezionale) installata ad Are Vecchie; b) e c) Materializzazione di un punto di riferimento (RIF 1), misurato con strumentazione GPS e tramite stazione totale; d) Visione complessiva della frana e suddivisione nelle diverse aree (sullo sfondo il DTM rappresentato a "shaded relief", derivato dal volo LiDAR 2007 (Kraus, Pfeifer, 2001; Corsini et al., 2009).

Le aree in cui è stata suddivisa la frana vengono descritte di seguito.

**1. Zona di coronamento (Crown).** Si assiste ad un arretramento della corona che implica un forte rischio per il gasdotto. Inoltre si riscontra un allargamento laterale con estensione delle fratture di trazione alla porzione destra della corona, come evidenziato dall'inclinometro S8 installato nell'area (Figura 4-sinistra-). I movimenti rilevati sono di 7-8m sia per l'evento di fine 2008 che dell'autunno 2009.

**2. Zona di alimentazione (Source area).** Nella zona di alimentazione si osserva un movimento generalizzato che coinvolge anche le altre parti della frana. Si assiste ad uno svuotamento della testata principale con movimenti rilevanti oltre i 5m a fine 2008 e oltre i 17m per l'autunno del 2009.

**3. Zona sinistra di transito (Left flow).** L'attività prevalente di questa area è relativa all'evento del 2008 e si articola in colate veloci. Gli spostamenti sono solo parzialmente monitorabili a causa della tipologia di fenomeno e della morfologia. A fine 2008 si sono rilevati spostamenti superiori ai 20m.

**4. Zona destra di transito (Right flow).** Nel periodo autunno-invernale del 2009, si sono rilevati spostamenti superiori agli 80m. Si è riscontrata una parziale rimobilizzazione della colata dell'evento del 2001 e si sono osservate colate veloci.

**5. Zona di transito 1 (Main flow 1).** Questa area presenta dei movimenti generalizzati molto elevati. A fine 2008 gli spostamenti sono stati superiori ai 20m, mentre nel 2009 superiori agli 80m.

**6. Zona di transito 2 (Main flow 2).** È la zona di colata dell'evento del 2001 in cui si rilevano spostamenti dell'ordine dei 60-70m sia durante l'evento del 2008 che per quello del 2009.

La colata principale (Zona di transito 1 e Zona di transito 2) ha avuto una mobilità complessiva dal 2008 al 2010 di oltre 200m. A fronte di tale spostamento si è avuto un parziale allargamento a destra di poche decine di metri a monte della pila destra del ponte. Non si sono però registrati movimenti significativi nell'argine laterale sinistro (prisma 40) posto alcune decine di metri a valle della pila sinistra del ponte (Figura 4- destra-).

**7. Zona di piede (Toe).** Anche se la morfologia dell'area rimane apparentemente quasi immutata, gli spostamenti sono dell'ordine di qualche decina di metri.

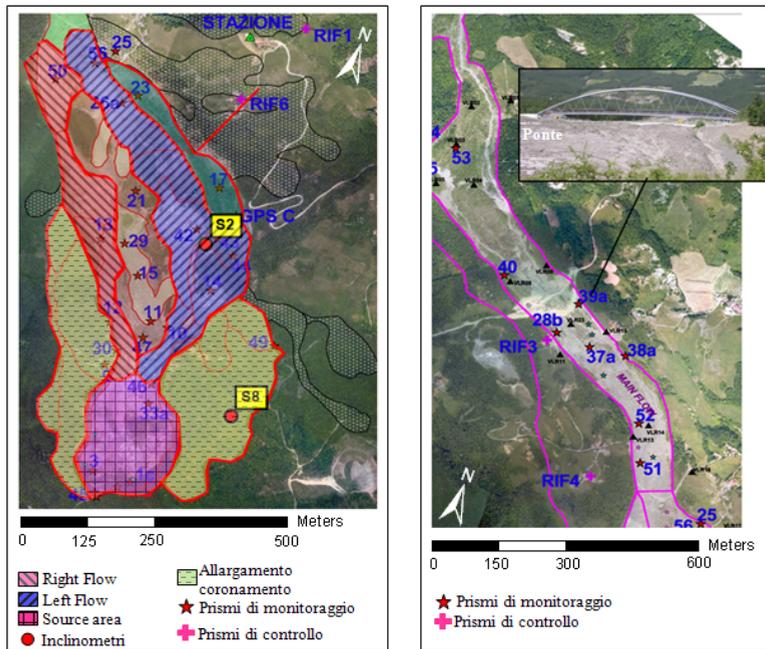


Figura 4 – Sinistra. Zona di coronamento. Destra. Colata principale all'altezza della strada fondovalle-dolo(2001), dettaglio del ponte e collocazione dei prismi di monitoraggio.

In Figura 4 vengono visualizzate in dettaglio, sull'ortofoto del 2007, la zona di coronamento (a sinistra) e quella del Main Flow (a destra). Le immagini riportano anche la localizzazione dei prismi misurati dalla stazione totale collocata ad Are Vecchie. Questa zona considerata geologicamente stabile, è in fase di osservazione tramite le lunghe serie temporali della *master* GPS qui installata (Serpelloni et al., 2006). In Figura 4 (a sinistra) viene identificata come STAZIONE, ed è quella in cui è collocata la *master unit* per il monitoraggio topografico di cui si vede una foto in Figura 3-a- e in cui si è fatto stazione anche per il rilievo GB-Sar..

## Conclusioni

La Frana di Valoria è un interessante caso di studio che presenta movimenti di entità tale che nei periodi di maggiore attività si notano anche con la semplice ispezione visiva. Grazie alla collaborazione tra Enti pubblici e Università, è stato possibile applicare e sperimentare molteplici tecniche e strumenti, con l'intento di studiare l'evoluzione del fenomeno franoso, per intervenire in caso di evento, ma soprattutto per prevenire i potenziali danni a persone e oggetti. Così, per cercare di gestire agevolmente e in "near real time" i dati del monitoraggio, per poter agire con decisioni mirate e condivise, si è deciso di costruire un GIS che raccolga tutte le informazioni georiferite e costantemente aggiornate. Data l'entità dei movimenti in gioco (fino a decine di m/giorno), si sono scelti strumenti con precisione adeguata agli spostamenti da rilevare, per la stazione totale, ad esempio, di qualche centimetro. E parallelamente si è deciso di georiferire i dati del monitoraggio in funzione delle necessità di precisione della georeferenziazione stessa: per il rilievo GB Sar, metrica; per i dati della stazione totale e del GPS, decimetrica; per i voli LiDAR e le ortofoto, centimetrica; per la posizione di estensimetri, inclinometri, ecc, sub-metrica; e così via per tutti gli strumenti impiegati.

## Ringraziamenti

Si ringrazia il Servizio Tecnico di Bacino degli Affluenti del Po, sede di Modena, per l'assistenza in campo e la disponibilità alla sperimentazione e all'integrazione dei dati. Un ringraziamento particolare a Alessandro Corsini e Francesco Ronchetti (DST – Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Modena), all'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) di Trieste e a tutti coloro che hanno lavorato nell'ambito del PRIN07 "WISELAND" - Analysis and control of landslides through wireless monitoring systems and airborne- del quale è stata oggetto di studio la Frana di Valoria. Inoltre si ringrazia l'IDS di Pisa per aver gentilmente fornito e acconsentito alla sperimentazione del radar interferometrico terrestre IBIS-L.

## Riferimenti bibliografici

- Bertacchini E., Capitani A., Capra A., Castagnetti C., Corsini A. (2009), "Integrated surveying system for landslide monitoring, Valoria landslide (Appennines of Modena, Italy)", *In: Proceedings of working week FIG09. Eilat, Israele, 4-9 maggio 2009, Copenhagen: FIG (Federation Interantionale des Geometres- Inte*, vol. paper TS03F/3343, p. 1-13.
- Bonaccorso A., Bonforte A., Gambino S., Mattia M., Guglielmino F., Puglisi G., Boschi E. (2009), "Insight on recent Stromboli eruption inferred from terrestrial and satellite ground deformation measurements", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 182: 172-181.
- Borgatti L., Corsini A., Barbieri M., Sartini G., Truffelli G., Caputo G., Puglisi C. (2006), "Large reactivated landslides in weak rock masses: a case study from the Northern Appennines (Italy)", *Landslides*, 3: 115-214.
- Carrara M., Cardinali R., Detti F., Guzzetti V., Pasqui P., Reichenbach P. (1991), "GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard", *Earth Surf. Proc. Land*. 16 (5): 427-445.
- Corsini A., Borgatti L., Cervi F., Daehne A., Ronchetti F., Sterzai P. (2009), "Estimating mass-wasting processes in active earth slides – earth flows with time-series of High-Resolution DEMs from photogrammetry and airborne LiDAR". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9: 433-439.
- Corsini A., Farina P., Aantonello G., Barbieri M., Casagli N., Coren F., Guerri L., Ronchetti F., Sterzai P., Tarchi D. (2006), "Space-borne and ground-based SAR interferometry as tools for landslide hazard management in civil protection", *International Journal of Remote Sensing*, 27 (12): 2351-2369.
- Corsini A., Borgatti L., Pellegrini M., Ronchetti F., con al collaborazione di Boghi A., Campagnoli I., Caputo G., Gatti A., Leuratti E., Lucente C., Truffelli G., Sartini G. (2005), "Monitoraggio di grandi frane riattivate e sospese nella valle del Fiume Secchia (Appennino settentrionale)", *Giornale di Geologia Applicata*, 2: 35-44.
- Chambers J., Hobbs P., Pennington C., Jones L., Dixon N., Spriggs M., Haslam E., Meldrum P., Foster C., Jenkins G. (2010), "Integrated LiDAR, geophysical and geotechnical monitoring of an active inland landslide", *UK. Geophysical Research Abstracts* Vol. 12, EGU2010-5244.
- Kraus K., Pfeifer N. (2001), "Advanced DTM generation from LiDAR data", *International Archives of Photogrammetry, Remote sensing and Spatial information science*, 34: 23-30.
- Manzi V., Leuratti E., Lucente C., Medda E., Guerra M., Corsini A., 2004, "Historical and recent hydrogeological instability in the Monte Modino: Valoria, Tolara and Lezza Nuova landslide reactivations (Dolo-Dragone valleys, Modena Appennines, Italy)", *GeoActa*, 3, 1-13.
- Serpelloni, E., Casula, G., Galvani, A., Anzidei, M., Baldi P. (2006), "Data analysis of permanent GPS networks in Italy and surrounding regions: application of a distributed processing approach", *Annals of Geophysics* 49(4/5):897-928.
- Ronchetti F., Borgatti L., Cervi F., Lucente C.C., Veneziano M., Corsini A., 2007, "The Valoria landslide reactivation in 2005-2006 (Northern Appennines, Italy)", *Landslides*, 4:189-195.