

GIUSEPPE DI CRESCENZO (\*) & ANTONIO SANTO (\*\*)

## ANALISI GEOMORFOLOGICA DELLE FRANE DA SCORRIMENTO-COLATA RAPIDA IN DEPOSITI PIROCLASTICI DELLA PENISOLA SORRENTINA (CAMPANIA)

**ABSTRACT:** DI CRESCENZO G. & SANTO A., *Geomorphological analysis of the rapid earth flows in the pyroclastic deposits of the Surrentine Peninsula (Campania, Italy)*. (IT ISSN 0391-9838, 1999).

The main aim of this paper is to focus the role of the geomorphological and stratigraphical analysis in the study of rapid earth flows which interest pyroclastic deposits. The geomorphological and stratigraphical analysis of the main rapid earth flows which took place in Surrentine Peninsula during January 1997, together with the collection of historical data of ancient landslides and the stratigraphical identification of paleolandslides along the main slopes of the area, let us to collect some important observations. First of all, on the basis of their morphology, two main kinds of rapid earth flows have been distinguished: «canalized» and «uncanalized». The first one, being the most fluid and having the highest velocity, shows the biggest hazard. The stratigraphical analysis of pyroclastic deposits in the sliding portion of the main slide-rapid earth flows has shown that significant pumiceous levels are always present at the base, or within, the sliding plane. These levels play an important role both as sliding plane and for their water content.

The geomorphological analysis of the main slopes interested by these landslides has pointed out that the difference of level between the top and the foot of the slope and the dip of the slope are proportional to the invasion capacity of the landslide body. The same relationship exists between the thickness of the pumiceous levels and the invasion capacity.

The collection of the data of the dip of the «crown zone» and of the «sliding zone» of 15 rapid earth flows show that a 30° degree value seems to be a good threshold value in the delimitation of the area that could be potentially instable.

All these data are fundamental data both for the mapping of the «hazard zones» and for the modelling of the mechanism of slope failure.

**KEY WORDS:** Landslides, Rapid earth flow, Geomorphology, Surrentine Peninsula, Southern Apennines.

**RIASSUNTO:** DI CRESCENZO G. & SANTO A., *Analisi geomorfologica delle frane da scorrimento-colata rapida in depositi piroclastici della Penisola Sorrentina (Campania)*. (IT ISSN 0391-9838, 1999).

Successivamente all'evento meteorico che ha colpito la Penisola Sorrentina nel Gennaio 1997, sono stati raccolti numerosi dati stratigrafici e

geomorfologici dei versanti interessati dalle principali frane da scorrimento-colata rapida in depositi piroclastici. In particolare è stato possibile osservare che tutte le frane hanno presentato una prima fase di innesco, caratterizzata da nicchie di limitate dimensioni e spesso agevolata da fattori antropici, a cui ha fatto seguito una seconda fase di scorrimento planare e di amplificazione del fenomeno.

Quest'ultima è risultata fortemente condizionata dall'assetto stratigrafico delle coperture piroclastiche e, più precisamente, dalla presenza di estesi livelli di pomici. Lo studio geomorfologico, condotto anche su frane storiche, ha permesso di individuare due principali tipologie di frana per scorrimento-colata rapida: «incanalate» e «non incanalate». L'analisi geomorfologica ha consentito di osservare che frane di piccole dimensioni che si innescano su settori di versante con acclività >35° (zona di nicchia), si amplificano notevolmente quando coinvolgono, verso il basso, porzioni regolari di versante aventi in genere acclività comprese tra 30° e 35° (zona di scorrimento). È stato osservato inoltre che esiste una stretta relazione fra lunghezza della zona di invasione del cumulo (da un lato) e dislivello misurato tra la nicchia e prima rottura di pendenza alla base del versante (dall'altro).

È stato evidenziato inoltre che su alcuni versanti, negli ultimi decenni, i dissesti si sono ripetuti più volte.

**TERMINI CHIAVE:** Frane, Colate rapide di terra, Geomorfologia, Penisola Sorrentina, Appennino meridionale.

### PREMESSA

I massicci carbonatici della Penisola Sorrentina e del settore occidentale dei monti Irpini, per la loro vicinanza ai centri vulcanici del Vesuvio e dei Campi Flegrei definiscono un contesto geologico-geomorfologico particolare dell'Appennino meridionale, caratterizzato da ripidi versanti su cui poggiano, in precario equilibrio, alcuni metri di depositi piroclastici (tav. 1). La deposizione delle vulcanoclastiti, avvenuta nel corso del tardo Pleistocene e nell'Olocene, ha condizionato lo sviluppo della vegetazione, della circolazione idrica superficiale e sotterranea e soprattutto la stabilità dei versanti. Esse tendono infatti ad essere erose per effetto del dilavamento indotto dalle acque di ruscellamento e, periodicamente, a seguito di improvvise frane.

(\*) *Geologo Collaboratore esterno.*

(\*\*) *Dipartimento di Ingegneria Geotecnica (Sezione di Geologia Applicata), Università di Napoli «Federico II».*

*Lavoro stampato con fondi MURST ex 40% (PRIN). Resp. locale Prof. R. De Riso.*

Tali dissesti, caratterizzati da assenza di segni premonitori e da elevata velocità, hanno provocato negli ultimi anni numerose vittime e ingenti danni e sono stati, non a caso, già oggetto di numerosi studi (Lazzari, 1954; Penta & alii, 1954; Civita & alii, 1975; de Riso & Nota D'Elogio, 1973; Guida & alii, 1974; Guadagno & alii, 1988; Guadagno & alii, 1998; Guida & alii, 1986; Celico & alii, 1986; Guadagno, 1991).

L'evento del Gennaio 1997 riproponendo fenomeni spesso analoghi a quelli già segnalati nei decenni precedenti, ha dato lo spunto per una prima analisi dei fattori in gioco (Budetta & alii, 1994; De Falco & alii, 1997; Calcaterra & alii, 1997; Calcaterra & Santo, 1998; Santo & Tucimei, 1998) e necessariamente per un indispensabile approfondimento dell'assetto stratigrafico e geomorfologico dei siti più rappresentativi.

## LE FRANE DA SCORRIMENTO-COLATA RAPIDA IN DEPOSITI PIROCLASTICI

Le frane da colata rapida in depositi piroclastici si attivano in concomitanza di intensi eventi meteorici giornalieri, soprattutto quando questi sono preceduti da prolungati periodi piovosi. Esse sono improvvise, non presentano segni premonitori, si sviluppano su versanti ad elevata pendenza e, a causa dell'elevata fluidità e dell'alta velocità, possono percorrere lunghe distanze ed avere un elevato potere distruttivo. Coinvolgono spessori limitati di terreni molto erodibili e, per tale motivo, dopo pochi anni non sono più facilmente riconoscibili.

Le frane presentano sempre una zona di primo distacco di limitate dimensioni, una seconda zona di scorrimento planare, nella quale il fenomeno si amplifica notevolmente ed infine, un'ultima zona di colata con conseguente accumulo. Sulla base di queste caratteristiche tali frane note come «colate rapide», «frane superficiali a carattere catastrofico», «debris flow», «earth flow», «mud flow» (Amanti & alii, 1996; Canuti & Esu, 1995; Caine, 1980; Guida & alii, 1986; Guadagno, 1991; Cruden & Varnes, 1996; Varnes, 1978; WP/WLI, 1993; Celico & alii, 1986; Dikau & alii, 1996) possono essere definite forse in modo più corretto, almeno per l'area campana, come frane da «scorrimento-colata rapida».

I depositi piroclastici possono ricoprire substrati diversi e pertanto è possibile diversificare le frane da scorrimento-colata rapida a seconda che si attivino in aree vulcaniche, su versanti in flysch o su versanti calcarei ad elevata pendenza.

Le frane che si sviluppano in aree vulcaniche in genere hanno modeste dimensioni (sviluppi lineari di 50-200 m) e limitati spessori (0.5-1 m) ed interessano prevalentemente la parte più superficiale ed alterata di cineriti incoerenti. Da un punto di vista tipologico si tratta di piccoli crolli, di scorrimenti traslativi e scorrimenti rotazionali che evolvono, lungo il versante, a colata rapida; i volumi mobilizzati in genere sono modesti (da 50 m<sup>3</sup> a un massimo di 1000

m<sup>3</sup>). Esse presentano sviluppi maggiori solo quando si generano su versanti ad elevata acclività (40°-60°), come nelle zone di cresta di rilievi collinari, su orli di crateri, di caldere, o sulle ripide pareti di incisioni lineari. Alcuni esempi sono dettati dalle frane che hanno coinvolto nel Gennaio 1997 l'area flegrea e napoletana in particolare la collina dei Camaldoli e i rilievi della Conca di Agnano (Calcaterra & Guarino, 1997).

Anche le frane da scorrimento-colata rapida che si sviluppano su versanti in flysch hanno in genere sviluppi lineari limitati (50-200 m) ma a differenza degli altri contesti si generano anche lungo crinali a debole acclività (25°-30°) e mobilitano spessori di materiale non trascurabili (1-4 m).

*Frane da scorrimento-colata rapida impostate su versanti calcarei:* si tratta sicuramente del gruppo di frane più importante per frequenza e pericolosità. Esse si sviluppano sempre su versanti ad elevata acclività (30°-50°), coinvolgono spessori di 0.5-4 m di piroclastiti, e presentano, rispetto a quelle precedentemente descritte, volumetrie (10.000-50.000 m<sup>3</sup>) e sviluppi lineari maggiori (200-600 m). Le nicchie di distacco hanno sempre limitate dimensioni (circa 50-200 m<sup>2</sup>) rispetto alla sottostante zona di scorrimento, dove il fenomeno franoso si amplifica notevolmente, con ampiezza che può essere 10-20 volte maggiore rispetto a quella della nicchia.

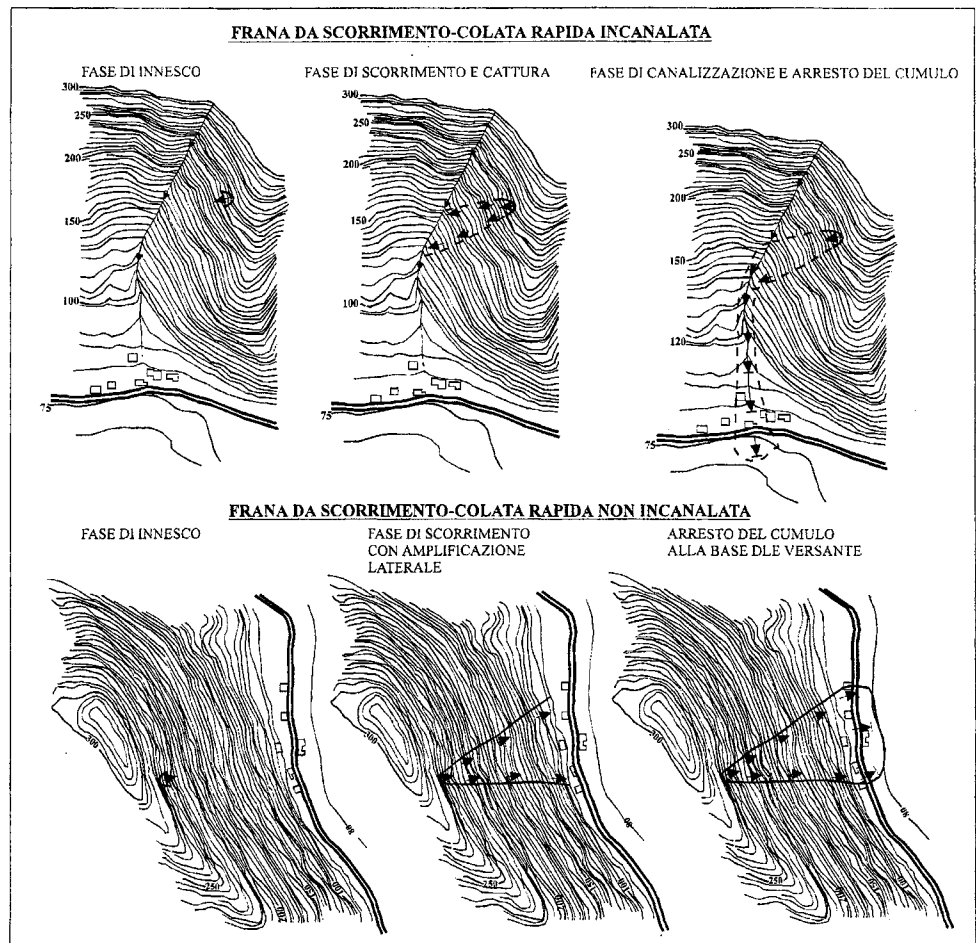
Le osservazioni geomorfologiche condotte negli ultimi anni, hanno permesso di suddividerle in due sottogruppi (fig. 1):

*Frane da scorrimento-colata incanalate:* si tratta di frane che si sviluppano su versanti incisi da piccoli impluvi. Esse, dopo un primo tratto di scorrimento su versante, si incanalano nell'impluvio trasversale percorrendolo fino a valle; morfologicamente presentano una forma stretta ed allungata in relazione alla conformazione dell'alveo. Il materiale in frana raggiunge velocità elevate (alcune decine di km/h) e distanze considerevoli come appare chiaro dai notevoli sviluppi longitudinali. Il cumulo può avanzare anche di diverse centinaia di metri oltre la rottura di pendenza posta alla base del versante e può raggiungere alti spessori (più di 10 m). Sulla base di queste considerazioni appare fuor di dubbio l'elevato potere distruttivo di queste frane che sono molto frequenti sia nella zona della Penisola Sorrentina, che dei Monti della Valle di Lauro (fig. 2a).

*Frane da scorrimento-colata rapida non incanalate:* queste frane interessano versanti regolari e privi di incisioni lineari. Una delle caratteristiche morfologiche che le distingue è che si amplificano notevolmente lungo il pendio, soprattutto verso i settori laterali, assumendo una forma subtriangolare. Il cumulo di frana si arresta alle pendici del rilievo con spessori limitati (2-4 m), ma è comunque capace di arrecare danni alle infrastrutture coinvolte. Esempi di questo tipo di frane sono quella di Gragnano del 1971, ed alcune innescatesi nella zona del Comune di Quindici nel Gennaio 1997 (fig. 2b).

FIG. 1 - Evoluzione di una frana per scorrimento-colata rapida incanalata e non incanalata.

FIG. 1 - Evolution of a canalized rapid earth flow and of an uncanalized rapid earth flow.



## LE FRANE DA SCORRIMENTO-COLATA RAPIDA IN PENISOLA SORRENTINA

Dopo la breve introduzione geomorfologica sui diversi tipi di frana che interessano i versanti ricoperti da vulcanoclastiti, descriveremo con maggiore dettaglio le principali frane da scorrimento-colata rapida che hanno interessato la Penisola Sorrentina nel Gennaio 1997, non prima però di aver fatto una rapida introduzione geologica e di aver parlato della diversa origine del materiale piroclastico nel quale esse si sviluppano.

Nei mesi successivi a questo evento calamitoso che ha provocato 5 vittime ed ingenti danni, sono stati raccolti numerosi dati stratigrafici e geomorfologici in settori non ancora mascherati dalla vegetazione. Ad integrazione di tale studio sono state compiute osservazioni geomorfologiche su alcune delle più importanti frane storiche verificatesi in Penisola. Alla fine si è giunti al confronto stratigrafico e geomorfologico dei vari siti analizzati (tav. 1) dal quale è scaturito un possibile modello che ricostruisce il cinematismo di queste frane.

## *Inquadramento geologico della Penisola sorrentina*

La dorsale Penisola Sorrentina-Monti Lattari costituisce un alto strutturale allungato trasversalmente alla Catena Appenninica, delimitato dalle profonde depressioni della Piana Campana a nord e del F. Sele a sud. L'ossatura della dorsale è costituita da una successione calcareo-dolomitica mesozoica, potente più di mille metri, che risulta mediamente basculata verso N-NW individuando, in grande, una struttura monoclinale. Questa è caratterizzata dall'affioramento di calcari dolomitici triassici e giurassici, sul versante meridionale, e da calcari cretaci, localmente ricoperti da flysch trasgressivi miocenici, sul versante settentrionale. I terreni più recenti sono rappresentati da depositi continentali detritici e piroclastici. I primi sono riferibili a breccie di versante, ghiaie e conglomerati di conoide, i secondi a vulcanoclastiti, spesso rimaneggiate ed umificate, collegate a prodotti da caduta connessi alle fasi di attività esplosiva dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio. Tali piroclastiti ricoprono ampie porzioni dei versanti calcarei ed affiorano maggiormente sul versante napoletano

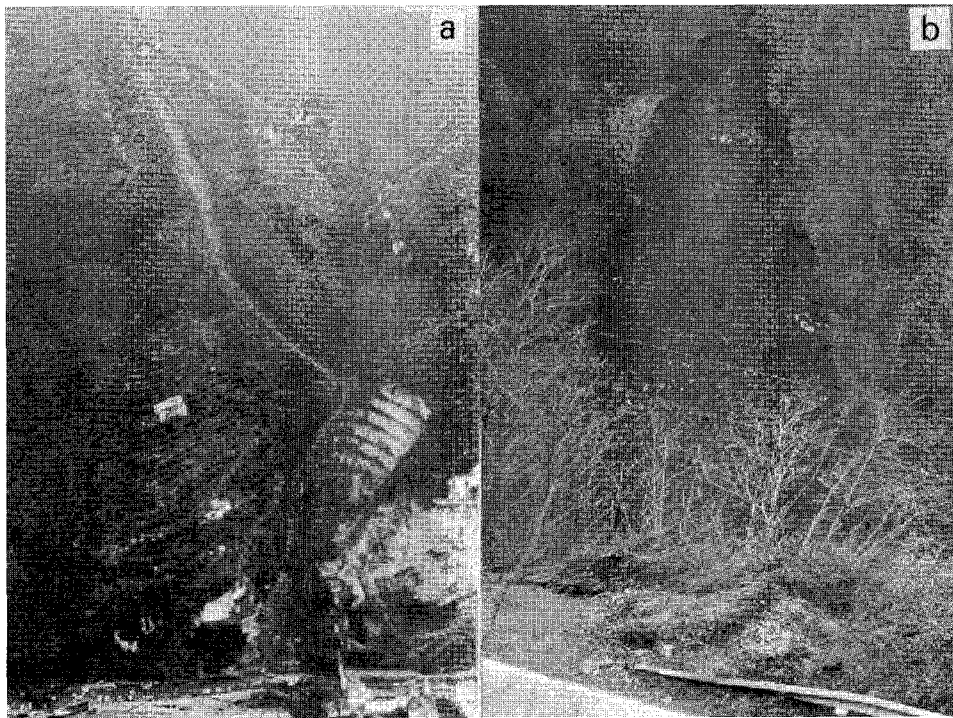


FIG. 2 - Lo scorrimento-colata rapida incanalato della frana di Pozzano (a) e non incanalato (Quindici) (b) del Gennaio 1997.

FIG. 2 - The canalized rapid earth flow of Pozzano (a) and uncanalized: Quindici (b), January 1997.

che in generale presenta tra l'altro minore acclività rispetto al versante salernitano-amalfitano.

L'attuale assetto morfostrutturale delle Penisola è stato raggiunto durante il Pleistocene medio in seguito all'azione di diverse fasi tettoniche da collegarsi in parte a movimenti compressivi mio-pliocenici (sovrascorrimenti e faglie trascorrenti), in parte ad una tettonica distensiva plio-quadernaria caratterizzata da faglie con rigetti prevalentemente verticali (Cinque, 1986; Capotorti & Tozzi, 1991; Aucelli & alii, 1996; Milia & Torrente, 1997). In particolare queste ultime hanno disarticolato i Monti Lattari, individuando alcuni alti strutturali (M. Faito, M. Pendolo) ed alcune depressioni costiere ed intramontane, come il graben di Sorrento e la Piana di Agerola.

Il sollevamento e la disarticolazione della dorsale dei Monti Lattari ha chiaramente condizionato la deposizione dei terreni quaternari; essi appaiono prevalentemente preservati dall'erosione nelle depressioni tettoniche e lungo le fasce pedemontane, dove presentano spessori considerevoli (spesso superiori ai 50 m). Si ricordano a tale proposito i tufi di Sorrento, i depositi detritico-piroclastici delle piane di Agerola e di Vico ed i prodotti di conoide delle falde del M. Faito tra Castellammare e Pimonte. L'assetto geomorfologico generale della Penisola è comunque caratterizzato da versanti ad alta energia di rilievo, sia perché la tettonica ha sollevato le successioni calcareo-dolomitiche a quote sovente superiori ai 1000 m s.l.m., sia perché tali rilievi risultano molto prossimi al mare; ne derivano versanti ad eleva-

ta pendenza, che solo localmente conservano superfici a debole inclinazione da collegarsi ad antiche spianate sommitali di erosione e, lungo costa, ad antichi terrazzi marini (Brancaccio, 1968; Cinque & Romano, 1990).

#### *I prodotti piroclastici di copertura dei versanti carbonatici*

Le frane da scorrimento-colata oggetto del presente lavoro si sviluppano in depositi piroclastici ricollegabili alle diverse fasi eruttive, tardo pleistoceniche ed oloceniche, degli apparati vulcanici dei campi Flegrei e del Somma-Vesuvio. I prodotti da caduta di quest'ultimo distretto vulcanico hanno interessato ampiamente i rilievi carbonatici; in particolare gli studi eseguiti sulle direzioni degli assi di dispersione delle piroclastiti, hanno evidenziato (fig. 3) che, nella zona della Penisola Sorrentina, i livelli piroclastici (pomice e cineriti) di maggiore spessore sono da attribuire all'eruzione del 79 d.C. (Sigurdsson & alii, 1982; Lirer & alii, 1993).

Nelle zone dei Monti della valle di Lauro e del Partenio (provincia di Avellino), sono presenti livelli pomiceci più antichi, intercalati a paleosuoli, correlabili alle eruzioni di «Sarno», di «Ottaviano» e di «Avellino» rispettivamente di 17000 (Rolandi, 1997); 8000 (Rolandi & alii, 1993); 3.700 anni fa (Rolandi & alii, 1993; Giulivo & Santo, 1998). Localmente essi risultano ricoperti da pochi cm di sabbie vulcaniche dell'eruzione del 472 d.C. (Rolandi & alii, 1998).

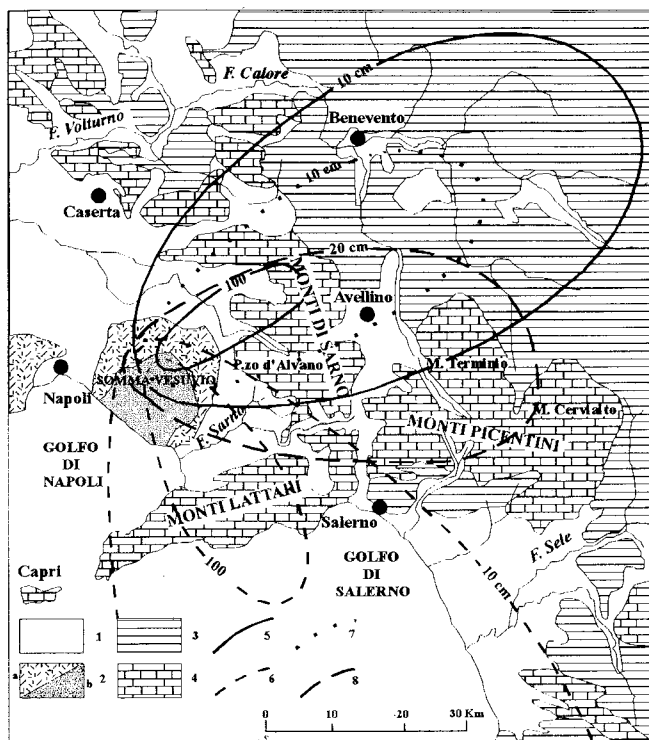


FIG. 3 - Distribuzione delle principali piroclastiti del Somma-Vesuvio. 1) Depositi detritico-alluvionali; 2) depositi piroclastici sciolti (a), lave (b); 3) depositi terrigeni; 4) calcari; isopache delle piroclastiti riferite alle eruzioni di 3760 anni dal presente (5), del 79 d.C. (6), del 472 d.C. (7) e di 8000 anni dal presente (8) (Esposito & Guadagno, 1998 modificato).

FIG. 3 - Distribution of the main pyroclastic fall deposits of the Somma - Vesuvio. 1) detritical-alluvional deposits; 2) pyroclastic deposits (a), lavas (b); 3) terrigenous deposits; 4) limestones; isopach lines of the pyroclastic deposits of 3760 y.B.P. (5), A.D. 79 (6), A.D. 472 (7) and 8000 y.B.P. eruptions (8).

## DESCRIZIONE DELLE FRANE STUDIATE (tav. 1)

In uno studio condotto dai Ricercatori della Sezione di Geologia Applicata del Dipartimento di Ingegneria Geotecnica di Napoli, dopo l'evento pluviometrico del Gennaio 1997, sono stati riconosciuti più di 400 dissesti (De Falco & alii, 1997; Calcaterra & alii, 1997), per lo più localizzati sul versante napoletano della Penisola e riconducibili a diverse tipologie. Da una prima analisi dei parametri morfometrici acquisiti, è emerso che gran parte delle frane è caratterizzata da dimensioni e volumetrie modeste con spessori quasi sempre inferiori ai 5 m. Solo alcuni eventi hanno presentato sviluppi e volumetrie maggiori essendo caratterizzati da fenomeni di scorrimento-colata attivatesi su ampi versanti. Nella tav. 1, nel grafico relativo ai volumi mobilizzati dalle diverse tipologie di frane si può notare come le frane da scorrimento e scorrimento-colata rappresentano il 36% degli interi volumi e le sole 6 frane studiate il 20%.

Di seguito si illustrano i caratteri geomorfologici di quest'ultima tipologia che è certamente la più pericolosa (tab. 1).

TABELLA 1 - Principali frane per scorrimento-colata rapida e relativi danni in Penisola Sorrentina

TABLE 1 - Main rapid earth flows and related damages in the Surrentine Peninsula area

EVENTO	VITTIME	DANNI
Frane su versante N di M. Pendolo 1764	?	Numerosi i morti e i danni
Frane su versante N e W di M. Pendolo 1841	100	Danni ingenti all'abitato di Gragnano
Frane versante N di M. Pendolo 1935	numerosa vittime	Danni ingenti a Gragnano con interruzione della linea ferroviaria e circumvesuviana
Alluvione del 1954	250	Strade, case, ecc.
S. Pantaleone 1960D	—	Autostrada Na-Sa in costruzione
S. Pantaleone 1960S	—	Autostrada Na-Sa in costruzione
M. Pendolo (Pimonte 1963)	1	Numerosi danni a Gragnano e centri limitrofi
Scraio 1966	3	Strada comunale, acquedotto, stazione ferroviaria e strada SS 145
M. Pendolo (Gragnano 1971)	6	Hotel «La Selva» e numerose abitazioni
S. Pantaleone 1972	1	Autostrada Na-Sa
Mitigliano 1973	10	Strada e case coloniche
Molina 1986	—	Casa colonica
Pozzano 1997	4	Strada SS 145
S. Egidio Montealbino 1997	—	—
Corbara 1997	—	Strada Valico di Chiunzi
M. Pendolo (Pimonte 1997)	—	Abitazioni
M. Pendolo (Gragnano 1997)	—	Ricovero animali
S. Pantaleone 1997	1	Autostrada Na-Sa e strada privata

### Frana di Pozzano

La frana di Pozzano per entità e danni rappresenta sicuramente l'evento più rilevante del Gennaio 1997 avendo mobilitato circa 40.000 m<sup>3</sup> di materiale (Calcaterra & Santo 1999). Essa si è verificata alle ore 21.00 del 10 Gennaio come un esteso scorrimento planare evoluto a colata fangosa che ha coinvolto, lungo un percorso di più di 800 m, un'abitazione e la S.S. 145, causando quattro vittime (tav. 1 e fig. 2a).

La frana presenta una prima nicchia di distacco di limitate dimensioni generatasi a circa 450 m s.l.m. e manifestatasi in corrispondenza di un piccolo sentiero a mezzacosta su un tratto di versante ad elevata acclività (circa 50°). In questo primo movimento sono state coinvolte piroclastiti argillificate per un volume complessivo di circa 200 m<sup>3</sup>; il corpo franoso è poi precipitato a valle scavalcando una serie di balze rocciose e impattando sul versante sottostante generando il distacco principale rappresentato da un vasto scorrimento planare avente una superficie di circa 6000 m<sup>2</sup>. Successivamente (tav.1) la frana si è incanalata in un piccolo alveo trasformandosi in una veloce colata fangosa che si

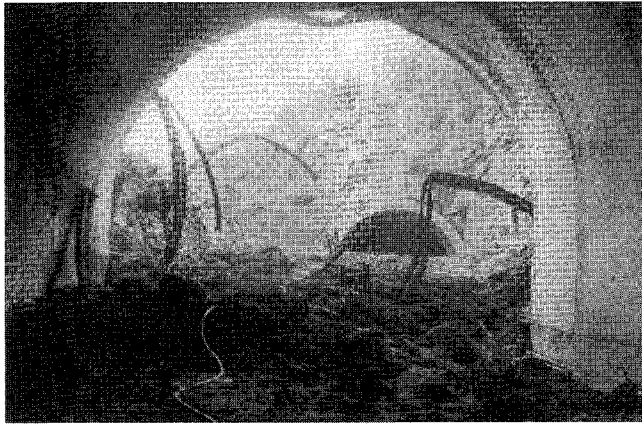


FIG. 4 - Il cumulo di frana che ha invaso le due gallerie ANAS a Pozzano.  
 FIG. 4 - The landslide body that invaded the ANAS tunnels near Pozzano.

è arrestata in parte su un sottostante piazzale di cava, invadendo una galleria in costruzione, ed in parte ha raggiunto il mare (fig. 4).

In realtà per questa frana occorre parlare di due diverse zone di distacco, la prima più alta, posta a monte delle balze rocciose, la seconda più bassa posta a valle delle stesse. In quella alta non sono state notate differenze stratigrafiche particolari e sono state riscontrate 3-4 m di piroclastiti argillificate ricoperte da circa 50 cm di materiale di riporto.

Nella nicchia dello scorrimento principale, localizzato a valle delle balze rocciose, sono stati riconosciuti, dal basso stratigrafico e poggianti sui calcari cretacici, con una giacitura a franapoggio i seguenti terreni:

- 1 m di cineriti pedogenizzate e lievemente argillificate;
- 80 cm di pomici grossolane e spigolose (2-4 cm) riferibili all'eruzione del 79 d.C.;
- 3-4 m di suolo caratterizzato da piroclastiti pedogenizzate.

Questa successione stratigrafica è evidente, lungo i fianchi della frana, per l'intero settore di scorrimento. Nella zona più a valle, incisioni lineari successive alla frana, hanno intagliato il cumulo, facendone apprezzare uno spessore in alcuni casi superiore ai 6-7 m. Esso risultava costituito da fango indurito con pomici, tronchi di albero e numerosi blocchi calcarei. Nella zona prossima alla statale, il cumulo ha ricoperto alcuni strati di pomici grigie ed un livello tufaceo, nell'insieme riferibili ai prodotti piroclastici dell'Ignimbrite Campana.

#### Frana di S. Egidio M. Albino

La frana, innescata alle ore 9.00 del 10 Gennaio 1997, presenta uno sviluppo in lunghezza pari a circa 570 m; essa, dopo un primo tratto di scorrimento si è trasformata in una colata di fango che si è arrestata a pochi metri dal centro abitato di S. Egidio distruggendo un frutteto a ciliegio (tav. 1).

Il punto di innesco (442 m s.l.m.) si è impostato alla base del piazzale di un ristorante dove è stata rilevata la pre-

senza di alcuni metri di materiale di riporto e di alcuni scarichi di acque non canalizzate. Il primo distacco ha interessato uno strato di circa 1 m di depositi piroclastici ed il sovrastante materiale di riporto; tali terreni hanno poi scavalcato una parete calcarea alta circa 8 m, impattando sul sottostante versante. In questo punto si è innescato uno scorrimento di più ampie dimensioni, il cui piano risultava localizzato alla base del livello di pomici stratificate parallelamente al versante (fig. 5). Il corpo di frana, di circa 10000 m<sup>3</sup>, presentava, nella parte bassa, le caratteristiche tipiche di una frana di colata, con evidenti strutture fluidali; esso si è incanalato in un piccolo alveo, ricoprendo, per uno spessore di circa 2 m, e in parte distruggendo un canale di raccolta delle acque. Il cumulo è avanzato su una superficie a debole pendenza per una lunghezza superiore ai 200 m, arrestandosi a circa 30 m dalle prime case del paese.

Per quanto riguarda le caratteristiche stratigrafiche delle due diverse zone di distacco, deve evidenziarsi che in quella più alta relativa al primo innesco (tav. 1) è stato riscontrato un livello pomiceo di 40 cm di spessore, ricoperto da 50 cm di suolo e da circa 2 m di materiale di riporto. Nella zona di inizio dello scorrimento posta alla base della balza rocciosa, sui calcari sono stati rilevati circa 1.5 m di piroclastiti pedogenizzate su cui poggiano 50 cm di pomici grossolane grigio-bianche e 40 cm di suolo.

Il cumulo di frana appare costituito in generale da pomici rimaneggiate immerse in una matrice sabbioso-limosa insieme con blocchi calcarei e tronchi d'albero. In particolare, il ruscellamento concentrato, impostatosi successivamente alla frana, ha inciso tutto il cumulo e in parte i terreni piroclastici su cui poggia. È stato possibile quindi studiare alcune interessanti successioni stratigrafiche che in particolare nella zona di raccordo tra la zona di scorrimento e quella di cumulo mostravano dal basso verso l'alto (tav. 1 e fig. 6):

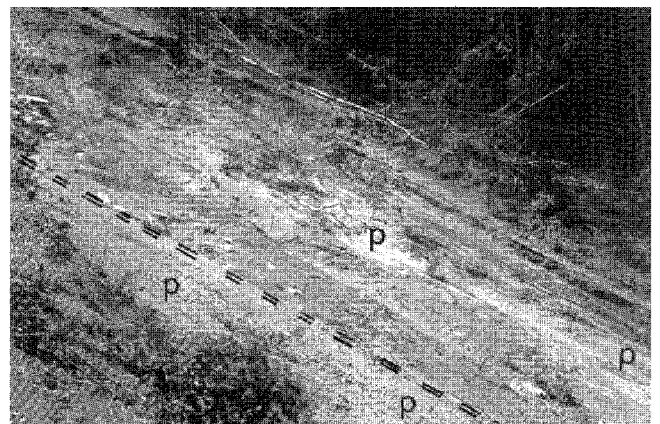


FIG. 5 - Il piano di scorrimento delle frana di S. Egidio M. Albino: si noti, in bianco (p), il livello di pomici stratificato parallelamente al versante.  
 FIG. 5 - The sliding plane of the rapid earth flow of S. Egidio M. Albino: note, white color (p), the pumiceous level.

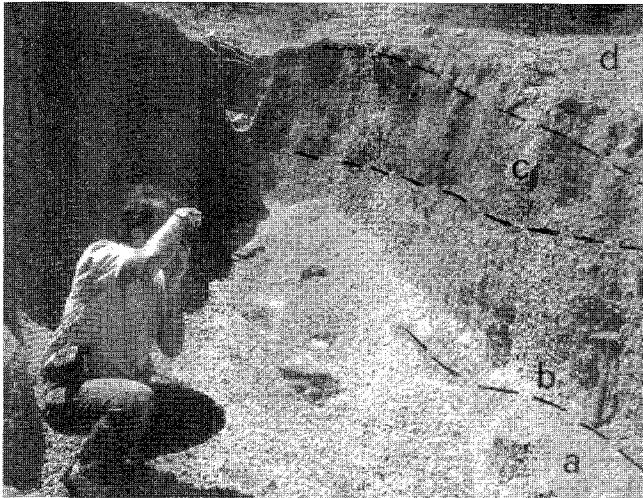


FIG. 6 - La zona di cumulo della frana di S. Egidio M. Albino: a) paleosuolo; b) pomici da caduta del 79 d.C.; c) vecchio cumulo di frana; d) cumulo di frana del Gennaio 1997.

FIG. 6 - The landslide body zone of the rapid earth flow of S. Egidio M. Albino: a) paleosoil; b) fall pumices of the 79 d.C. eruption; c) old landslide body; d) landslide body of January 1997.

- paleosuolo bruno con clasti calcarei decimetrici, sabbie vulcaniche e pomici rimaneggiate e arrotondate;
- livello con spessore di 1.2 m di pomici bianco-grigie, nettamente spigolose con dimensioni variabili da alcuni mm a 5 cm, cui sono associate scorie vulcaniche nero-rossastre. È possibile individuare almeno tre episodi vulcanoclastici caratterizzati da ripetute gradazioni granulometriche delle pomici e ascrivibili molto probabilmente alla eruzione vulcanica del 79 d.C.;
- intervallo cineritico grigio, addensato, posto a chiusura delle pomici del 79 d.C. (spessore pari a circa 20 cm);
- livello di 40 cm di spessore costituito da pomici rimaneggiate di piccole dimensioni, arrotondate ed immerse in matrice sabbiosa cineritica;
- cumulo di frana, costituito essenzialmente da pomici del 79 d.C. rimaneggiate con scarsa matrice cineritica (spessore di pochi decimetri).

#### Frana di Corbara

La frana di Corbara si è innescata il 10 Gennaio 1997, sulla strada che conduce al Valico di Chiunzi e presentava uno sviluppo in lunghezza di circa 250 m (tav. 1). Anche questa frana si è attivata come uno scorrimento traslativo evoluto poi a colata rapida. La fase di colata è stata controllata, morfologicamente, da un piccolo alveo, nel quale si sono incanalati circa 800 m<sup>3</sup> di terreno che ha raggiunto un tratto più a valle della stessa strada, interrompendola per diversi giorni.

La successione stratigrafica della zona di nicchia non è stata rilevata perché obliterata da un intervento di sistemazione effettuato pochi giorni dopo l'evento franoso.

Nella zona di scorrimento, sono stati rinvenuti alcuni tagli che hanno evidenziato l'andamento del substrato carbonatico avente una giacitura a franapoggio e su cui poggiano 30 cm di materiale piroclastico pedogenizzato di colore bruno cui fanno passaggio 70 cm di grandi pomici spigolose, stratificate parallelamente al versante e circa un metro di suolo.

Il cumulo appare costituito da materiale argilloso-limoso contenente numerose pomici rimaneggiate, clasti calcarei e resti di vegetazione.

#### Frana di Gragnano (Monte Pendolo)

La frana si è attivata, alle ore 13.30 del 10 Gennaio 1997 e si è impostata su un versante terrazzato ad ulivi già interessato da un altro fenomeno franoso attivatosi alle ore 9.00 dello stesso giorno a 500 m più a sud della frana in esame (fig. 7). L'evento franoso in questione, sulla base di testimonianze raccolte in loco, sembra sia stato preceduto da alcune lesioni nel terreno. La frana si è innescata in corrispondenza di una piccolo terrazzo antropico e si è sviluppata sul versante per una lunghezza di circa 220 m; il cumulo, pari a circa 4500 m<sup>3</sup>, ha travolto dei capannoni adibiti al ricovero del bestiame (tav. 1).

Nella zona di nicchia è stato possibile osservare sul substrato calcareo circa 40 cm di una cinerite grigia su cui poggia circa 1.5 m di detrito di versante con clasti calcarei arrossati ed immersi in materiale piroclastico rimaneggiato; il piano di scorrimento risultava localizzato in corrispondenza del livello cineritico. Nella zona di scorrimento, sono stati evidenziati: un primo strato di 40 cm di piroclastiti argillificate su cui poggia un livello di circa un metro di pomici grigie e scorie vulcaniche ed infine circa un metro di suolo.

Il cumulo di frana presenta in corrispondenza del sentiero una larghezza di circa 40 m e uno spessore di alcuni

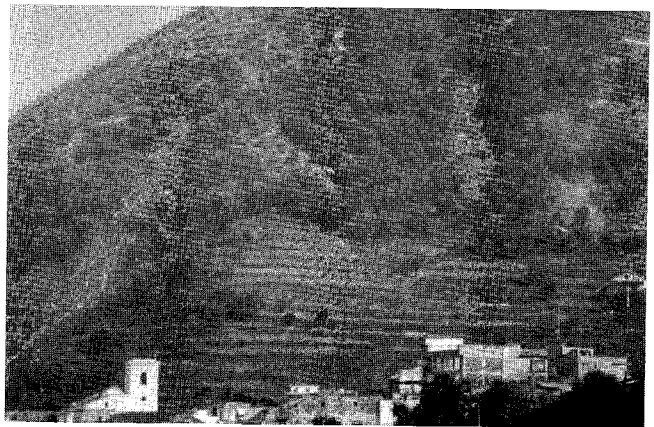


FIG. 7 - Le due frane di M. Pendolo a Gragnano del Gennaio 1997; a sinistra quella studiata.

FIG. 7 - The two rapid earth flows of M. Pendolo near Gragnano; on the left the studied one.

metri; esso ricopre una superficie a debole pendenza ed è costituito prevalentemente da pomice rimaneggiate immerse in matrice limoso-sabbiosa, da materiale di riporto franato misto a clasti calcarei e tronchi di alberi.

#### *Frana di Pimonte (Monte Pendolo)*

La frana di Pimonte (fig. 8) si è attivata alle ore 17.00 circa del 10 Gennaio 1997, su un versante già interessato in precedenza da un'altra frana nel 1963. Essa si è innescata alla base di un piazzale di una casa in costruzione, presenta una lunghezza di circa 240 m ed ha mobilitato circa 4300 m<sup>3</sup> di materiale che dopo aver percorso interamente il versante, si è arrestato in corrispondenza di un piccolo vallone (tav. 1).

La nicchia, avente una larghezza di circa 30 m, ha messo a giorno una sezione stratigrafica che mostra dal basso stratigrafico: calcari mesozoici carsificati su cui poggia un livello cineritico pedogenizzato avente uno spessore di circa 70 cm. Tale livello è a sua volta ricoperto da circa 90 cm di pomice bianche e spigolose, stratificate parallelamente al versante e ascrivibili alla eruzione del 79 d.C.; la successione è chiusa da 1.5 m di piroclastite pedogenizzata su cui



FIG. 8 - La frana di M. Pendolo a Pimonte del Gennaio 1997; la freccia indica la casa distrutta dalla frana del 1963.

FIG. 8 - The rapid earth flow of Pimonte that took place in January 1997 along the M. Pendolo slope. The arrow shows the house destroyed by a similar landslide in 1963.

poggiano, nella zona del piazzale della casa, 1.5 m di materiali di riporto.

Nel settore di scorrimento posizionato nella zona centrale della frana, ed in particolare pochi metri più in alto della casa distrutta dall'evento franoso del 1963, si rileva, a luoghi, l'affioramento del substrato carbonatico su cui poggiano costantemente un livello cineritico, un livello pomiceo ed un ultimo livello di suolo.

Il cumulo di frana è costituito da materiale sabbioso-argilloso con pomice rimaneggiate e resti di tronchi di alberi.

#### *Frana di Pagani (Collina di San Pantaleone)*

La notizia della segnalazione di un guasto della linea aerea elettrica, posta in corrispondenza del tratto di versante franato, ha consentito di registrare con precisione l'ora e la data dell'innescio del fenomeno franoso fissato alle 21.45 del 10 Gennaio 1997.

L'area di iniziale distacco della massa franata, posta alla quota di circa 185 m s.l.m., coincide, grossomodo, con la base del muro di un tornante della strada privata «Angrisani», che collega la casa di cura «Villa dei fiori» con l'abitato di Pagani (tav. 1).

Anche questa frana si è verificata su un versante già interessato in passato da analoghe fenomenologie (Civita & alii, 1975) ed è caratterizzata da uno scorrimento traslativo iniziale, evoluto successivamente in colata rapida. L'area di scorrimento della frana può essere sostanzialmente individuata immediatamente a valle della nicchia di distacco, nel settore compreso tra i 180 e i 90 m s.l.m. e termina più o meno in corrispondenza del settimo tornante della strada prima citata. Il materiale franato ha raggiunto in parte le corsie autostradali che collegano Napoli con Salerno, investendo alcune macchine e provocando una vittima; in parte si è arrestato in uno spazio privato posto nelle pertinenze di alcuni edifici, localizzati a valle del muro di sottoscarpa della corsia nord dell'autostrada.

Nella zona di nicchia sono stati osservati calcari e calcari dolomitici ben stratificati, carsificati e con piccole venute di acqua; su di essi poggiano pochi cm di piroclastiti rimaneggiate e, in modo più continuo alcuni dm di pomice bianche. Seguono circa 2 m di piroclastiti rimaneggiate associate a suolo ed infine circa 50 cm di materiali di riporto.

Lungo tutto il settore medio-alto del versante interessato dallo scorrimento affiorano i calcari del substrato immergenti mediamente verso E-NE con inclinazioni deboli (10°-20°). Essi, lungo i fianchi della frana risultano ricoperti da:

- alcuni cm di cineriti presenti in lenti discontinue sul versante;
- lenti e strati di pomice di colore bianco e di lapilli grigi, dello spessore di pochi decimetri, legati alle eruzioni storiche del Vesuvio. Le pomice che affiorano in molti punti della zona di scorrimento, talora poggiano direttamente sui calcari del substrato, talora invece sono separate dai calcari per interposizione di sottili livelli piroclastici; esse sono stratificate parallelamente al versante presentando una pendenza di 37-40°;



– piroclastiti sabbioso-limose rimaneggiate ed umificate inglobanti minuti clasti calcarei, che ricoprono con spessori modesti (1-2 m) ampie porzioni di versante.

Il cumulo di frana, all'atto dei primi sopralluoghi appariva, oltre che estremamente caoticizzato e con elevato contenuto d'acqua, costituito da materiali di riporto eterogenei, terreni piroclastici di natura sabbioso-limosa inglobanti molte pomici e tronchi d'albero.

Alcuni sondaggi eseguiti subito dopo la frana per conto della Società Autostrade hanno evidenziato, alla base del versante, uno spessore maggiore dei depositi vulcanici caratterizzati da piroclastiti rimaneggiate flegree e vesuviane (cineriti, pomici e sabbie vulcaniche), talora anche argillificate e aventi nel complesso spessori superiori ai 15 m.

Le evidenze di campagna mostrano chiaramente che, soprattutto nella parte alta della frana e fino alla quota di circa 125 m s.l.m., affiorano diversi lembi appartenenti, probabilmente, ad un unico livello di pomici. Tale livello costituisce, per buona parte, la superficie di scorrimento della frana.

#### Sintesi dei dati stratigrafici

L'analisi dei dati stratigrafici di dettaglio prima descritti consente di affermare che:

- tutte le frane, nella zona di nicchia e di scorrimento, hanno denudato in più punti il versante mettendo a giorno localmente il substrato calcareo. Lungo i fianchi delle coltre tranciata è possibile ricostruire la stratigrafia e gli spessori dei materiali coinvolti, generalmente compresi tra 0.5 e 4 m;
- le nicchie delle diverse frane si sono sviluppate ora in piroclastiti argillificate, ora in zone con livelli di pomici, ora in materiale di riporto. Anche le tipologie di primo distacco sono alquanto differenti: in alcuni casi si tratta di crolli, in altri di scorrimenti planari, più raramente di piccoli scorrimenti rotazionali;

c) le osservazioni di campagna risultano molto significative quando riferite alle zone di scorrimento planare e di amplificazione delle frane lungo i tratti di versante immediatamente a valle delle zone di nicchia. In questo settore sono stati ritrovati sempre livelli continui di pomici stratificate parallelamente al versante intercalati in una successione stratigrafica «tipo» (fig. 9) che, dal basso stratigrafico, può essere così brevemente sintetizzata:

- calcari mesozoici, fratturati e carsificati
- cineriti pedogenizzate e talora argillificate (pochi dm)
- livello di pomici (0.5-1 m)
- piroclastiti pedogenizzate e suolo (2-4 m).

I calcari mesozoici come si può vedere dalla tav. 1 risultano nella maggioranza dei casi a franapoggio o a traversopoggio; talora, come per la frana di Pozzano e di San Pantaleone, sono state rilevate piccole venute di acqua dagli interstrati.

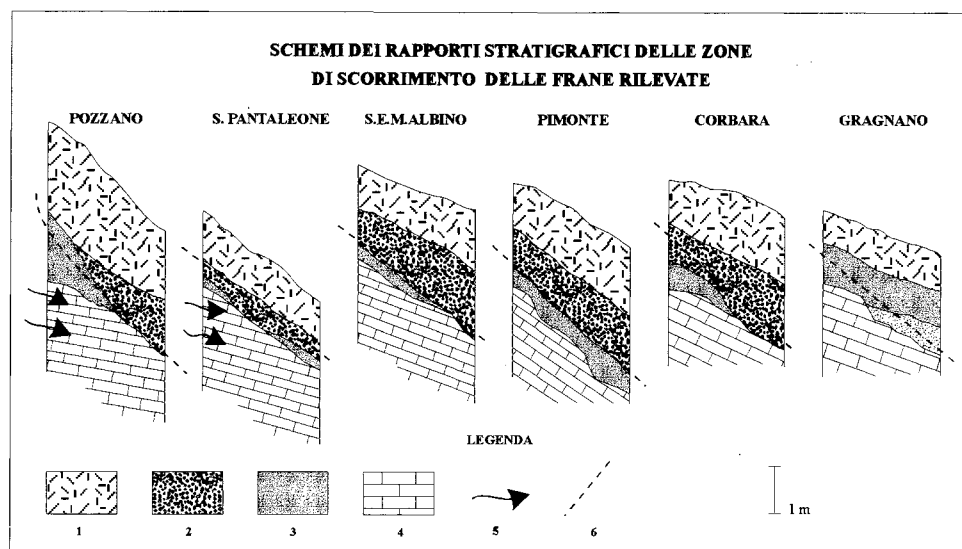
Le cineriti che poggiano sul substrato calcareo, risultano spesso rimaneggiate e possono essere attribuite a prodotti da caduta del distretto Flegreo, molto probabilmente connesse all'eruzione dell'Ignimbrite Campana Auct. (Decino & alii, 1992).

Le pomici si ritrovano in livelli abbastanza continui sul versante e sono caratterizzate da elementi spigolosi di grandi dimensioni (fino a 6 cm di diametro) di colore bianco e sono stratificate parallelamente al versante con valori di acclività variabili: 25° per le zone basse dei versanti; 30°-35° per le zone di scorrimento; 35°-38° per le zone di nicchia. Per la loro posizione stratigrafica, per gli spessori relativi e per la diffusione areale (fig. 3), tali prodotti sono ascrivibili all'eruzione del 79 d.C.

Le piroclastiti pedogenizzate ed i livelli di suolo che poggiano sulle pomici, sono costituiti da limi sabbiosi, legati ai prodotti cineritici della eruzione del 79 d.C.; questo ultimo intervallo, sul quale si è sviluppato il suolo attuale,

FIG. 9 - Sintesi dei dati stratigrafici delle frane studiate. 1) Piroclastiti pedogenizzate e suolo; 2) livello di pomici (79 d.C.); 3) cineriti (talora argillificate); 4) calcari mesozoici; 5) venute d'acqua; 6) piano di scorrimento.

FIG. 9 - Synthesis of the stratigraphical data of the studied slide-earth rapid flows. 1) Weathered pyroclastic deposits and soil; 2) pumiceous level of the A.D. 79 eruption; 3) ash deposits; 4) mesozoic limestones; 5) springs; 6) sliding plane.



costituisce una porzione non trascurabile in termini volumetrici, del materiale franato.

In tutte le frane, fatta eccezione per quella di M. Pendolo (Gragnano), il piano di scorrimento risulta essere chiaramente impostato nella parte bassa del livello pomiceo, nelle stesse pomici o al contatto tra queste ultime e le sottostanti cineriti.

## OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE

### Caratteristiche morfologiche dei versanti in frana

Gli eventi franosi verificatisi nel Gennaio 1997 rientrano in una fenomenologia molto comune a tutti i rilievi carbonatici che bordano la Pianura Campana. Nella sola Penisola sono state censite alcune decine di frane del tipo «scorrimento-colata rapida», (Guida & alii, 1986; tab. 1) a forte carattere distruttivo, concentrate in un periodo di tempo non superiore a 200 anni e localizzate nel materiale piroclastico posto a copertura dei versanti carbonatici. Alcune di queste frane sono state confrontate con quelle recenti del Gennaio 1997 ed hanno fornito utili contributi per lo studio geomorfologico.

È stato osservato, in primo luogo, che tutte le principali frane studiate si sono impostate soprattutto lungo porzioni di versanti strutturali, regolarizzati per recessione rettilinea parallela secondo il modello di Lehmann (Lehmann, 1933; Young, 1972; Brancaccio & alii, 1978) e spesso in corrispondenza di concavità legate a piccole incisioni lineari, dove le piroclastiti da caduta si sono potute più facilmente conservare.

Abbiamo notato inoltre che quasi tutte le frane si sono innescate in settori di versante prossimi allo spartiacque, con nicchie di limitate dimensioni e con tipologie che possono escludere movimenti di tipo retrogressivo per la presenza di scarpate in roccia che interrompono la regolarità del versante.

### Acclività dei settori di nicchia, scorrimento e cumulo

Facendo riferimento alle figg. 10 e 11a, nelle quali sono state riportate 16 frane, comprendenti le sei verificatesi nel Gennaio '97 più alcune frane storiche (tab. 2), si può osservare che l'acclività media della zona interessata dal fenomeno franoso, dal coronamento della nicchia all'unghia del cumulo, varia da 26° a 34°. Più in particolare (fig. 11a) per la zona di impostazione della nicchia, si osservano valori di acclività compresi tra 33°-48°. La zona nicchia-scorrimento inoltre presenta un'acclività media compresa tra 26° e 42°, con una maggiore concentrazione di frane nella fascia con valori inclusi tra 32°-37°. Un sunto sui valori di acclività dei versanti interessati dalle frane, viene mostrato in fig. 11b dove si nota una certa analogia dei valori relativi sia alla zona di nicchia che alla zona di scorrimento. Diverso sembra l'andamento dei valori relativi al cumulo: essi mostrano una maggiore concentrazione nelle classi di acclività comprese tra i 18° e i 21°. È stato notato infine, un sostanziale parallelismo, con poche eccezioni, tra le rette di pendenza media relative alla nicchia, alla zona di scorrimento e al cumulo di tutte le frane.

In sintesi si può concludere che i valori di acclività delle zone di nicchia sono superiori ai 35°, quelli delle zone di

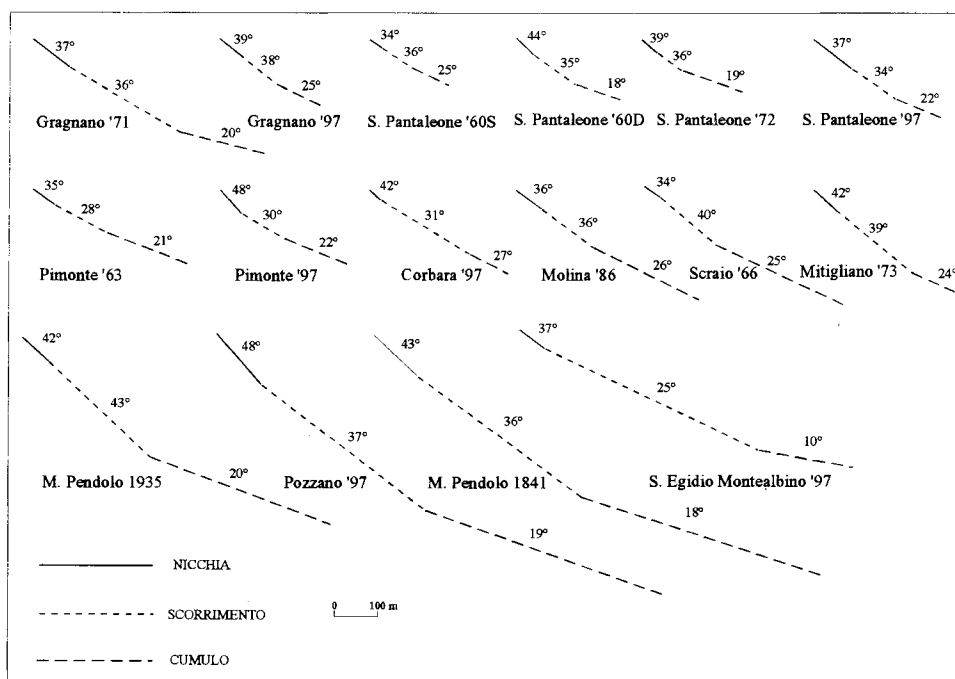


FIG. 10 - Sintesi dei dati delle acclività dei vari settori (nicchia-scorrimento-cumulo) delle frane studiate.

FIG. 10 - Synthesis of the dip data of each sector (crown, sliding zone, landslide body zone) of the studied landslides.

Tabella 2 - Caratteristiche geomorfologiche delle frane studiate

Table 2 - Geomorphological features of the studied landslides

N.	FRANA	Forma	Lunghezza (m)	Larghezza media (m)	Dislivello (s.l.m.)	Quota nicchia (m)	Larghezza nicchia (m)	Pendenza nicchia	Lunghezza cumulo (m)	Spessore cumulo (m)	Volume (mc)	Andamento substrato	Presenza d'acqua (nicchia)	Movimento a sviluppo unico o multiplo	Data di innesco
1	Pozzano '97	I	815	40	442	442	7	48°	665	4	40000	traverso-poggio	si	M	10.1.97
2	M. Pendolo (Gragnano '97)	V	219	30	126	258	13	39°	108	1.5	4500	traverso-poggio	no	U	9-11.1.97
3	M. Pendolo (Gragnano '71)	V	415	50	205	305	13	37°	143	—	7500	—	—	U	2.11.71
4	M. Pendolo (Pimonte '97)	V	241	28	125	473	20	48°	110	—	4300	traverso-poggio	no	U	9-11.1.97
5	M. Pendolo (Pimonte '63)	V	275	30	135	460	13	35°	140	—	—	traverso-poggio	—	U	17.2.63
6	M. Pendolo 1935	V	595	80	360	475	40	42°	125	—	—	traverso-poggio	—	U	20.8.35
7	M. Pendolo 1841	V	640	90	435	565	50	43°	120	—	—	traverso-poggio	—	U	21.1.84
8	S. Pantaleone 1997	V	230	38	130	187	55	37°	60	—	4500	traverso-poggio	si	U	10.1.97 ore 21.45
9	S. Pantaleone 1972	V	178	25	95	135	20	40°	100	—	5000	traverso-poggio	—	U	6.3.72
10	S. Pantaleone 1960 D	V	190	28	110	185	20	39°	75	—	—	traverso-poggio	—	U	8.12.60
11	S. Pantaleone 1960 S	V	140	32	80	150	20	34°	63	—	—	traverso-poggio	—	U	8.12.60
12	Corbara '97	V	252	11	155	520	10	42°	70	1	750	traverso-poggio	no	U	9-11.1.97
13	Scraio 1966	V	370	25	210	250	25	34°	230	—	—	traverso-poggio	—	U	23.11.66
14	Mitigliano 1973	V	250	45	130	400	56	42°	80	—	9000	—	—	M	16.2.73 ore 20.15
15	Molina 1986	V	335	40	200	275	15	36°	185	—	—	—	—	U	3.8.6
16	S. Egidio Montealbino '97	V	570	35	233	318	27	37°	160	2.5	10000	traverso-poggio	no	M	9-11.1.97

scorrimento sono compresi tra i 30° ed i 35° e quelli relativi alle zone di cumulo sono inferiori ai 25°.

#### *Relazione tra dislivello, pendenza del versante in frana e lunghezza del cumulo*

Nella fig. 12 sono riportati i rapporti tra i dislivelli, calcolati tra il coronamento e la fine della zona di scorrimento (prima rottura di pendenza alla base del versante) e le lunghezze dei cumuli di 16 frane da scorrimento-colata rapida per le quali è stato possibile disporre dei principali parametri morfometrici (tab. 2).

Il grafico è stato ricavato grazie alla presenza in Penisola Sorrentina di frane innescatesi a diverse altezze topografiche; esso mostra che esiste una relazione lineare tra dislivello (come sopra specificato) e lunghezza del cumulo, secondo un coefficiente di proporzionalità medio, pari a circa 0.9.

Un altro risultato interessante è stato ottenuto mettendo a confronto la lunghezza del cumulo di frana e la acclività delle zone di nicchia-scorrimento delle frane del '97, i cui dati risultavano molto più attendibili rispetto a quelli non sempre completi relativi alle frane del passato. Esse presentano una lunghezza del cumulo, che aumenta man mano che aumenta la pendenza della zona di nicchia-scorrimento fatta eccezione per la frana di S. Egidio Montealbino.

L'approfondimento di tali aspetti potrebbe risultare

utile per calcolare le potenziali aree di invasione dei cumuli soprattutto se integrato con precisi dati stratigrafici, geomorfologici e geotecnici necessari per valutare i potenziali volumi in gioco, la capacità di imbibizione dei terreni coinvolti, la tipologia di frana (incanalata e non), la morfologia del piede del versante.

#### *Ripetibilità degli eventi franosi*

Vari versanti interessati dalle frane del Gennaio 1997 sono stati già colpiti in passato da colate rapide, impostate in alcuni casi a soli pochi metri di distanza dalle frane precedenti, determinando una sorta di «spostamento dell'asse di frana». Tale fenomeno che deve ritenersi comune a molti versanti della Penisola, in realtà è stato documentato solo su quelli maggiormente studiati in quanto interessati da dissesti che hanno avuto una maggiore rilevanza storica, vuoi per le dimensioni dell'area dissestata, vuoi per il maggiore numero di vittime o danni arrecati. Esempi molto indicativi sono: i versanti di M. Pendolo, dove dal 1764 ad oggi si sono manifestate almeno sei importanti frane (Montella, 1841; Ranieri, 1841; Giasi & alii, 1996); il versante di Pozzano, sul quale attraverso uno studio aereofotografico, sono stati evidenziati altri dissesti oltre a quello del 1997; la collina di S. Pantaleone che dal 1960 è stata interessata per quattro volte da frane che hanno invaso la sottostante autostrada Na-Sa.

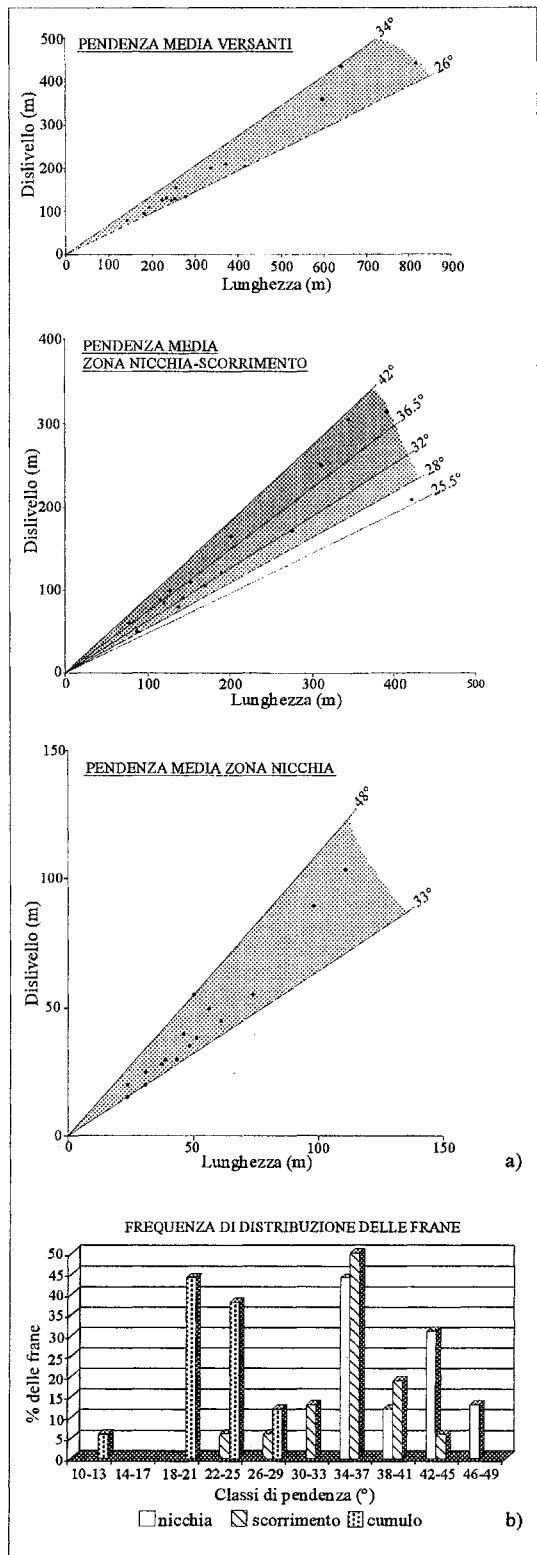


FIG. 11 - Grafico delle pendenze dei versanti, delle zone di nicchia-scorrimento e delle zone di nicchia delle frane di fig. 17 (a); frequenza di distribuzione delle frane di tab. 2 relativamente alla zona di nicchia, scorrimento e cumulo (b).

FIG. 11 - Graph of the dip data of the slopes, of the crown-sliding zones and of the crown zones (a); distribution frequency of the rapid earth flows of tab. 2 for the crown, sliding and landslide body zones (b).

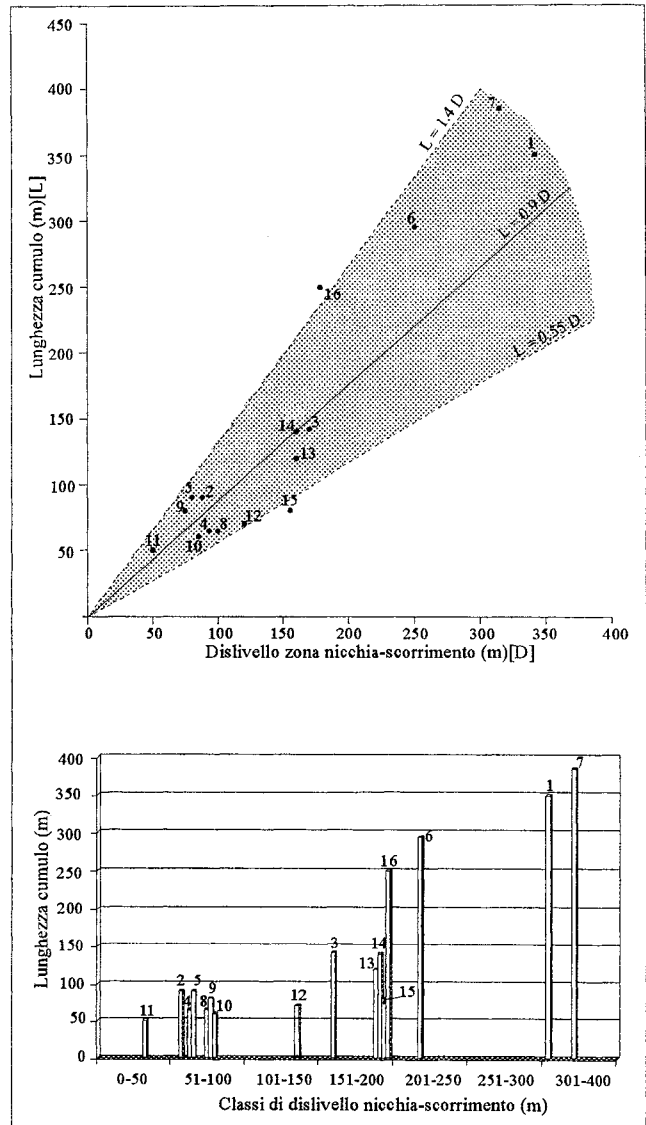


FIG. 12 - Relazioni tra dislivello (misurato tra la nicchia e la prima rottura di pendenza alla base del versante) e lunghezza del cumulo. I numeri si riferiscono alle frane di tab. 2.

FIG. 12 - Relationships between the difference of level of the flow (measured from the crown zone to the end of the sliding zone) and the length of the landslide body. The numbers refer to landslides of the tab. 2.

Le osservazioni di campagna, hanno evidenziato che nella zona di nicchia-scorrimento sono stati spesso denudati i calcari; le frane successive quindi si impostano nelle zone limitrofe dove sono presenti maggiori spessori di piroclastiti. Un attento studio dell'andamento planoaltimetrico dei versanti, su carte molto dettagliate, ha evidenziato, infatti, che in prossimità delle singole frane le anomalie rilevate nell'andamento delle curve di livello possono essere interpretate come antichi canali di frana. Tali forme sono più difficilmente valutabili dalle fotografie aeree perché mascherate dalla vegetazione.

La collina di S. Pantaleone (fig. 13), dal 1960 (anno di costruzione della autostrada Na-Sa) è stata interessata da almeno quattro eventi franosi che, in corrispondenza del canale di frana, hanno quasi del tutto denudato il versante. Se si tiene conto che la copertura piroclastica (spessore di circa 2 m) ha un'età di circa 2000 anni, con un rapido calcolo si arriva facilmente alla conclusione che se le frane avessero la stessa frequenza e dimensione di quelle degli ultimi 40 anni, il versante dovrebbe essere stato più volte completamente denudato. È chiaro allora che devono essere invocate cause antropiche per spiegare la maggiore frequenza delle frane su tale versante.

### ALCUNE OSSERVAZIONI SULLE CAUSE DEGLI INNESCHI

Durante le attività di rilevamento sono state fatte alcune osservazioni utili per la comprensione delle cause di innesco. Le zone di nicchia hanno evidenziato che fattori antropici possono aver favorito l'innesco.

La frana di Pozzano ad esempio si è innescata alla base di una balza rocciosa, in corrispondenza di un piccolo ripiano di terra, in parte riportata, e ricavato per il passaggio di un sentiero ampio non più di 2 m. Nella zona di nicchia

sono state notate comunque anche numerose piccole venute di acqua dagli strati calcarei, che possono aver agevolato l'innesco. Anche nella zona di nicchia della frana di Paganì, sulla collina di San Pantaleone, sono state riscontrate piccole venute di acqua ed alcuni metri di materiale di riporto che molto probabilmente hanno favorito il primo movimento. Analogamente in corrispondenza della zona di innesco della frana di S. Egidio M. Albino dove sono stati rinvenuti alcuni scarichi di acque non incanalate. La stessa frana di Corbara si è attivata in prossimità della strada, da un piazzale ricolmo di materiale di risulta e nel quale si incanalavano le acque selvagge. La frana di Pimonte (Monte Pendolo) si è innescata alla base di una casa in costruzione ed il primo movimento è stato facilitato dal terrazzamento antropico. Rivisitando le zone di innesco della frana dello Scraio del 1966 e di Mitigliano del 1973 e rileggendo le accurate descrizioni di de Riso & Nota D'Elogio (1973) e di Civita & alii (1975) si è avuto nel primo caso un innesco nei materiali di riporto per il riempimento della base di una stradina e di alcune macere e nel secondo caso l'innesco della fase di scorrimento è stato provocato dalla caduta di un grande masso. Infine le due frane di Corbara in località «Il Girone» e di M. Pendolo di Gragnano si sono generate su versanti naturali non alterati dall'uomo.

Altre osservazioni sulle possibili cause degli inneschi sono state ricavate da sopralluoghi effettuati nel Gennaio 1997 nella zona del comune di Quindici. In questo caso si è notato che nonostante tutte le frane si fossero sviluppate su versanti naturali, le loro nicchie, sempre di limitate dimensioni, si erano imposte spesso in corrispondenza di piccole strade o mulattiere che attraversano a varie altezze il versante.

Da quanto detto si evince che a parte pochi casi, molte delle grandi frane da scorrimento-colata si sono generate come piccoli dissesti favoriti da tagli stradali, da balze rocciose o da ripiani ottenuti con materiale di riporto, che impattando sui sottostanti versanti in precario equilibrio, hanno provocato l'innesco di frane di ben più ampie dimensioni.

### ANALISI DEI DATI STRATIGRAFICI E GEOMORFOLOGICI IN RAPPORTO AL CINEMATISMO DELLE FRANE

I dati geologici e geomorfologici esposti precedentemente ci permettono di affermare che le frane si sviluppano sempre con nicchie di limitate dimensioni, coinvolgendo terreni talora diversi, soprattutto con modalità e tipologie di primo innesco diverse da punto a punto. La successiva fase di scorrimento planare si realizza invece su versanti che presentano sempre le stesse condizioni stratigrafiche e soprattutto la presenza di estesi livelli di pomici. In questa seconda fase le frane si amplificano notevolmente verso settori laterali del versante presentando dimensioni areali 20-30 volte maggiori rispetto alla zona di nicchia.

Il fatto che cinque delle sei frane studiate si siano imposte in zone con analoghe caratteristiche stratigrafiche e soprattutto presentino un piano di scorrimento, attestato

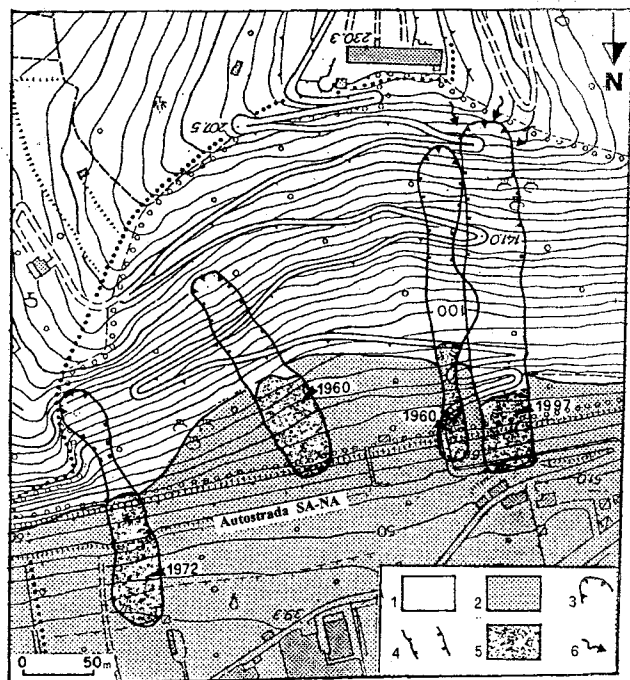


FIG. 13 - Le diverse frane da scorrimento-colata rapida che hanno interessato la collina di San Pantaleone (Paganì). 1) Piroclastiti pedogenizzate e suolo; 2) piroclastiti rimaneggiate; 3) nicchia di frana; 4) zona di scorrimento; 5) cumulo; 6) venuta di acqua.

FIG. 13 - The various rapid earth flows which interested the San. Pantaleone hill (Paganì village). 1) Weathered pyroclastic deposits and soil; 2) reworked pyroclastic deposits; 3) crown zones; 4) sliding zones; 5) body zones; 6) spring.

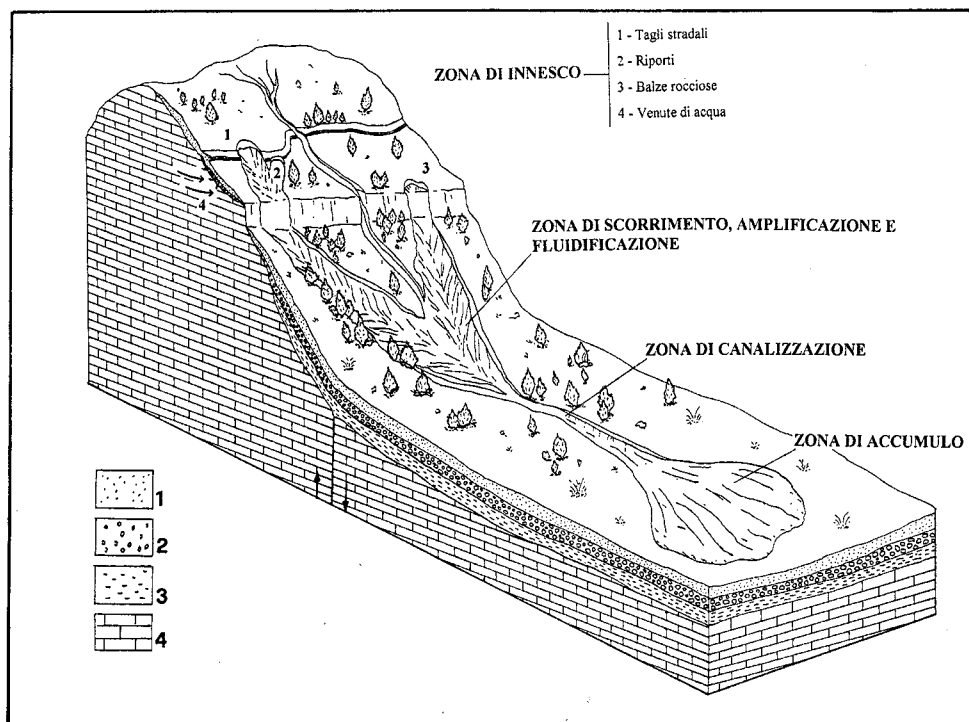


FIG. 14 - Sezione schematica e cinematico delle frane per scorrimento-colata rapida in penisola Sorrentina. 1) Piroclastiti pedogenizzate e suolo; 2) livello di pomici (79 d.C.); 3) cineriti (talora argillificate); 4) calcari mesozoici.

FIG. 14 - Cross section and kinematics of the rapid earth flows in the Sorrentine Peninsula. 1) Weathered pyroclastic deposits and soil; 2) pumiceous level of the 79 d.C. eruption; 3) ash deposits; 4) mesozoic limestones.

alla base o all'interno di un livello pomiceo rappresenta, a nostro avviso, un dato di notevole rilevanza (fig. 9).

I numerosi affioramenti di pomici sui fianchi delle frane sono da ritenersi, per semplice correlazione stratigrafica, residui di estesi livelli presenti sul versante prima dell'innesco della frana. Del resto in tutti i cumuli di frana sono state ritrovate grandi quantità di pomici rimaneggiate.

Noi pensiamo che tali livelli di pomici svolgano un ruolo determinante nella fase di scorrimento ed amplificazione delle frane per due motivi:

- il primo, più importante, è che le pomici definiscono degli intervalli molto porosi e permeabili che possono contenere notevoli quantitativi di acqua, soprattutto quando risultano confinati da livelli meno permeabili;
- il secondo è che esse, avendo una coesione molto bassa, possono fungere da piano preferenziale di scivolamento.

Riteniamo quindi che vaste porzioni di versante, in concomitanza di forti precipitazioni, si possano saturare raggiungendo così una condizione di equilibrio precario. Il più delle volte, piccole frane che si innescano come scorrimenti rotazionali o crolli, in genere in settori ad elevata acclività (>35°), impattano sul versante sottostante, provocando, con una sorta di effetto «detonatore», l'innesco di fenomeni di scorrimento molto più estesi (fig. 14) localizzati su pendii regolari con acclività comprese tra i 30° ed i 35°. Durante la fase di scorrimento si liberano notevoli quantità di acqua, soprattutto dai livelli di pomici, che fanno evolvere la frana a colata rapida di fango.

Alcune delle frane che dimostrano in modo molto chiaro quanto appena detto, sono quelle di Pozzano e S. Egidio M. Albino. Non è un caso inoltre che le frane che han-

no avuto una maggiore estensione dei cumuli, con una notevole fluidità e «capacità di invasione», sono quelle caratterizzate dalla presenza di un livello di pomici più continuo e di maggiore spessore, localizzato nella zona di scorrimento. Di contro, le due frane di Corbara (località «Il Girone») che si sono attivate in settori di alta acclività (40°) ed hanno coinvolto un versante con limitata presenza di pomici, presentano una limitata lunghezza del cumulo.

#### CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio geomorfologico e stratigrafico eseguito sulle più importanti frane da scorrimento-colata rapida che hanno interessato la Penisola Sorrentina nel Gennaio 1997, integrato con le osservazioni effettuate su frane analoghe precedenti, ha permesso di giungere alle seguenti considerazioni conclusive:

- a) le frane possono essere di due principali tipologie, incanalate e non incanalate; le prime presentano una maggiore fluidità e potenzialità d'invasione;
- b) tutte le frane presentano una nicchia di limitate dimensioni (pochi m<sup>2</sup>) attivatasi come scorrimento planare, talora come crollo (Mitigliano) e in pochi casi come scorrimento rotazionale (S. Egidio M. Albino, Pozzano). Questo primo corpo di frana impatta sulla sottostante porzione di versante, meno acclive, innescando uno scorrimento planare di notevole dimensione soprattutto se il pendio è caratterizzato dalla presenza di pomici. In questa fase la frana si amplifica nei settori inferiori e laterali con una sorta di «effetto valanga». Il piano di

- scorrimento di questo secondo e più importante settore si attesta, il più delle volte, alla base o all'interno di un livello pomiceo;
- c) l'analisi stratigrafica effettuata su tutte le frane nelle zone di scorrimento ha evidenziato la costante presenza di livelli di pomici stratificate parallelamente al versante. Tali livelli oltre a giocare un ruolo importante come piano di scivolamento, essendo confinati da livelli meno permeabili, contengono grandi quantitativi d'acqua che una volta liberati possono accrescere la fluidità della massa in frana; quest'ultima acquisisce così un'elevata velocità e conseguentemente un'elevato potere di trasferimento e d'invasione;
- d) i valori di acclività relativi ai vari settori delle 16 frane studiate sono risultati  $>35^\circ$  per le zone di nicchia,  $30-35^\circ$  per le zone di scorrimento e  $<25^\circ$  per le zone di cumulo.
- e) esiste un rapporto di proporzionalità diretta (0.9) tra dislivello (calcolato tra la nicchia di frana e la prima rottura di pendenza al piede del versante) e la capacità di invasione del cumulo. Anche la presenza di pomici nella zona di scorrimento sembra favorire la capacità di invasione;
- f) in alcuni casi scavi o incisioni, localizzate alla base dei versanti in frana, hanno evidenziato chiaramente la presenza di paleocumuli; questi indicano che in passato tali fenomeni si sono ripetuti più volte come già evidenziato sui versanti di M. Pendolo a Gragnano, di San Pantaleone a Pagani, di Pimonte e Castellammare;
- g) relativamente alle cause dell'innescamento delle frane, si è visto che possono essere diverse e spesso favorite dall'uomo; presenza di balze rocciose, piccole sorgenti, tagli stradali, mulattiere, accumulo di materiale di riporto e acque non bene canalizzate, hanno talvolta facilitato gli inneschi.

Per quanto riguarda le relazioni con la pluviometria e la idrogeologia, (De Falco & *alii*, 1997), a nostro avviso va ancora molto approfondito sia lo studio sull'influenza locale delle precipitazioni relative ai mesi precedenti all'innescamento, sia lo schema di circolazione idrica nelle coltri di copertura che non può non tenere conto di un corretto modello stratigrafico e di dati strumentali.

Anche il ruolo svolto dalla vegetazione andrebbe approfondito in quanto ci è sembrato che le frane si sono attivate in zone sia alberate che non. Nelle prime, in particolare, si è potuto constatare la posizione più alta dell'apparato radicale rispetto al piano di scorrimento.

In conclusione riteniamo che i dati esposti, possano risultare utili per ulteriori approfondimenti e per successivi studi di maggiore dettaglio indirizzati alla mitigazione del rischio da frana per scorrimento-colata rapida. Essi dovranno essere finalizzati al riconoscimento delle potenziali aree di primo innescamento delle frane, all'individuazione dei versanti con caratteristiche stratigrafiche e geomorfologiche tali da favorire l'amplificazione del fenomeno, alla ricostruzione del cinematismo e delle traiettorie, nonché alla definizione delle potenziali zone di invasione del corpo di frana.

- AMANTI M., CASAGLI N., CATANI F., D'OREFICE M. & MOTTERAN G. (1996) - *Guida al censimento dei fenomeni franosi ed alla loro archiviazione*. Miscellanea Serv. Geologico, 7, Roma, 109 pp.
- AUCELLI P., CINQUE A. & MEROLA D. (1996) - *Discriminazione cronologica di eventi deformativi fragili lungo il margine settentrionale dei Monti Lattari sulla base di dati geologici e geomorfologici*. Il Quaternario, 9, 319-324.
- BRANCACCIO L. (1968) - *Genesi e caratteri delle forme costiere nella Penisola Sorrentina*. Boll. Soc. Naturalisti Napoli, 77, 247-274.
- BRANCACCIO L., CINQUE A. & SGROSSO I. (1978) - *L'analisi morfologica dei versanti come strumento per la ricostruzione degli eventi neotettonici*. Mem. Soc. Geol. It., 19.
- BRANCACCIO L., CINQUE A., RUSSO F. & SGAMBATI D. (1998) - *Le frane del 5-6 maggio 1998 nel gruppo montuoso del Pizzo D'Alvano: primi risultati di uno studio geomorfologico*. In: Celico P., *L'instabilità delle coltri piroclastiche delle dorsali carbonatiche in Campania: primi risultati di uno studio interdisciplinare*. Il rapporto informativo dell'U.O. 4.21 del CNR-GNDCI.
- BUDETTA P., CALCATERRA D. & SANTO A. (1994) - *Engineering-geological zoning of potentially unstable rock slopes in Sorrentine Peninsula (Southern Italy)*. Proc. 7th Int. Congr. I.A.E.G., Lisbona, 2119-2126, Balkema.
- BUDETTA P., NICOTERA P. & SANTO A. (1996) - *Controlli e monitoraggio di fenomeni deformativi indotti da carsismo in versanti carbonatici dell'Appennino campano*. Atti Conv. Int. «La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della Ricerca scientifica». Alba (CN), Volume I, C.N.R., 383-395.
- CAINE N. (1980) - *The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows*. Geografiska Annal., 62A, 23-27.
- CALCATERRA D. & GUARINO P. M. (1997) - *Dinamica morfologica e fenomeni franosi recenti nell'area collinare napoletana (sattore occidentale)*. Atti IX Congr. Ordine Naz. Geologi, Roma 17-20 Aprile 1997.
- CALCATERRA D., SANTO A., DE RISO R., BUDETTA P., DI CRESCENZO G., FRANCO I., GALIETTA G., IOVINELLI R., NAPOLITANO P. & PALMA B. (1997) - *Fenomeni franosi connessi all'evento pluviometrico del Gennaio 1997 in Penisola Sorrentina-M.ti Lattari: primo contributo*. Atti IX Congr. Ordine Naz. Geologi, Roma 17-20 Aprile 1997.
- CALCATERRA D. & SANTO A. (1998) - *La frana di Pozzano del 10 Gennaio 1997*. In stampa.
- CANUTI P. & ESU F. (1995) - *Glossario internazionale per le frane*. Riv. It. Geotecnica, 29 (2), 143-150.
- CAPORTI F. & TOZZI M. (1991) - *Tettonica trascorrente nella Penisola Sorrentina*, Mem. Soc. Geol. It., 45, 35-57.
- CASCINI L. & VERSACE P. (1986) - *Eventi pluviometrici e movimenti franosi*. Atti del XVI Convegno Nazionale di Geotecnica. A.G.I., Bologna 14-16 Maggio 1986, 3, 171-184.
- CELICO P., GUADAGNO F.M. & VALLARIO A. (1986) - *Proposta di un modello interpretativo per lo studio delle frane nei terreni piroclastici*. Geol. Appl. Idrogeol., 22, 73-193.
- CINQUE A. & ROMANO P. (1990) - *Segnalazione di nuove evidenze di antiche linee di riva in Penisola Sorrentina (Campania)*. Geogr. Fis. Dinam. Quatern., 13, 23-36.
- CINQUE A. (1986) - *Guida alle escursioni geomorfologiche. Penisola Sorrentina, Capri, Piana del Sele e Monti Picentini*. Pubbl. n° 33, Dip. Scienze della Terra, Univ. Napoli.
- CIVITA M., DE RISO R., LUCINI P. & NOTA D'ELOGIO E. (1975) - *Studio delle condizioni di stabilità dei terreni della Penisola Sorrentina*. Geol. Appl. Idrogeol., 10, 129-188.
- CRUDEN D.M. & VARNES D.J. (1996) - *Landslide types and processes*. In: Turner A.K. & Schuster R.L. (eds.), *Landslides: investigation and mitigation*. Nat. Res. Council, Transp. Res. Board Sp. Rep. 247, 36-75.
- DE FALCO M., DE RISO R. & DUCCI D. (1997) - *La piovosità della Penisola Sorrentina e dei M.ti Lattari in relazione all'evento del Gennaio 1997*. Atti IX Congr. Ordine Naz. Geologi, Roma 17-20 Aprile 1997.
- DE RISO R. & NOTA D'ELOGIO E. (1973) - *Sulla franosità della zona sud-occidentale della Penisola Sorrentina (Campania)*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl. Napoli, 12, 46 pp.

- DECINO A., CURTIS G. & ROSI M. (1992) - *40 Ar/39 Ar dating of the Campanian Ignimbrite, Campanian region, Italy*. I.G.C., Kyoto, Japan, 24 Aug.-3Sept. Abstr. Vol. 3.
- DIKAU R., BRUNSDEN D., SCHROTT L. & IBSEN M. L., (1996) - *Landslide recognition, identification, movement and causes*. Report N° 1 of the European Commission Environment Programme. Wiley & Sons.
- ESPOSITO L. & GUADAGNO F. M. (1998) - *Some special geotechnical properties of pumice deposit*. Bull. Eng. Geol. Env., 57, 1-10.
- GIASI C.I., GUADAGNO F.M. & MELE R. (1996) - *Alcuni aspetti delle fenomenologie franose nelle coperture piroclastiche dei versanti di Monte Pendolo (Gragnano, NA)*. Atti VI Conferenza Scientifica annuale sulle attività di Ricerca dei Dipartimenti, Giornate Poster sulle ricerche del Gruppo Geomineralogico, Univ. Di Napoli, 66-68.
- GIULIVO I. & SANTO A. (1998) - *Stratigrafia del sottosuolo e problemi geomorfologico-applicativi della Città di Avellino*. Atti del Convegno «Geologia delle grandi aree urbane». Progetto strategico C.N.R., Bologna. In stampa.
- GUADAGNO F. M., PALMIERI M., SIVIERO V. & VALLARIO A. (1988) - *Alcuni aspetti degli eventi franosi di tipo colata in vulcanoclastiti incoerenti nell'area campana*. 74° Cong. Soc. Geol. It., B.
- GUADAGNO F. M., PALMIERI M., SIVIERO V. & VALLARIO A. (1998) - *La frana di Palma Campania*. Geologia Tecnica, 4, 18-29.
- GUADAGNO F.M. (1991) - *Debris flows in the Campanian volcanoclastic soils (Southern Italy)*. Proc. Int. Conf. on «Slope stability engineering developments and applications», Isle of Wight, 109-114.
- GUIDA M., IACCARINO G. & VALLARIO A. (1974) - *Alcune considerazioni sui fenomeni di dissesto e sulla difesa del suolo nella Penisola Sorrentina*. Geologia Tecnica, 2.
- GUIDA M., PAGANO D. & VALLARIO A. (1986) - *I fenomeni franosi della Penisola Sorrentina*. In: Cinque A. (ed.), *Guida alle escursioni geomorfologiche (Penisola Sorrentina, Capri, Piana del Sele e Monti Picentini)*, 69-90, pubbl. n° 33, Dip. Scienze della Terra, Univ. Napoli.
- KRIZEK R.S. (Eds.) - *Landslides: analysis and control*. U.S. Nat. Acad. Sc., Transp. Res.
- LAZZARI A. (1954) - *Aspetti geologici dei fenomeni verificatesi nel Salernitano in conseguenza del nubifragio del 25-26 ottobre 1954*. Boll. Soc. Naturalisti Napoli, 63, 131-142.
- LEHMANN O. (1933) - *Morfologische Theorie der Verwitterung von Steislagwänden*. Viertel. Der Naturforsch. Ges. Zurich, 83-236.
- LIRER L., MUNNO R., PETROSINO P. & VINCI A. (1993) - *Tephrostratigraphy of the A.D. 79 Pyroclastic deposits in perivolcanic areas of Mt. Vesuvio (Italy)*. Journ. Volcan. a. Geoth. Res., 58, 133-149.
- MILIA A. & TORRENTE M. M. (1997) - *Evoluzione tettonica della Penisola Sorrentina (margini peritirrenico campano)*. Boll. Soc. Geol. It., 116, 487-502.
- MONTELLA N. (1841) - *Sposizione del disastro avvenuto in Gragnano diretta ad allontanare il timore di nuovi pericoli*. Tip. del Petrarca, Napoli.
- PENTA F., LUPINO O.R., CAPOZZA F. & ESU F. (1954) - *Effetti dell'alluvione del 26 ottobre 1954 nel Salernitano*. Geotecnica, 1.
- RANIERI C. (1841) - *Sul funesto avvenimento della notte del 21 al 22 Gennaio 1841 nel comune di Gragnano*. Boezio, Napoli.
- ROLANDI G. (1997) - *The eruptive history of Somma-Vesuvius volcanism and Archeology in mediterranean area*. Ed. De Vivo & Cortini.
- ROLANDI G., MARAFFI S., PETROSINO P. & LIRER L. (1993) - *The Ottaviano eruption of Somma-Vesuvius (8000 y b.p.): a magmatic alternating fall and flow-forming eruption*. Journ. Volcan. a. Geoth. Reser., 58, 43-65.
- ROLANDI G., MASTROLENZO G., BARRELLA A.M. & BORRELLI A. (1993) - *The Avellino plinian eruption of Somma-Vesuvius (3760 y b.p): the progressive evolution from magmatic to hydromagmatic style*. Journ. Volcan. Geoth. Reser., 58, 67-88.
- ROLANDI G., MUNNO R. & POSTIGLIONE C. (1998) - *The A.D. 472 eruption of Somma volcano*. In stampa.
- SANTO A. & TUCCIMEI P. (1997) - *Ricostruzione di eventi deformativi di versante tardo-quadernari ed olocenici attraverso studi geomorfologici e datazioni radiometriche Tb/U: l'esempio dell'area di Vico Equense (Campania)*. Il Quaternario, 10, 447-484.
- SIGURDSSON H., CASHDOLLAR S. & SPARKS S. R. J. (1982) - *The eruption of Vesuvius in A.D. 79: reconstruction from historical and volcanological evidence*. Am. Journ. Archeology, 86.
- VARNES D. J. (1978) - *Slope movement types and processes*. In: Schuster R.L. & Krizek R.S. (eds.), *Landslides: analysis and control*. U.S. Nat. Acad. Sci., Transp. Res. Board Sp. Rep 176, 11-33.
- YOUNG A. (1972) - *Slopes*. Oliver and Boyd, Edinburg.
- WP/WLI (1993) - *A suggested method for describing the activity of a landslide*. Bull. Int. Ass. Eng. Geol., 47, 53-57.