

LE FRANE DEL 30 APRILE 2006 DEL M. VEZZI (ISCHIA, NA) NEL CONTESTO DELLA SUSCETTIBILITÀ DA FRANE DI SCIVOLAMENTO DI SUOLI VULCANICI IN CAMPANIA

THE APRIL 30TH, 2006, MT.VEZZI LANDSLIDES (ISCHIA ISLAND, ITALY) IN THE CONTEXT OF THE SLIDING SUSCEPTIBILITY OF VOLCANIC SOILS IN CAMPANIA

MICHELE IOVINO(*) & SEBASTIANO PERRIELLO ZAMPELLI(**)

(*) Bagnolifutura S.p.A., Via Cocchia 28, 80124 Napoli, tel. (+39) 0812424396, e-mail michele.iovino@bagnolifutura.it, e Menci Software Srl

(**) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Napoli Federico II, Largo S.Marcellino 10, 80138 Napoli, tel. (+39) 0812538175, e-mail perriell@unina.it

RIASSUNTO

Nel presente lavoro si descrivono alcune delle caratteristiche principali delle frane avvenute il 30 aprile 2006 sul versante settentrionale del M.Vezzi (Ischia, NA). Tali frane risultano essere un ulteriore esempio di scivolamenti - valanghe - colate di detrito vulcanico in Campania. Sebbene avvenute in un contesto geologico e geomorfologico del tutto particolare, viste la natura e la conformazione uniche in Campania dell'isola d'Ischia, esse condividono con le altre frane dello stesso tipo della regione il fatto di essersi sviluppate entro suoli vulcanici derivanti dall'alterazione di sottili orizzonti di formazioni di sedimenti piroclastici.

Avendo appurato che, al pari di un'ampia percentuale di frane dello stesso tipo in Campania, esse avevano avuto origine in prossimità di discontinuità nella coltre di suolo vulcanico, se ne è effettuato uno studio teso alla verifica della possibilità della prevedibilità spaziale delle relative aree d'innescio. Per tale studio si è adottato un unico approccio metodologico, su due set di dati differenti. Il primo, basandosi sulle informazioni che erano disponibili prima del 30 aprile 2006; il secondo, integrando queste con una nuova rappresentazione del versante settentrionale del M.Vezzi, effettuata combinando tecniche di fotogrammetria terrestre con il rilievo mediante GPS. È risultato che il metodo utilizzato può rappresentare un efficace strumento di screening della suscettibilità allo scivolamento delle coltri di suolo vulcanico; inoltre, che può giovare grandemente di miglioramenti della rappresentazione dell'articolazione della superficie topografica rispetto a quanto ottenibile dalle usuali cartografie aerofotogrammetriche. In particolare, ciò può avvenire attraverso l'individuazione, sia diretta, sia in termini di curvatura della superficie topografica, delle discontinuità nelle coperture di suoli vulcanici.

Tutto ciò nella prospettiva di poter individuare preventivamente, per esempio a cominciare dai versanti sovrastanti zone pedemontane molto vulnerabili, le aree dove sarebbe opportuno effettuare locali e mirati interventi di stabilizzazione attiva.

TERMINI CHIAVE: scivolamenti, valanghe, colate di detrito, copertura di suoli vulcanici, suscettibilità allo scivolamento

ABSTRACT

In this paper some of the main features of the landslides that occurred on April 30th, 2006, on the northern slope of M.Vezzi, on the Ischia island (province of Naples, southern Italy), are described. Such landslides represent a further example of volcanic debris slides - avalanches - flows in Campania. Although occurred in a particular geological and geomorphological context, due to the unique nature and landscape of the Ischia island in Campania, they share with other similar landslides in the region the fact of having developed within volcanic soils that derive from the alteration of thin formations of pyroclastic sediments.

Having ascertained that they originated near to discontinuities in the volcanic soil cover, as is observed for the majority of the landslides of the same type in Campania, a study aimed at the verification of the possibility of the spatial predictability of their initial sliding areas has been carried out. Within such study, two different data sets have been analyzed, with the same methodological approach. The former data set is represented by the information that was available before April 30th, 2006, while the latter has integrated it with a new representation of the northern slope of M.Vezzi, performed combining ground-based photogrammetry techniques with GPS surveying. It resulted that the used method can provide an effective screening of the sliding susceptibility in volcanic soils; in addition, that the method can greatly take advantage of enhancements to the ground surface representation, with respect to what is typically provided by aerophotogrammetric maps. In particular, such enhancements can help in identifying, either directly or by means of the curvature of the ground surface, the discontinuities within volcanic soil covers.

The study lies in the framework of searching, in advance of likely landslides, the zones where "active", local and targeted soil cover stabilization would be desirable; to begin, for example, with slopes above very vulnerable foothill areas.

KEY WORDS: Debris slides – debris avalanches – debris flows, Volcanic soil cover, Sliding susceptibility

INTRODUZIONE: GLI SCIVOLAMENTI - VALANGHE - COLATE DI DETRITO VULCANICO IN CAMPANIA

In una considerevole parte della Campania, gli scivolamenti - valanghe - colate di detrito vulcanico sono purtroppo fenomeni piuttosto comuni a seguito di precipitazioni intense e/o prolungate. Ciò è da mettere in relazione alla peculiare resistenza al taglio di molti suoli vulcanici campani non saturi, derivanti da ceneri e/o pomice da caduta e da flusso, laddove essi sono ancora nella loro posizione primaria: questa, derivando in gran parte da suzione (OLIVARES & PICARELLI, 2001, 2003; BILOTTA *et alii*, 2005), può permettere loro di sopportare pendenze anche molto elevate per lunghi periodi, ma anche rapidamente decrescere durante le precipitazioni e causare frane, come testimoniato dalle evidenze geomorfologiche, dagli archivi e da fenomeni recenti e ben documentati.

Tra i meccanismi che sono stati ipotizzati circa l'insacco, da parte delle precipitazioni, di frane nei suoli vulcanici, a partire da CELICO *et alii* (1986), ci sono oggi anche evidenze sperimentali, sia relative al complesso regime di variazioni delle pressioni neutre nelle coltri di suolo e negli ammassi rocciosi sottostanti (negli Stati Uniti di NW: TORRES *et alii*, 1998; MONTGOMERY *et alii*, 2002), sia relative alla possibilità di raggiungimento di condizioni di equilibrio limite, all'interno di "sandwich" di suoli vulcanici campani non saturi e fortemente inclinati, quando fenomeni di deflusso subsuperficiale, indotti dalle precipitazioni, fanno aumentare il loro peso per unità di volume e contemporaneamente diminuire, almeno localmente, la coesione apparente derivante da legami di suzione, fino a una condizione in cui la resistenza al taglio eguaglia gli sforzi di taglio (OLIVARES & PICARELLI, 2001, 2003; BILOTTA *et alii*, 2005).

A seguito della rottura - scivolamento, che generalmente coinvolge modesti volumi, parte del volume dei pori del suolo diminuisce, causando localmente saturazione, comparsa di pressioni neutre positive e liquefazione (ELLEN & FLEMING, 1987; FLEMING *et alii*, 1989; ECKERSLEY, 1990; FLEMING & JOHNSON, 1994; HUNGR *et alii*, 2001; OLIVARES & PICARELLI, 2001, 2003; BILOTTA *et alii*, 2005).

In Campania, la larghezza di una percentuale significativa di frane di questo tipo che sono avvenute in passato in suoli vulcanici presenti su rilievi carbonatici (CROSTA & DAL NEGRO, 2003; DI CRESCENZO & SANTO, 2005; GUADAGNO *et alii*, 2005) mostra un significativo incremento procedendo verso valle a partire dai coronamenti delle frane non incanalate. Ciò è la testimonianza morfologica della propagazione verso il basso del fenomeno di collasso-liquefazione, che giustifica l'adozione (HUNGR *et alii*, 2001) del termine "valanga". Tale caratteristica viene quasi sempre osservata (DI CRESCENZO & SANTO, 2005; GUADAGNO *et alii*, 2005) sia nelle frane che non hanno origine in corrispondenza dell'asse di fossi o valloni preesistenti, quali le frane "non incanalate" ("unchannelled", DI CRESCENZO & SANTO, 2005), ovvero gli scivolamenti - valanghe di detrito, sia in quelle "miste" (DI CRESCENZO & SANTO, 2005), ovvero gli scivolamenti - valanghe - colate di detrito.

A causa principalmente della cattura da parte di fossi o valloni pre-

INTRODUCTION: THE VOLCANIC DEBRIS SLIDES - DEBRIS AVALANCHES - DEBRIS FLOWS IN CAMPANIA

In a considerable part of Campania, volcanic debris slides - debris avalanches - debris flows are rather common phenomena following intense and/or prolonged rainstorms. This is related to the peculiar shear strength of many of our unsaturated volcanic soils, deriving from ash and/or pumice falls and flows, where they still are in their primary position: such strength, deriving mainly from suction (OLIVARES & PICARELLI, 2001, 2003; BILOTTA *et alii*, 2005), may allow them to withstand very high slope gradients for long periods of time, but also rapidly decrease during rainfall causing landslides, as witnessed by geomorphological evidence in the region, by its historical records, as well as by recent, well documented events.

Among the mechanisms that have been hypothesized for rainfall-triggered failure of such soils, starting from CELICO *et alii* (1986), there are nowadays experimental evidences, relative (i) to the complex pattern of pore pressure distributions within soil covers and underlying bedrock (in NW U.S.: TORRES *et alii*, 1998; MONTGOMERY *et alii*, 2002), and, (ii) to the fact that limit equilibrium conditions may occur within steeply inclined, unsaturated volcanic soil "sandwiches" in Campania, when subsurface flow induced by rain lets their unit weight increase, and their suction-related apparent cohesion locally diminish, to a condition where shear strength equals shear stress (OLIVARES & PICARELLI, 2001, 2003; BILOTTA *et alii*, 2005).

Following seepage-induced sliding failure, that generally involves modest volumes of soil, part of the soil's pore structure collapses, causing local saturation, build-up of positive pore pressures and liquefaction (ELLEN & FLEMING, 1987; FLEMING *et alii*, 1989; ECKERSLEY, 1990; FLEMING & JOHNSON, 1994; HUNGR *et alii*, 2001; OLIVARES & PICARELLI, 2001, 2003; BILOTTA *et alii*, 2005).

In Campania, the width of a significant percentage of past landslides of this type that occurred in volcanic soils mantling carbonate reliefs (CROSTA & DAL NEGRO, 2003; DI CRESCENZO & SANTO, 2005; GUADAGNO *et alii*, 2005) shows a significant increase proceeding downwards from the crowns of unchannelled landslides. This witnesses a gravity driven wave-like propagation of the failure-liquefaction phenomenon, that accounts for the "avalanche" term (HUNGR *et alii*, 2001). This feature is almost always observed (DI CRESCENZO & SANTO, 2005; GUADAGNO *et alii*, 2005) in landslides that do not originate into established channels, such as (DI CRESCENZO & SANTO, 2005) "unchannelled" landslides (debris slides - debris avalanches), as well as in "mixed" landslides (debris slides - debris avalanches - debris flows).

Due primarily to capturing by established channels along their paths, landslides in volcanic soils on carbonate reliefs evolve into debris flows in about 80% of the documented cases (DI CRESCENZO & SANTO, 2005). The debris flow phase of these landslides is responsible for the largest part of their destruction capacity, owing

sistenti, le frane nei suoli vulcanici sui rilievi carbonatici evolvono in colate di detrito in circa l'80% dei casi documentati (DI CRESCENZO & SANTO, 2005). La fase di colata di detrito, per tali frane, è responsabile della maggior parte della loro capacità distruttiva, a causa proprio degli incanalamenti. La velocità e l'estensione verso valle nella fascia pedemontana delle colate di detrito vulcanico sono più grandi di quelle delle frane "non incanalate" (scivolamenti - valanghe di detrito), che generalmente si fermano al piede dei versanti da cui discendono (CALCATERRA *et alii*, 2003; BUDETTA & DE RISO, 2004; DI CRESCENZO & SANTO, 2005).

Il riconoscimento del fatto che le frane nei suoli vulcanici generalmente hanno origine, su versanti ripidi, sotto forma di scivolamenti di detrito, attira attenzione sulla possibilità di investigare la sola suscettibilità (pericolosità spaziale) allo scivolamento di tali suoli (SOETERS & VAN WESTEN, 1996; PERRIELLO ZAMPELLI, 2007), sulla base della distribuzione spaziale delle passate frane simili. Al riguardo è ragionevole ipotizzare che la suscettibilità allo scivolamento sia legata anche a caratteristiche spaziali dei suoli vulcanici e del loro substrato, oltre che alla distribuzione spaziale delle sequenze di pioggia scatenanti.

La distribuzione sul territorio degli eventi o gruppi di eventi di frana passati (DI CRESCENZO & SANTO, 2005; GUADAGNO *et alii*, 2005), ciascuno legato ad un certo intervallo di tempo e generalmen-

indeed to their channelled nature. The velocity and travel distance of volcanic debris flows are larger than those of volcanic "unchannelled" landslides (debris slides – debris avalanches), that generally terminate not far from the foot of the slopes from which they descend (CALCATERRA *et alii*, 2003; BUDETTA & DE RISO, 2004; DI CRESCENZO & SANTO, 2005).

Recognizing the fact that landslides in volcanic soils in Campania predominantly originate on steep slopes as debris slides draws attention towards the possibility of investigating the sliding susceptibility (spatial sliding hazard) of such soils (SOETERS & VAN WESTEN, 1996; PERRIELLO ZAMPELLI, 2007), based on the spatial distribution of past, similar landslides. In this regard it appears reasonable to assume that sliding susceptibility is related also to spatial characters of the soils and their bedrock, as well as to the spatial distribution of critical rainfall sequences.

The spatial distribution of past events or groups of events (DI CRESCENZO & SANTO, 2005; GUADAGNO *et alii*, 2005), each related to a given time interval and, generally, very localized within a rather large area (Fig. 1), suggests that the spatial distribution of critical rainfall sequences is highly variable, even within short distances.

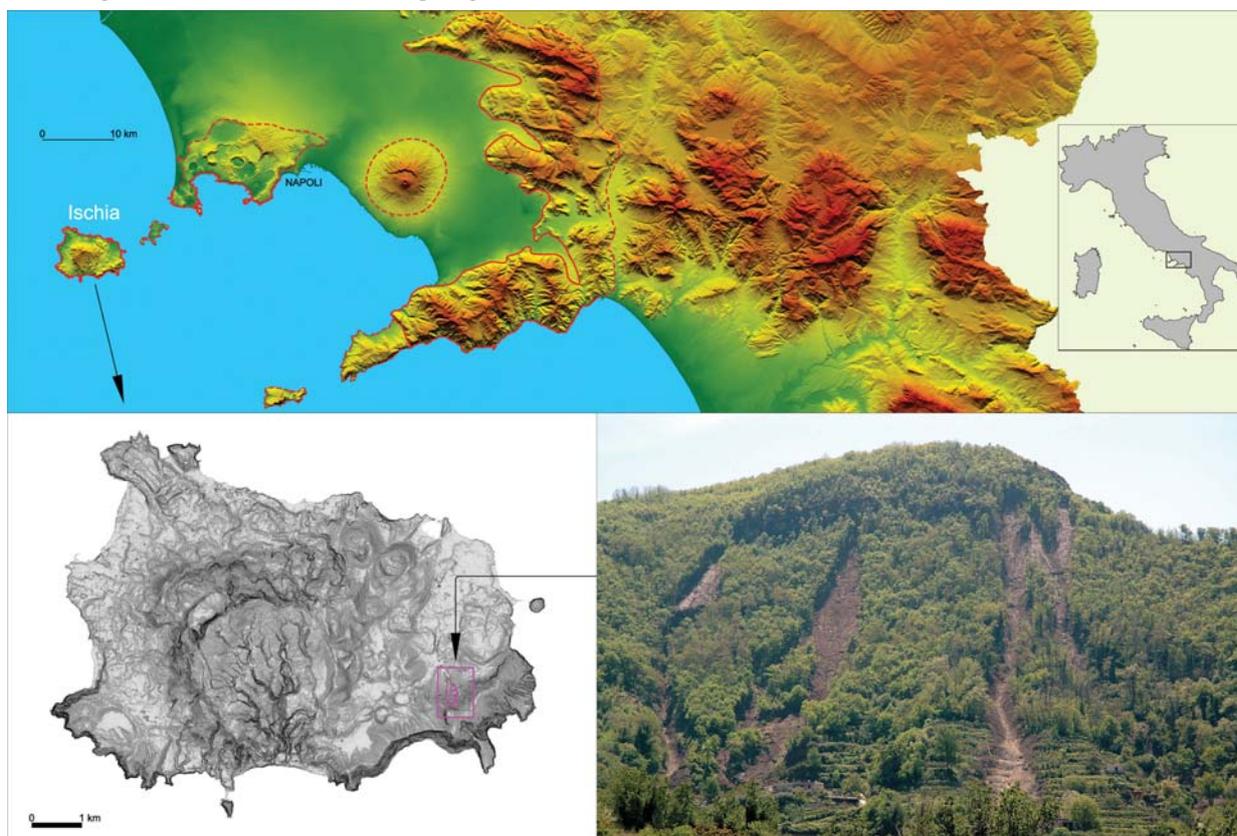


Fig. 1 - In alto: DTM di una parte della Campania; con contorno in rosso sono evidenziate le zone interessate o a presumibile rischio da scivolamenti-valanghe-colate di detrito vulcanico. In basso: a sinistra, DTM dell'isola d'Ischia; a destra, veduta da nord del M.Vezzi con le frane del 30 aprile 2006
 - Top: DTM of a part of Campania; in red are shown the boundaries of the zones that have been interested or are at presumable risk by volcanic debris slides-avalanches-flows. Bottom: left, DTM of the Ischia island; right, view of the northern slope of M.Vezzi with the April 30th, 2006, landslides

te molto localizzato all'interno di un'area alquanto vasta (Fig. 1), suggerisce che la distribuzione spaziale delle sequenze di pioggia scatenanti sia fortemente variabile, anche entro piccole distanze.

Tale variabilità può spiegare il successo solo parziale dei tentativi che sono stati fatti negli ultimi due decenni di mettere in relazione frane avvenute entro aree limitate con dati di precipitazione che erano, di converso, significativi in termini di medie su aree più vaste. Ciò è dovuto al fatto che i dati di precipitazione erano raccolti mediante una rete di acquisizione non sufficientemente fitta e, inoltre, posta a quote generalmente molto più basse degli iniziali scivolamenti di detrito (FIORILLO & WILSON, 2004).

Riguardo la pericolosità (VARNES, 1984) derivante da questo tipo di frane, si ritiene che un efficace monitoraggio dei dati di precipitazione con una risoluzione adeguata alla previsione anche temporale della loro probabilità d'innescio possa essere ottenuto solo attraverso l'installazione di un'adeguata rete di radar meteorologici (CROSTA & FRATTINI, 2003).

Una valutazione della suscettibilità agli scivolamenti di detrito vulcanico indipendente dal problema della distribuzione spaziale degli eventi di precipitazione scatenanti può quindi fornire risultati utili, perché può condurre alla individuazione delle aree dove tali frane possono avere origine, se e quando avvengono sequenze critiche di precipitazioni (PERRIELLO ZAMPELLI, 2007).

In questo ambito MONTGOMERY & DIETRICH (1994) hanno fornito un contributo fondamentale, identificando le concavità ("hollows") nelle coperture di suoli residuali e colluviali quali i luoghi di convergenza del deflusso subsuperficiale e di più rapido innalzamento delle pressioni neutre nel caso la copertura considerata sia continua, anche se non necessariamente omogenea. Gli Autori hanno fornito anche un metodo pratico per l'identificazione di tali concavità e per la classificazione della verosimiglianza della loro possibilità di raggiungimento di condizioni di equilibrio limite, in caso di precipitazioni di intensità costante.

L'applicazione di questo tipo di approccio, così come di approcci simili ma più sofisticati (IVERSON, 2000; CROSTA & FRATTINI, 2003; FRATTINI *et alii*, 2004), basati su differenti ipotesi di flusso e su precipitazioni variabili nel tempo, ma tutti comunque accomunati dall'assunto di pendio indefinito, mostra però efficacia parziale nell'identificare i luoghi di scivolamento iniziale delle frane nelle coperture vulcaniche della Campania. Ciò è dovuto al fatto che (i) una percentuale significativa di tali frane ha origine su versanti ripidi, dove si riconosce poca o nessuna relazione con l'andamento del drenaggio superficiale, e che (ii) la maggioranza di esse avviene subito al di sopra o al di sotto di discontinuità nella copertura, generalmente rappresentate da cornici di affioramento di roccia lapidea e tagli artificiali (GUADAGNO & PERRIELLO ZAMPELLI, 2000; CROSTA & DAL NEGRO, 2003; DI CRESCENZO & SANTO, 2005; GUADAGNO *et alii*, 2005; PERRIELLO ZAMPELLI, 2007).

Per gli scivolamenti di detrito vulcanico su rilievi carbonatici, gli Autori succitati hanno riconosciuto che i coronamenti erano interessati da discontinuità nella copertura per percentuali comprese tra il 90% (GUADAGNO *et alii*, 2005) e il 60% (PERRIELLO ZAMPELLI, 2007) del totale degli scivolamenti analizzati. Mentre le differenze sono pre-

Thus, the attempts that have been made in the last two decades to relate landslides that occurred over limited areas to rainfall data that were, on the other hand, significant in terms of averages over larger areas, achieved only partial success. This is due to the fact that the rainfall data were collected too coarsely for landslide analyses and, in addition, at elevations that were generally much lower than those of the initial debris slides (FIORILLO & WILSON, 2004).

With regard to the hazard (VARNES, 1984) deriving from this type of landslides, it is believed that an effective monitoring of rainfall data, with a resolution adequate to a time-related forecast of volcanic debris slide triggering probability, could be provided only by the installation of a network of meteorological radars (CROSTA & FRATTINI, 2003).

Independent of the problem related to the spatial distribution of critical rainfall sequences, an assessment of the volcanic soils sliding susceptibility can provide useful results, allowing for the identification of the slope areas where such slides can originate, in case of critical rainfall (PERRIELLO ZAMPELLI, 2007).

In this framework MONTGOMERY & DIETRICH (1994) gave a fundamental contribution, identifying the "hollows" in residual and colluvial soil covers as the loci of subsurface flowlines convergence and faster pore pressure increase, provided that the soil cover under consideration was continuous (while not necessarily homogeneous). Their work also provided a practical way to identify such hollows and to classify their likelihood of reaching limit equilibrium conditions for a steady rainfall rate.

The application of this approach, as well as of similar, more sophisticated ones, based on different assumptions for flow and transient rainfall rates (IVERSON, 2000; CROSTA & FRATTINI, 2003; FRATTINI *et alii*, 2004), but still sharing the infinite slope assumption, shows however only partial effectiveness in identifying the loci of initial sliding for the landslides in the volcanic soil covers of Campania. This is due to the fact that (i) a significant percentage of such slides originate on steep slopes, where little or no relationship with drainage patterns can be recognized, and (ii) the majority of them occurs just above or below discontinuities of the soil cover, generally represented by rock cliffs or artificial cuts (GUADAGNO & PERRIELLO ZAMPELLI, 2000; CROSTA & DAL NEGRO, 2003; DI CRESCENZO & SANTO, 2005; GUADAGNO *et alii*, 2005; PERRIELLO ZAMPELLI, 2007).

For slides on carbonate reliefs, the above mentioned Authors recognized that the crowns were interested by soil discontinuities for percentages ranging from 90% (GUADAGNO *et alii*, 2005) to 60% (PERRIELLO ZAMPELLI, 2007) of the total slides. While the differences are presumably due also to the different populations of landslides that were studied, DI CRESCENZO & SANTO (2005) and PERRIELLO ZAMPELLI (2007) report that the crowns of the landslides they studied were within 10 m of a soil discontinuity (above or below it) for percentages between 61% and 65% of the total studied landslides.

sumibilmente dovute anche alle differenti popolazioni di frane studiate, DI CRESCENZO & SANTO (2005) e PERRIELLO ZAMPELLI (2007) riportano che i coronamenti delle frane da loro studiate si trovavano entro 10 m (al di sopra o al di sotto) da discontinuità nella copertura in percentuali comprese tra il 61% e il 65% delle frane totali studiate.

Recenti lavori di modellazione numerica (BASILE *et alii*, 2003; CROSTA & DAL NEGRO, 2003; GUADAGNO *et alii*, 2003) hanno investigato il ruolo delle discontinuità nell'andamento del deflusso, nella distribuzione delle pressioni neutre e nelle condizioni di equilibrio (CROSTA & DAL NEGRO, 2003; GUADAGNO *et alii*, 2003) di modelli di "sandwich" di suoli vulcanici. Prescindendo dai differenti metodi utilizzati, questi lavori dimostrano che la concentrazione degli scivolamenti iniziali nei pressi di discontinuità della copertura è comprensibile. Ciò perché, per un dato andamento delle precipitazioni ed infiltrazioni in una data copertura con caratteristiche omogenee, l'inclinazione del pendio per la quale vengono raggiunte condizioni di equilibrio limite risulta più alta dove la copertura è continua rispetto a dove la stessa copertura mostra discontinuità non sostenute ed a drenaggio libero.

In particolare, CROSTA & DAL NEGRO (2003) mostrano che un modello di pendio indefinito formato da un "sandwich" di suoli vulcanici (rappresentativo della copertura del Pizzo d'Alvano) inizialmente non saturi, poggiante su roccia impermeabile, con 40° di inclinazione resta incondizionatamente stabile per tutte le distribuzioni di pressioni neutre indotte da un andamento di precipitazioni quale quello registrato al pluviografo di Lauro dal 28 aprile al 5 maggio 1998. Inserendo una discontinuità nello stesso modello, rappresentata da un taglio verticale nei suoli 50 m a valle del contorno superiore, si raggiungono viceversa condizioni di equilibrio limite prima della fine della sequenza di precipitazioni considerata.

Una conseguenza di queste osservazioni è che sarebbe desiderabile separare le statistiche di pendenza delle zone di coronamento e scivolamento (DE RISO *et alii*, 1999; DI CRESCENZO & SANTO, 2005) delle frane che hanno avuto origine in coperture continue di suoli vulcanici da quelle che hanno avuto origine in coperture analoghe, ma discontinue.

In PERRIELLO ZAMPELLI (2007) viene proposto un metodo, denominato S.L.I.D.E. (da S.Lide Initiation areas Detection: www.progettoslide.unina.it), per la determinazione della suscettibilità allo scivolamento di suoli vulcanici, basato (i) sulla presenza ed il tipo di tali suoli in posizione primaria sui versanti, (ii) sulla determinazione con buona risoluzione delle pendenze e delle loro variazioni, e (iii) sulla presenza di discontinuità nella copertura.

Il metodo è in fase di sviluppo, essenzialmente per mezzo dell'analisi della distribuzione delle frane passate di questo tipo in relazione ai succitati parametri. Tra gli altri aspetti, è stato notato che, per esempio, sul Pizzo d'Alvano una percentuale significativa degli scivolamenti del maggio 1998 ha avuto origine nei pressi di discontinuità legate a sentieri non più visibili, a dimostrazione dell'importanza di un'attenta analisi di tutte le fonti georeferenziali (essenzialmente carte topografiche e foto aeree) disponibili nel contesto della valutazione della suscettibilità allo scivolamento nelle coperture di suoli vulcanici.

Recent numerical modelling analyses (BASILE *et alii*, 2003; CROSTA & DAL NEGRO, 2003; GUADAGNO *et alii*, 2003) investigated the role of discontinuities in the flow patterns, pore pressure distribution and equilibrium conditions (CROSTA & DAL NEGRO, 2003; GUADAGNO *et alii*, 2003) in model volcanic soil "sandwiches". Notwithstanding the different methods, they demonstrate that the concentration of initial slides close to discontinuities in the soil cover is understandable. This is because, for a given precipitation-infiltration pattern in a given soil cover of homogeneous properties, the slope gradient at which limit equilibrium conditions are reached results higher where the cover is continuous than where the same cover shows unsupported, free drainage surfaces, as it does above or below discontinuities.

In particular, CROSTA & DAL NEGRO (2003) show that a model infinite slope "sandwich" of originally unsaturated volcanic soils (representing the Pizzo d'Alvano soil cover), resting on impervious rock, at 40° of inclination remains unconditionally stable for all the pore pressure distributions induced by a rainfall pattern such as that recorded at the Lauro rain gauge from April 28th to May 5th, 1998. The same model, with a vertical cut to the bedrock 50 m downwards from its upper boundary, would have failed before the end of the same rainfall sequence.

A consequence of these findings is that it would be desirable to separate the crown and sliding zone slopes statistics (DE RISO *et alii*, 1999; DI CRESCENZO & SANTO, 2005) for landslides that originate within continuous volcanic soil covers from those that originate within discontinuous ones.

In PERRIELLO ZAMPELLI (2007) a method, named S.L.I.D.E. (from S.Lide Initiation areas Detection: www.progettoslide.unina.it), is proposed for the assessment of the susceptibility to sliding of volcanic soils in Campania, based (i) on the presence and type of such soils in primary positions on slopes, (ii) on a good resolution assessment of slope gradients and of their variations, and (iii) on the presence of discontinuities in the volcanic soil cover.

The method is under development, predominantly by investigating the distribution of past landslides of this type, as related to the above parameters. Among other things, on the Pizzo d'Alvano it was for instance noted that a significant percentage of the May 1998 slides originated close to trackways that are not anymore visible, showing the importance of careful analyses of old topographic maps and aerial photographs in the framework of the evaluation of volcanic soil sliding susceptibility.

The aim of the research in which the method has been developed is the identification of the slope areas which can be more susceptible to sliding of the volcanic soil cover. Starting from these, methods aimed at the mitigation of the hazard and risk deriving from such landslides can be applied (VARNES, 1984; SOETERS & VAN WESTEN, 1996), based not only on the presumable avalanche-flow paths (BUDETTA & DE RISO, 2004; REVELLINO *et alii*, 2004) below areas susceptible to sliding, but also on local,

Lo scopo della ricerca nell'ambito della quale è stato sviluppato detto metodo è la individuazione delle aree di versante maggiormente suscettibili allo scivolamento della copertura di suolo vulcanico. Una volta individuate queste, si possono applicare metodi di mitigazione della pericolosità e del rischio (VARNES, 1984; SOETERS & VAN WESTEN, 1996) connessi a questo tipo di frane basati, oltre che sull'individuazione dei presumibili percorsi di valanga - colata (BUDETTA & DE RISO, 2004; REVELLINO *et alii*, 2004) a valle delle aree suscettibili allo scivolamento, anche sulla stabilizzazione locale e mirata delle coperture di suoli vulcanici che si mostrano suscettibili allo scivolamento.

DESCRIZIONE DEGLI EVENTI DEL 30 APRILE 2006

Il 30 aprile 2006 quattro frane sono avvenute sul versante settentrionale del M. Vezzi, sull'isola d'Ischia, in provincia di Napoli (Fig. 1). Le testimonianze raccolte riportano che le frane sono state precedute da circa dodici ore di precipitazioni intense (MAZZARELLA & DE LUISE, questo volume); le due frane più orientali si sono manifestate alle 7 del mattino circa, mentre le due più occidentali circa un'ora dopo, mentre un elicottero sorvolava l'area colpita dalle prime due frane, dove purtroppo si erano avute quattro vittime. Un'altra frana, secondaria, può essere riconosciuta ad est delle quattro frane principali oggetto del presente studio che, secondo la numerazione adottata in questo volume, sono numerate dal due al cinque, andando da est verso ovest.

Le quattro frane hanno avuto origine in suoli vulcanici derivanti dall'alterazione di depositi piroclastici da caduta, a copertura di rocce vulcaniche (DE VITA *et alii*, DI NOCERA *et alii*, VINGIANI & TERRIBILE; questo volume), a quote comprese tra 315 e 347 m s.l.m., appena al di sopra e al di sotto di una cornice di lave fratturate (Fig. 2) che, indipendentemente dalle frane superficiali qui discusse, mostra evidenze di frane passate e di processi di deformazione-fratturazione in atto.

targeted stabilization of the volcanic soil covers which display sliding susceptibility.

DESCRIPTION OF THE APRIL 30TH, 2006, EVENTS

On April 30th, 2006, four landslides occurred on the northern slope of M. Vezzi, on the island of Ischia (Fig. 1). Witnesses reported that the landslides were preceded by about 12 hours of intense rainfall (MAZZARELLA & DE LUISE, this volume); the two eastern landslides occurred around 7 AM, while the two western ones about one hour later, while a helicopter was flying over the area struck by the two first landslides where, unfortunately, there had been four casualties. Another secondary landslide can be recognized to the east of the four main landslides discussed herein that, according to the numbering scheme adopted in this volume, are numbered from two to five, going from east to west.

The four landslides originated within volcanic soils deriving from the alteration of pyroclastic fall sediments, mantling volcanic rocks (DE VITA *et alii*; DI NOCERA *et alii*; VINGIANI & TERRIBILE; this volume), at elevations between 315 and 347 m a.s.l., just above or below a fractured lava cliff (Fig. 2) that, independent of the shallow landslides discussed herein, evidences past landslides and current deformation-fracturing processes.

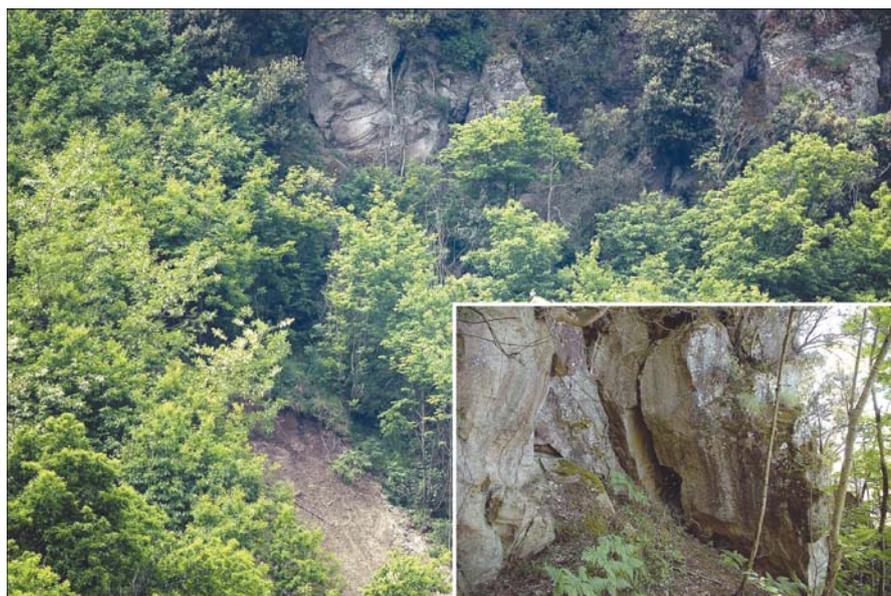


Fig. 2 - Veduta della zona di coronamento della frana n. 2 e della sovrastante cornice di lava fratturata (dettaglio in basso a destra)
- View of the crown zone of landslide no. 2 and of the above fractured lava cliff (detail at bottom right)

Il tipo di materiale intorno ai coronamenti delle frane è, secondo la classificazione di CRUDEN & VARNES (1996), al confine tra *earth* e *debris*, a causa del fatto che i materiali franati consistono (DE VITA *et alii*, VINGIANI & TERRIBILE; questo volume) di differenti orizzonti di sedimenti da caduta alterati che, al di sopra della cornice, sono prevalentemente fini (ceneri) alla base e prevalentemente grossolani (pomici) verso l'alto, senza paleosuoli nel mezzo (curve granulometriche in Fig. 3). Secondo HUNGR *et alii*, (2001), i materiali possono essere descritti quali detrito vulcanico (*volcanic debris*). La maggior parte dei materiali franati era ricoperta da una fitta coltre arborea di castagni, che hanno costituito una parte considerevole del materiale giunto a valle.

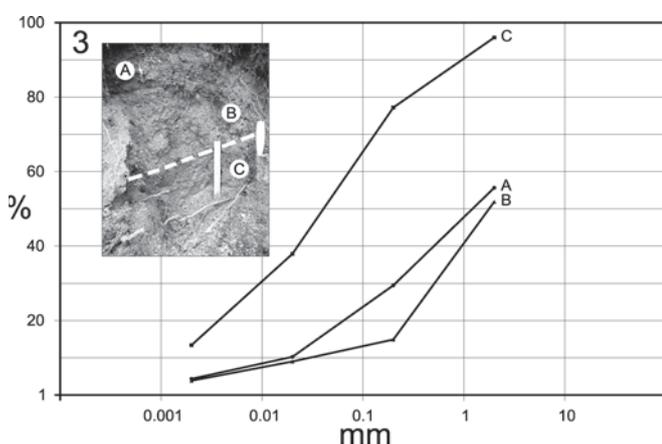


Fig. 3 - Curva granulometrica degli orizzonti (A, B, C) di suolo vulcanico in prossimità del coronamento della frana n. 3 (gli orizzonti sono visibili nella foto del campionamento in alto a sinistra. La linea tratteggiata marca la separazione tra gli orizzonti C e B)
 - Grain-size distribution of the volcanic soil horizons (A, B, C) close to the crown of landslide no. 3 (the horizons are visible in the photo of sampling at top left. The dashed line marks the separation between horizons C and B)

Inizialmente, il tipo di movimento (CRUDEN & VARNES, 1996; HUNGR *et alii*, 2001) è stato di scivolamento, con spessori di circa 1 m (DE VITA *et alii*; VINGIANI & TERRIBILE; questo volume). Nella frana n. 3, che ha avuto origine al di sopra della cornice di lava (Fig. 4), allo scivolamento è succeduto, per un tratto, il crollo del detrito alla base della cornice stessa.

Lo scivolamento (e l'impatto da parte del materiale crollato, nella frana n. 3) ha evidentemente causato la liquefazione dei terreni e la propagazione verso valle (HUNGR *et alii*, 2001) dei fenomeni di collasso-liquefazione, risultanti in valanghe di detrito (*debris avalanches*), come testimonia l'allargamento dei fianchi delle frane n. 2 e n. 3.

Quando le frane si sono incanalate nei valloni preesistenti, il tipo di movimento è stato essenzialmente di colata. Nella frana n. 3 vi sono evidenze del fatto che la valanga-colata ha mobilizzato ed incorporato alcuni metri di sedimenti da flusso piroclastico (prevalentemente pomici), che si rinvergono nella parte bassa del versante.

Le frane n. 2 e n. 3 hanno confluato in una depressione risultante da antiche operazioni di estrazione di pomici, nella quale una casa è stata distrutta, mentre un'altra, più in basso, mostra schizzi di

The type of material around the crowns of the landslides, according to CRUDEN & VARNES's (1996) classification, is at the border between earth and debris, due to the fact that the slid materials consist of (DE VITA *et alii*; VINGIANI & TERRIBILE; this volume) different layers of altered fall sediments, mainly fine (ashes) at the bottom of the sequence and mainly coarse (pumices) at the top, with no palaeosoils in between (grain size distributions in Fig. 3). According to HUNGR *et alii*, (2001), the materials can be described as volcanic debris. Most of the displaced materials were previously covered by young chestnut trees, that account for a considerable part of the landslides' volumes downwards.



Fig. 4 - Veduta della zona di coronamento della frana n. 3 e della sottostante cornice di lava frantumata
 - View of the crown zone of landslide no. 3 and of the fractured lava cliff below it

The type of initial movement (CRUDEN & VARNES, 1996; HUNGR *et alii*, 2001) was sliding, with thicknesses of about 1 m (DE VITA *et alii*, this volume). In landslide no. 3, originated above the lava cliff (Fig. 4), sliding was followed by falling.

Sliding (and impact by fallen material in landslide no. 3) evidently caused liquefaction of the soil and downwards wave-like propagation (HUNGR *et alii*, 2001) of the failure-liquefaction phenomena, resulting in debris avalanches, as witnessed by the widening of the side scars of landslides no. 2 and no. 3.

When the landslides channelled into gullies, the type of movement was essentially flow. In landslide no. 3, there are evidences of the fact that the avalanche-flow mobilized and incorporated several meters of pyroclastic flow sediments (essentially pumices) that can be found on the lower half of the slope.

Landslides no. 2 and no. 3 converged into a depressed area, consisting of an old pumice quarry, where a house was destroyed, causing four victims, while another one was only "smeared" by the flow. Parts of the flow then proceeded to a further, lower old quarry depression, where a trash compactor was located. A large per-

“fango” sulla facciata. Parti della colata hanno poi proseguito verso una ulteriore depressione più in basso, nella quale si rinviene un compattatore di rifiuti. Un’alta percentuale dei materiali di colata si è accumulata in questa depressione ed al suo confine verso nord, mentre la restante parte, più fluida, ha proseguito verso valle lungo una strada asfaltata (Fig. 5, Fig. 11).

Le frane n. 4 e n. 5 si sono incanalate in due valloni adiacenti e paralleli; la maggior parte dei relativi materiali si sono accumulati allo sbocco dei valloni stessi, mentre parti più fluide hanno avanzato oltre, lungo le strade.

centage of the flow material accumulated in this depression and at its northern border, while the rest, more fluid, proceeded along a paved road (Fig. 5, Fig. 11).

Landslides no. 4 and 5 were channelled in two adjacent, parallel gullies; most of the displaced materials were deposited at the end of the gullies, while more fluid parts proceeded further, along the roads.

It is to be noted that, as in other foothill areas of Campania, paved roads have been built along the gullies’ axes. This has sometimes happened by “burying” their minimum flow channels, some-

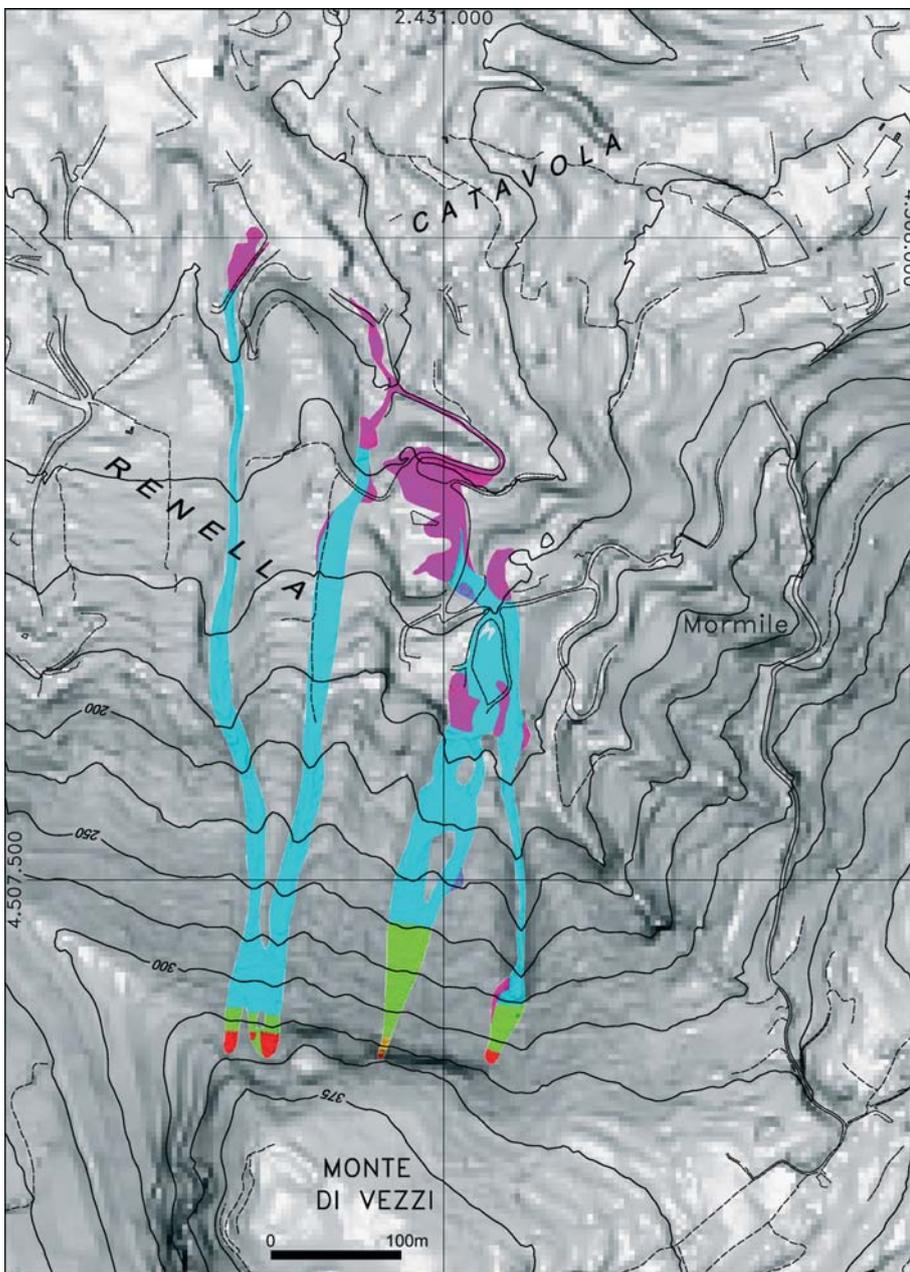


Fig. 5 - Le frane del 30 aprile 2006 su DTM ottenuto integrando la cartografia 1:2.000 del 1998-2000 con il rilievo diretto GPS e la fotogrammetria terrestre. LEGENDA: rosso scivolamento iniziale; arancio crollo; verde) denudazione da liquefazione-valanga; azzurro) denudazione da colata; viola) deposito di colata
- The April 30th, 2006 landslides on the DTM obtained by means of integrating the 1998-2000 1:2.000 topographic map with direct GPS surveying and ground-based photogrammetry. LEGENDA: red) initial sliding; orange) fall; green) depletion by liquefaction-avalanche; cyan) depletion by flow; magenta) flow accumulation

Degno di nota è il fatto che, come in tante altre aree di fascia pedemontana campana, sono state costruite strade asfaltate proprio lungo gli assi dei valloni, a volte tombandone il letto di magra, a volte semplicemente asfaltandoli. Le conseguenze di tale inconsulta pratica sono facilmente immaginabili, e purtroppo ampiamente documentate, in caso di precipitazioni intense e di frane quali quelle qui descritte.

Le frane possono essere classificate, secondo CRUDEN & VARNES (1996), quali frane a stile di attività complesso, in cui a scivolamenti molto rapidi di terra/detrito bagnato (poi a crollo estremamente rapido di terra/detrito bagnato, nella frana n. 3) seguono colate estremamente rapide di terra/detrito molto bagnato; secondo HUNGR *et alii* (2001), quali scivolamenti - valanghe - colate di detrito vulcanico. Ciò a causa del fatto che non hanno avuto origine all'interno di fossi o valloni preesistenti, ma sono state catturate da questi lungo il loro percorso.

Alcuni Autori si riferiscono a frane simili in Campania con termini quali *flowslide*, colate rapide di fango o terra (*rapid mudflow* o *earthflow*), lahar, lahar "freddi". Si preferisce nel presente lavoro non utilizzare questi termini, potenziale fonte di confusione, ma aderire quanto più strettamente possibile alle classifiche summenzionate.

Le frane di Ischia in discorso si aggiungono alla lista degli scivolamenti - valanghe - colate di detrito vulcanico documentati in Campania (Fig. 1). I suoli vulcanici dove esse hanno avuto origine sono geneticamente differenti (DI NOCERA *et alii*, VINGIANI & TERRIBILE, questo volume) rispetto a quelli che ricoprono i rilievi carbonatici che circondano il Vesuvio, da nord a sud in senso orario, entro un raggio di alcune decine di chilometri, e rispetto a quelli della zona di Napoli - Campi Flegrei. Essi però, al pari di altri suoli vulcanici campani dove sono avvenute frane dello stesso tipo, generalmente non rappresentano suoli residuali delle rocce del substrato, ma derivano dall'alterazione di successive formazioni piroclastiche, spesso molto sottili su versanti acclivi.

ALCUNI CARATTERI DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO E DELLE SUE FRANE

L'isola d'Ischia rappresenta il risultato di un'evoluzione tettonica, vulcanica e geomorfologica relativamente recente e molto complessa (VEZZOLI, 1988; ASCIONE *et alii*, DI NOCERA *et alii*, questo volume), durante la quale le frane occupano un ruolo significativo (DEL PRETE & MELE, 2006).

Avendo appurato, subito dopo le frane del 30 aprile, le loro similitudini con molte altre frane dello stesso tipo in Campania, è stato deciso di sperimentare l'acquisizione di nuovi dati e l'analisi di tali dati, insieme a quelli preesistenti, per investigare la possibilità della prevedibilità spaziale delle frane stesse; in particolare, per ciò che riguarda la rappresentazione del reale andamento della superficie topografica e la presenza di discontinuità nella copertura di suoli vulcanici.

Per verificare (anche se a posteriori) se le aree di origine delle frane sarebbero state individuabili nell'ambito di una valutazione della suscettibilità allo scivolamento di detrito vulcanico con il metodo S.L.I.D.E. (PERRIELLO ZAMPELLI, 2007), sono state preliminarmente effettuate analisi delle carte geologiche e topografiche e delle

times simply paving them. The consequences of such thoughtless practice are easily imaginable, and, unfortunately, widely documented, in case of intense rainfall, or of landslides such as those discussed herein.

The landslides can be classified, according to CRUDEN & VARNES (1996), as complex, very-to-extremely rapid, wet-to-very wet earth/debris slides (- fall) - flows; according to HUNGR *et alii* (2001), as volcanic debris slides - debris avalanches - debris flows, due to the fact that they do not originate into preexisting channels, but are eventually captured by them along their paths.

Several Authors refer to similar landslides in volcanic soils in Campania with terms such as flowslide, rapid earth flow, mud flow, lahar, "cold" lahar. Herein it is preferred not to use these potentially confusing terms and to adhere as strictly as possible to the above-mentioned classifications.

The Ischia landslides discussed herein add up to the list of documented volcanic debris slides - debris avalanches - debris flows in volcanic soils in Campania (Fig. 1). The volcanic soils where these landslides originated are genetically different (DI NOCERA *et alii*; VINGIANI & TERRIBILE, this volume) from those mantling the carbonatic reliefs that surround the Vesuvius, proceeding clockwise from the N to the S of the volcano within a radius of some tens of kilometres, and also from those in the Naples - Phlegraen Fields area. They however, as well as other volcanic soils in Campania where similar landslides have occurred, generally do not constitute residual soils of the bedrock, but derive from the alteration of successive pyroclastic formations, often very thin on slopes.

SOME CHARACTERS OF THE STUDIED AREA AND OF ITS LANDSLIDES

The island of Ischia is the result of a relatively young, very complex tectonic, volcanic and geomorphological evolution (VEZZOLI, 1988; ASCIONE *et alii*, DI NOCERA *et alii*, this volume), during which landslides occupy a significant role (DEL PRETE & MELE, 2006).

Having ascertained, early after the April 30th landslides, their similarities with many other landslides of the same type in Campania, it was decided to perform some tests of existing and newly acquired data in the framework of the possibility of spatial predictability of the landslides, particularly with respect to the actual ground surface representation and to the presence of discontinuities in the volcanic soil cover.

To verify (although *a posteriori*) whether the landslides' source areas would have been detectable in the framework of a volcanic debris slide susceptibility assessment with the S.L.I.D.E. method (PERRIELLO ZAMPELLI, 2007), preliminary analyses of pre-existing geological and topographic maps, as well as aerial photographs, were

coperture aerofotografiche preesistenti.

E' risultato che, in generale, sia le aerofotografie che le carte topografiche derivate permettono una insoddisfacciente rappresentazione della parte settentrionale del M. Vezzi, a causa della generale oscurità del suo ripido versante esposto a nord e della costante presenza di una fitta coltre arborea di castagni, che maschera la superficie topografica.

Per esempio, la cornice di lava fratturata in corrispondenza della quale le frane hanno avuto origine non risultava chiaramente determinabile nella maggior parte delle carte e dalle aerofoto, anche se è chiaramente visibile in sito (Fig. 1, Fig. 2), a causa della copertura arborea.

Le carte geologiche e geolitologiche, dalla 1:100.000 ufficiale (f. 183) alle 1:10.000 in VEZZOLI (1988) e in AUTORITÀ DI BACINO NW (2002) rappresentano sì la cornice, ma sono in generale inaffidabili in questo contesto, perché tendono a sovrarappresentare gli affioramenti delle rocce del substrato e a non rappresentare, se non considerevolmente spesse, le formazioni quaternarie sciolte e le coperture pedogenizzate.

Le carte topografiche 1:25.000 dell'IGM del 1957 e del 1997 non rivelano, mediante le consuete "barbette", la cornice del M. Vezzi, ma mostrano una rete di sentieri sul suo versante settentrionale.

La "Carta Tecnica Regionale" 1:5.000 del 1974 della CASMEZ non mostra né la cornice né sentieri sulla parte superiore del versante settentrionale del M. Vezzi.

La "Carta Tecnica Numerica" 1:5.000 del 1998 della Provincia di Napoli mostra cornici nella parte superiore del versante settentrionale del M. Vezzi, tra le quote 325 e 350 m s.l.m., ma non mostra ivi sentieri.

La "Cartografia numerica" 1:2.000 del 1998-2000 del Consorzio Intercomunale Servizi Ischia (CISI), non rivela la cornice, ma mostra un sentiero nella parte superiore del versante settentrionale del M. Vezzi, corrispondente in parte ad un sentiero descritto dalle carte 1:25.000 IGM.

Tutte le coperture aerofotografiche esaminate testimoniano peraltro l'obiettivo difficoltà di restituzione, tanto della superficie topografica quanto delle discontinuità, nella zona in esame.

Dalle succitate carte topografiche 1:5.000 e 1:2.000 sono stati ricostruiti i corrispondenti modelli digitali del terreno (DTM), mediante reti di triangoli irregolari (TIN) ed interpolazioni su griglie di maglie quadrate, con celle di dimensioni comprese tra 5x5 m e 2x2 m, in modo da poter analizzare le caratteristiche morfologiche dell'area. E' risultato che le differenze tra le diverse carte sono, in generale, troppo accentuate per essere correlabili solo a reali variazioni morfologiche. Si ritiene che gran parte di tali differenze sia da mettere appunto in relazione alla difficoltà di aerofotorestituzione conseguenti all'oscurità del versante settentrionale del M. Vezzi nelle aerofotografie ed alla sua copertura arborea. La figura 6 mostra, quale esempio delle comparazioni che sono state effettuate, le differenze di quota altimetrica tra le carte topografiche 1:5.000 del 1974 e del 1998. Solo le differenze nelle zone delle antiche cave di pomice e del compattatore di rifiuti sono facilmente comprensibili.

performed.

It resulted that both aerial photographs and derived maps generally allowed for questionable representations of the northern slope of M. Vezzi. This is due to the darkness of a steep northern slope in aerial photographs and to the constant presence of a dense canopy of chestnut trees, masking the actual topographic surface.

With regard to the fractured lava cliff around which the landslides originated, it was ascertained that its nature of discontinuity in the volcanic soil cover, while very evident in the field (Fig. 1, Fig. 2), was not clearly detectable from maps and aerial photographs.

Geological maps, from the 1:100.000 official one to the 1:10.000 ones in VEZZOLI (1988) and in AUTORITÀ DI BACINO NW (2002) do represent it, but are in general unreliable to this respect, due to the fact that they tend to over-represent substratum rock outcrops and not to represent cohesionless quaternary formations and soil covers, unless considerably thick.

The 1:25.000 IGM (1957 and 1997) topographic maps do not represent a cliff on M. Vezzi, but do show a trackway network crossing its northern slope.

The 1974 1:5.000 "Carta Tecnica Regionale" of southern Italy does neither show a cliff nor trackways on the upper part of the northern slope of M. Vezzi.

The 1998 1:5.000 "Carta Tecnica Numerica" of the Provincia di Napoli does show the outcropping of a cliff on the upper part of the northern slope of M. Vezzi, between 325 and 350 m a.s.l., while it does not show trackways.

The 1998-2000 1:2.000 "Cartografia numerica" of the Consorzio Intercomunale Servizi Ischia (CISI) does not show the outcropping of a cliff on the upper part of the northern slope of M. Vezzi, but does show a trackway on the NW ridge of M. Vezzi, in part corresponding to a trackway depicted by the 1:25.000 IGM maps.

Correspondingly, all the examined aerial photographs witness, in the studied area, the objective difficulty of restitution of both the topographic surface and of the soil cover discontinuities.

Digital terrain models (DTM) of the M. Vezzi area were constructed from the 1:5.000 and 1:2.000 topographic maps mentioned above, with triangular irregular networks (TIN) and grid interpolation, with grid cells ranging from 5x5 m to 2x2 m, in order to analyze its features. It resulted that the differences among the different maps on the northern slope were, in general, too marked to be all related to actual landscape variations. It is believed that many of such differences are to be related to the difficulty of aerophotorestitution caused by the darkness of the northern M. Vezzi slope in the aerial photographs and by its canopy cover. Figure 6 shows, as an example of the comparisons that were performed, the differences in elevation of the studied area between the 1974 and the 1998 1:5.000 maps. Only those in the areas of the old pumice quarries and trash compactor are easily understandable.

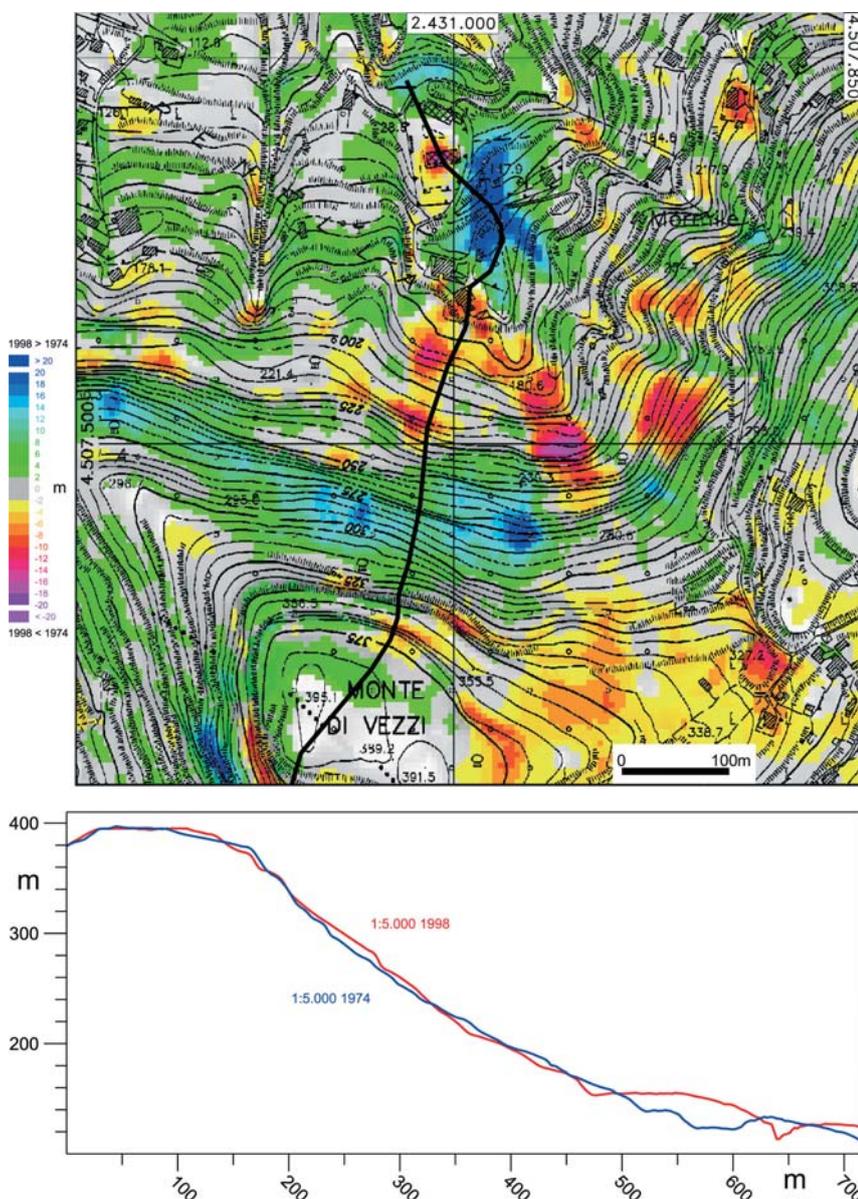


Fig. 6 - Differenze di quota altimetrica in pianta (in alto, legenda in metri sulla sinistra) ed in sezione (in basso) tra la cartografia tecnica regionale del 1974 (CasMez) e quella del 1998 (Prov. di Napoli), mostrate sulla carta 1998
 - Elevation differences (top: plan view, legend in meters at left; bottom: cross-section) between the 1:5.000 regional technical maps of 1974 and 1998, shown on the 1998 one

Per superare la inattendibilità delle rappresentazioni disponibili dell'area studiata, è stato deciso di sperimentare alcune tecniche di restituzione della superficie topografica, anche sotto copertura arborea, per sperimentarne le potenzialità nell'ambito delle valutazioni di suscettibilità allo scivolamento dei suoli vulcanici.

In particolare, è stato effettuato un rilievo sperimentale ex-novo della parte più densamente vegetata del versante settentrionale del M.Vezzi, integrando l'acquisizione diretta di punti significativi mediante GPS con la restituzione di fotogrammi terrestri.

L'attrezzatura GPS utilizzata consiste di due ricevitori-computer palmari Trimble GeoexplorerXT, uno utilizzato come base ed uno come rover, in modo da ottenere una precisione centimetrica dopo

To overcome the difficulties in the representation of the studied area by means of the available data, it was decided to experiment some techniques of restitution of the ground surface, also under canopy cover, to experiment their capabilities in the framework of the evaluation of the sliding susceptibility of volcanic soils.

In particular, a new experimental survey of the most densely vegetated part of the M.Vezzi northern slope was performed, integrating direct GPS acquisition of significant points with the restitution of ground-based photographs.

The GPS equipment that was used consists of two receivers-palm computers Trimble GeoexplorerXT, one as a base station, the other as

post-processamento; quella fotogrammetrica, in una fotocamera digitale Nikon D70s, con ottica orientata internamente, e nella piattaforma fotogrammetrica digitale Z-Map della Menci Software.

La fotogrammetria terrestre, in unione ai punti di controllo GPS, ha consentito di rilevare con buona approssimazione la superficie topografica all'interno dei canali di frana. Al di fuori di questi, vista la presenza della coltre arborea, è stata rilevata mediante GPS una rete di transetti sulla superficie topografica, sia lungo la massima pendenza che lungo le curve di livello.

I punti rilevati mediante fotorestituzione ed i punti acquisiti lungo i transetti rilevati sul versante mediante GPS, in unione agli elementi tridimensionali della cartografia numerica CISI 1:2.000, hanno permesso la costruzione di un DTM dell'area investigata: la figura 7 mostra un'ombreggiatura zenitale di una *grid* dell'area, ottenuta mediante interpolazione dei vertici della TIN di congiunzione di tutti i punti su maglie quadrangolari di 5x5m di lato.

a rover, so as to obtain a centimetric precision after post-processing; the photogrammetric one, of a Nikon D70s digital camera with an internally oriented lens, and of the digital photogrammetric Z-Map platform by Menci Software.

The ground-based photogrammetry, together with the GPS control points, allowed for a good approximation surveying of the ground surface within the landslide channels. Outside the landslides, due to the canopy cover, a large number of GPS points were acquired over a network of paths, both along the maximum slope and along contours.

The points surveyed through photogrammetry and the GPS network of points, together with the 3-d elements of the CISI 1:2.000 digital cartography, conducted to the construction of a DTM of the studied area. Figure 7 shows a zenith rendering of a grid of the area, obtained by means of a 5x5m interpolation of the conjunction TIN of all the points.

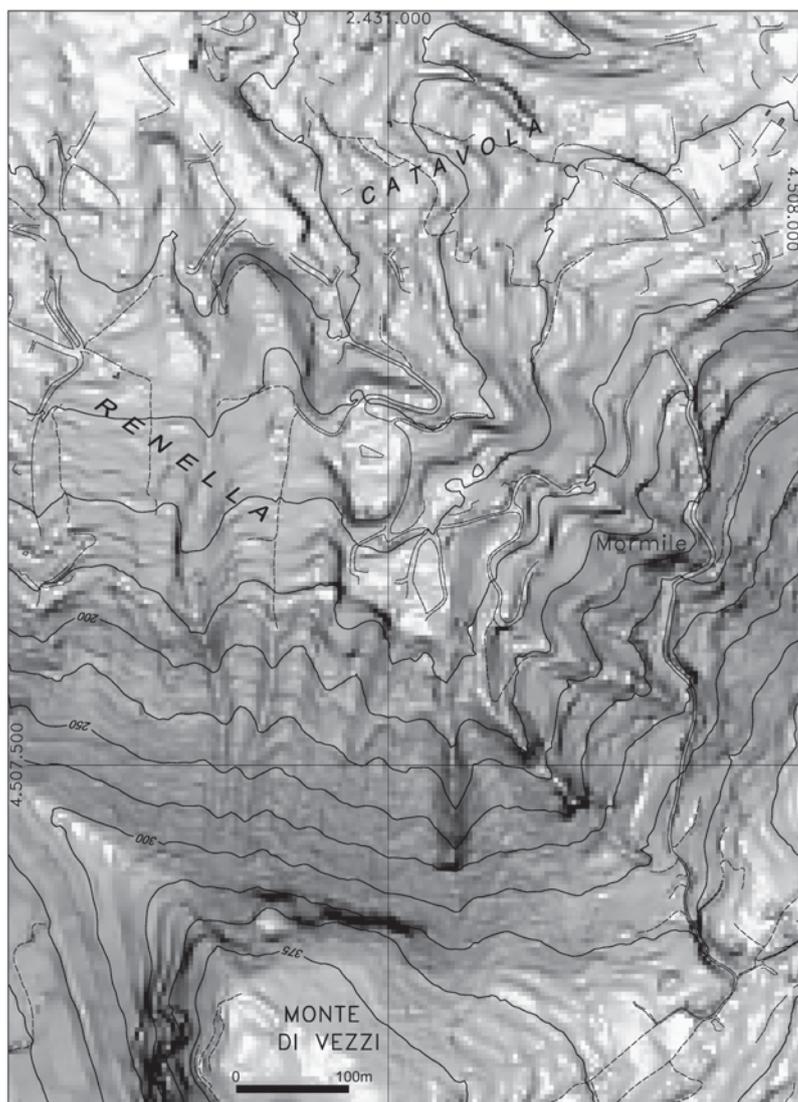


Fig. 7 - Rendering zenitale e contouring a 25 m del DTM ottenuto integrando la cartografia 1:2.000 del 1998-2000 con il rilievo diretto GPS e la fotogrammetria terrestre
- Zenith rendering and 25 m contouring of the DTM obtained by means of integrating the 1998-2000 1:2.000 topographic map with direct GPS surveying and ground-based photogrammetry

Con la metodologia adottata, si ritiene di aver ottenuto una soddisfacente rappresentazione della superficie topografica anche al di sotto della copertura arborea, contrariamente a quanto ottenuto dalle carte topografiche aerofotogrammetriche esistenti.

Per questa ragione, dopo aver effettuato alcune analisi delle comparazioni tra il nuovo DTM ottenuto (Fig. 7) e quelli ottenuti dalle carte topografiche esistenti (Fig. 6), è stato deciso di ricostruire un possibile DTM pre-frane basandosi sul nuovo DTM post-frane e sugli spessori osservati sul campo nelle zone di scivolamento – valanga. A causa del ridotto spessore delle frane in queste zone, è stato valutato che la soggettività di tale ricostruzione ha introdotto un errore comunque molto inferiore a quelli che sarebbero stati introdotti con l'utilizzo di qualunque rappresentazione aerofotogrammetrica disponibile della morfologia preesistente, a causa della inattendibilità della restituzione sotto copertura arborea.

Durante la ricostruzione è stato possibile, basandosi anche sui rilievi diretti, interpretare sia qualitativamente che quantitativamente alcune caratteristiche delle frane del 30 aprile e della parte di versante dove esse hanno avuto origine (Fig. 2, Fig. 5, Fig. 8, Fig. 11). I risultati più interessanti sono costituiti dalla stima degli spessori (Fig. 8) e dei volumi denudati (v. seguito) dalle frane superficiali del 30 aprile 2006, ma anche dalla presumibile passata evoluzione della cornice di lava fratturata e dalle sue tendenze evolutive attuali.

With the adopted method, a satisfactory representation of the ground surface also underneath the canopy cover was achieved, contrarily to what was obtained by the existing aerophotogrammetric maps.

For this reason, after having attempted several analyses of the comparisons among the new DTM (Fig. 6) and the topographic-aerophotogrammetric DTMs (Fig. 7), it was decided to reconstruct a possible pre-landslides DTM, based on the new post-landslides DTM and the observed thicknesses of the sliding-avalanche zones. Due primarily to the thinness of the landslides in these zones, it was considered that the subjectiveness of such a reconstruction of the pre-landslides terrain introduced much lesser errors than those that would have been introduced by any pre-existing representation, largely affected by the canopy cover.

During the reconstruction it was possible, based also on the field surveys, to interpret qualitatively and quantitatively some of the features of the landslides, as well as of the part of the slope where they originated (Fig. 2, Fig. 5, Fig. 8, Fig. 11). The most interesting results are constituted by the estimate of the depleted thicknesses (Fig. 8) and volumes (in the following) of the shallow April 2006 landslides, but also by the presumable past and current landslide-related evolution of the fractured lava cliff.

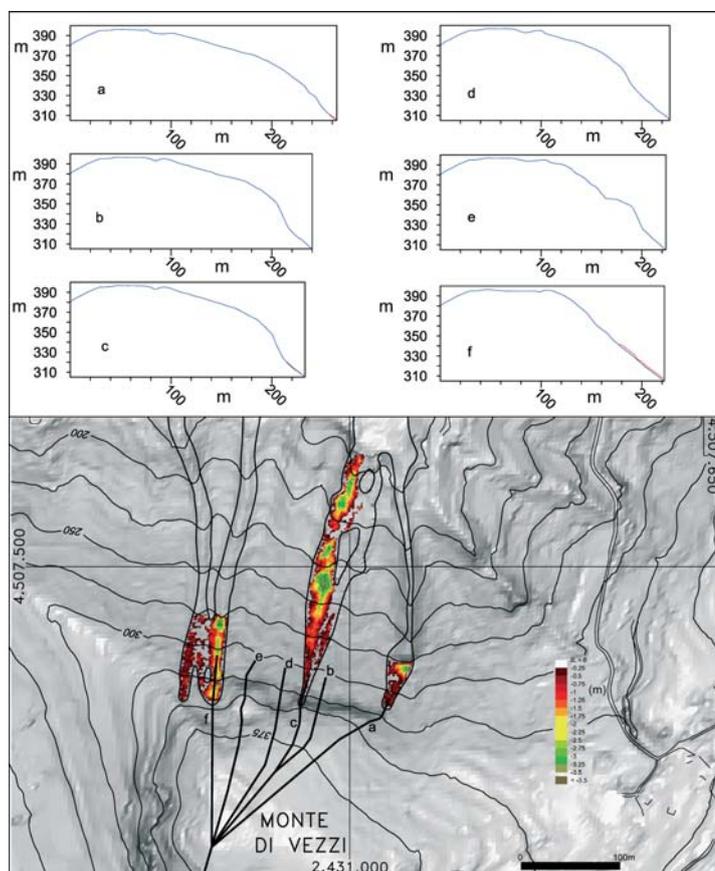


Fig. 8 - Sopra: sezioni topografiche della sommità del M.Vezzi; nelle sezioni a, c ed f si riporta in rosso la presunta superficie topografica pre-frane. Sotto: presumibili spessori (v. testo) delle principali zone di denudazione delle frane del 30 aprile 2006 e tracce delle sezioni (legenda dei colori in basso a destra, in metri)
 - Top: cross-sections of the top part of M.Vezzi; in cross-sections a, c, and f, the presumed pre-landslides ground surface is shown in red. Bottom: presumable thicknesses (see text) of the main depletion zones of the April 30th, 2006, landslides and cross-section traces (color legend at bottom-right, in meters)

Le frane n. 2, 4 e 5 si sono incanalate poche decine di metri a valle dei loro coronamenti, ed hanno denudato modesti volumi nei valloni. In particolare, le frane n. 4 e 5 hanno percorso le strade asfaltate che risalivano i valloni stessi, fino alle quote di 180-220 m s.l.m..

La frana n. 3, di converso, ha percorso come valanga di detrito, non incanalata, quasi tutta la distanza fino alla depressione dov'era la casa che è stata distrutta. Lungo il percorso ha eroso ed incorporato alcuni metri di spessore di sedimenti da flusso piroclastico (prevalentemente pomici) che si rinvengono nella parte bassa del versante.

L'integrazione numerica degli differenze di quota altimetrica tra i due DTM, nelle aree di più significativa denudazione (le zone colorate in Fig. 8), ha fornito i seguenti volumi denudati in tali aree:

- circa 520 m³ per l'area di denudazione della frana n. 2;
- circa 4970 m³ per l'area di denudazione della frana n. 3;
- circa 2285 m³ per le aree di denudazione delle frane n. 4 e n. 5.

Riguardo la cornice, essa mostra evidenti tracce morfologiche, ai suoi margini orientale ed occidentale, di antiche frane di scivolamento rototraslativo di roccia, presumibilmente avvenute dopo lunghe fasi di deformazione – fratturazione analoghe a quella che sta subendo al giorno d'oggi la sua parte centrale-occidentale (Fig. 8, sez "e"). Si presume che questi fenomeni siano stati e siano governati dall'appoggio delle lave, a comportamento fragile, sulle scorie vulcaniche sottostanti, a comportamento più duttile (CANCELLI *et alii*, 1987; GUIDA *et alii*, 1995).

ZONAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLO SCIVOLAMENTO

Basandosi sul metodo S.L.I.D.E. (PERRIELLO ZAMPELLI, 2007) si è determinata la suscettibilità (pre 30 aprile 2006) allo scivolamento della copertura di suoli vulcanici del versante settentrionale del M. Vezzi. Una prima carta (Fig. 9, sinistra) rappresenta la suscettibilità allo scivolamento sulla base del metodo e dei dati disponibili prima del 30 aprile 2006. Per esempio, come base per la costruzione del relativo DTM (grid 5x5 m, con pendenza e curvatura continue), è stato deciso di utilizzare la carta topografica 1:5.000 del 1998, dato che essa rappresenta parte della cartografia tecnica ufficiale della Regione Campania. Per quanto riguarda la discontinuità nella copertura di suoli vulcanici rappresentata dalla cornice di lava, è stato scelto di utilizzarne il limite così come rilevato sul campo, a causa del fatto che i relativi limiti riportati su detta carta erano incerti. Una seconda carta (Fig. 9, destra) rappresenta la suscettibilità allo scivolamento basata sul DTM ricostruito per rappresentare la morfologia preesistente le frane, calcolato anch'esso su una grid di 5x5 m, con pendenze e curvature continue; le discontinuità nella copertura sono state considerate le stesse del caso precedente.

Nel caso della geomorfologia vulcanica dell'isola d'Ischia, le classi di suscettibilità allo scivolamento della copertura di suolo vulcanico che sono state identificate sono:

- rosso: pendenza > 100% per copertura continua;
- blu: pendenza > 70% per coperture entro 10 m da discontinuità;

Landslides no. 2, 4, and 5 became channelled few tens of meters downhill from their crowns, and depleted modest volumes in the gullies. In particular, landslides no. 4 and 5 flowed along the paved roads that were at the bottom of the gullies, down to 180-220 m a.s.l..

Landslide no. 3, on the contrary, descended as an unchannelled debris avalanche almost all the distance to the depression where the house was destroyed. Along its path, it has eroded and incorporated several meters of thickness of flow sediments (mainly pumices) that are present on the lower part of the slope.

Numerical integration of the differences in elevation between the two DTMs over the areas of most significant depletion (the colored zones in Fig. 8), provided the depleted volumes in such areas:

- about 520 m³ for the depleted area of landslide no. 2;
- about 4970 m³ for the depleted area of landslide no. 3;
- about 2285 m³ for the depleted area of landslides no. 4 e no. 5.

As for the lava cliff, it shows evident morphological traces of old rock roto-translational slides at its eastern and western margins, presumably occurred after long phases of deformation-fracturing, similar to those observable today in its central-western part (Fig. 8, cr. sect. "e"). It is believed that such phenomena were and are governed by the load that the brittle lavas exert upon the underlying volcanic scoriae, that display a more ductile behaviour (CANCELLI *et alii*, 1987; GUIDA *et alii*, 1995).

SLIDING SUSCEPTIBILITY MAPPING

Based on the S.L.I.D.E. method (PERRIELLO ZAMPELLI, 2007), sliding susceptibility maps of the volcanic soil cover of the northern slope of M. Vezzi, prior to the April landslides, have been constructed. A first map (Fig. 9, left side) represents the sliding susceptibility based on the method and the available data before the April 30th landslides. For example, as base for the construction of the DTM (5x5 m grid, with continuous slope and curvature), it was decided to use the 1998 1:5.000 topographic map, as it is represents the official technical map of the Campania Region. Regarding the discontinuity in the soil cover represented by the lava cliff, it was decided to use the limit actually surveyed in the field, due to the fact that the limits depicted on the map itself were uncertain. A second map (Fig. 9, right side) represents the sliding susceptibility based on the reconstructed pre-landslides DTM, also calculated on a 5x5 m grid with continuous slope and curvature; the discontinuities in the soil cover have been considered the same as in the previous case.

Based on the volcanic geomorphology of the Ischia island, the volcanic soil sliding susceptibility classes that were identified are:

- red: slope > 100% for soils with no discontinuities;
- blue: slope > 70% for soils within 10 m from discontinuities;
- magenta: slope > 83.9% for soils having surface curvatures > 6.52% (tan tan 75°).

The union of the three classes can represent a satisfactory esti-

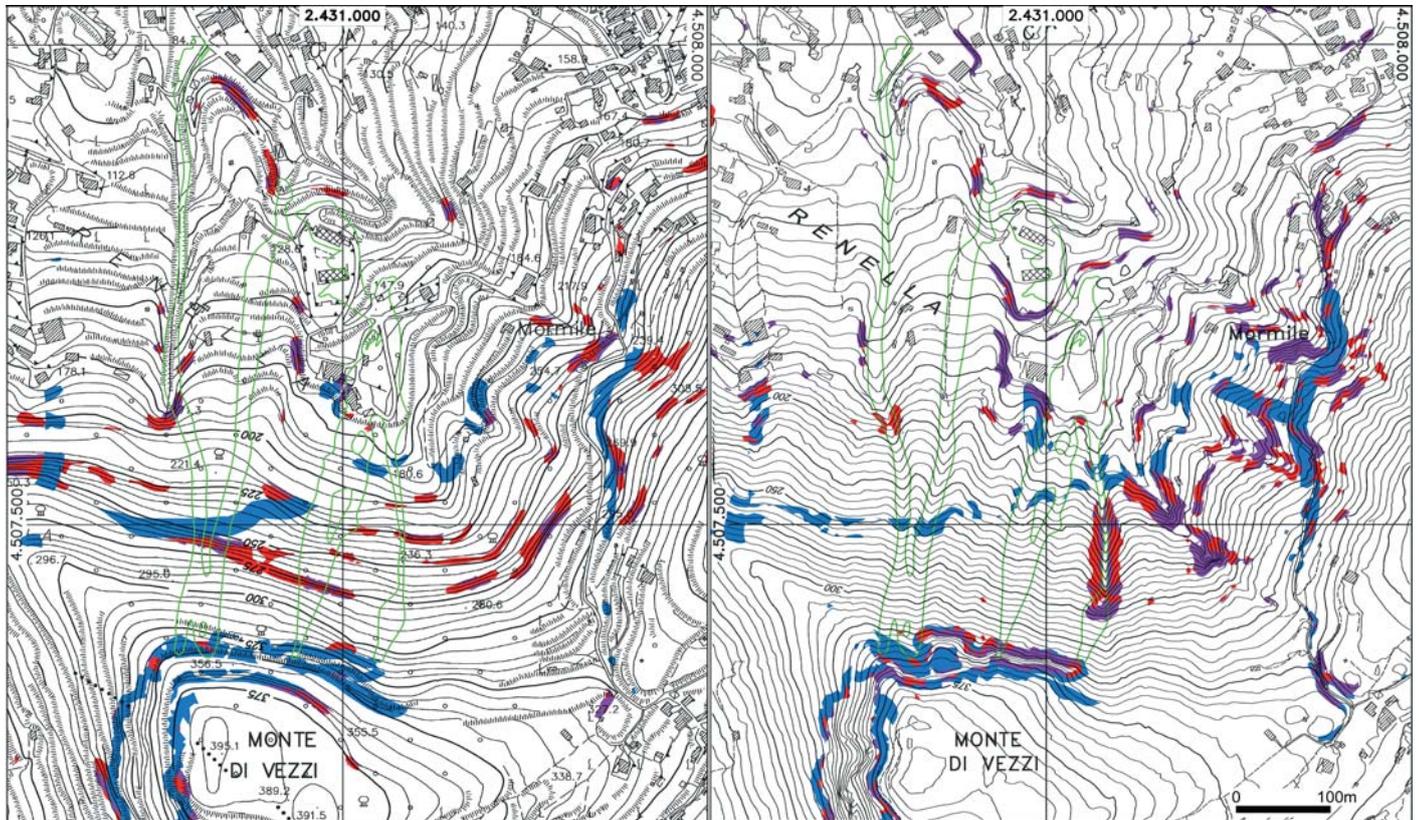


Fig. 9 - Carte della suscettibilità allo scivolamento della coltre di suolo vulcanico dell'area del versante settentrionale del M.Vezzi prima del 30 aprile 2006: sinistra) sulla base della cartografia 1:5.000 del 1998; destra) sulla base della carta topografica derivata dal DTM ottenuto dalla cartografia 1:2.000 del 1998-2000, combinata a rilievo diretto. LEGENDA: rosso aree suscettibili per pendenza > 100% su copertura continua; blu) aree suscettibili per pendenza > 70% su coperture entro 10 m da discontinuità; viola) aree suscettibili per pendenza > 83,9% su coperture aventi curvatura > 6,52% ($\tan \tan 75^\circ$)
 - Volcanic soil sliding susceptibility maps of the pre-April 30th, 2006, northern slope of M.Vezzi area: left) based on the 1998 1:5.000 topographic map; right) based on a topographic map derived from the DTM obtained from a 1998-2000 1:2.000 topographic map, combined with direct survey. LEGEND: red) susceptibility due to slope > 100% for soils with no discontinuities; blue) susceptibility due to slope > 70% for soils within 10 m from discontinuities; magenta) susceptibility due to slope > 83.9% for soils having surface curvatures > 6.52% ($\tan \tan 75^\circ$)

- viola: pendenza > 83,9% per coperture aventi curvatura > 6,52% ($\tan \tan 75^\circ$).

L'unione delle tre classi può rappresentare una stima soddisfacente della suscettibilità allo scivolamento della copertura di suolo vulcanico del versante settentrionale del M.Vezzi, visto che tutte e quattro le aree di coronamento delle frane ricadono, in entrambi i casi, entro zone suscettibili. La stima è da considerarsi comunque conservativa, atteso che le aree suscettibili determinate sovrastimano quelle effettivamente interessate dagli scivolamenti iniziali delle frane del 30 aprile.

Le prime due classi di suscettibilità allo scivolamento presentano entrambe un incremento di 5° rispetto alla formulazione originaria del metodo SL.I.DE. (rev. 0; PERRIELLO ZAMPELLI, 2007), a causa delle differenze di tipo sia geomorfologico che geo-pedologico rispetto ai rilievi carbonatici. La terza classe è il risultato di un'evoluzione della rev. 0 del metodo. A causa del fatto che le discontinuità nella copertura non sono facilmente ed univocamente rilevabili, particolarmente nelle analisi preliminari, è apparso conveniente iden-

mate of the sliding susceptibility of the volcanic soil cover of the M.Vezzi northern slope, as the crown areas of the four landslides all fall within the susceptible zones, in both cases. Such estimate is to be considered, however, conservative, as the susceptible areas overestimate those actually interested by the April 30th landslides.

The first two sliding susceptibility classes both present a slope angle increase of 5° with respect to the original form of the SL.I.DE. method (rev. 0; PERRIELLO ZAMPELLI, 2007), to account for the different geomorphological setting and volcanic soils with respect to carbonate reliefs. The last class is the result of an evolution of the rev. 0 method. Due to the fact that discontinuities in the soil cover are not easily and univocally detectable, particularly in preliminary analyses, it appeared very convenient to identify the areas where they are most likely to appear by means of an analysis of the curvature of the topographic surface (second derivative of the slope angle). In this way both concavities and convexities can be detected (Fig. 10): the convexities can pinpoint the possible crests of discontinuities, while the concavities their

tificare le aree dove è più probabile che esse siano presenti per mezzo di un'analisi della curvatura della superficie topografica (derivata seconda dell'angolo del pendio). In questo modo, sia le concavità che le convessità possono essere rilevate (Fig. 10): le convessità possono indicare le possibili creste di discontinuità, mentre le concavità le loro basi. Tra l'altro, le concavità possono corrispondere agli "hollows" segnalati da MONTGOMERY & DIETRICH (1994), importanti nell'ambito della suscettibilità allo scivolamento anche quando non vi sono discontinuità. Questa osservazione rafforza l'inclusione degli aspetti legati alla curvatura nell'approccio con il metodo SL.I.DE. al problema della suscettibilità allo scivolamento dei suoli vulcanici.

La revisione 1 del metodo SL.I.DE. viene quindi introdotta con il presente lavoro; essa include una terza classe di suscettibilità, basata su un valore soglia di pendenza laddove la curvatura della copertura di suoli vulcanici supera un valore soglia. I valori di pendenza e curvatura presentati qui per questa ulteriore classe sono certamente differenti da quelli che sono sotto sperimentazione nelle valutazioni di suscettibilità allo scivolamento su rilievi carbonatici, a causa del differente assetto morfostrutturale e dei differenti suoli vulcanici.

Mentre nel caso del DTM derivato dalla cartografia ufficiale del

bases. By the way, concavities may also correspond to the "hollows" signalled by MONTGOMERY & DIETRICH (1994), important for sliding susceptibility also where there are no discontinuities. This observation strengthens the inclusion of the curvature aspects into the SL.I.DE. method approach to the volcanic soil sliding susceptibility problem.

The revision 1 of the SL.I.DE. method is therefore introduced in this paper; it includes a third susceptibility class, based on a threshold value of slope gradient where the volcanic soil cover's curvature exceeds a threshold value. For such class, the values presented herein are certainly different from those that are under experimentation in sliding susceptibility assessments on carbonate reliefs, due to their different morphostructures and soil covers.

While in the case of the DTM derived from the 1998 official topographic map (Fig. 10, left side) the addition of this further class brings modest enhancements to the sliding susceptibility map (Fig. 9, left side), due to the supposed smoothness of the ground surface (actually, of the top of its canopy cover), in the case of the new DTM the enhancements are evident (Fig. 9, right side; Fig. 10, right side), due to the better detail of the representation of the

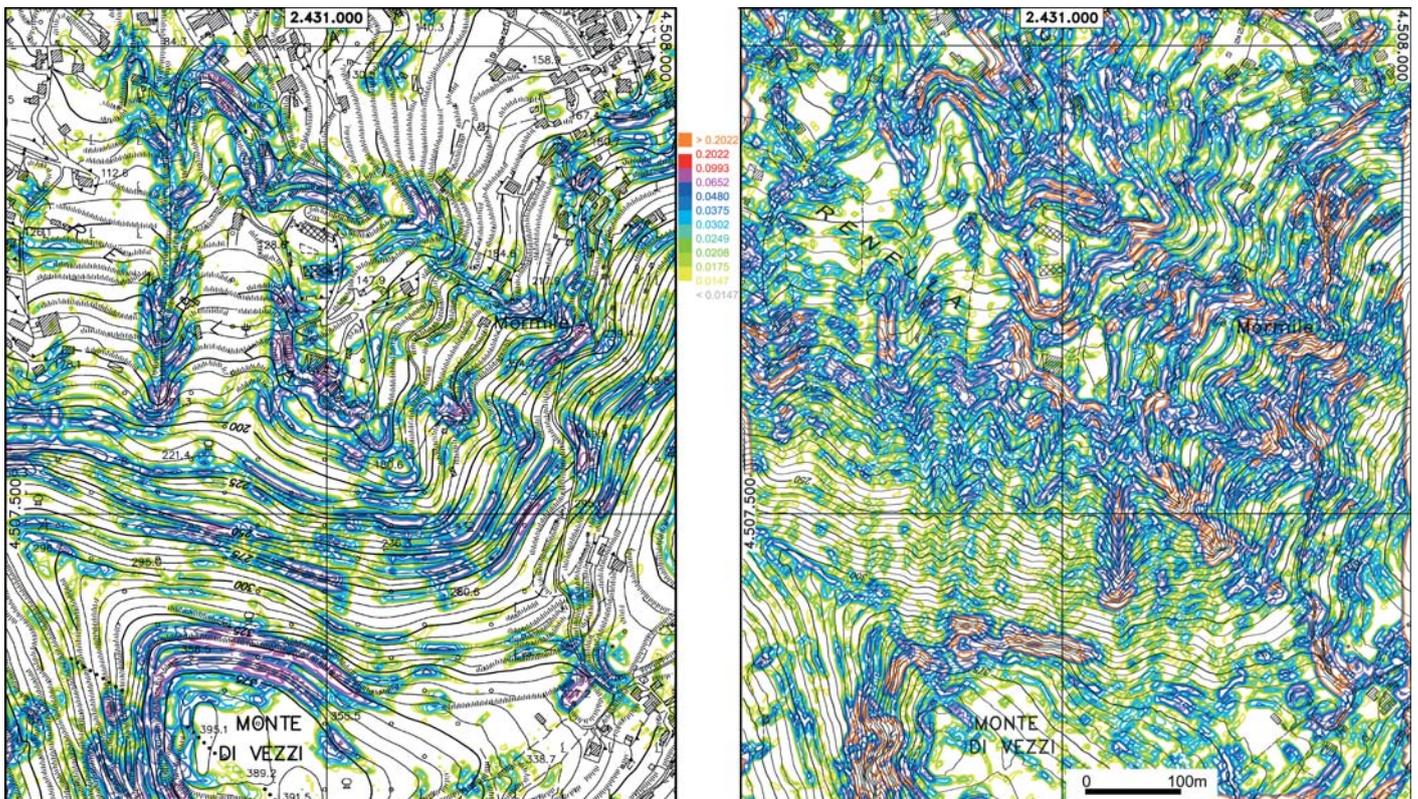


Fig. 10 - Carte della curvatura della superficie topografica del versante settentrionale di M.Vezzi: sinistra) su DTM derivato da cartografia 1:5.000 del 1998; destra) su DTM derivato da cartografia 1:2.000 del 1998-2000, combinata a rilievo diretto. La scala cromatica esprime la curvatura del pendio nei termini del valore assoluto della tangente della tangente dell'angolo d'inclinazione. N.B.: la scala delle curvature è la stessa per le due parti della figura.

- Ground surface curvature maps of M.Vezzi northern slope: left) on a 1998 1:5.000 topographic map-derived DTM; right) on a DTM derived from 1998-2000 1:2.000 topographic map, combined with direct survey. The color scale expresses the slope curvature by means of the absolute value of the tangent of its angle. N.B. the scale for curvatures is the same for both parts of the figure

1998 (Fig. 10, sinistra) l'aggiunta di questa ulteriore classe apporta solo un modesto contributo alla corrispondente suscettibilità allo scivolamento (Fig. 9, sinistra), a causa della presunta regolarità della superficie topografica (in realtà, della sommità della copertura arborea), nel caso del nuovo DTM il contributo è evidente (Fig. 9, destra; Fig. 10, destra), a causa del maggior dettaglio della rappresentazione della superficie topografica e delle sue variazioni di pendenza.

CONCLUSIONI

Gli scivolamenti - valanghe - colate di detrito vulcanico avvenuti a Ischia il 30 aprile 2006 rappresentano un ulteriore esempio di un tipo di frane che minaccia una parte considerevole e densamente abitata della Campania (Fig. 1). Si ritiene che un significativo contributo verso la riduzione della pericolosità spaziale derivante da tali frane e, conseguentemente, dell'associato rischio, potrebbe essere apportato da analisi *a priori*, mediante il metodo S.L.I.D.E., della suscettibilità allo scivolamento delle coperture di suoli vulcanici discontinui, laddove queste presentano angoli di pendio superiori a 30°-35°.

Si ritiene che un contributo molto significativo all'efficacia del metodo possa essere apportato dai possibili miglioramenti nella rappresentazione della superficie topografica derivanti dall'utilizzo di DTM ottenuti per mezzo di rilievi GPS e di tecniche di fotogrammetria digitale terrestre ed aerea ed anche, in prospettiva, particolarmente laddove sono presenti fitte coperture arboree, di rilievo ed analisi di dati Lidar ALTM (Light Detection And Ranging Airborne Laser Terrain Mapper). Il metodo e tali tecniche potrebbero essere utilizzati prioritariamente nelle aree della Campania che dimostrano sia alta suscettibilità allo scivolamento delle coperture di suoli vulcanici sui versanti, sia alta vulnerabilità a valle. Questo nella prospettiva anche di possibili interventi di stabilizzazione "attiva" sui versanti, locali e mirati. Si spera che il presente lavoro possa portare un contributo in questo senso.

RINGRAZIAMENTI

Gli scriventi ringraziano l'Autorità di Bacino Nord Occidentale della Regione Campania, il CISI e l'EVI di Ischia, per aver messo a disposizione i propri dati aerofotogrammetrici e cartografici; il Centro Universitario Grandi Rischi Idrogeologici (CUGRI) ed il Centro Regionale di Competenza INNOVA, per aver messo a disposizione proprie apparecchiature; inoltre, la Lambda Srl di Pozzuoli (NA), per la collaborazione offerta nelle analisi GIS.

OPERE CITATE/REFERENCES

- ASCIONE A., CINQUE A., FRANZA A. & ROMANO P. – *Il ruolo dei fattori geomorfologici nell'innesco e propagazione delle frane del 30 aprile 2006 sul Monte Vezzi (Ischia, Italia)*. Questo volume.
- AUTORITÀ DI BACINO NORD OCCIDENTALE DELLA CAMPANIA (2002) – *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico*. Regione Campania, Napoli.
- BASILE A., MELE G. & TERRIBILE F. (2003) – *Soil hydraulic behaviour of a selected benchmark soil involved in the landslide of Sarno 1998*. *Geoderma*, **2026**: 1-20.
- BILOTTA E., CASCINI L., FORESTA V. & SORBINO G. (2005) – *Geotechnical characterisation of pyroclastic soils involved in huge flowslides*. *Geotech. & Geol. Engineering*, **23**: 365-402.
- BUDETTA P. & DE RISO R. (2004) – *The mobility of some debris flows in pyroclastic deposits of the northwestern Campanian region (southern Italy)*. *Bull. Eng. Geol.*

ground surface and of its slope variations.

CONCLUSIONS

The Ischia volcanic debris slides – debris avalanches – debris flows of April 30th, 2006, represent a further example of a type of landslides that threatens a considerable, densely populated part of Campania (Fig. 1). It is believed that a significant contribution to the reduction of the spatial hazard deriving from such landslides, and therefore of the associated risk, could be brought by *a priori* S.L.I.D.E. method analyses of the sliding susceptibility of volcanic soil covers, where they display slope angles in excess of 30°-35°.

It is believed that a significant contribution to the method's effectiveness could be brought by possible enhancements to the representation of the ground surface, that could derive from the use of DTMs obtained by means of GPS surveys and of digital, ground-based and aerial photogrammetric techniques and, respectively, especially where dense canopy covers are present, from Lidar ALTM (Light Detection And Ranging Airborne Laser Terrain Mapper) scans and analyses. The method and such techniques could be first applied in those areas of Campania that display both a potentially high volcanic soil cover sliding susceptibility on the slopes and high vulnerability downwards. This in light also of a possible "active", local and targeted stabilization management of the slopes.

It is hoped that this paper brings a contribution in this direction.

ACKNOWLEDGEMENTS

The writers are thankful to the Autorità di Bacino Nord Occidentale della Regione Campania and to the CISI and EVI of Ischia, for the availability of their aerophotogrammetric and cartographic data; to the Centro Universitario Grandi Rischi Idrogeologici (CUGRI) and to the Centro Regionale di Competenza INNOVA, for the availability of hardware and software; finally, to Lambda Srl of Pozzuoli (NA), for the cooperation in the GIS analyses.

- Environ., **63**: 293-302.
- CALCATERRA D., DE RISO R., EVANGELISTA A., NICOTERA M.V., SANTO A. & SCOTTO DI SANTOLO A. (2003) – *Slope instabilities in the pyroclastic deposits of the Phlegrean district and the carbonate Apennine (Campania, Italy)*. In: Picarelli L. (ed.) – Int. Conf. Fast Slope Mov., pp 63-70, May 2003 Naples, Italy, Patron Editore, Bologna.
- CANCELLI A., PELLEGRINI M. & TOSATTI G. (1987) – *Alcuni esempi di deformazioni gravitative profonde di versante nell'Appennino settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., **39**: 447-466.
- CELICO, P., GUADAGNO F.M., & VALLARIO A. (1986) – *Proposta di un modello interpretativo per lo studio delle frane nei terreni piroclastici*. Geol. Appl. e Idrog., **22**: 73-193.
- CROSTA G.B. & DAL NEGRO P. (2003) – *Observations and modelling of soil slip-debris flow initiation processes in pyroclastic deposits: the Sarno 1998 event*. Natural Hazards & Earth Sys. Sc., **3**: 53-69.
- CROSTA G.B. & FRATTINI P. (2003) – *Distributed modelling of shallow landslides triggered by intense rainfall*. Natural Hazards & Earth Sys. Sc., **3**: 81-93.
- CRUDEN D.M. & VARNES, D.J., (1996) *Landslide Types and Processes*. In: Turner A.K., Schuster R.L. (eds.) – *Landslides: Investigation and Mitigation*, Transp. Res. Board Spec. Rep. 247, pp 36-75, National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., USA.
- DEL PRETE S. & MELE R. (2006) – *Il contributo delle informazioni storiche per la valutazione della propensione al dissesto nell'Isola d'Ischia (Campania)*. Rend. Soc. Geol. It., **2 N.S.**: 29-47.
- DE RISO R., BUDETTA P., CALCATERRA D. & SANTO A., (1999) – *Le colate rapide in terreni piroclastici del territorio campano*. Proc. Conf. Prevenz. e previs. di mov. franosi rapidi, pp 133-150, Trento. Ass. Georisorse e Ambiente (GEAM), Torino.
- DE VITA P., DI CLEMENTE E., ROLANDI M. & CELICO P. – *Modelli geologico-tecnici nelle aree di innesco delle frane del 30 aprile 2006 del Monte di Vezzi (Ischia)*. Questo volume.
- DI CRESCENZO G. & SANTO A. (2005) – *Debris slides–rapid earth flows in the carbonate massifs of the Campania region (Southern Italy): morphological and morphometric data for evaluating triggering susceptibility*. Geomorphology, **66**: 255-276.
- DI NOCERA S., MATANO F., ROLANDI G. & ROLANDI M. – *Contributo sugli aspetti geologici e vulcanologici di M.te Vezzi (Ischia)*; questo volume.
- ECKERSLEY, J.D. (1990) – *Instrumented Laboratory Flowslides*. Geotechnique, **40**(3): 489-502.
- ELLEN S.D. & FLEMING R.W. (1987) *Mobilization of Debris Flows from Soil Slips, San Francisco Bay Region, California*. In: Costa J.E., Wieczorek G.F. (eds) – *Debris Flows/Avalanches: Process, Recognition, and Mitigation*. Reviews in Engineering Geology, **7**, pp 31-40, Geol Soc of America, Boulder CO, USA.
- FIORILLO F. & WILSON R.C. (2004) – *Rainfall induced debris flows in pyroclastic deposits, Campania (southern Italy)*. Engineering Geology, **75**: 263-289.
- Fleming, R.W., Ellen, S.D. & Aligus, M.A. (1989) – *Transformation of dilatative and contractive landslide debris into debris flows: an example from Marine County, California*. Engineering Geology, **27**: 201-223.
- FLEMING, R.W. AND JOHNSON A.M. (1994) – *Landslides in Colluvium*. U.S. Geological Survey Bulletin 2059-B.
- FRATTINI P., CROSTA G.B., FUSI N., DAL NEGRO P., (2004) *Shallow landslides in pyroclastic soils: a distributed modelling approach for hazard assessment*, Engineering Geology, **73**: 277-295.
- GUADAGNO F.M. & PERRIELLO ZAMPELLI S. (2000) – *Triggering Mechanisms of the Landslides that Inundated Sarno, Quindici, Siano and Bracigliano (S. Italy) on May 5-6, 1998*. In: Bromhead E., Dixon N. & Ibsen M.L. (eds.) – *Landslides in Research, Theory and Practice*, Proc. 8th Int. Symp. on Landslides, Cardiff (U.K.), **2**, pp. 671-676, Thomas Telford, London, UK.
- GUADAGNO F.M., MARTINO S. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (2003) – *Influence of man-made cuts on the stability of pyroclastic (Campania, southern Italy): a numerical modelling approach*. Environmental Geology, **43**: 371-384.
- GUADAGNO F.M., FORTE R., REVELLINO P., FIORILLO & FOCARETA M. (2005) – *Some aspects of the initiation of debris avalanches in the Campania Region: the role of morphological slope discontinuities and the development of failure*. Geomorphology, **66**: 237-254.
- GUIDA M., PERRIELLO ZAMPELLI S. & VALLARIO A. (1995) – *Modellazione al tavolo ad attrito di base di deformazioni gravitative di versante in alcune morfosturture tipo*. Mem. Soc. Geol. It., **50**: 165-178.
- HUNGR O., EVANS S.G., BOVIS M.J. & HUTCHINSON J.N. (2001) – *A Review of the Classification of Landslides of the Flow Type*. Environ. & Eng. Geoscience, **VII** (3): 221-238.
- IVERSON R.M. (2000) – *Landslide triggering by rain infiltration*. Water Resources Research, **36**(7): 1897-1910.
- MAZZARELLA A. & DE LUISE E. – *L'evento meteorico del 30 Aprile 2006 ad Ischia*. Questo volume.
- MONTGOMERY D.R. & DIETRICH W.E. (1994) – *A physically based model for the topographic control on shallow landsliding*. Water Resources Research, **30**: 1153-1171.
- MONTGOMERY D.R., DIETRICH W.E. & HEFFNER J.T. (2002) – *Piezometric response in shallow bedrock at CB1: Implications for runoff generation and landsliding*. Water Resources Research, **38**(12): 1274-1292.
- OLIVARES L. & PICARELLI L. (2001) – *Susceptivity of Loose Pyroclastic Soils to Static Liquefaction: some preliminary data*. Proc. Int Conf Landslides: Causes, Impacts and Countermeasures, pp 75-86 Davos, Switzerland.
- OLIVARES L. & PICARELLI L. (2003) – *Shallow flowslides triggered by intense rainfalls on natural slopes covered by loose unsaturated pyroclastic soils*.

THE APRIL 30TH, 2006, MT.VEZZI LANDSLIDES (ISCHIA ISLAND, ITALY) IN THE CONTEXT OF THE SLIDING SUSCEPTIBILITY OF VOLCANIC SOILS IN CAMPANIA

- Géotechnique, **53** (2): 283-287.
- PERRIELLO ZAMPELLI S. (2007) – *Sulla possibilità di determinazione della suscettibilità allo scivolamento di suoli piroclastici in Campania*. In: La mitigazione del rischio da colate di fango a Sarno e negli altri Comuni colpiti dagli eventi del maggio 1998, Commissariato di Governo per la Emergenza Idrogeologica in Campania editore, Napoli: 373-383.
- REVELLINO P., HUNGR O., GUADAGNO F.M. & EVANS S.G. (2004) – Velocity and runout simulation of destructive debris flows and debris avalanches in pyroclastic deposits, Campania Region, Italy. *Environmental Geology*, **45**: 295-311.
- SOETERS R. & VAN WESTEN C.J. (1996) – *Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation*. In: Turner AK , Schuster RL (eds.) *Landslides: Investigation and Mitigation*, Transp. Res. Board Spec. Rep. 247, pp 129-176, National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., USA.
- TORRES R., MONTGOMERY D.R., DIETRICH W.E., ANDERSON S.P. & LOAGUE K. (1998) – *Unsaturated zone processes and the hydrologic response of a steep, unchanneled catchment*. *Water Resources Research*, **34**(8): 1865–1879.
- VARNES D.J. (1984) – *Landslide Hazard Zonation: a Review of Principles and Practice*. Unesco Press, Paris, France.
- VEZZOLI L. (1988, Ed.) – *Island of Ischia*. Quaderni de *La Ricerca Scientifica*, **114** (Mon. 10), P.F. “Geodinamica”, C.N.R., Roma.
- VINGIANI S. & TERRIBILE F. – *I suoli delle nicchie di distacco delle frane d'Ischia*. In this issue.

Received October 2006 - Accepted February 2007

