

Studio della frana di San Francesco nell'area di Radicofani (Siena, Italia)

Ugo Chiocchini¹, Sergio Madonna¹, Claudio Bicocchi², Giorgio Lollino³, Marco Baldo³,
Daniele Giordan³

¹ Dipartimento di Geologia e Ingegneria Meccanica, Idraulica e Naturalistica per il Territorio (GEMINI), Facoltà di Agraria, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo. Via S. Camillo de Lellis s.n.c.01100 Viterbo. chiocchi@unitus.it; sermad@unitus.it

² Regione Lazio, Area Difesa del Suolo

³ CNR - Istituto per la Protezione Idrogeologica. Strada delle Cacce, 73 – 10135 Torino. Tel. 011/3977411, fax 011/343574, giorgio.lollino@irpi.cnr.it, marco.baldo@irpi.cnr.it, daniele.giordan@irpi.cnr.it

Study of the San Francesco landslide in Radicofani Area (Siena, Italy)

ABSTRACT: The Radicofani Basin (Siena, Italy) is almost constituted of the Early – Middle Pliocene grey pelitic deposits. In this area morphodynamic processes are characterised by the soil slip and erosional bed - land phenomena. With the purpose of evaluating the *Rocca di Radicofani* area morphological evolution, geological and geomorphological studies have been carried out. In particular, several aerial surveys (1954, 1990 and 2003) allowed the different morphological aspects to be compared. Today, a new landslide phenomenon, activated during winter 2003, is monitored using an experimental system based on a terrestrial laser scanner and GPS. This system allows both the morphological and the volumetric evolution of the landslide to be controlled.

Key terms: Radicofani, pelites, mud flow, terrestrial laser scanner, GPS

Termini chiave: Radicofani, peliti, colata, laser scanner terrestre, GPS

Riassunto

Il Bacino di Radicofani (Si) è costituito da prevalenti depositi pelitici grigi del Pliocene inferiore-medio fortemente soggetti ad una serie di processi morfodinamici che portano alla formazione di estesa erosione calanchiva o di fenomeni di colamento rapido. Per valutare la tendenza evolutiva di questo particolare ambiente, sono stati intrapresi studi di carattere geologico e geomorfologico dell'area posta a ridosso della Rocca di Radicofani. In particolare, utilizzando rilievi aerei di diversi anni, è stato eseguito un confronto tra l'assetto morfologico del 1954 e quello del 2003, anno in cui è avvenuta l'attivazione di un nuovo fenomeno franoso nella zona di testata del bacino idrografico presente nell'area in esame. Tramite l'impiego di laser scanner terrestre e GPS è stato messo a punto un sistema di monitoraggio sperimentale per il controllo dell'evoluzione del fenomeno franoso sia dal punto di vista morfologico che volumetrico.

Introduzione

Nell'ambito degli studi dell'U.O. 2.58, afferente al Dipartimento di Geologia e Ingegneria Meccanica, Idraulica e Naturalistica per il Territorio (GEMINI), Facoltà di Agraria, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo, coordinata da U. Chiocchini, e dell'U.O. 2.1, afferente al CNR IRPI di Torino e coordinata dall'Ing. G. Lollino, è stata svolta una ricerca inserita nei Progetti 13 “Sistemi per

la mitigazione del rischio derivante da colate di fango” e 19 “Metodologie per la progettazione di interventi strutturali di mitigazione di rischio da frana”. Tale ricerca riguarda il movimento franoso in località S. Francesco (località Podere Ghino di Tacco) nel territorio comunale di Radicofani in provincia di Siena, 12 km circa ad E del M. Amiata (fig. 1).

L'area in esame è compresa nell'alta valle del F. Paglia che confluisce nel F. Tevere nei pressi di Allerona. Tale porzione del bacino idrografico del F. Paglia è soggetta a fenomeni di erosione calanchiva ed a movimenti franosi in avanzata fase di sviluppo ed estremamente estesi, di modo che la totalità di questo territorio risulta altamente instabile.

Inquadramento geologico

L'area di Radicofani è compresa nell'ambito del Bacino di Radicofani (Brandi et alii, 1970; Iaccarino et alii, 1994; Barberi et alii, 1994). Si tratta di un bacino intrappenninico compreso in un graben allungato in direzione NW – SE, delimitato ad E dalla dorsale M. Cetona (costituita dalle unità toscane) – M. Rufeno (costituito dalle unità liguridi esterne) e ad W dall'alto strutturale Montalcino – Castell'Azzara (unità toscane) – M. Razzano (unità liguridi esterne), a N il bacino si fonde con il Bacino di Siena, mentre a S la sua estensione, anche se per lo più obliterata dalle coperture vulcaniche vulsine e cimino – vicane, è nota fino a Viterbo sia in affioramento che nel sottosuolo (Chiocchini & Madonna, 2003).

La sedimentazione di questo bacino, avvenuta dal Pliocene inferiore al Pliocene medio basale (4.9 – 3.3 Ma; Jacobacci et alii, 1967; Buonasorte et alii, 1988; Iaccarino et alii, 1994), è caratterizzata in prevalenza da depositi pelitici grigi con intercalazioni lenticolari di corpi conglomeratici ed arenacei nell'area tra Radicofani e Trevinano. In quest'ultima località la sedimentazione è chiusa da conglomerati poligenici. La sedimentazione si è sviluppata per lo più in ambiente neritico di piattaforma molto subsidente con apporti terrigeni torbiditici ed è chiusa localmente da depositi di ambiente fluviale.



Fig. 1: Inquadramento geografico dell'area studiata
Location of the studied area

Il Bacino di Radicofani è emerso prima di 3.3 Ma a causa del generale sollevamento tettonico che ha interessato una vasta area del dominio toscano – laziale, non trascurando l'influenza delle oscillazioni eustatiche registrate in corrispondenza della suddetta età in varie parti del Mediterraneo (Iaccarino et alii, 1994).

Nell'area di Radicofani sono presenti anche rocce laviche intermedie di tipo prevalentemente trachibasaltico (Jacobacci et alii, 1967), simili a quelle del vicino Distretto Vulcanico del M. Amiata, datate 0.97 Ma (Progetto Finalizzato Geodinamica, 1992).

Le rocce vulcaniche di Radicofani e del M. Amiata appartengono alla Provincia Magmatica Laziale con associazioni di facies connesse a magmatismo orogenico di

subduzione. La Provincia Magmatica Laziale è la prosecuzione verso N dell'arco orogenico delle Isole Eolie e si è impostata in un assetto post – collisionale della Campania e del Lazio – Toscana.

Litostratigrafia

Nell'area di Radicofani affiorano due unità litostratigrafiche: le peliti dell'Unità del F. Paglia di ambiente neritico sopra ricordate e le lave dell'Unità di Radicofani del Distretto Vulcanico del M. Amiata.

I sedimenti pelitici sono costituiti da argille limose con sabbia di colore grigio del Pliocene inferiore – medio, come indicano le analisi granulometriche eseguite su due campioni prelevati nella zona in frana a S. Francesco (RAD 1) e sulla SS 2 Cassia in corrispondenza del bivio per Radicofani (RAD 2).

Inoltre sono state eseguite analisi quantitative di miscele polifasiche in diffrazione a raggi X su due tipi di preparati: uno con orientazione random dei cristalli, uno con orientazione ordinata degli stessi secondo la faccia basale (001) dei fillosilicati.

L'esame comparativo dei due spettri (*air-dried* e glicolato) relativi alla frazione < 2 μ m è stato possibile riscontrare la presenza, in ordine d'abbondanza, di caolinite, clorite, illite, strati misti illite-smectite, corrensitite e rectorite; i primi tre sono in quantità pressoché paritetica. Sono inoltre presenti quarzo, calcite e plagioclasio.

Gli strati misti illite-smectite hanno un contenuto in illite pari al 70%.

Non è stato possibile quantizzare anche la frazione < 2 μ m per la contemporanea presenza sia di sovrastrutture di tipo corrensitite e rectorite, sia dei minerali non fillosilicatici. I primi perché avendo i picchi principali a bassissimi (2.8-3.2) angoli di 2 θ , risentono molto del tipo di sottrazione del fondo che si esegue, mentre i secondi con la loro presenza inibiscono la possibilità di un buon orientamento del fillosilicati.

L'abitato di Radicofani è situato sulle pendici meridionali di una rupe a forma di prisma quadrilatero, costituita dalle lave trachibasaltiche di colore grigio da chiaro a molto scuro dell'Unità di Radicofani del Pleistocene medio - superiore, che nella parte superiore passa ad una facies di colore rossiccio vacuolare (Jacobacci et alii, 1967). Queste lave costituiscono probabilmente i resti di un condotto vulcanico, il cui spessore affiorante è di circa 86 m. Le lave si presentano intensamente fratturate con aspetto colonnare contraddistinto da prismi a base verticale da quadrata a triangolare.

L'elevato grado di fratturazione dell'ammasso roccioso lavico ha favorito, insieme all'azione degli agenti esogeni (gelo ed erosione), il distacco di blocchi di dimensioni variabili in genere mediamente di poco inferiori al metro cubo, che si sono accumulati sulle pendici adiacenti alla rupe, formando una fascia di detrito che circonda la rupe stessa. Particolarmente significativo ed evidente è

l'accumulo di blocchi a forma di conoide ubicato in prossimità del campo sportivo.

Infine nella zona della SS 2 Cassia sono presenti depositi alluvionali del F. Paglia costituiti da ghiaie con ciottoli talora grossolani, sabbie e peliti.

Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico l'area in esame è collocata nell'ambito di un dominio caratterizzato dai morfotipi tipici dei processi morfodinamici che si impostano su litotipi essenzialmente argilloso-sabbiosi.

Tale dominio, da est verso ovest, si estende dai rilievi carbonatici della Serie Toscana affioranti sul M. Cetona all'imponente edificio vulcanico del Monte Amiata.

Il territorio compreso tra le suddette emergenze morfologiche si configura come un'ampia depressione di origine tettonica allungata in direzione NNO-SSE che si sviluppa dalla Val d'Orcia, a nord, alla Val di Paglia a sud. La continuità morfologica di tale depressione, colmata nel plio-pleistocene da sedimenti argillosi, sabbiosi e ghiaiosi è interrotta dall'emergenza del *neck* di vulcaniti trachibasaltiche di Radicofani.

Tale elemento morfologico, che emerge nettamente dal paesaggio circostante costituendo un chiaro punto di riferimento nell'ambito del bacino di Radicofani, testimonia la presenza di un apparato vulcanico minore, coevo del più sviluppato edificio del M. Amiata.

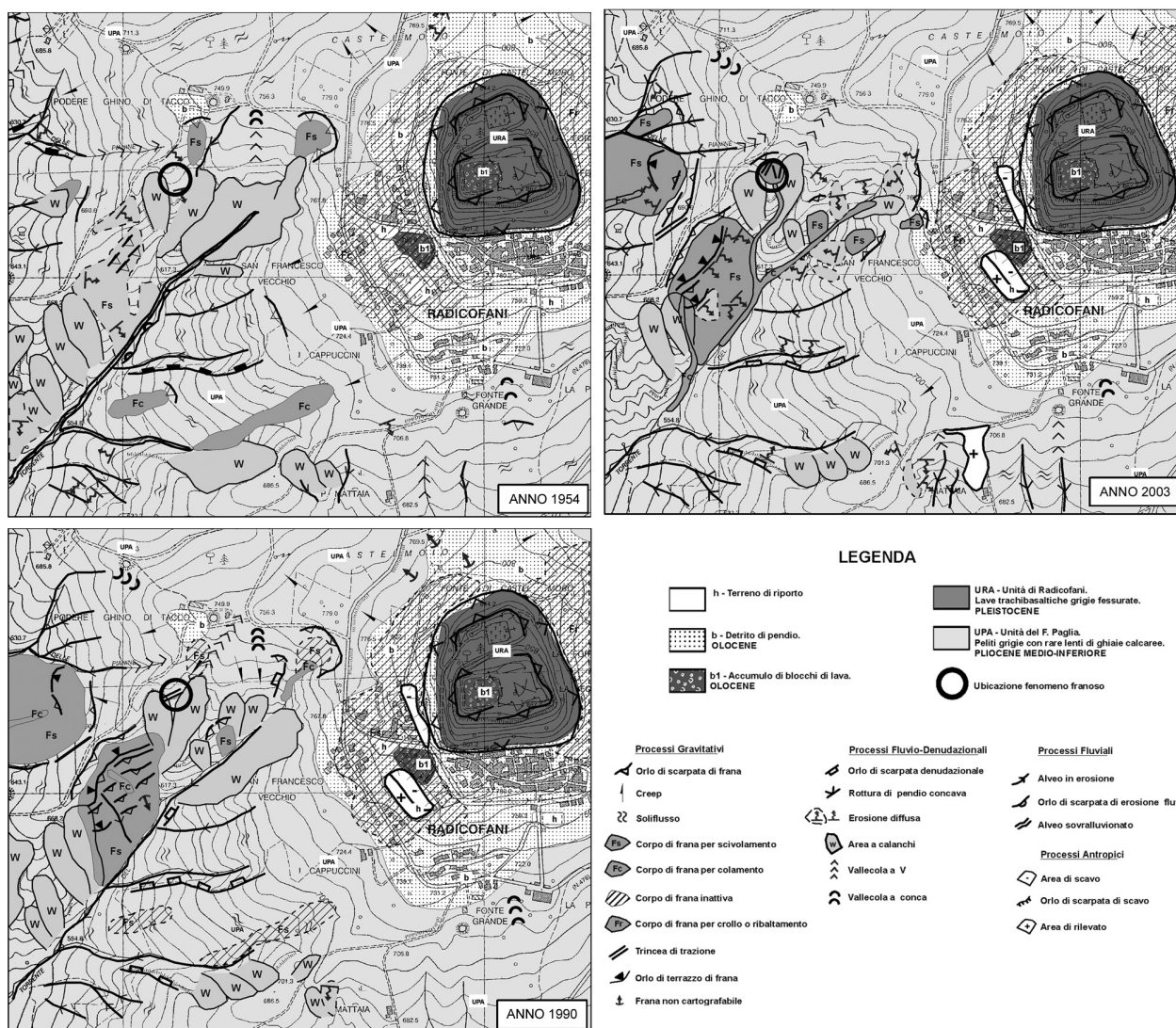


Fig. 2: Confronto tra le carte geomorfologiche dell'area di Radicofani. *Geomorphological maps of Radicofani area*

Il territorio circostante il *neck* vulcanico si presenta tutt'altro che monotono ed è caratterizzato da una generale

instabilità di porzioni più o meno profonde di sedimenti argillosi nei versante che, con modalità e velocità molto

diverse in funzione della forte variabilità dei fattori connessi alla circolazione idrica superficiale, alla litologia ed alla morfologia del versante, fluiscono verso valle.

A causa del preponderante affioramento di depositi argillosi, inoltre, sono piuttosto estese le aree interessate da erosione diffusa o biancane e quelle a morfologia tipicamente calanchiva.

Dal punto di vista idrografico, l'allineamento M. Amiata, Radicofani, M. Cetona definisce lo spartiacque tra i bacini idrografici dei fiumi Tevere, con il suo affluente Paglia, ed Ombrone con il suo affluente Orcia.

Nell'area in esame il reticolo idrografico ha una forte ramificazione tipica dei sistemi di drenaggio impostati su terreni coesivi e solo le aste dei principali corsi d'acqua svolgono il loro percorso sulle proprie alluvioni. Per la maggior parte del suo sviluppo, infatti, il reticolo idrografico è costituito da aste fluviali in fase di erosione ed approfondimento anche se, in alcuni casi, l'apporto detritico dai circostanti versanti, soprattutto laddove sono presenti formazioni calanchive o fenomeni di colamento rapido, sposta verso valori maggiori di 1 il rapporto volumetrico tra le componenti accumulo/trasporto lungo le aste del reticolo.

Infine, laddove le aste fluvio-torrentizie hanno modo di divagare sulle proprie alluvioni, sono riconoscibili alcuni fenomeni franosi innescati da erosione di sponda al piede dei versanti.

Al fine di definire con maggior dettaglio l'evoluzione geomorfologica del sito oggetto di monitoraggio e delle aree circostanti, tramite analisi stereoscopica delle foto aeree del 1954, 1990 e 2003 sono stati cartografati i morfotipi riportati nella figura 2. Di seguito viene fornita una sintetica descrizione delle analisi geomorfologiche effettuate.

Analisi geomorfologica – Anno 1945

L'analisi della carta permette di evidenziare due aree con caratteristiche e dinamiche geomorfologiche molto differenti.

Nel settore occidentale, dove è ubicato il movimento franoso oggetto dell'attuale monitoraggio, si distingue un'area interessata da intensi fenomeni di erosione diffusa e concentrata con un'ampia diffusione di forme calanchive, soprattutto sui versanti esposti a sud. A questi fenomeni denudazionali si associano forme più tipiche dei movimenti di massa quali frane di colamento rapido a SE dell'abitato di Radicofani o frane di scivolamento nei pressi del Podere Ghino di Tacco. Il notevole apporto detritico sul fondovalle, generato da tali processi di distruzione, ha causato il sovralluvionamento del Torrente del Torbolo.

Nel settore orientale, invece, si distingue l'emergenza morfologica rappresentata dal *neck* vulcanico di Radicofani, caratterizzato dalla presenza di orli di scarpata per frana di crollo ben definiti ed ai quali sono connessi i vasti accumuli detritici, anche legate a crolli in massa, presenti sui versanti immediatamente prospicienti il *neck* vulcanico.

Le restanti porzioni di versante sono interessate da

fenomeni più o meno evidenti di *creep* o deformazioni plastiche dei terreni di copertura più presenti in corrispondenza delle aree coltivate, dove le attività connesse alla lavorazione dei terreni sembrano mascherare fenomeni più importanti di movimenti massa.

D'altra parte, favorendo l'infiltrazione di acqua nelle porzioni più superficiali dei terreni di copertura, tali attività potrebbero agevolare la plasticizzazione delle coperture stesse.

Per quanto riguarda il fenomeno oggetto delle attuali attività di monitoraggio nel 1954 non si notano ancora segni di attività.

Analisi geomorfologica – Anno 1990

Le foto aeree del 1990 evidenziano un sostanziale peggioramento delle condizioni di stabilità nel settore occidentale dell'area indagata con l'innescò di un vasto movimento di versante laddove, nel 1954, si riscontravano essenzialmente fenomeni di erosione superficiale. Anche all'estremità occidentale dell'area risulta sempre più evidente un vasto fenomeno di movimento complesso.

Anche se si sono innescati ulteriori movimenti, rappresentati da colate rapide, i fenomeni franosi individuati nel 1954 sono stati quasi completamente obliterati dalle attività agricole.

Nel settore orientale, invece, oltre ad alcuni piccoli dissesti riconoscibili a nord del *neck* vulcanico, le uniche modiche morfologiche sono imputabili all'azione dell'uomo e sono rappresentate da forme di scavo e riporto connesse all'urbanizzazione dell'area.

Per quanto riguarda il fenomeno oggetto delle attuali attività di monitoraggio, nel 1990 si inizia a manifestare un primo movimento denunciato dalla comparsa di una trincea di trazione subparallela al versante. Si evidenzia che il sito, a differenza di quanto riscontrato nel 1954, è oggetto di coltivazioni erbacee.

Nonostante la comparsa di ulteriori ed importanti fenomeni di dissesto, tuttavia, sembra essere scomparso il fenomeno di sovralluvionamento dell'alveo del Torrente del Torbolo, drenante in direzione SO. Tale situazione sembra suggerire una ripresa di attività connessa a recenti ed intensi eventi pluviometrici.

Analisi geomorfologica – Anno 2003

Anche le foto aeree del 2003 evidenziano un ulteriore sostanziale peggioramento delle condizioni di stabilità nel settore occidentale dell'area indagata con l'innescò di alcune frane di scivolamento e colamento rapido.

Queste ultime, riversandosi nel Torrente del Torbolo, ne hanno di nuovo intasato l'alveo, sovraccaricandolo di apporti detritici. All'estremità occidentale dell'area il vasto movimento complesso sembra ulteriormente evolvere innescando ulteriori fenomeni secondari.

Anche se evidenti deformazioni dei versanti denunciano una pregressa e continua tendenza al movimento, l'attività

agricola, sempre più diffusa, sembra aver ulteriormente obliterato i movimenti di versante individuati nei precedenti rilievi temporali.

Nel settore orientale, invece, salvo alcune modiche morfologiche imputabili all'azione dell'uomo, consistenti nella messa in posto di volumi di riporto - attività poco raccomandabile su tali versanti - non si evidenziano modifiche di rilievo.

Per quanto riguarda il fenomeno oggetto delle attuali attività di monitoraggio, nel 2003 esso si manifesta pienamente mostrando già evidenti fenomeni di *spreading* all'interno dell'ammasso in movimento.



Fig. 3: Veduta frontale della frana di San Francesco.
Frontal view of San Francesco landslide.

La presenza, nel settore in esame, di un *pattern* di drenaggio in piena formazione ha verosimilmente prodotto uno scalzamento al piede del versante che, insieme all'effetto dell'infiltrazione dell'acqua in un litotipo molto sensibile a questo fenomeno, hanno prodotto una concomitanza di fattori che hanno portato all'attivazione della frana.

Per quanto riguarda le componenti del movimento è possibile ipotizzare un fenomeno di scivolamento traslativo e non rotazionale utilizzando come marker di riferimento alcuni pali di un recinto di filo spinato presenti nella zona, tutt'ora verticali, anche se, a detta dei testimoni locali, traslati in maniera evidente rispetto alla posizione originale.

Successivamente, l'accumulo di frana ha progressivamente perso la sua unitarietà ed i vari settori, non più protetti dalla cotica erbosa, hanno subito un processo di disgregazione legato a cicli di imbibizione (e conseguente rigonfiamento) e di disseccamento, che hanno comportato la creazione di una fratturazione secondaria sempre più pervasiva.

In questo modo, all'iniziale movimento di tipo traslativo è succeduta una progressiva demolizione ed asportazione dell'accumulo di frana mediante l'attivazione localizzata di

Descrizione morfologica del movimento franoso

Lo studio morfologico della frana in località S. Francesco presenta una serie di difficoltà legata all'evoluzione recente in colata di alcuni suoi settori.

Dalle interviste agli abitanti del luogo accorsi subito dopo il movimento iniziale e dalle immagini riprese nel 2004 (fig. 3), è possibile ipotizzare un primo movimento dell'intero fenomeno di tipo traslativo (Cruden & Varnes, 1996) legato ad un periodo di precipitazioni intense dell'inverno 2003.

fenomeni di colata presumibilmente impostati sull'originale superficie di movimento costituita da un substrato argilloso non fratturato.

Monitoraggio dell'area interessata dal movimento franoso

Date le caratteristiche geo-litologiche del sito sono stati scelti per la messa in opera del sistema di monitoraggio tecniche di rilievo sperimentali che prevedono l'utilizzo di GPS e laser scanner terrestre. Tali tecniche consentono di valutare sia l'evoluzione morfologica del fenomeno franoso che i volumi della massa coinvolta nel movimento.

Nell'ottobre 2004 e nel giugno 2005 sono stati eseguiti due rilevamenti della frana in località S. Francesco mediante l'utilizzo di sensori LIDAR (*Light Detection and Ranging*) terrestri.

Questi strumenti consentono l'acquisizione, mediante un sensore laser di tipo distanziometrico, di diverse migliaia di punti, ciascuno dei quali è univocamente identificato da una propria terna di coordinate sferiche. Il risultato finale è costituito da una "nuvola di punti" rappresentante l'oggetto ripreso.

Gli strumenti utilizzati per la realizzazione delle scansioni sono stati rispettivamente i sensori RIEGL LPM-i800HA per la campagna del 2004 e RIEGL LMS-Z420i per la campagna del 2005; entrambi sono equipaggiati con fotocamere digitali semimetriche. La presenza di tale fotocamera consente, oltre alla produzione di ortofoto digitali terrestri, l'associazione al singolo impulso laser del corrispondente valore RGB (Beraldin et alii, 2000), che permette di estrapolare un modello digitale a colori (*colored pointcloud*), utile per una migliore analisi del DTM e per l'interpretazione geomorfologia dell'oggetto ripreso.

Tali rilevamenti sono stati utilizzati per valutare quantitativamente l'evoluzione del dissesto mediante confronto dei DTM ottenuti.

Modalità di rilevamento

La necessità di disporre di più set di misure temporalmente spaziate, nonché di inquadrare geograficamente l'intero rilievo, ha imposto l'adozione di particolari accorgimenti e l'esecuzione di rilevamenti preliminari di tipo topografico convenzionali e geodetici satellitari. Per ottenere un DTM completo di una superficie complessa è infatti necessario

utilizzare la tecnica di multipresa che si basa sulla realizzazione di riprese da punti diversi per eliminare i coni d'ombra generati dalle irregolarità dell'oggetto. Per dare condizioni di ripetibilità alle campagne di rilievo, risulta poi necessario inquadrare la rete dei capisaldi (*corner reflector*) in un sistema di riferimento comune a tutte le campagne di misura (Lollino et alii, 2005). Ciò è stato possibile grazie alla realizzazione di una base geodetica GPS tra due capisaldi appartenenti alla rete dei corner reflector e la stazione permanente (CORS - *Continuously Operating Reference Station*) dell'Università di Perugia.

Analisi dei dati

Una volta effettuate le rototraslazioni dei due set di dati (indispensabile per ricondurre entrambe le campagne di rilevamento ad un univoco e globale sistema di riferimenti) è stato possibile ottenere due grigliati a maglia regolare (passo = 10cm). L'utilizzo di software come il Terrasolid e l'ArcGIS hanno permesso di calcolare le differenze di volumi tra i due DTM e di rappresentare in vario modo le variazioni morfologiche tra le due campagne di ripresa.

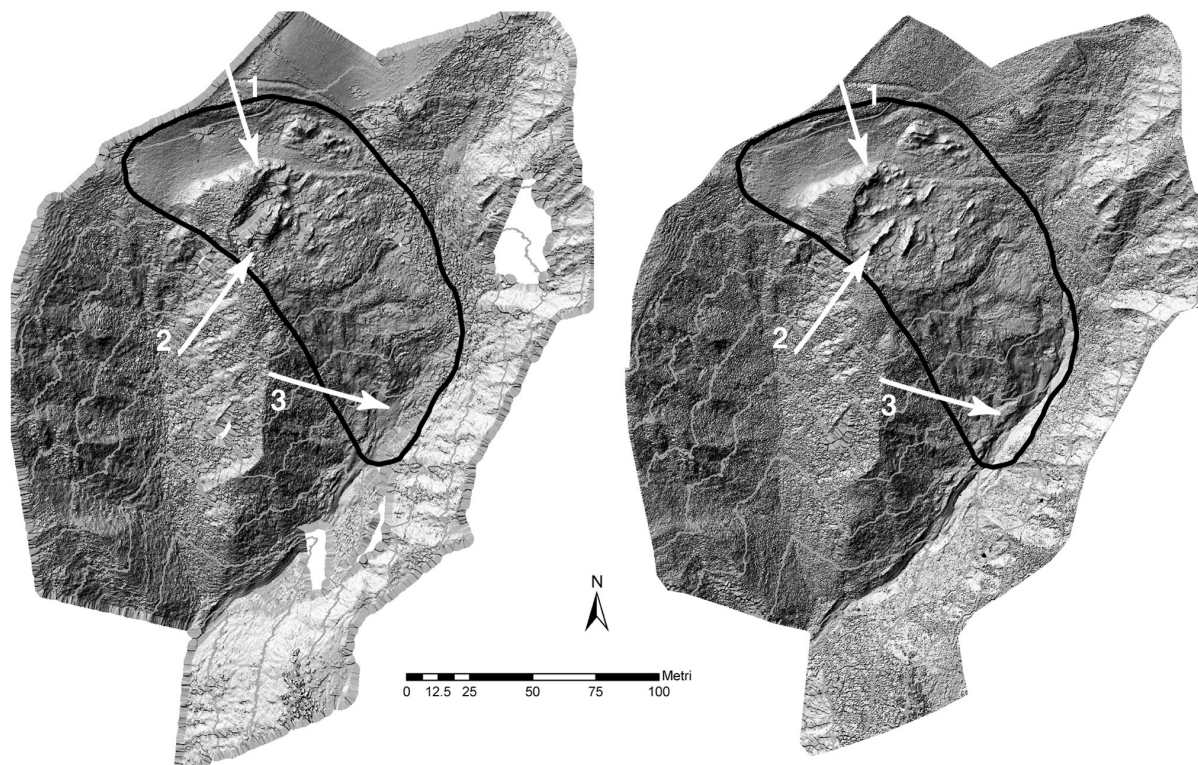


Fig. 4: Confronto tra i DTM generati nel 2004 (a sinistra) e 2005 (a destra); le variazioni maggiori facilmente riconoscibili riguardano la parte sommitale (1) in cui vi è stata una riduzione di volume dei vari elementi generati dal movimento traslativo e una parziale traslazione verso il basso (2); nel settore basale, in corrispondenza dell'incisione di fondovalle, sono visibili gli effetti dei ripetuti fenomeni di colata che hanno asportato una buona parte del materiale e inciso maggiormente l'alveo (3).

Comparison between DTM of 2004 survey (left side) and 2005 survey (right side); the most significant changes are visible in the upper part (1) characterised by a loss of volume of all the blocks translated towards the lower part (2); in the lower part (3) localized mudflow phenomena removed the most part of the landslide deposit and cut even more the stream bed.

In figura 4 è possibile apprezzare l'evoluzione morfologica della frana in località S. Francesco grazie al confronto tra due *hillshade*. Come già precedentemente rilevato e descritto, l'attuale evoluzione del fenomeno è caratterizzata da un'azione composita di scivolamento traslativo di alcuni settori della parte superiore dell'accumulo di frana e da una concomitante pervasiva azione di smantellamento dei micro rilievi che compongono il fenomeno; il materiale proveniente dallo smantellamento di tali rilievi si accumula provvisoriamente al piede della frana dal quale viene successivamente asportato per fenomeni di colamento

Tale sistema permette inoltre una valutazione quantitativa delle variazioni volumetriche dei singoli settori: complessivamente è possibile apprezzare un generale trend negativo che interessa soprattutto il settore basale del fenomeno dovuto all'attivazione dei fenomeni di colata che si incanalano nell'incisione torrentizia.

Da un punto di vista numerico, la variazione volumetrica calcolata tra i due rilievi equivale a circa 2.000 m³ di materiale asportato.

Conclusioni

Alla luce dei risultati conseguiti nell'ambito delle attività descritte nel presente articolo ed in analoghe attività sviluppate su altri siti interessati da fenomeni franosi, appare sempre più evidente che il corretto approccio alle attività di monitoraggio dei fenomeni franosi con le tecnologie più moderne deve essere caratterizzato da un'intensa sinergia tra gruppi di lavoro specialistici ma al tempo stesso convergenti nel conseguimento di risultati di rilievo per quanto riguarda la valutazione della pericolosità geomorfologica.

Appare evidente, tra l'altro, che la figura professionale

del geologo deve arricchirsi di nuove competenze nel campo dell'informatica e della geotematica.

Le metodologie utilizzate nel caso in esame, infatti, unitamente ad analoghe metodologie applicate da piattaforma satellitare, vanno sempre più consolidandosi nel settore del monitoraggio territoriale, con particolare riferimento alla stima e misura delle deformazioni del suolo.

La validità delle metodologie adottate è peraltro confermata dai risultati conseguiti nell'ambito di questo studio ed in altre analoghe attività eseguite su altri siti in frana in tutto il mondo.

Per quanto riguarda il movimento franoso in località S. Francesco, le attività svolte hanno portato alla definizione dei seguenti parametri:

- volumi del corpo di frana;
- velocità ed entità del movimento nelle sue varie componenti;
- definizione della dinamica del fenomeno;
- individuazione e perimetrazione delle porzioni più mobili e definizione puntuale della pericolosità geomorfologica.

A valle dei risultati conseguiti, utilizzabili nell'ambito della pianificazione del rischio geomorfologico, ed in particolare per l'aggiornamento dei Piani per l'Assetto Idrogeologico elaborati dalle autorità di bacino (nello specifico dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere), si tratta di mettere in campo tutti quei provvedimenti per la rimozione del rischio, sia in termini di interventi strutturali, per la rimozione della pericolosità, sia in termini di pianificazione del territorio, finalizzati alla diminuzione della vulnerabilità dello stesso.

Per una più completa definizione del movimento franoso in esame sarebbe necessario progettare e sviluppare una adeguata indagine geognostica e geotecnica.

Bibliografia

- Barberi, F., Buonasorte, G., Cioni, R., Fiordalisi, A., Foresi, L., Iaccarino, S., Laurenzi, M. A., Sbrana, A., Vernia, L., Villa, I. M. 1994. Plio-Pleistocene geological evolution of the geothermal area of Tuscany and Latium. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 49, 77 - 134.
- Beraldin, J-A., Blais, F., Boulanger, P., Courmoyer, L., Domey, J., El-Hakim, S.F., Godin, G., Rioux, M., 2000. Real world modelling through high resolution digital 3D imaging of objects and structures. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 55, 230-250.
- Brandi, G.P., Cerrina Feroni, A., Decandia, F.A., Giannelli, L., Monteforti, B., Salvatorini, G., 1970. Il Pliocene del bacino del Tevere fra Celleno (Terni) e Civita Castellana (Viterbo). Stratigrafia ed evoluzione tettonica. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem. serie A, 77, 308 - 326.
- Buonasorte, G., Cataldi, R., Ceccarelli, A., Costantini, A., D'Offizi, S., Lazzarotto, A., Ridolfi, A., Baldi, P., Borelli, A., Bertini, G., Bertrami, R., Calamai, A., Cameli, G., Corsi, R., D'Acquino, C., Fiordalisi, A., Grezzo, A., Lovari, F., 1988. Ricerca ed esplorazione nell'area geotermica di Torre Alfina (Lazio - Umbria). Boll. Soc. Geol. It., 107, 265 - 337.
- Chiocchini, U., Madonna, S., 2003. Geologia delle unità sedimentarie della provincia di Viterbo. In: Atti della Giornata di Studio "Le risorse idriche del viterbese: salvaguardia e sviluppo sostenibile" (U. Chiocchini, S. Madonna & V. Piscopo editors), 7 - 82, Centro Stampa di Ateneo, Università degli Studi della Tuscia.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides Investigation and Mitigation, Special Report-Transportation Research Board, National Research Council, 247, 36-75.
- Iaccarino, S., Vernia, L., Batini, P., Gnappi, G., 1994. Osservazioni stratigrafiche sul bordo orientale del bacino di Radicofani (Toscana meridionale). Mem. Descr. Carta geologica d'Italia, 49, 151 - 167.
- Jacobacci, A., Martelli, G., Nappi, G., 1967. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000. Serv. Geol. d'It., 61 pp., La Litograf, Roma.
- Lollino, G., Baldo M., Giordan D., Godone F., 2005. Utilizzo integrato di misure GPS in continuo e rilievi laser scanner per il controllo del fenomeno di crollo di Le Ayas (Bardonecchia - Torino). ASITA 2005, 2, 1357-1362.
- Progetto Finalizzato Geodinamica, 1992. Structural Model of Italy. Sheet 3. S.E.L.C.A., Firenze.