

Le frane da colata rapida in terreni piroclastici dei contesti in flysch dell'entroterra campano

Giuseppe Di Crescenzo¹, Marcello Rotella², Antonio Santo³

¹Dottore di Ricerca – Università Federico II di Napoli - g.di.crescenzo@alice.it; ²Geologo libero professionista – marotella@tin.it;

³Sezione di Geologia Applicata, Dipartimento di Ingegneria Geotecnica – Università Federico II di Napoli - santo@unina.it

Flowslides involving pyroclastic deposits in flysch hilly contexts of Campania region (southern Italy)

ABSTRACT: This note aims to focus on the geological details of the flowslides that take place along flysch slopes covered by pyroclastic deposits. These landslides, even showing such analogies as these of the carbonatic and vulcanic contexts (high fluidity and speed), they reveal remarkable differences, particularly for what concerns the triggering mechanism. Some of these, occurred in the most recent years, have been analyzed recording the most important geological elements. In all assessed landslides it was revealed that the slip surfaces are generally located at the contact between the clayey-marly substratum and the pyroclastic cover; from a typological point of view, they were generally complex landslides characterized by an early slip and a subsequent flow evolution. In almost all of the landslide scar zone the presence of several seasonal sources was assessed. As for the most important geomorphological aspects, it was noticed that rapid flows, which start along flysch slopes, have remarkable differences in comparison with those of the carbonatic slopes, as they got active in low acclivity areas (15-25°). As for the advance capacity, it was revealed that the values of the reach angle were low and in the 9° and 15° range. This shows the high fluidity of the materials to be related with the high saturation of the soils which is subjected to the local presence of a groundwater close to the country level. As for the relationship between the rainfalls and the triggering, it was noticed that the months preceding the events, which had actually filled the nappe in the substratum and that had partly permeated the lower levels of the pyroclastic covers, were really decisive. These slides, even involving low inclination slopes, show high fluidity and speed and, thus, a remarkable invasion capacity. This last aspect is of great importance for a correct territorial planning and for the landslides hazard and risk maps redaction.

Key terms: Flowslides, Morphometric analysis, Critical rainfall, Flysch, Campania Region

Termini chiave: Frane da colata rapida di fango, Analisi morfometrica, Eventi meteorici, Flysch, Campania

Riassunto

Questa nota intende soffermarsi sulle particolarità geologiche e geomorfologiche delle frane che si originano nelle coperture piroclastiche di rilievi collinari terrigeni presenti nel settore orientale della Campania. In tale contesto, negli ultimi decenni, si sono innescate più volte colate rapide di fango di cui spesso, purtroppo, si è persa la memoria storica.

Il rilevamento compiuto su alcuni fenomeni franosi più recenti ha messo in evidenza che tali dissesti, pur mostrando alcune analogie con quelle dei contesti carbonatici e vulcanici (innesco improvviso ed elevata velocità), presentano marcate differenze da un punto di vista geomorfologico e, in particolare, per quanto riguarda i possibili scenari di attivazione.

Da un punto di vista tipologico si è spesso trattato di frane complesse caratterizzate da un iniziale scorrimento con successiva evoluzione a colata per fenomeni di liquefazione e fluidificazione (*flowslides*).

Le superfici di scorrimento si localizzano nelle

coperture piroclastiche ed in particolare nella porzione basale di queste ultime, in prossimità del substrato marnoso-argilloso che è stato spesso messo a giorno nelle aree sorgente. Qui, inoltre, è stata rilevata quasi sempre la presenza di numerose sorgenti stagionali impostate nel substrato flyschoidale e risultate attive per almeno un mese, successivamente alla attivazione.

Da un punto di vista geomorfologico le colate rapide in esame presentano marcate differenze rispetto a quelle dei versanti carbonatici in quanto si attivano anche in contesti con acclività modeste (15-25°) e, in particolare, in zone ove solo raramente sono state osservate scarpate o tagli di origine antropica. L'attivazione avviene spesso in concavità morfologiche nelle quali il materiale piroclastico ha avuto la possibilità di accumularsi raggiungendo spessori maggiori e comunque di alcuni metri. Il volume dei materiali coinvolti generalmente non supera alcune migliaia di metri cubi e, in contrasto con quanto avviene per le frane dei contesti carbonatici, le aree di alimentazione presentano ampiezze rilevanti se rapportate all'area totale interessata dal dissesto.

Per quanto attiene alla capacità di avanzamento, sono stati riscontrati bassi valori dell'angolo di estensione (*reach angle*), generalmente compresi tra 9° e 19°. Ciò dimostra la notevole fluidità delle masse in frana dovuta all'elevato grado di saturazione dei terreni, a sua volta condizionato dall'assetto geologico ed idrogeologico locale (superficie piezometrica prossima al contatto tra substrato e coperture piroclastiche).

Le analisi pluviometriche hanno evidenziato il carattere determinante dei mesi piovosi precedenti alla attivazione delle frane. In questo periodo, infatti, si è avuta la completa saturazione delle coperture piroclastiche per apporti provenienti sia dalla falda impostata nel substrato, in seguito alla sua risalita, sia per infiltrazione diretta delle acque meteoriche.

Si sottolinea, infine, che queste frane, pur coinvolgendo versanti a bassa pendenza, presentano velocità elevate, notevole fluidità e quindi capacità di avanzamento non trascurabili. Quest'ultimo aspetto risulta di importanza fondamentale per una corretta pianificazione territoriale e per la redazione di carte della

pericolosità e del rischio da frana.

1. Premessa

Negli ultimi anni numerosi studi si sono interessati delle frane da colata rapida di fango che hanno colpito ripetutamente la Campania provocando ingenti danni e numerose vittime (Calcaterra *et alii* 1997; Celico & Guadagno, 1998; Del Prete *et alii* 1998; Di Crescenzo & Santo, 1999; Cascini *et alii*, 2000; de Riso *et alii*, 2004). Queste frane si sviluppano in concomitanza di forti precipitazioni, coinvolgono piroclastiti sciolte e suoli poggianti per lo più su versanti calcarei e vulcanici ad elevata acclività e, più di rado, su versanti collinari in flysch.

Il termine colata, che qui adatteremo in quanto ampiamente utilizzato in Letteratura, indica una moltitudine di fenomeni franosi che possono coinvolgere depositi, sia naturali che artificiali, con proprietà fisico meccaniche molto variabili (Cascini *et alii*, 2003).

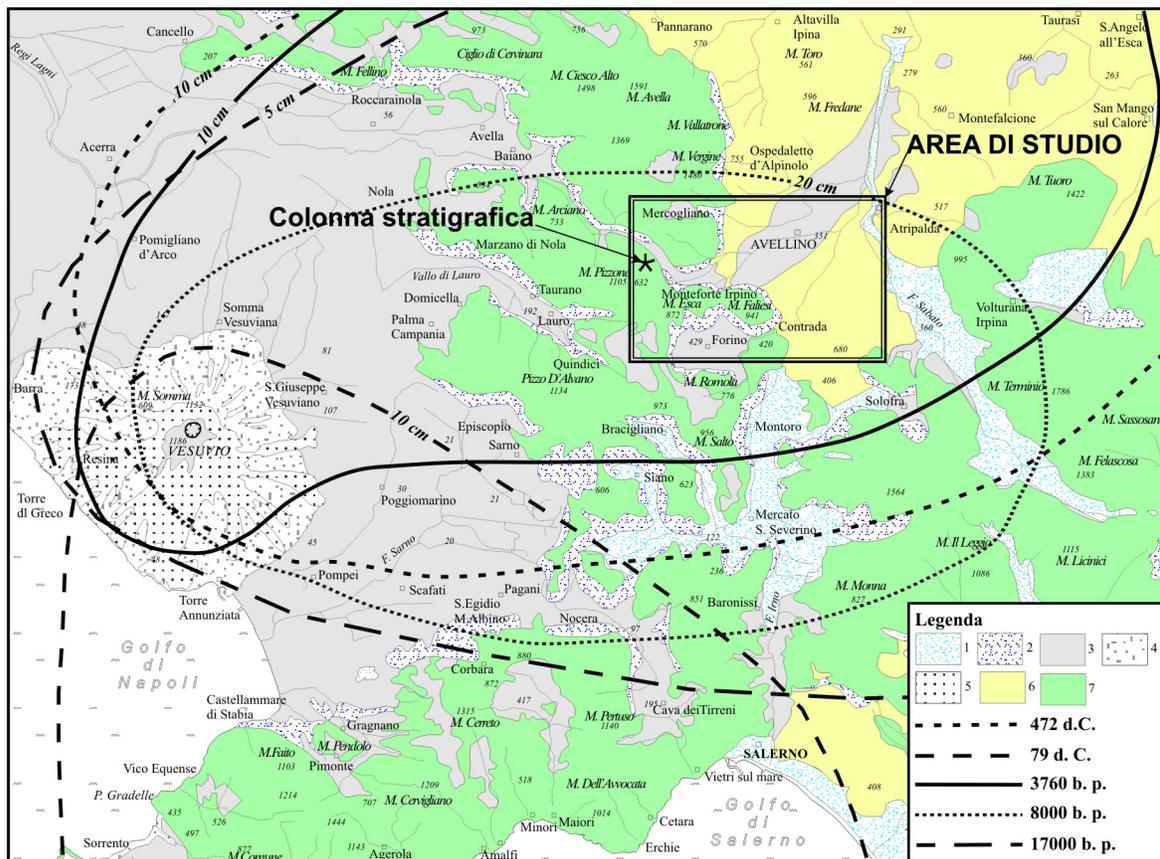


Figura 1: Distribuzione dei principali depositi da caduta del Somma-Vesuvio: 1) Depositi alluvionali recenti (Olocene); 2) Detrito di falda (Pleistocene sup.-Olocene); 3) Depositi piroclastici da caduta; 4) Piroclastiti da flusso; 5) Lave (Olocene-Pleistocene); 6) Depositi terrigeni (Mio-Pliocene); 7) Calcari e dolomie mesozoici (dati degli assi di dispersione da Rolandi *et alii*, 2000).

Figure 1: Distribution of the main pyroclastic fall deposits of the Somma-Vesuvio. 1) Recent alluvial deposit (Holocene); 2) Detrital deposits (Holocene-Pleistocene); 3) Pyroclastic fall deposits; 4) Pyroclastic flows; 5) Lavas (Holocene-Pleistocene). 6) Terrigenous deposits (Mio-Pliocene); 7) Mesozoic limestones (data from Rolandi *et alii*, 2000).

Da un punto di vista cinematico le colate presentano, inoltre, significative differenze nei caratteri evolutivi dalla fase di innesco a quella di arresto. In particolare, facendo riferimento al tipo di materiale coinvolto, alla sua genesi e contenuto in acqua nonché ai caratteri geometrici e cinematici delle instabilità campane esse possono essere definite terminologicamente (Hungri *et alii*, 2001) come “*debris avalanches – debris flows*” (Revellino *et alii*, 2004; Guadagno & Revellino, 2005) oppure “*flow slides*” (Cascini *et alii*, 2003; Cairo & Dente, 2003; Olivares & Picarelli, 2006). In quest’ultimo caso si ipotizzano fenomeni di fluidificazione (Musso & Olivares, 2004) essendo i materiali coinvolti liquefacibili una volta saturati (Olivares & Picarelli, 2001).

Esiste una vasta letteratura sulle frane da colata rapida sviluppatasi nei contesti calcarei e vulcanici, mentre risultano ancora poco studiate quelle impostate su versanti marnoso-argillosi nonostante esse abbiano interessato, negli ultimi decenni, sempre più frequentemente il tessuto urbano e le infrastrutture arrecando numerosi danni e, purtroppo, anche una vittima.

Questa nota si soffermerà sulle particolarità di queste frane che, pur presentando alcune analogie con quelle dei

contesti carbonatici e vulcanici (innesco improvviso ed elevata velocità) si differenziano per le caratteristiche geomorfologiche e la tipologia degli inneschi.

Si illustrerà una casistica significativa di frane soffermandosi anche sulle relazioni tra innesco ed eventi pluviometrici ed, infine, si faranno considerazioni sugli aspetti geologico-geomorfologici più significativi, utili per studi di carattere previsionale e rivolti alla definizione della suscettibilità a franare.

2. Il contesto geologico

L’area di studio ricade nel settore nord-orientale della Campania dove i massicci carbonatici ed alcuni rilievi collinari terrigeni sono stati ricoperti da pochi metri di depositi piroclastici da caduta (ceneri e pomici) associabili alle diverse eruzioni vulcaniche del Somma-Vesuvio (Figura 1).

Il substrato è costituito da calcari di piattaforma carbonatica, prevalentemente cretacici, riferibili all’unità stratigrafico-strutturale dei Monti del Partenio (Bonardi *et alii*, 1988) interessati da importanti faglie regionali che bordano anche la conca di Avellino.

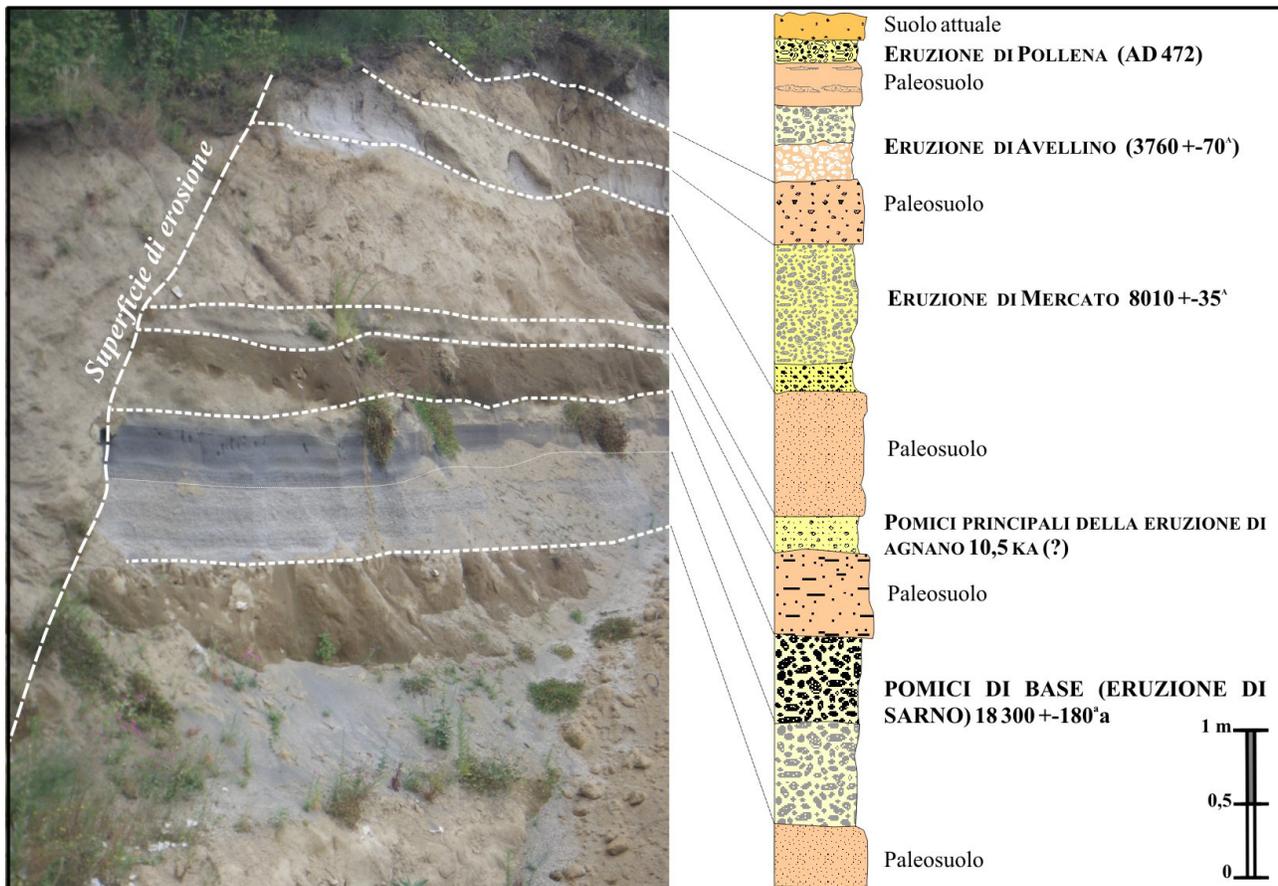


Figura 2: Colonna stratigrafica dei terreni piroclastici presenti nell’area di studio, ricostruita nel comune di Monteforte Irpino (per l’ubicazione vedere Figura 1).

Figure 2: Stratigraphic column of the pyroclastic depositis cropping out near Monteforte Irpino Village (for ubication see Figure 1).

Quest'ultima rappresenta un basso strutturale in cui sono conservati depositi terrigeni (mio-pliocenici) e i prodotti recenti tufacei dell'Ignimbrite Campana, preservati dall'erosione solo lungo le principali aste vallive (Giulivo & Santo, 1997).

Nel settore meridionale ed orientale della conca di Avellino affiorano, infatti, prevalentemente successioni torbiditiche marnoso-argillose mioceniche sinorogene, generalmente molto deformate con valori di permeabilità variabili e, nel complesso, medio-bassi. Esse costituiscono l'ossatura di alcuni piccoli rilievi che raggiungono i 700 m s. l.m. (M. Le Croci, M. Termito) su cui sorgono alcuni centri urbani, come quelli di Aiello, Contrada, Forino ed alcune frazioni della città di Avellino. Su questi rilievi sono presenti, diffusamente, coperture piroclastiche (Figura 1) costituite da alternanze di cineriti pedogenizzate, paleosuoli e livelli pomicei, generalmente dello spessore compreso tra alcuni decimetri e pochi metri (Rolandi, 1997; Rolandi *et alii*

2000; Pareschi *et alii*, 2002). In Figura 2 è riportata una colonna stratigrafica rappresentativa dei principali orizzonti vulcanici presenti nell'area di studio, ricostruita, in un'area di versante, pochi chilometri ad ovest del centro abitato di Avellino

Per quanto riguarda l'assetto geomorfologico i versanti in flysch presentano basse energie di rilievo (alcune centinaia di metri) e acclività medie inferiori a 25°. Il reticolo idrografico si presenta ben sviluppato ed i corsi d'acqua principali drenano verso la piana di Avellino alimentando il bacino del fiume Sabato a sua volta tributario del F, Volturno.

3. Descrizione delle frane che hanno interessato i versanti in flysch

Nell'area compresa tra i centri abitati di Avellino, Monteforte, Contrada e Forino si sono innescate più volte negli ultimi decenni frane da colata rapida di fango.

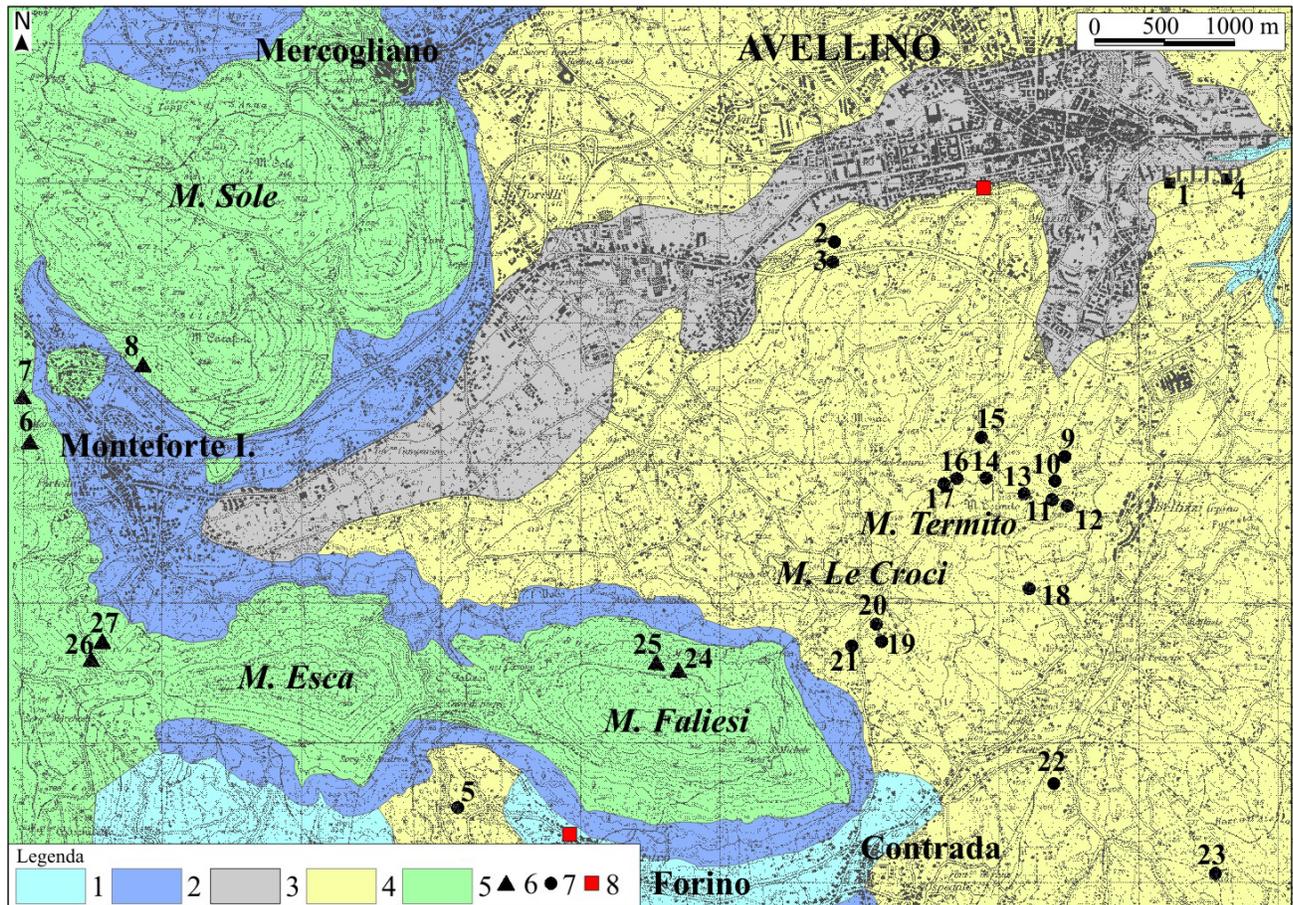


Figura 3: Schema geologico dell'area di studio e ubicazione delle principali frane (vedi anche Tabella 1). 1) Alluvioni recenti; 2) Detrito di versante; 3) Ignimbrite campana; 4) Depositi terrigeni mio-pliocenici; 5) Calcarei cretaccici; Colate rapide su calcari (6) e su versanti in flysch (7); 8) Pluviometro di Forino (For.) e Avellino-Genio Civile (G.C.).

Figure 3: Geological sketch of the studied area and location of the main flowslides (see also Table 1). 1) Recent alluvial deposits; 2) Detrital deposits; 3) Campanian Ignimbrite; 4) Terrigenous mio-pliocene deposits; 5) Cretaceous limestones; 6) Flowslides on the carbonatic slope; and on the terrigenous slope (7); 8) Rain gage of Forino (For.) and Avellino-Genio Civile (G.C.).

Per molte di esse, purtroppo, si è persa la memoria storica e risultano, in gran parte, obliolate dalla vegetazione. Alcune colate hanno interessato i rilievi carbonatici, come quelle del 1997 (n° 7 e 8, Figura 3 e Tabella 1) e le più recenti di M. Faliesi e di Monteforte (n° 24, 25, 26, 27, Figura 3). Circa 20 eventi, con lunghezze spesso maggiori di 100 m, hanno interessato, invece, i versanti in flysch.

Di seguito vengono riportati i dati salienti dei dissesti più importanti verificatesi immediatamente dopo gli intensi eventi pluviometrici del 9-10 gennaio 1997 (frane n° 2, 3, 5, Tabella 1 e Figura 3) e del 4-5 marzo 2005 (frane n° 9-17, 19-23, Tabella 1 e Figura 3).

3.1 Gli eventi franosi del gennaio 1997

Durante l'evento alluvionale del 9-10 gennaio 1997 si innescarono numerose frane da colata rapida in tutta la

Campania (Calcaterra *et alii*, 1997; Di Crescenzo & Santo 1999; 2005).

Molte di esse interessarono i contesti carbonatici quali quello della Penisola Sorrentina-Monti Lattari, Monti di Sarno (Pizzo d'Alvano) e di Avella. Un numero minore colpì la zona di Avellino interessando i versanti in flysch localizzati in prossimità della città e dell'abitato di Forino.

3.1.1 Le frane della variante di Avellino

In prossimità del primo km della variante SS. 7/bis di Avellino, il 10 gennaio si innescarono due frane immediatamente a monte e a valle del rilevato stradale. Quella di monte (n° 3) investì la carreggiata interrompendone la funzionalità per alcuni giorni con conseguente notevole disagio per i cittadini (Figure 4 e 5).

Tabella 1: Frane censite e principali parametri morfometrici (per l'ubicazione delle frane vedere la Figura 3).

Table 1: *Flowslides inventory and list of main morphometric parameters (for the ubication of the landslides see Figure 3).*

N. frana	Comune	Località	Substrato	anno	Quota nicchia m s.l.m.	Dislivello m	Lunghezza m	Reach angle °	Volume m ³
1	Avellino	Collina Liquorini	conglomerati	1990					
2	Avellino	Variante SS 7/bis	flysch	1997	367,5	19,5	87	13	1140
3	Avellino	Variante SS 7/bis	flysch	1997	398	23,4	58	22	543
4	Avellino	Collina liquorini	conglomerati	1997		0			
5	Forino	Strada Breccelle	flysch	1997	521	54	272	11	19500
6	Monteforte Irpinc	Portella	calcari	1997	750	175	415	23	6000
7	Monteforte Irpinc	Portella	calcari	1997		0			
8	Monteforte Irpinc	M.te Carafone	calcari	1997		0			
9	Avellino	M.te Termito - Loc. Cesine	flysch	2005	442	37	112,5	18	950
10	Avellino	M.te Termito - Loc. Cesine	flysch	2005	468	26	115	13	538
11	Avellino	M.te Termito - Loc. Cesine	flysch	2005	509	41	140	16	2250
12	Avellino	M.te Termito - Loc. Cesine	flysch	2005	495	15	52,5	0	198
13	Avellino	M.te Termito - Loc. Cesine	flysch	2005	504	34	125	15	3264
14	Avellino	M.te Termito - Loc. Cesine	flysch	2005	521	43	160	15	2130
15	Avellino	M.te Termito - Loc. Cesine	flysch	2005	443	31	95	18	525
16	Avellino	M.te Termito - Loc. Cesine	flysch	2005	515	18	75	13	625
17	Avellino	M.te Termito - Loc. Cesine	flysch	2005	511	21	95	12	792
18	Avellino	Vallone Schiti	flysch	2005		0			
19	Avellino	Bosco de' Preti	flysch	2005	557	37	180	12	5325
20	Avellino	Bosco de' Preti	flysch	2005	578	21	85	14	2970
21	Avellino	Bosco de' Preti	flysch	2005	564	24	90	15	5940
22	Contrada	Pozzillo	flysch	2005	442,5	69,5	430	9	6435
23	Aiello del Sabato	Bosco d'Aiello	flysch	2005	538	45	193	13	3400
24	Avellino	M.te Faliesi	calcari	2005	772	232	450	27	21840
25	Avellino	M.te Faliesi	calcari	2005	775	255	520	26	14175
26	Monteforte Irpinc	Strada Breccelle	calcari	2005		0			
27	Monteforte Irpinc	Strada Breccelle	calcari	2006		0			

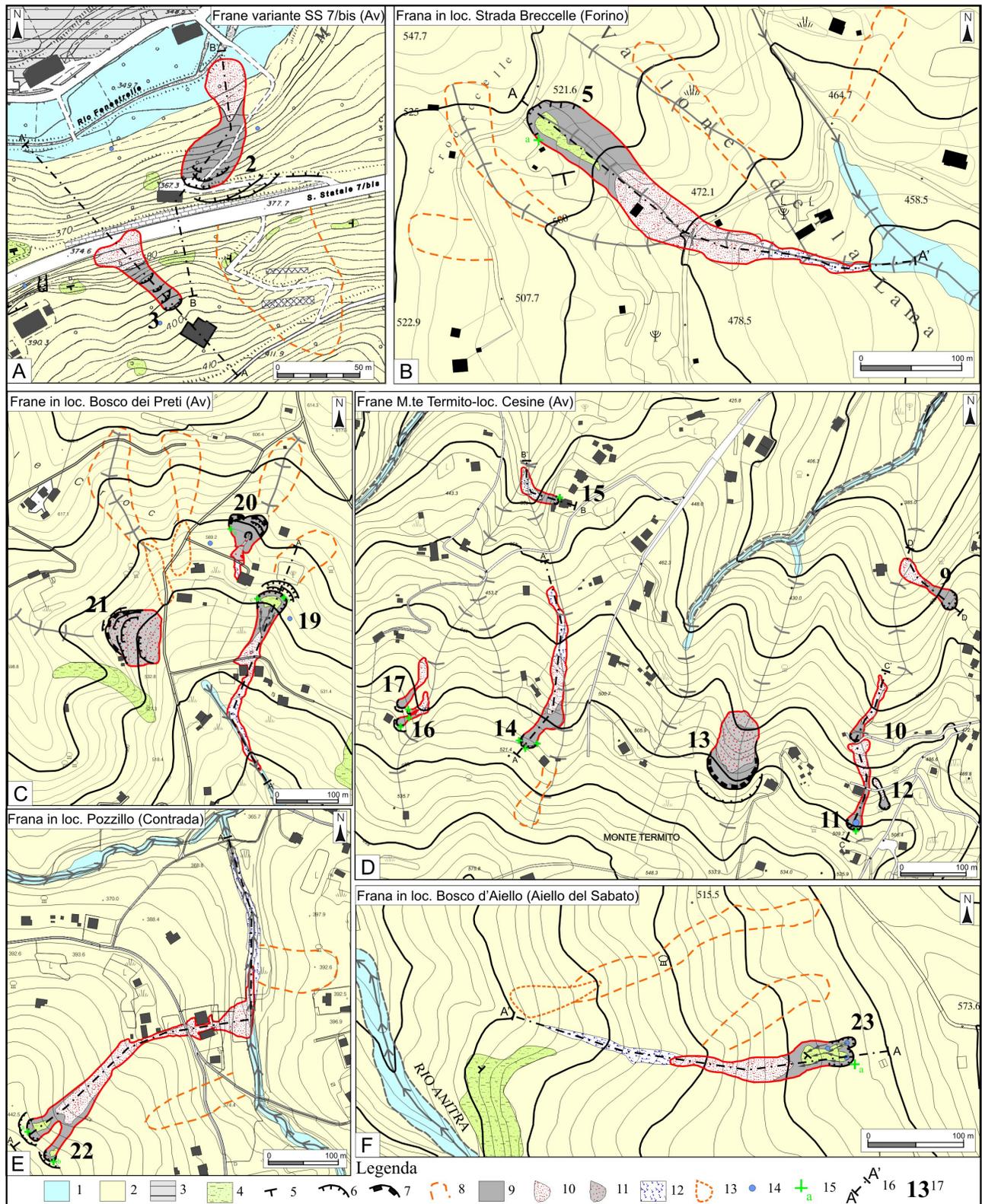


Figura 4: Schemi geologici e geomorfologici delle frane studiate: 1) Alluvioni recenti (Olocene); 2) Piroclastiti poggianti su flysch (Olocene); 3) Ignimbrite Campana (Pleistocene superiore); 4) Flysch marnoso-argilloso (Miocene); 5) Giacitura di strato; 6) Coronamento principale e secondario di frane del tipo scorrimento-colata rapida; 7) Coronamento di frana da scorrimento rotazionale; 8) Frana antica; 9) Area di innesco e scorrimento; 10) Cumulo di frana da colata rapida; 11) Cumulo di frana da scorrimento rotazio-



Figura 5: Le due frane ubicate a monte (a) e a valle (b) della variante SS 7 bis di Avellino.
Figure 5: The two landslides located down (a) and up (b) to the SS 7 bis of the Avellino.

Essa presentava uno sviluppo di circa 80 m con una nicchia caratterizzata da quattro ordini di piccole scarpate che ne evidenziavano un movimento di tipo rotazionale impostato nei depositi piroclastici (spessore di circa 2 m) poggianti sul substrato terrigeno. Più a valle la frana si incanalò in un piccolo impluvio invadendo la sottostante strada statale ed originando un cumulo del volume complessivo di circa 600 m³ (Figura 5).

Il coronamento della frana di valle (n° 2) invece, lambiva il muro di sostegno del rilevato stradale e anche in questo caso si osservavano quattro scarpate secondarie, con terrazzi in controtendenza, a dimostrazione di movimenti di tipo rotazionale. Nel complesso furono interessati 6-7 m di piroclastici rimaneggiati e terreni di riporto (volume di circa 1200 m³) poggianti sul substrato flyschoidale.

Entrambe le frane hanno avuto una evoluzione a colata e, in corrispondenza o in prossimità delle due zone di coronamento, sono state rilevate alcune piccole sorgenti.

3.1.2 La frana di Forino

Un'altra colata rapida dello sviluppo di circa 270 m interessò nel gennaio 1997 un versante in flysch in

località Parianico in prossimità dell'abitato di Forino (n° 5, Figura 4b).

L'orlo dell'area sorgente zona era localizzato in prossimità della strada che collega Monteforte Irpino a Forino (località Breccelle). Nell'area di alimentazione fu stimato uno spessore di materiale piroclastico pari a circa 1.5 m e furono rilevate alcune sorgenti alimentate dal substrato. I rilievi eseguiti lungo i fianchi della zona di scorrimento hanno evidenziato una coltre superficiale formata da cineriti e pomici riferibili all'eruzione di Avellino (Figura 6) poggianti su un substrato flyschoidale di natura marnoso-argillosa.

3.2 Gli scorrimenti-colata rapida del marzo 2005

L'evento meteorico del 5 marzo 2005 ha innescato diverse frane in ambito campano, alcune delle quali hanno arrecato alcune vittime come quella di Nocera sui Monti Lattari. Una serie di ricognizioni condotte nell'avellinese, all'indomani dell'evento meteorico, ha permesso di individuare circa 20 frane su versanti in flysch, concentrate in tre settori e, più precisamente, sul rilievo di Monte Le Croci (località Bosco dei Preti) sul versante meridionale di M. Termito e nei pressi dell'abitato di Contrada (Figura 4).

nale; 12) Area di fluidificazione del cumulo; 13) Cumulo di frana antica; 14) Sorgente; 15) Colonna stratigrafica e numero di riferimento; 16) Traccia di sezione geologica; 17) Numero di riferimento di Tabella 1 e Figura 3.

Figure 4: Geological and geomorphological sketches of the studied landslides. 1) Recent alluvional deposits (Holocene); 2) Pyroclastic deposits (Holocene); 3) Campanian Ignimbrite (Upper Pleistocene); 4) Terrigenous Miocene deposits; 5) Strata attitude; 6) Main and secondary crown of the translational and (7) rotational slide in pyroclastic deposits; 8) Ancient landslide; 9) Triggering and sliding area; 10) Landslide body of flowslide; 11) Landslide body of rotational-slide; 12) Fluidification area of the landslide body; 13) Ancient landslide body; 14) Spring; 15) Stratigraphic column and referring number; 16) Geological cross-sections; 17) Referring number of the Table.1 and Figure 3.

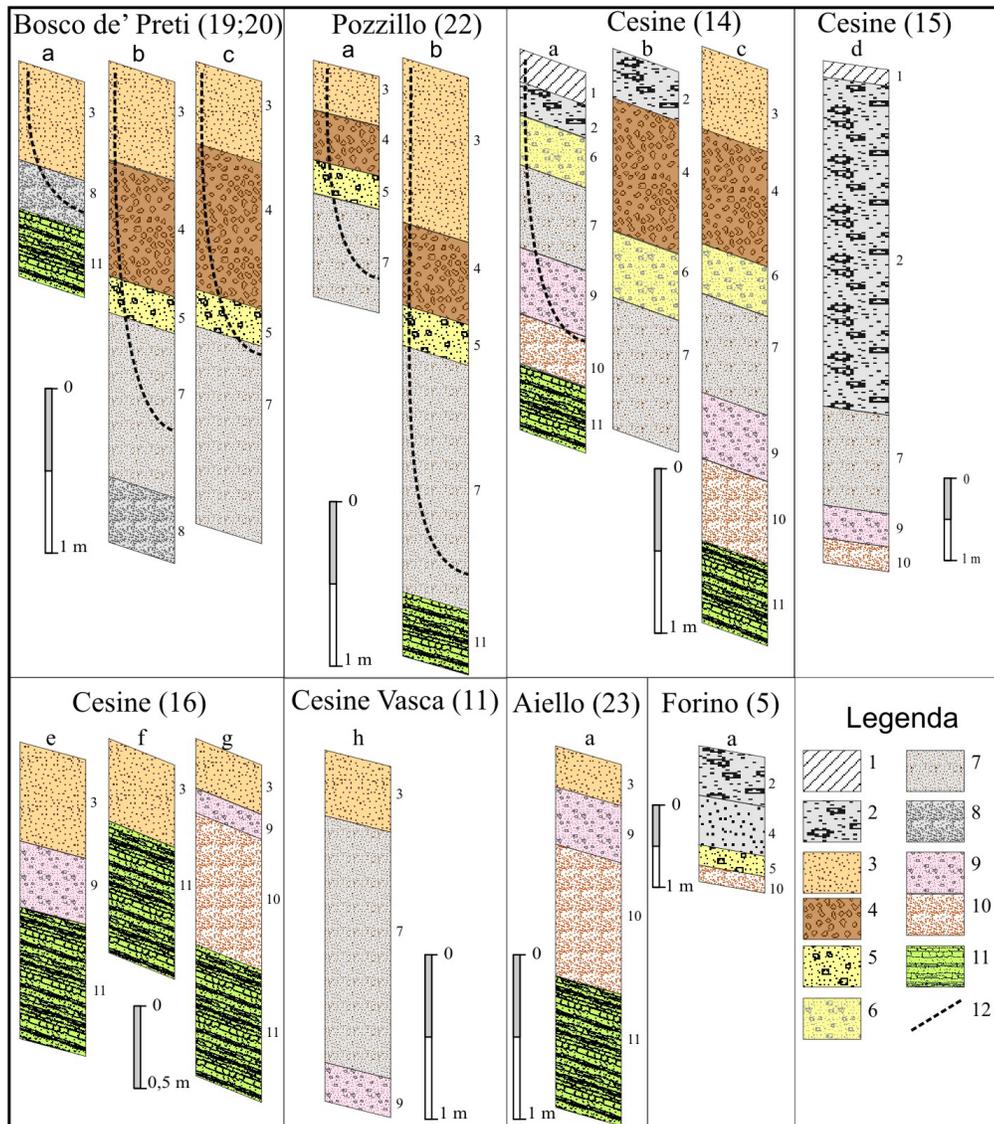


Figura 6: Colonne stratigrafiche delle frane studiate (per l'ubicazione vedere Figura 4): 1-2) Materiale di riporto; 3) Suolo di natura piroclastica con pomici alterate; 4) Piroclastiti pedogenizzate a granulometria sabbioso-limoso con pomici rimaneggiate; 5) Pomici bianche (max. 3mm), a gradazione inversa, arrotondate e in matrice sabbiosa (materiale rimaneggiato dell'eruzione di Avellino); 6) Pomici in posto grigie e bianche ascrivibili alla eruzione di Avellino; 7) Piroclastiti a granulometria limoso-sabbiosa con pomici rimaneggiate; 8) Piroclastici pedogenizzate e argillificate (paleosuolo); 9) Livello pomiceo dell'eruzione di Mercato; 10) Paleosuolo di natura piroclastica; 11) Flysch marnoso-argilloso; 12) Superficie di scorrimento.

Figure 6: Stratigraphic columns of the studied flowslides (for ubication see Figure 4): 1-2) Reworked material; 3) Actual pyroclastic soil with reworked pumices; 4) Brown weathered grain fined ashes with reworked pumices; 5) Rounded white pumices (max. 3mm) with a reverse graded bedding in sandy matrix (reworked material of the Avellino eruption); 6) Pumiceous level of the Avellino eruption; 7) Brown fine grained ashes with reworked pumices; 8) Weathered pyroclastic material with clay (paleosoil); 9) Pumiceous level of the Mercato eruption; 10) Pyroclastic paleosoil; 11) Marl with clay (Irpine Unit Flysch); 12) Surface of rupture.

3.2.1 Le frane di Bosco dei Preti e Monte Faliese

In queste località si sono innescate 5 frane (n° 19, 20, 21, 24 e 25 di Figura 3), la più grande delle quali è sicuramente quella che ha coinvolto il versante calcareo di M. Faliese mobilitando circa 15000 m³ di piroclastici (n° 24). Essa presenta la classica forma sub-triangolare (Di Crescenzo & Santo, 1999; de Riso *et alii*, 2005) e,

fortunatamente, ha sfiorato una casa danneggiandola solo in minima parte (Figura 7).

Altre tre colate hanno interessato versanti di rilievi collinari terrigeni quali quelli di M. Le Croci e M. Termito (Figura 4c).

Questi rilievi presentano versanti con acclività basse comprese tra 10° e 20° e sono solcati da piccoli corsi

d'acqua effimeri che confluiscono, alcuni km più a valle, nel F. Sabato.

La colata rapida più significativa, anche perché purtroppo ha causato una vittima e danni a due abitazioni, è quella ubicata in località "Bosco de Preti" (n° 19). Essa è assimilabile tipologicamente ad uno scorrimento traslativo evoluto a colata rapida di fango (Cruden & Varnes, 1996).



Figura 7: La colata rapida di fango del M. Faliese del marzo 2005.

Figure 7: Faliese mountain: the march 4, 2005 flowslide.

Lo sviluppo longitudinale è di circa 180 m (Figura 8) e nel complesso la colata ha interessato una superficie di circa 1400 m² mobilitando un volume di piroclastiti, stimato sulla base di rilievi aerofotogrammetrici pre e post-frana, pari a circa 2700 m³.

Per quanto riguarda le fasi d'innescò, la presenza di due distinte aree di alimentazione e le testimonianze di alcuni locali, suggeriscono due diversi momenti, distanti tra loro poche ore e inquadrabili rispettivamente alle ore 14.30 e le 16.00 del 4 marzo 2005.

Il primo innescò ha mobilitato una massa di circa 1200 m³ che si è incanalata ad alta velocità lungo il versante, ed ha travolto una persona che si trovava lungo la strada a valle, trascinandola in un impluvio per oltre 100 m. Successivamente, con il perdurare delle precipitazioni, si è registrato un secondo movimento franoso che ha coinvolto circa 1500 m³ di terreno che ha seguito un percorso identico al precedente.

Entrambi gli inneschi sono ricollegabili a scorrimenti traslativi impostati tra piroclastiti e substrato argilloso a cui è seguita una fase di liquefazione e successiva canalizzazione della massa in frana. Verso valle, quindi, non molto lontano dall'area sorgente, il fenomeno ha assunto i caratteri di una colata rapida di fango come dimostrato dalle numerose tracce da flusso riscontrate sui fianchi della frana e sul piano di scorrimento. La massa mobilitata doveva presentare caratteri di notevole fluidità e velocità (alcuni m/s), stando alle descrizioni fornite da alcuni testimoni e alle numerose impronte da impatto che hanno raggiunto altezze di alcuni metri sui muri delle due abitazioni coinvolte dal passaggio della massa fangosa (Figura 9).

Poco più a nord della frana appena descritta è stato rilevato un secondo dissesto (n° 20, Figura 4c) anch'esso attivatosi al contatto tra substrato flischoide e coltre piroclastica.

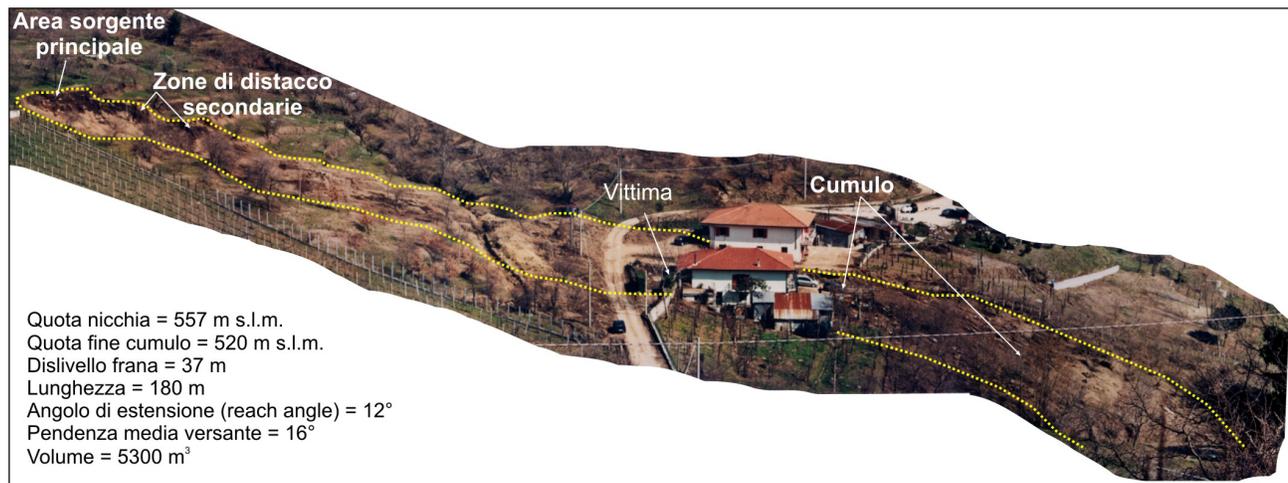


Figura 8: La frana di Bosco de Preti del 4 marzo 2005.

Figure 8: Te march 4, 2005 Bosco de Preti flowslide.



Figura 9: Le impronte di impatto rinvenute lungo il muro di una abitazione interessata dalla colata rapida (Bosco dè Preti).
Figure 9: The clearly evident scars of the landslide observed along the wall of the house (Bosco dè Preti).

Anche in questo caso si è trattato di uno scorrimento traslativo, con un'area sorgente di dimensione più ridotta, ed una evoluzione a colata che ha raggiunto la strada di accesso ad una abitazione. La stratigrafia ricostruita nella zona di nicchia (Figura 6) mette in evidenza uno spessore di piroclastiti coinvolte di poco inferiore al metro.

L'ultima frana, ubicata più ad ovest presenta una estensione maggiore (circa 8500 m²) ed ha coinvolto un'area con terrazzamenti antropici nei quali le coperture piroclastiche raggiungevano uno spessore di circa 3 m.

Tale frana non ha avuto una evoluzione a colata in quanto è stata caratterizzata dalla sola iniziale fase di scorrimento, testimoniata da numerose fratture beanti (larghe fino a 50cm) e da un evidente rigonfiamento del terreno.

In tutte le aree di alimentazione appena descritte sono stati rilevati alcuni pozzi e piccole sorgenti per lo più stagionali legate all'affioramento di una falda impostata nei livelli marnoso-argillosi del substrato in facies di flysch.

3.2.2 Le frane di M. Termito (località "Cesine")

Sul versante settentrionale di M. Termito, in località "Cesina", si sono innescate 9 frane con sviluppi variabili tra i 50 ed i 160 m (Figura 4d). L'attivazione di queste colate è avvenuta in un arco temporale collocabile tra il primo mattino e la sera del 5 marzo 2005.

Le aree sorgenti si sono impostate in piccole concavità morfologiche dove, in ragione della bassa pendenza, si sono potuti accumulare e conservare spessori maggiori di coperture piroclastiche (2-4 m). Anche in questo caso le superfici di rottura e scorrimento si ubicavano al contatto piroclastiti-substrato argilloso-marnoso. La stratigrafia mostra piroclastiti pedogenizzate alla base ricoperte da un livello pomiceo-cineritico (eruzione di Avellino) dello spessore di circa 1 m su cui poggia un suolo di 50 cm di spessore (Figura 6).



Figura 10: Alcune delle frane in località Cesine (n° 14 e 15) che hanno danneggiato aree agricole (a e b) ed alcune abitazioni (c).
Figure 10: Some of the flowslides occurred at Cesine (n° 14 and 15) caused serious damages to cultures (a e b) and houses (c).



Figura 11: Due immagini scattate immediatamente prima (a) e dopo (b) l'innesco della frana n° 11 in località Cesine. La freccia indica lo stesso punto prima e dopo l'evento.

Figure 11: Two pictures taken immediately before (a) and after (b) the triggering of the n° 11 Cesine flowslide. The arrow shows the same point before and after the flowslide.

In tutti i casi le frane hanno avuto una evoluzione a colata tale da far percorrere al materiale coinvolto (volume compreso tra 200 e i 3300 m³) alcune centinaia di metri con velocità di alcuni m/s come da testimonianze dirette raccolte in loco.

I danni più rilevanti hanno interessato alcune abitazioni e, soprattutto, le colture a nocelleti che rappresentano la principale risorsa economica della zona (frane n° 14 e 15 di Figura 4 e Figura 9 a,b,c).

Anche in quest'area ed in particolare in prossimità dell'orlo dell'area sorgente, nel substrato sono state rilevate numerose piccole sorgenti che sono risultate attive per oltre un mese dopo l'innesco.

In località Cesine, grazie alla preziosa documentazione fotografica di alcuni locali, è stato possibile verificare che durante l'evento pluviometrico e prima della liquefazione e conseguente fluidificazione del materiale piroclastico, si sono avuti dei fenomeni premonitori rappresentati da deformazioni del terreno, apertura di lesioni e trincee a testimonianza di iniziali piccoli scorrimenti (Figura 11 e Figura 4d frana n° 11).

3.2.3 Le frane di Contrada e di Aiello

Altre tre colate rapide sono state rilevate nei pressi dell'abitato di Contrada. La prima si è innescata in località "Pozzillo" ed ha avuto una doppia attivazione come testimoniato da alcuni abitanti e dalla esistenza di due aree sorgenti. In particolare la prima (sinistra orografica) si è attivata alle ore 14.15 mentre la seconda (destra orografica) intorno alle 21:45 del 4 marzo 2005. Nelle aree di distacco la superficie di scorrimento è stata localizzata al contatto tra la copertura piroclastica (spessore di circa 2 m) e il substrato flyschoide. La frana (430 m di lunghezza), immediatamente dopo una prima fase di scorrimento planare ha avuto una evoluzione a colata e si è canalizzata in un piccolo impluvio abbattendosi sul piazzale di alcune case, fortunatamente

senza provocare vittime, spingendosi fino a 430 m di distanza (Figure. 4e e 12). La parte più fluida ha raggiunto e superato la strada provinciale incanalandosi infine in un impluvio.



Figura 12: Area sorgente della colata rapida in località Pozzillo a Contrada; si può notare il substrato marnoso-argilloso in affioramento e alcune sorgenti.

Figure 12: Source area of the Pozzillo flowslides near the Contrada village. It's possible to notice the clayey marl bedrock and some springs.

Una seconda frana non cartografata (n° 18, Figura 3) si è avuta in località "Schiti" con volumetrie e sviluppi modesti. E' da segnalare tuttavia che il cumulo ha invaso la sede stradale sulla quale sono stati soccorsi alcuni automobilisti. Un'ultima colata (n° 23) si è sviluppata in località Bosco d'Aiello, nel territorio del comune di Aiello del Sabato, fuori dal centro abitato. Anche in questo caso gli spessori piroclastici coinvolti sono risultati modesti (meno di un metro) ed è ben evidente la ubicazione della superficie di scorrimento che si attesta, ancora una volta, al contatto tra substrato terrigeno e

coperture piroclastiche. Anche in questa frana si riconoscono più ordini di scarpate nella zona sorgente così come numerose piccole sorgenti (Figure 4f e 13).



Figura 13: Area sorgente della colata rapida in località Bosco di Aiello (Aiello del Sabato).

Figure 13: Source area of the Bosco D'Aiello flowslides (Aiello del Sabato village).

4. Caratteristiche geomorfologiche e morfometriche delle frane analizzate

Per quanto riguarda i caratteri geomorfologici e morfometrici salienti si è potuto constatare che i versanti su cui si sviluppano queste frane hanno acclività medie generalmente basse e, in particolare, le aree sorgenti presentano valori di acclività essenzialmente compresi tra i 15° e 20° (Figure 14 e 15). E' interessante notare come questi valori risultano molto più bassi rispetto a quelli riscontrati nelle zone di innesco delle colate rapide dei

contesti carbonatici (35°-45°) (Di Crescenzo & Santo, 2005). Inoltre le zone di coronamento si ubicano in piccole concavità morfologiche laddove i depositi piroclastici presentano spessori maggiori rispetto al resto del versante. Diversamente dalle frane dei contesti carbonatici (Guadagno *et alii*, 2003; Di Crescenzo & Santo, 2005; Guadagno *et alii*, 2005) le instabilità iniziali non sembrano essere controllate dalla presenza di scarpate e tagli artificiali, tranne pochi casi in cui l'orlo dell'area di alimentazione si colloca in prossimità di una strada (n° 5 e 10, Tabella 1) o al piazzale di una abitazione (n° 2 e 15, Tabella 1).

Queste frane presentano aree di alimentazione più estese rispetto a quelle dei contesti carbonatici (Figura 16): il rapporto area di frana/area sorgente (Af/As) risulta in media molto più basso rispetto a quello delle frane dei versanti carbonatici (sia incanalate che non). Ciò spiega la minore amplificazione del fenomeno franoso le cui cause possono essere associate alle ridotte energie di rilievo e alle basse pendenze in gioco (Figura 16).

Per quanto riguarda infine gli avanzamenti, l'angolo di estensione (*angle of reach*) basato, come è noto, sul rapporto tra dislivello/lunghezza della frana (Heim, 1882; Hsù, 1975; Scheidegger, 1973; Corominas, 1997; Calcaterra *et alii*, 2003;) presenta valori molto bassi e compresi tra un minimo di 9° a un massimo di 19° (Figura 17). Anche in questo caso ci sono notevoli differenze con le colate dei massicci carbonatici dove gli angoli si attestano mediamente su valori di 28° per le frane sub triangolari non incanalate e di 15-20° per quelle incanalate (Calcaterra *et alii*, 2003; de Riso *et alii*, 1999).

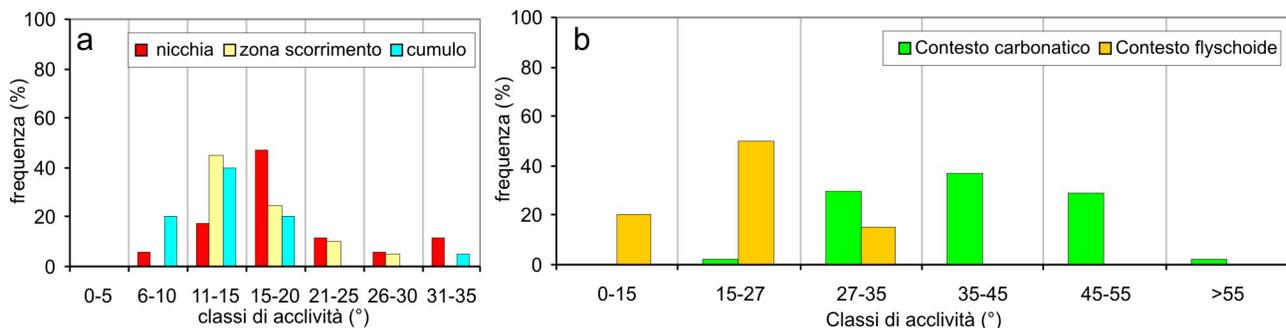
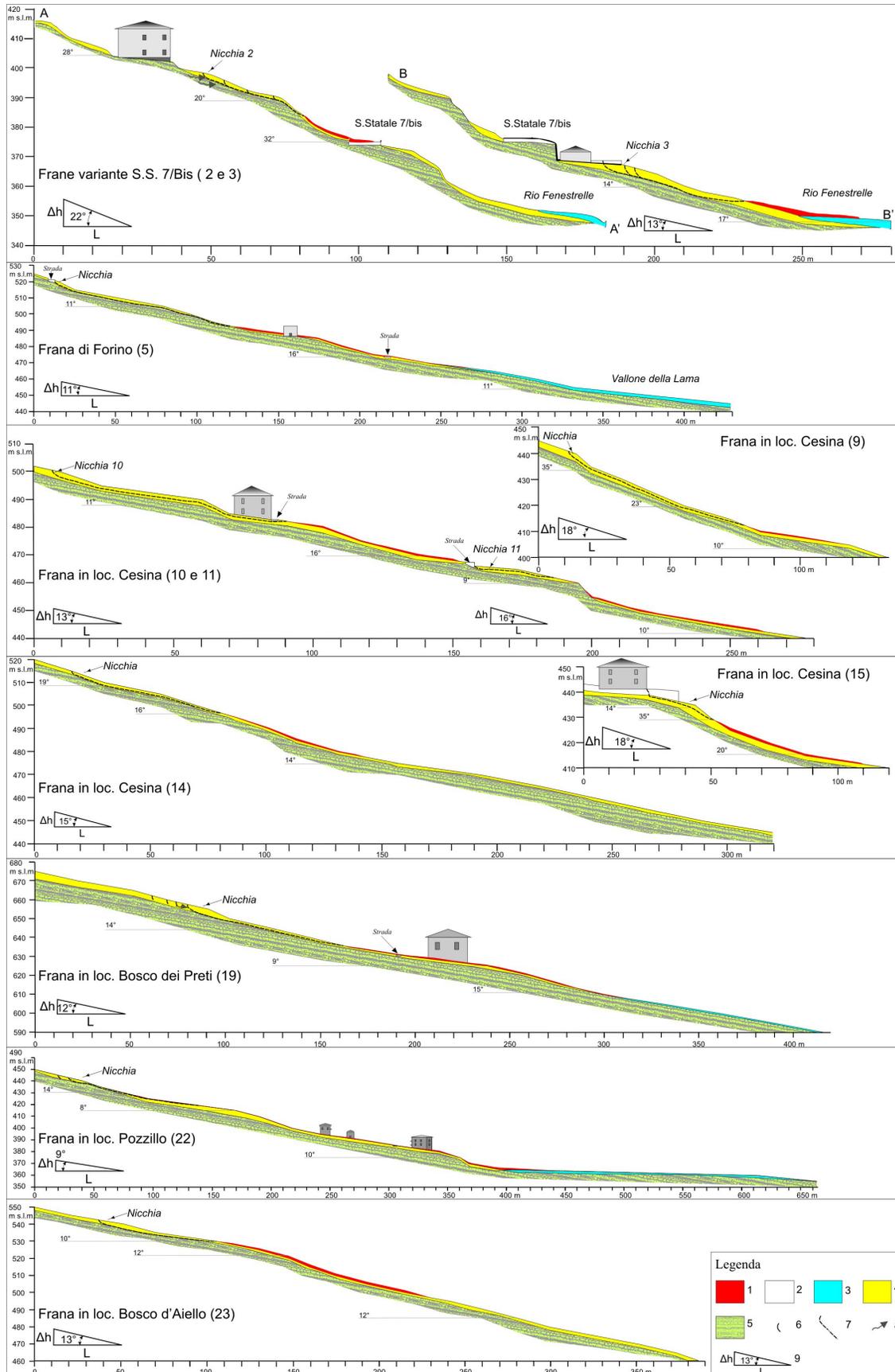


Figura 14: Valori di acclività misurati nelle zone di nicchia, scorrimento e cumulo delle frane studiate (a). Confronto tra i valori di acclività delle zone di nicchia delle frane studiate con quelle dei contesti carbonatici (b).

Figure 14: Slope angle classes for the source area, the sliding zone and landslide body of the studied flowslides (a). Slope angle values of the source area of the flowslides in the carbonatic and flysch contexts (b).

Figura 15: Sezioni geologiche di alcune delle frane studiate e relativo numero di riferimento di Figura 4: 1) Cumulo di frana; 2) Terreni di riporto; 3) Alluvioni recenti (Olocene); 4) Piroclastiti rimaneggiate e alterate (Olocene); 5) Flysch marnoso-argilloso (Miocene); 6) Frattura; 7) Superficie di scorrimento; 8) Sorgente; 9) Valori dell'angolo di estensione (*angle of reach*).

Figure 15: Geological cross-sections of some of the studied landslides and referring number in Figure 4; 1) Landslide body; 2) Reworked material; 3) Recent alluvial deposits (Holocene); 4) Reworked and altered pyroclastic depositis (Holocene); 5) Miocene terrigenous deposits; 6) Joint; 7) Surface of rupture. 8) Spring; 9) Reach angles.



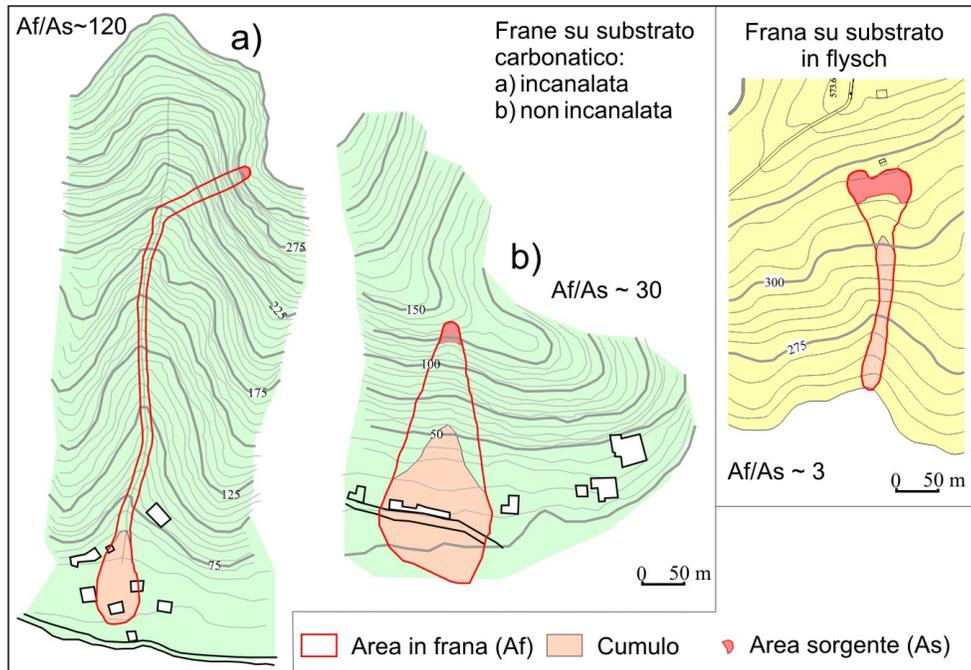


Figura 16: Differenze morfologiche tra le frane da colata rapida dei contesti carbonatici (a) e quelle sui versanti in flysch (b) e rapporto Af/As (area in frana/area sorgente).
 Figure 16: Morphological differences between the flowslides of the carbonatic (a) and flysch contexts (b) and ratio Af/As (landslide area/source area).

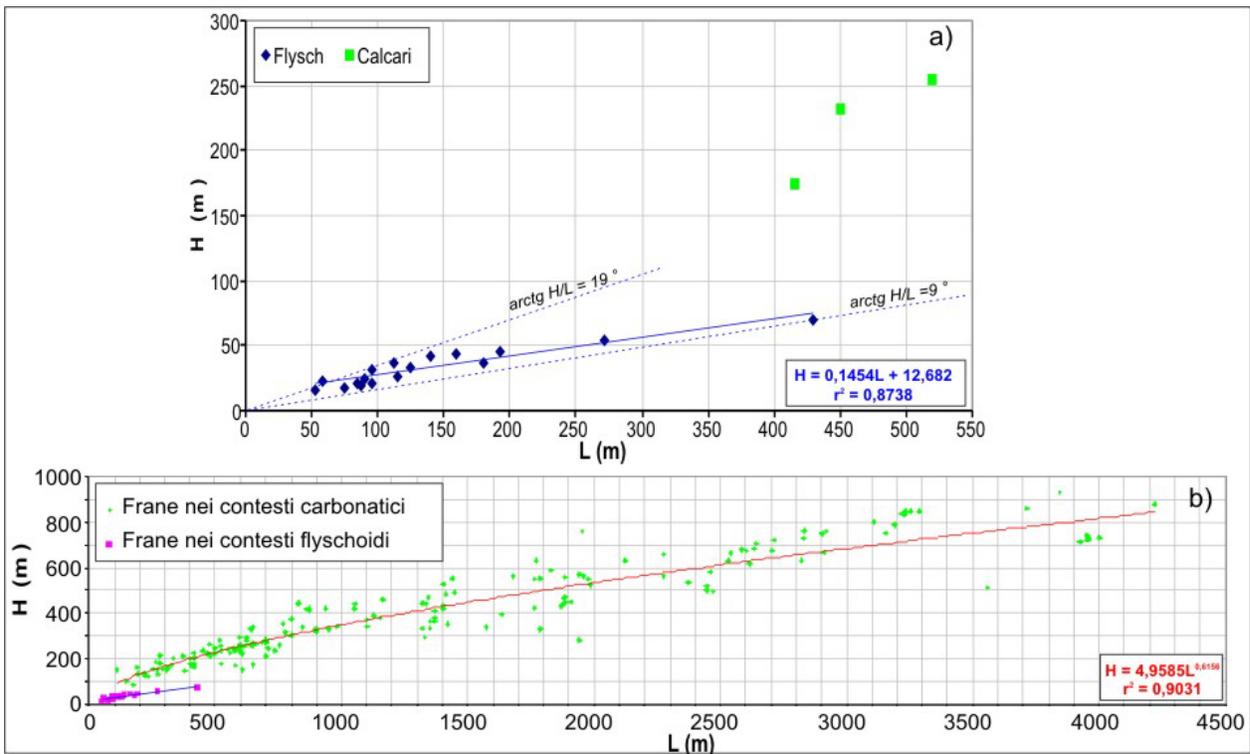


Figura 17: Angoli di estensione delle frane di colata rapida nell'area di studio (a) e in rapporto a quelle dei contesti carbonatici campani (b) (da Di Crescenzo, 2003).
 Figure 17: Reach angles of the flowslides in the studied area (a) and in respect of the flowslides of campanian carbonatic contexts (b) (from Di Crescenzo, 2003).

Pur interessando versanti a bassa acclività e con basse energie di rilievo, le colate impostate sui versanti in flysch presentano un'alta velocità (alcuni m/s) ed una fluidità confrontabile, se non superiore, rispetto a quelle dei massicci carbonatici come del resto testimoniato dai

bassi valori degli angoli di estensione. Ciò, a nostro avviso, è spiegabile sulla base dell'elevato grado di saturazione raggiunto dai terreni coinvolti al momento dell'innesco.

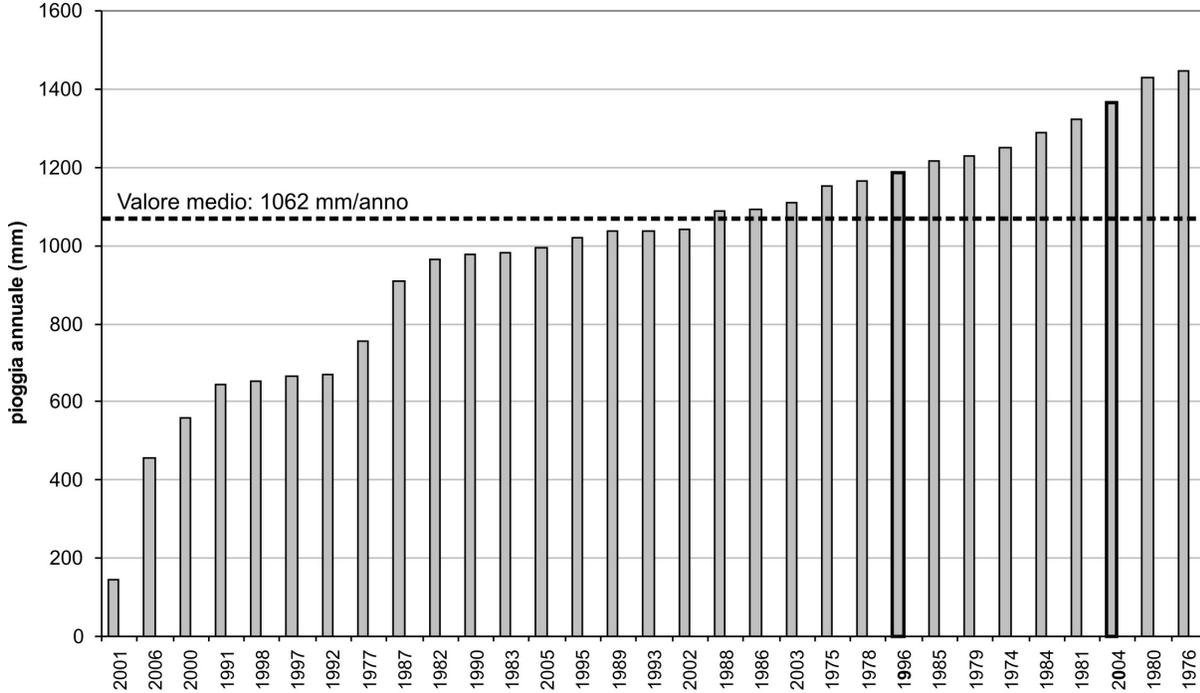


Figura 18: Piogge annuali ordinate relative al periodo 1974-2006.
 Figure 18: Annual precipitation calculated over the period 1974-2006.

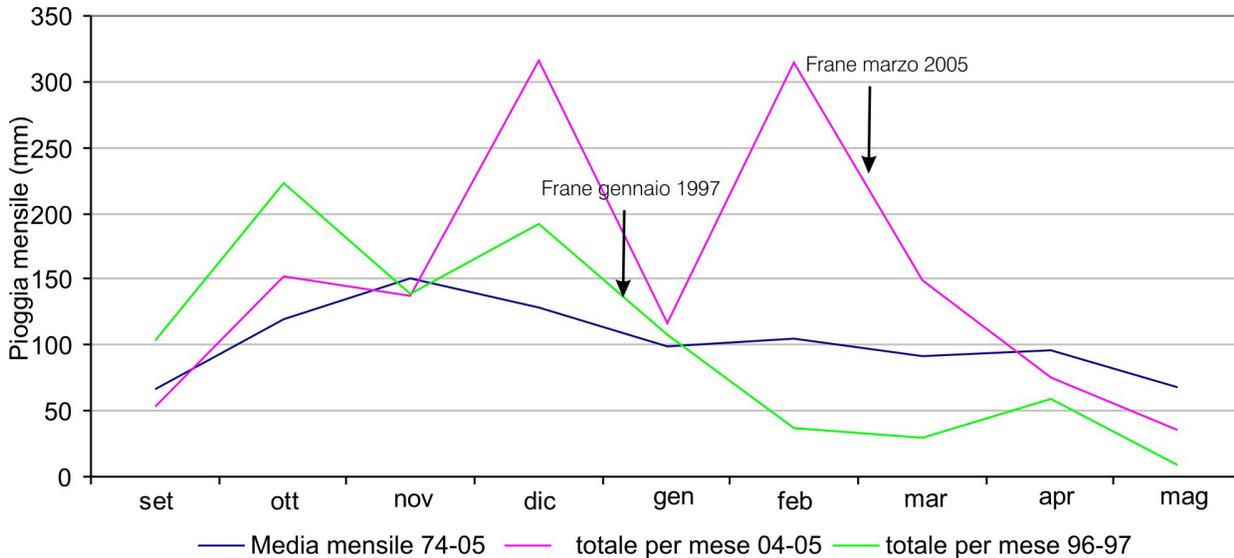


Figura 19: Precipitazioni medie mensili per il periodo 1974-2006 confrontato con le precipitazioni totali mensili relative agli anni 1996-1997 e 2004-2005.
 Figure 19: Mean monthly rainfall referred to 1974-2006 compared with the total monthly rainfall calculated over the period 1996-1997 and 2004-2005.

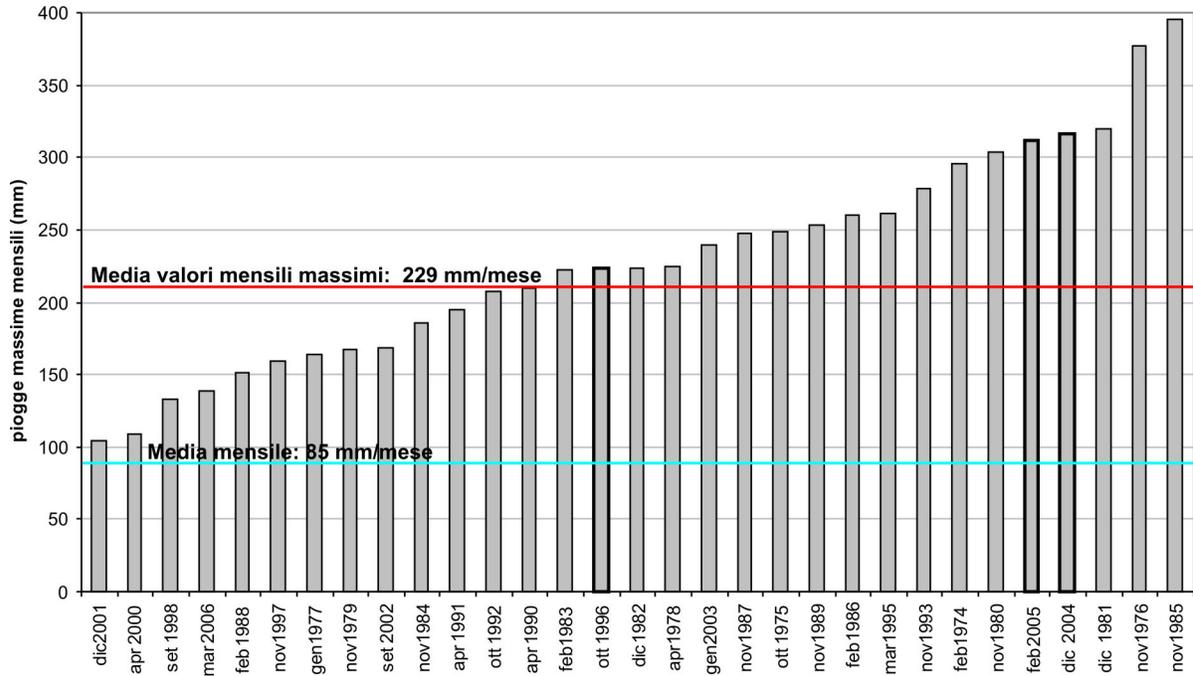


Figura 20: Precipitazioni massime mensili valutate sul periodo 1974-2006.
 Figure 20: Maximum monthly rainfall calculated over the period 1974-2005.

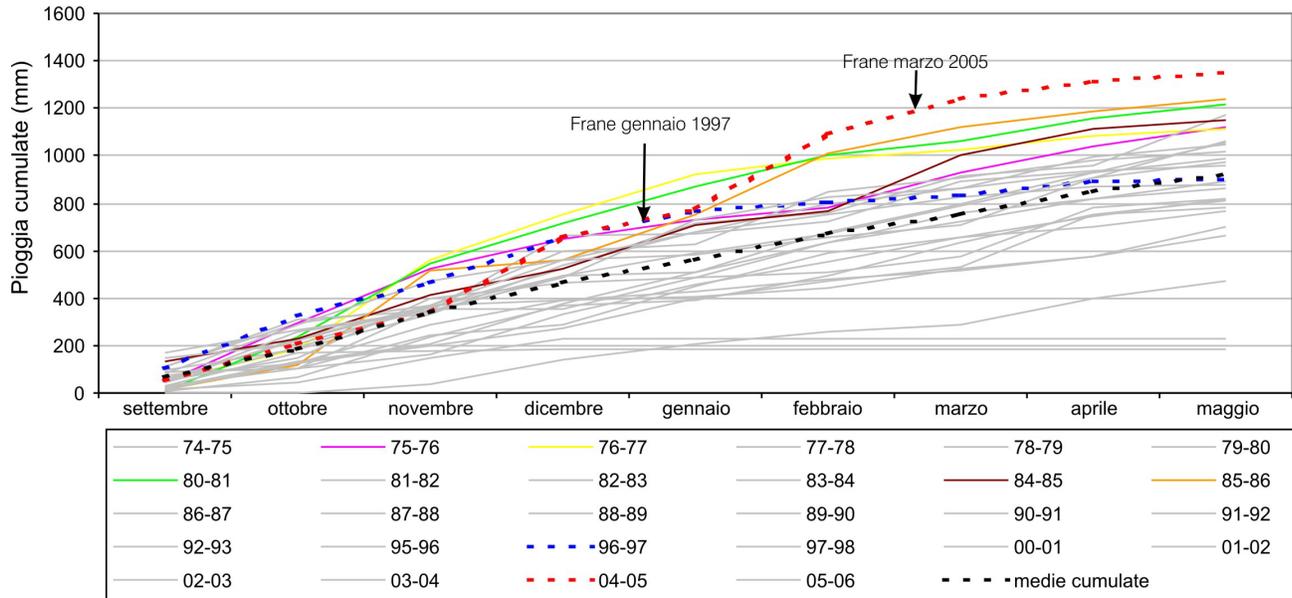


Figura 21: Piogge mensili cumulate da settembre a maggio sul periodo 1974-2006.
 Figure 21: Monthly cumulated rainfall from September to May over the period 1974-2006.

5. Aspetti idrologici correlati agli eventi alluvionali del gennaio 97 e del marzo 2005

Sono stati analizzati i dati pluviometrici giornalieri gentilmente concessi dal “Centro Funzionale per la Previsione Meteorologica e il Monitoraggio Meteo-Idro-Pluviometrico e delle frane della Regione Campania” e

quelli ricavati dagli Annali Ideologici. Essi riguardano le stazioni in telemisura prossimi all’area d’interesse ovvero a quelle di: Genio Civile di Avellino, Serino e Montemarano. Delle stazioni predette è stata scelta quella di Avellino-Genio Civile sia perché più vicina e meglio corrispondente alle condizioni morfologiche, di esposizione e di altitudine dell’area interessata dalle frane

sia perché presenta una maggiore completezza di dati pluviometrici. Essa si colloca nel bacino del fiume Sabato, ad una quota 383 m s.l.m.

Il regime pluviometrico della zona oggetto di studio è di tipo mediterraneo con periodo umido particolarmente lungo che va dall'autunno alla primavera. La piovosità media annua è di 1062 mm, il mese più piovoso è novembre (151 mm) mentre quello più secco è luglio con 24 mm.

Il grafico di Figura 18 riporta le precipitazioni totali annuali ordinate relative al periodo 1974-2006. Da una sua lettura si nota come gli anni 1996 e 2004 (evidenziati in figura), ovvero quelli immediatamente precedenti alla attivazione degli eventi franosi studiati, siano stati particolarmente piovosi rapportati al valore medio. In particolare il 2004 risulta, sul periodo storico considerato, il terzo anno più piovoso dopo il 1976 e il 1980.

Confrontando inoltre la pluviometria relativa ai mesi

umidi (intervallo settembre - maggio) posti a cavallo degli anni 1996-1997 e 2004-2005 si rileva che per essi si hanno due massimi concentrati rispettivamente a ottobre e dicembre e a dicembre e febbraio (Figura 19). Nello specifico inoltre i valori massimi mensili registrati negli anni 2004-2005 risultano più del doppio rispetto a quelli medi normali (85 mm/mese) e di molto superiori ai valori medi massimi registrati nell'intero periodo di riferimento 1974-2006 (229 mm/mese; Figura 20).

Un altro risultato interessante è stato ottenuto cumulando i valori di pioggia mensile per ogni singola coppia di anni a partire dal 1974 (Figura 21) prendendo ancora una volta a riferimento il periodo umido. Come si vede le piogge verificatesi nel 1996-1997 e 2004-2005 mostrano valori di molto superiori a quelli medi. In particolare anche in questo caso le piogge cumulate nel 2004-2005 sono le più alte registrate nei mesi che vanno da febbraio a maggio 2005.

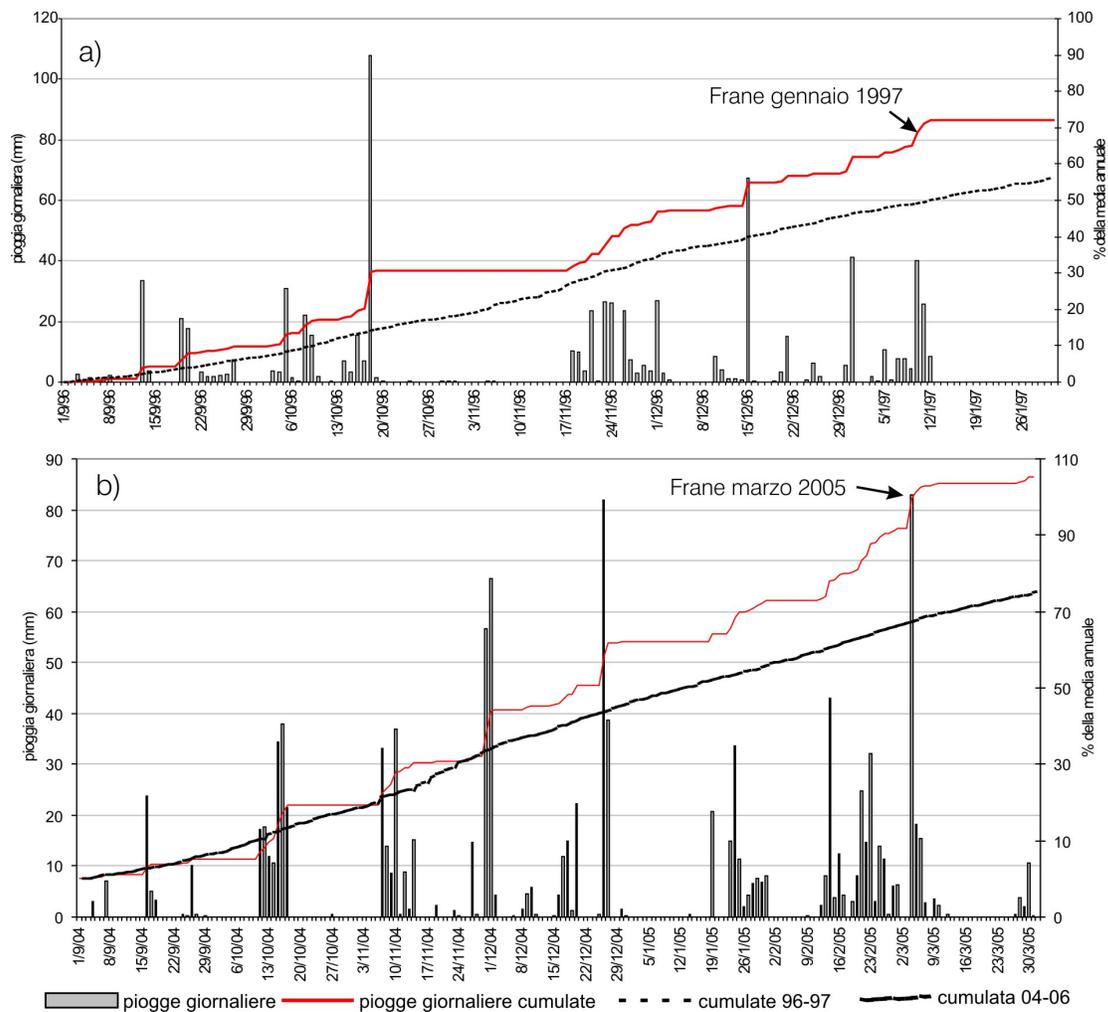


Figura 22: Pioggia giornaliera e cumulata (% della media annuale) dal 1 settembre 1996 al 31 gennaio 1997 (a) e dal 1 settembre 2004 al 31 marzo 2005 (b).

Figure 22: Daily and cumulative rainfall (% mean annual rainfall) from 1th September 1996 to 31th January 1997 (a) and from 1 th September 2004 to 31th March 2005 (b).

E' interessante notare inoltre che andamenti anomali si possono riscontrare anche per le curve relative al '76-'77 e '80-'81 ed in maniera subordinata per quelle del '75-'76 e '85-'86. Non abbiamo al momento notizie certe su eventuali frane attivate in tali periodi nell'area di interesse.

Nella Figura 22 sono rappresentate le piogge giornaliere e cumulate verificatesi a partire dal 1 settembre dell'anno precedente a quello di attivazione delle frane e le piogge cumulate espresse come percentuale del valore medio delle piogge annuali valutate sui dati storici (1974-2006) (Fiorillo & Wilson, 2004; Fiorillo & Revellino, 2006). Si nota che il valore delle piogge cumulate relativo agli anni di interesse risulta essere quasi costantemente superiore a quello medio considerato sullo stesso periodo già a partire da settembre per l'evento del gennaio 1997 (Figura 22a) e dal 15 ottobre per quello del marzo 2005 (Figura 22b). In entrambi i casi viene in sintesi evidenziato che gli eventi in esame si sono verificati successivamente a un periodo particolarmente piovoso. Tale aspetto risulta, ancora una volta, più marcato per l'evento del 2005.

I grafici mostrano che le piogge giornaliere registrate

a cavallo del 9-10 gennaio 1997 e del 4-5 marzo 2005 (44,8 e 101 mm) e quelle relative all'intero evento pluviometrico (3-12 gennaio 1997 = 107,8 mm; 4-7 marzo 2006 = 119,2 mm) non sono eccezionali pur essendo significative.

Al contempo l'importanza che hanno avuto le piogge registrate nei giorni e più ancora nei mesi precedenti alla attivazione degli eventi franosi è dimostrata dalla ricostruzione dell'andamento delle precipitazioni calcolando giorno per giorno le cumulate relative a 1, 2, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120 e 180 giorni (D'Ecclesiis *et alii*, 1991).

In Figura 23 è evidente che quasi tutte le cumulate considerate raggiungono un massimo immediatamente prima degli eventi di frana ed, in particolare, si rileva che nei 4 mesi precedenti alle frane del gennaio 1997 e del marzo 2005 sono caduti rispettivamente circa 722 e 866 mm di pioggia (pari al 68% e al 82% della pioggia media annua). Per il 1997 il dato registrato risulta essere in buon accordo con quanto si è verificato nel gennaio 1997 in Penisola Sorrentina (De Falco *et alii*, 1997; De Vita, 2000; Onorati & Pagliata, 1999).

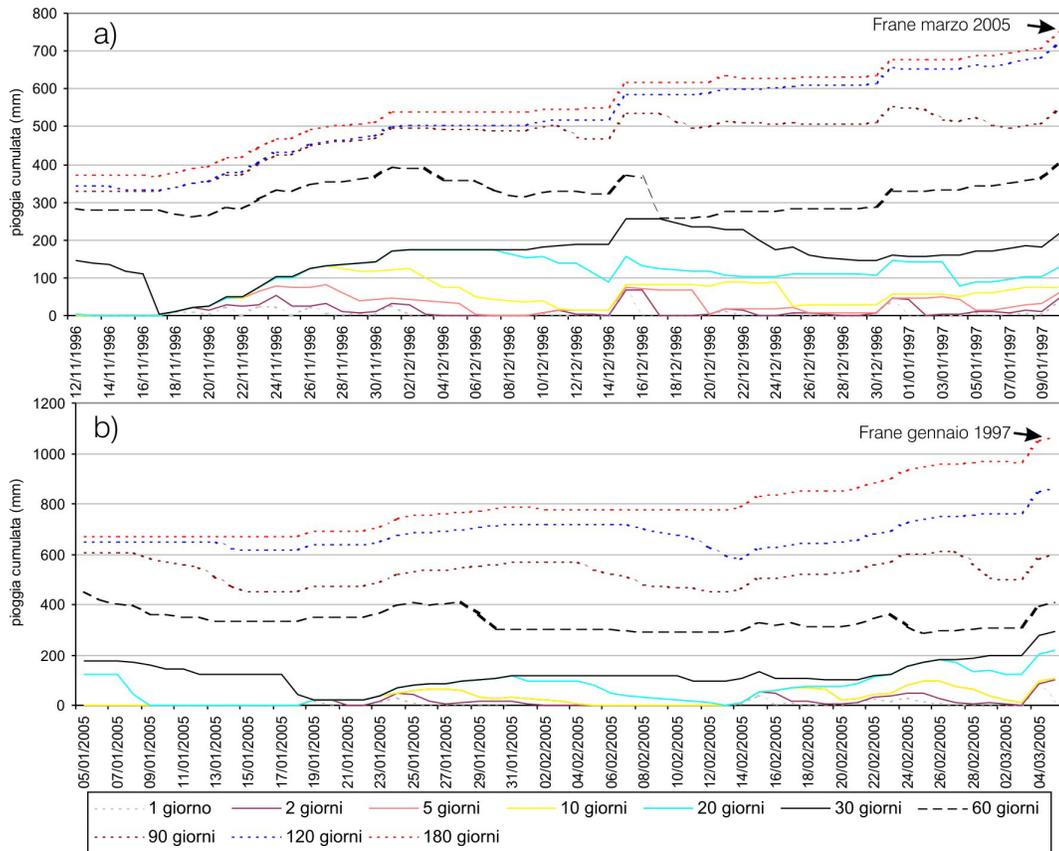


Figura 23: Piogge cumulate per 1, 2, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120 e 180 giorni relative a due mesi precedenti gli venti di frana del marzo 2005 (a) e del gennaio 1997 (b).

Figure 23: Cumulative rainfall for 1, 2, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120 and 180 days refereed to two months before the March 2005 (a) and the January 1997 flowslides (b).

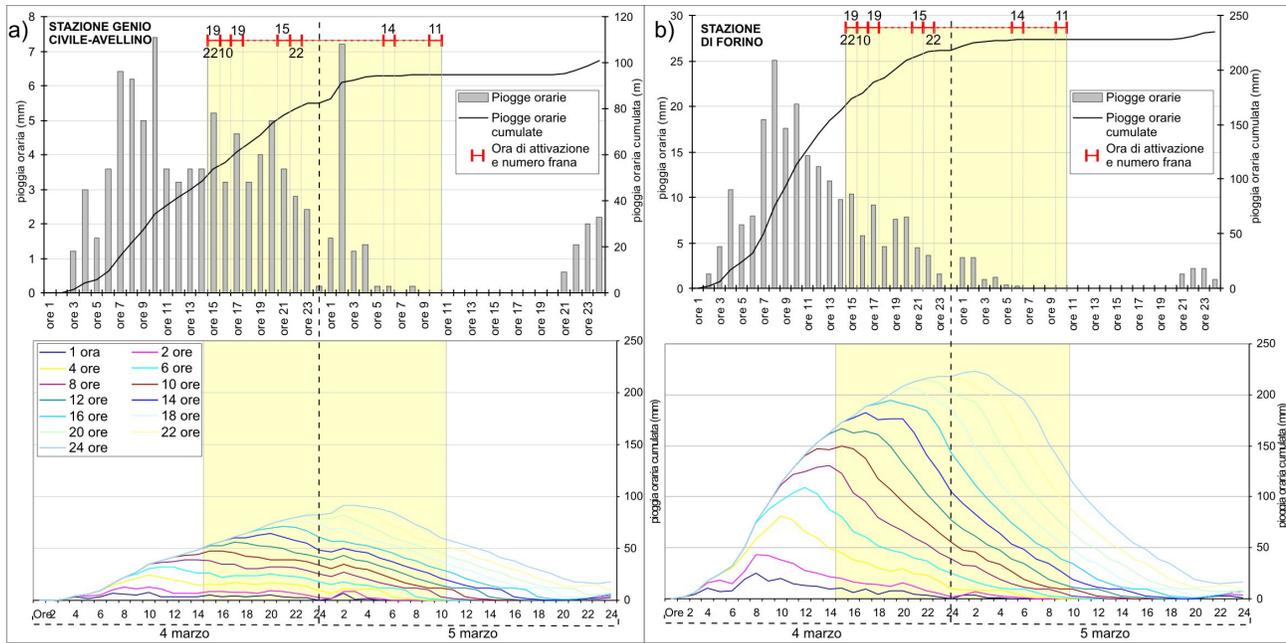


Figura 24: Piogge orarie e cumulate per 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, e 24 ore alla stazione Genio Civile-Avellino (a) e Forino (b).

Figure 24: Hourly and cumulated rainfall for 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, e 24 hours at the the Genio Civile-Avellino (a) and Forino (b) rain gauges.

Una ulteriore riflessione deriva dalla analisi dei dati orari, disponibili tuttavia per il solo evento pluviometrico del marzo 2005 (Figura 24). I dati orari di precipitazione, relativamente ai giorni immediatamente precedenti il verificarsi degli eventi mostrano innanzitutto che le piogge cumulate superano i 200 mm di pioggia alla stazione di Forino mentre sfiorano i 100 mm alla stazione di Avellino. Tali picchi massimi vengono raggiunti più o meno nello stesso intervallo orario ovvero quello compreso tra le 2:00 e le 4:00 del 5 marzo 2007. I picchi orari massimi invece si collocano alle ore 10.00 (7,4 mm/h) e 2.00 (7,2 mm/h) rispettivamente del 4 e 5 marzo 2005 per la stazione di Avellino e alle ore 8.00 (25 mm/h) del 4 marzo per quanto riguarda la stazione di Forino.

I picchi orari registrati si collocano fuori dalla finestra temporale di attivazione delle frane (Figura 24) ed in particolare ne anticipano l'inizio di circa 5 ore alla stazione di Avellino e di circa 7 ore a quella di Forino. I valori cumulati massimi si collocano in posizione intermedia alla finestra suddetta e vengono invece raggiunti con un ritardo rispetto all'inizio delle attivazioni delle frane di Pozzillo (n° 22) e di Cesine (n° 15) di 5 e 12 ore.

Dall'insieme dei dati raccolti emerge, quindi, che gli eventi franosi si sono verificati a seguito delle copiose precipitazioni verificatesi nei mesi precedenti (quattro mesi). Le piogge giornaliere registrate nella stazione di Avellino (82,8 mm) non rappresentano un dato eccezionale; tale valore è stato superato ampiamente in altri anni in cui sono stati registrati oltre 100 mm di

pioggia (1985, 1989, 1990, 1996) e risulta di poco superiore al valore medio dei dati giornalieri massimi registrati sul periodo 1974-2006 (72 mm). Il dato giornaliero registrato alla stazione di Forino (218 mm) è sicuramente significativo se rapportato ai valori registrati alla stazione di Avellino, ma non è possibile discretizzarlo in maniera rigorosa dal momento che mancano i dati pluviometrici su base storica. Le frane, infine, non si sono attivate in corrispondenza dei picchi orari massimi registrati né dei picchi di pioggia oraria cumulata sulla base dei dati registrati da entrambi le stazioni considerate.

6. Rapporti tra precipitazioni e piezometria nell'area della frana di Bosco dei Preti

Da un punto di vista idrogeologico, l'area esaminata è caratterizzata dalla presenza di falde multistrato impostate essenzialmente negli intervalli marnoso-argillosi dei complessi terrigeni da cui si originano sorgenti perenni generalmente con basse portate (meno di 1 l/sec).

Durante i sopralluoghi effettuati immediatamente dopo gli eventi franosi del 4-5 marzo 2005, in quasi tutte le aree di alimentazione sono state osservate sorgenti risultate attive per diversi giorni dopo l'innesco. Tale aspetto porta a ipotizzare che in molti punti la falda impostata nei terreni marnoso-argillosi doveva aver raggiunto il contatto con i sovrastanti terreni piroclastici.

Sulla frana di Bosco dei Preti (n° 19), a seguito di uno studio eseguito per conto della Procura della Repubblica del Tribunale di Avellino finalizzato all'accertamento

delle cause dell'innescò della frana, è stato approntato un piano di indagini che ha previsto anche l'installazione di 8 piezometri (6 a tubo aperto e 2 di Casagrande), lungo il perimetro del corpo di frana (Figura 25), al fine di monitorare l'escursione della falda nel periodo che va dal maggio 2005 al luglio 2006 e valutarne le interconnessioni con il regime pluviometrico della zona (stazione di Avellino) (Figura 26).

I dati di misura riferiti ai piezometri s1, s2, s3, s4 evidenziano un sostanziale e progressivo abbassamento della falda risultata sub-affiorante durante l'evento del 4 marzo 2005; in particolare, il valore minimo viene raggiunto a novembre (abbassamento di circa 10 m), nonostante le precipitazioni di settembre e ottobre pari a circa 50 mm.

Successivamente nel corso del mese di novembre si assiste ad un repentino innalzamento della falda (quasi 8 m) la cui ricarica, probabilmente, è legata a travasi laterali provenienti dai vicini massicci carbonatici carsificati a seguito di precipitazione pari a 196 mm. Questo valore è molto prossimo a quello medio dei massimi mensili registrati nel periodo 1974-2006 ma più basso del valore registrato a febbraio 2005 (312 mm) immediatamente prima degli eventi franosi studiati.

In questo periodo il livello della falda registrato nei piezometri s1, s3, s4 è stato tale da lambire la superficie di contatto tra substrato e copertura piroclastica.

Nello stesso periodo, sui versanti in flysch privi di copertura piroclastica si è rilevata l'attivazione di numerose piccole sorgenti.

Il livello della falda si è mantenuto più o meno costante fino ad aprile 2006 nonostante le piogge che, durante questo periodo, si sono assestate su un livello più basso e pari a circa 100 mm/mese.

In definitiva i dati raccolti sulla profondità della falda impostata nel substrato flischioide mostrano come essa può manifestare una notevole escursione (circa 8 m) in un periodo di tempo relativamente breve (circa un mese). In particolare tale escursione è strettamente correlata al regime pluviometrico che in periodi molto umidi (settembre-aprile) può causare l'innalzamento della superficie piezometrica all'interno del substrato fino a lambire la superficie basale dei depositi piroclastici.

7. Considerazioni sul modello di innescò

L'insieme dei dati geologici, geomorfologici e idrologici raccolti permettono di distinguere gli aspetti più importanti delle frane da colata rapida dei contesti in flysch e di elaborare un possibile modello di innescò.

Molte delle frane rilevate si sono attivate come scorrimenti planari con superficie di rottura localizzata nelle porzioni basali delle coperture piroclastiche, in prossimità del contatto con il substrato marnoso-argilloso

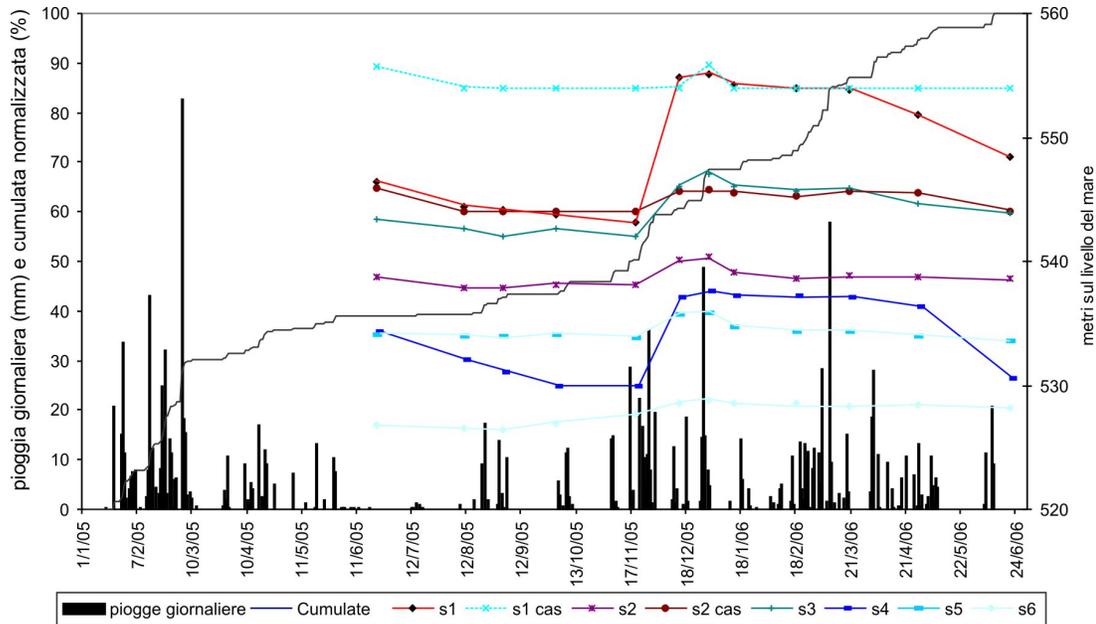


Figura 25: Correlazione tra le piogge giornaliere (mm) e quelle cumulate normalizzate (%) rispetto al livello della falda (m. s.l.m) misurato in corrispondenza della frana di Bosco dè Preti.

Figure 25: Correlation between daily (mm) and normalized cumulated rainfall (%) with the groundwater level (m a.s.l.) measured on the Bosco dè Preti flowslide.

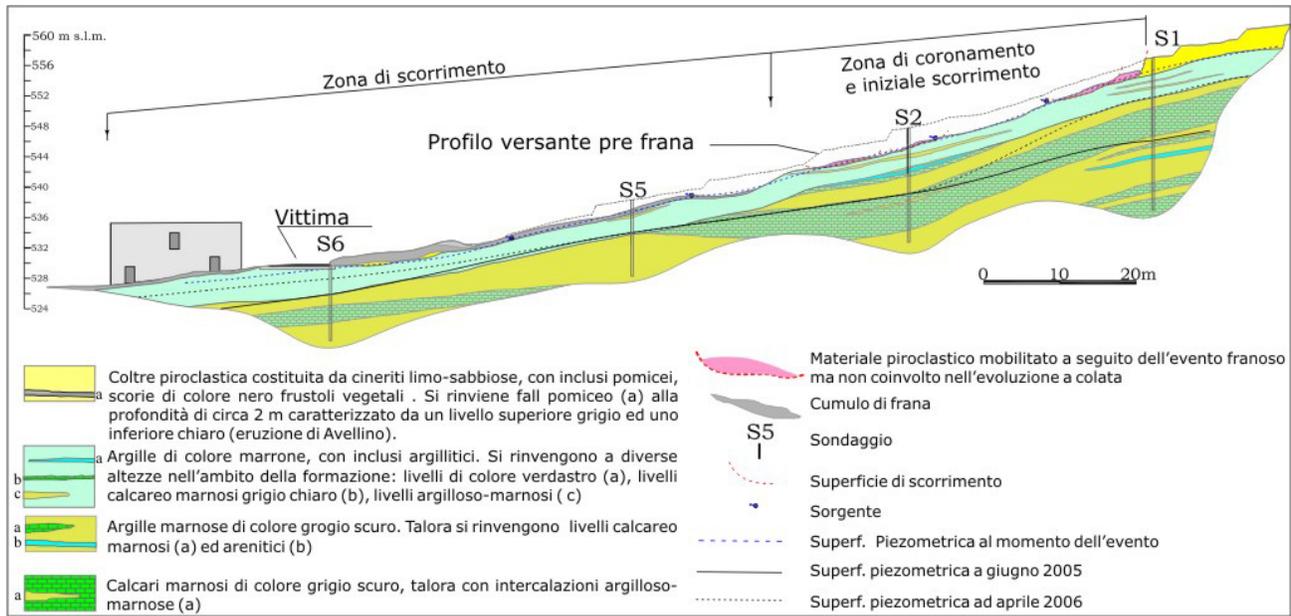


Figura 26: Sezione geologica della frana di Bosco dei Preti con la rappresentazione della escursione della falda avvenuta nel periodo compreso tra il giugno e il settembre 2005

Figure 26: Geological cross-section of the Bosco dei Preti flowslide with the groundwater level range from June to September 2005.

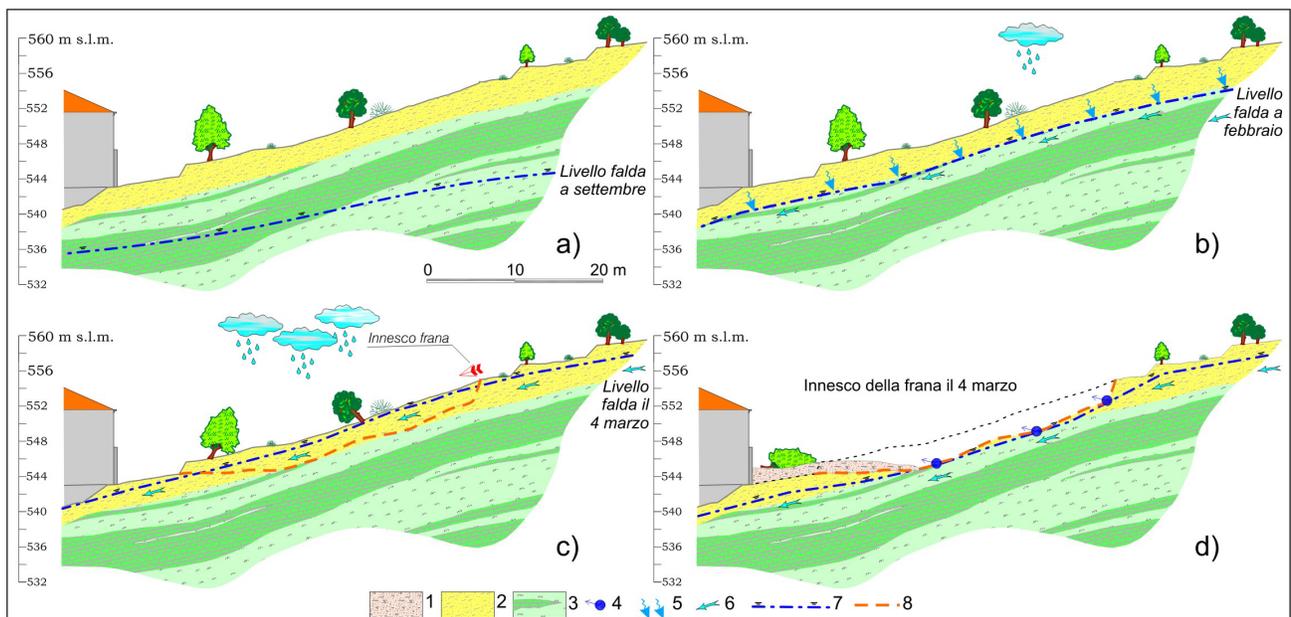


Figura 27: Rappresentazione schematica del modello di innesco delle frane. 1) Cumulo di frana; 2) Materiale piroclastico; 3) Flysch; 4) Sorgente; 5) Direzione delle acque di infiltrazione; 6) Direzione di drenaggio della falda; 7) Livello della falda; 8) Superficie di rottura e scorrimento.

Figure 27: Schematic representation of the triggering model of the flowslides. 1) Landslide body; 2) Pyroclastic material; 3) Flysch; 4) Spring; 5) Direction of the infiltration water; 6) Drainage direction of the groundwater; 7) Groundwater level; 8) Rupture surface.

L'analisi delle piogge ha mostrato che le precipitazioni giornaliere e quelle orarie non possono essere considerate eccezionali mentre lo è il periodo di tempo precedente all'attivazione delle frane studiate e che può essere valutato in circa 4 mesi (da novembre a

febbraio).

Durante tale periodo il livello piezometrico risale nel substrato flyschoidale fino ad attestarsi al contatto con la copertura piroclastica (Figure 27a e 27b). Queste ultime hanno raggiunto condizioni di quasi completa saturazione

(Figura 27c) sia per alimentazione diretta dal substrato flyschoidale (come dimostrato dalle numerose polle riscontrate) che per infiltrazione delle acque meteoriche (sopraggiunte in maniera copiosa il 4 marzo 2005 e nei giorni immediatamente precedenti).

Le acque di infiltrazione superficiale, infatti, non potendo essere trasferite verso gli strati più profondi per la presenza della falda, hanno di fatto contribuito in maniera determinante a saturare la copertura piroclastica portandola in condizioni di equilibrio limite (Picarelli, 1999; Picarelli & Olivares, 2001; Olivares *et alii*, 2002; Cascini *et alii*, 2003).

L'aumento delle pressioni interstiziali può avere determinato l'innescio della frana nel materiale piroclastico (Figura 28d) che, come più volte detto, presenta inizialmente i caratteri di uno scorrimento traslativo. Successivamente, in fase di post rottura, si è verificata la liquefazione del terreno (Musso & Olivares, 2004) che, perdendo la sua rigidità e la sua resistenza al taglio iniziale, ha subito un fenomeno di fluidificazione con conseguente evoluzione a colata (Olivares & Picarelli, 2001; Cascini *et alii*, 2005).

8. Considerazioni conclusive

Le frane da colata rapida di fango in terreni piroclastici che interessano i versanti in flysch non erano mai state studiate nel dettaglio, almeno nell'Appennino campano. Questo studio ha messo in evidenza la loro frequenza e le loro caratteristiche geologiche e geomorfologiche che differiscono notevolmente da quelli, meglio conosciute, dei rilievi carbonatici e delle aree vulcaniche.

Il movimento franoso si attiva spesso in concavità morfologiche, coinvolge essenzialmente la copertura piroclastica (spessore di 1-3 m e volumi di alcune migliaia di metri cubi) e mette a giorno, nelle aree sorgenti, il substrato marnoso argilloso sottostante. Qui,

immediatamente dopo l'attivazione, è possibile riscontrare numerose polle sorgive che hanno contribuito a saturare la copertura piroclastica insieme agli apporti meteorici diretti.

Le analisi pluviometriche, infatti hanno permesso di constatare che l'attivazione delle frane avviene a seguito di un periodo eccezionale di precipitazioni mensili e contemporaneamente ad intense precipitazioni giornaliere ed orarie.

Da un punto di vista cinematico è stato possibile, inoltre, distinguere una fase di scorrimento iniziale (come evidenziato da alcuni fenomeni premonitori quali deformazioni del suolo e aperture di fratture e trincee in corrispondenza dell'orlo dell'area sorgente) ed una successiva evoluzione a colata per fenomeni di liquefazione e fluidificazione dei materiali piroclastici.

La fase di fluidificazione e la notevole presenza di acqua nel corpo di frana spiega il loro elevato avanzamento, come del resto attestato anche dai bassi valori degli angoli di estensione nonostante i bassi valori di acclività dei versanti coinvolti (<20°). Si tratta quindi di frane molto rapide, le cui velocità sono state valutate, sia pure qualitativamente, dell'ordine di alcuni m/s.

Studi finalizzati alla pianificazione territoriale e soprattutto alla mitigazione del dissesto idrogeologico non possono non tener conto di queste tipologie di frane che, di fatto, non vengono ancora associate a situazioni di alto rischio nonostante la crescente urbanizzazione anche dei territori collinari a prevalente vocazione rurale.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Prof. F. M. Guadagno per i preziosi suggerimenti durante la revisione del manoscritto che hanno contribuito a migliorare la stesura della presente nota.

Bibliografia

- Bonardi, G., D'Argenio, B., Perrone, V. [A cura di], 1988. Carta geologica dell'Appennino meridionale alla scala 1:250.000. Mem. Soc. Geol. It., 41, 1341, 1 tav.
- Cairo R & Dente G., 2003. A flow slide in a pyroclastic soil fill. Atti Conf. Int. su "Fast Slope Movements - Prediction and Prevention for Risk Mitigation". Napoli, Patron Editore Bologna 1, 93-100
- Calcaterra, D., Santo, A., de Riso, R., Budetta, P., Di Crescenzo, G., Franco, I., Galletta, G., Iovinelli, R., Napoletano, P., Palma, B., 1997. Fenomeni franosi in Penisola Sorrentina-Amalfitana connessi all'evento pluviometrico del gennaio 1997: primo contributo. Atti del IX congresso Nazionale dei Geologi, Roma 17-20 Aprile, 223-231.
- Calcaterra, D., de Riso, R., Santo A., 2003. Landslide hazard and risk mapping: experiences from Campania, Italy. Atti del Convegno dell'Associazione Geotecnica Italiana; Napoli, 11-13 maggio 2003; Patron Editore Bologna.
- Cascini, L., Guida, D., Romanzi, G., Nocera, G., Sorbino, G., 2000. A preliminary model for the landslides of May 1998 in Campania Region. Proc. 2nd Intern. Symp. on Hard Soils Rocks: 1623-1649, Balkema.
- Cascini, L., Sorbino, G., 2003. Opere di protezione per i fenomeni di colata. Atti del XIX Ciclo di Conferenze di Geotecnica di Torino "Stabilità e Consolidamento dei Pendii"
- Cascini, L., Sorbino, G., Cuomo S., 2003. Modelling of flowslide triggering in pyroclastic soils. Atti Conf. Int. su "Fast Slope Movements - Prediction and Prevention for Risk Mitigation". Napoli, Patron Editore Bologna 1, 93-100
- Cascini L., Cuomo S., Sorbino G., 2005. Flow-like mass movements in pyroclastic soils: remarks on the modelling of the triggering mechanism. Rivista Italiana di Geotecnica, 4, 11-31.
- Celico, P. and Guadagno, F. M., 1998: L'instabilità delle coltri piroclastiche delle dorsali carbonatiche in Campania: attuali conoscenze, Quaderni di Geologia Applicata, 5-1, 75-133, Bologna.
- Corominas, J., 1997. The angle of reach as a mobility index for small and large landslide. Canadian Geotechnical Journal, 33, 260-271.
- 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.
- D'Ecclesiis, G., Grassi, D., Merenda, L., Polemico, M., Sdao, F., 1991. Evoluzione geomorfologica di un'area suburbana di Castelnuovo S. Andrea (PZ) ed incidenza delle

- piogge su alcuni movimenti di massa. *Geol Appl Idrogeol* 26 : 141–163.
- 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, Memorie dell'Istituto di Geologia Applicata Facoltà di Ingegneria – Univ. di Napoli "Federico II", pubbl. 372, Napoli.
- de Riso, R., Budetta, P., Calcaterra, D., Santo, A., 1999. Le colate rapide in terreni piroclastici del territorio campano. Convegno su "Previsione e prevenzione di movimenti franosi rapidi", Trento 17-19 giugno 1999, GEAM.
- de Riso, R., Budetta, P., Calcaterra, D., De Luca, C., Del Prete, S., Di Crescenzo, G., Guarino, P., Mele, R., Palma, G., Santo, A., Sgambati, D., 2004. Fenomeni di instabilità dei versanti dei Monti Lattari e dell'Area Flegrea (Campania). *Quaderni di Geologia Applicata*, 11 – 1.
- de Riso, R., Budetta, P., Calcaterra, D., Santo, A., 2005. Riflessioni sul comportamento delle colate rapide non incanalate della Campania, alla luce delle conoscenze pregresse. Convegno Nazionale La mitigazione del rischio da colate di fango a Sarno e negli altri Comuni colpiti dagli eventi del maggio 1998. Napoli, 2 e 3 Maggio 2005 - Sarno 4 e 5 Maggio 2005
- Del Prete, M., Guadagno, F.M., Hawkins, A.B., 1998. Preliminary report on the landslide of 5 May 1998, Campania, southern Italy - *Bull. Eng. Geol. Env.*, 57, 1998, 113-129.
- De Vita P. (2000) - Fenomeni di instabilità delle coperture piroclastiche dei Monti Lattari, di Sarno e di Salerno (Campania) ed analisi degli eventi pluviometrici determinanti. *Quaderni di Geologia Applicata*, 7, 213–239.
- Di Crescenzo, G., 2003. Le colate rapide in Campania nei contesti carbonatici: studio dei caratteri stratigrafici e morfometrici ai fini della valutazione delle zone di innesco-transito e del limite di massima invasione (runout). Tesi di Dottorato in Geologia Applicata ed Ambientale, Università Federico II di Napoli.
- Di Crescenzo, G., Santo, A., 1999. Analisi geomorfologica delle frane da scorrimento-colata rapida in depositi piroclastici della Penisola Sorrentina. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 22, 57-72.
- 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.
- Fiorillo, F., Wilson, R.C., 2004. Rainfall induced debris flows in pyroclastic deposits, Campania (southern Italy). *Engineering Geology*, 75/3-4, 263-289.
- Fiorillo, F., Revellino P., 2006. Le condizioni idrologiche che determinano lo sviluppo delle frane superficiali nell'area sannita: gli esempi del gennaio 2003 e del marzo 2005. *Giornale di Geologia Applicata*, 3, 129-136.
- Giulivo, I., Santo, A., 1997. Stratigrafia del sottosuolo e problemi geomorfologico-applicativi della Città di Avellino. *Atti del Convegno "Geologia delle grandi aree urbane"*. Progetto Strategico del CNR, Bologna, 279-289.
- Guadagno F. M., Martino S., Scarascia Mugnozza G., 2003. Influence of man-made cuts on the stability of pyroclastic covers (Campania-Southern Italy): a numerical modelling approach. *Environ. Geol.*, 43, 371-384.
- Guadagno F. M., Forte R., Revellino P., Fiorillo F., 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.
- Guadagno F. M., Revellino P. (2005). Debris avalanches and debris flows of the Campania Region (Southern Italy). In: *Debris-Flow Hazard and Related Phenomena*. Matthias Jacob and Oldric Hungr (eds.), Springer and Praxis editorials.
- Heim, A., 1882. Der Bergsturz von Elm: *Deutsch. Geol. Gesell. Zeitschr.*, v. 34, p. 74-115.
- Hsù, K.J., 1975. Catastrophic debris streams (Sturzstroms) generated by rockfalls. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 86: 129-140.
- Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, S.G., Hutchinson, J.N., 2001. A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience*, 7 (3), pp. 1-18.
- Musso A. & Olivares L., 2004. Flowslides in pyroclastic soils – transitino from “static liquefaction” to “fluidification”. In L. Picarelli (ed.), *Occurrence and Mechanism of Flows in Natural Slopes and Earthfills*, Proceed. Int. Workshop, Sorrento, 14-16 May, 117-127, Patron Ed. Bologna.
- Olivares, L., Picarelli, L., 2001. Occurrence of flowslides in soils of pyroclastic origin and considerations for landslides hazard mapping. *Proceed 14 th South-east Asian Conf.*, Hong Kong: 881-886.
- Olivares L., Picarelli L., 2006. Modelling of flowslides behaviour for risk mitigation. *Proc. 6th Int. Conf. Physical Modelling in Geotechnics*, Hong Kong. Taylor & Francis, London, 1, 99-112
- Olivares, L., Picarelli, L., Andreozzi, L., Avorio, B., Damiano, E., Lampitiello, S., 2002. Scenari di pericolosità di frana in terreni sciolti di natura piroclastica. *Proc. XXI Conv. Naz. di Geotecnica*, 173-181, L'Aquila.
- Onorati, G., Pagliara, P., 1999. L'evento idrometeorologico del settembre 1996-gennaio 1997 in Campania. *Atti Accademia Nazionale dei Lincei* 154, 97–102.
- Pareschi, M. T., Santacroce, R., Sulpizio, R., Zanchetta, G., 2002. Volcanoclastic debris flows in the Clanio Valley (Campania, Italy): insight for the assessment of harad potential. *Geomorphology* 43 (2002), 219-231.
- Picarelli, L., 1999. Alcune considerazioni sui meccanismi di innesco e di propagazione delle colate in terreni sciolti e detritici. GEAM, Convegno su Previsione e prevenzione di movimenti franosi rapidi, Trento 17–19 Giugno.
- Picarelli, L., Olivares, L., 2001. Innesco e formazione di colate di fango in terreni sciolti di origine piroclastica. *Forum su Fenomeni di colata rapida di fango, maggio 1998*: 26-38. Napoli.
- Revellino P., Hungr O., Guadagno F. M., Evans S. G. (2004). Velocità and runout simulation of destructive debris flows and debris avalanches in pyroclastic deposits, Campania Region, Italy. *Environmental Geology* 45, 295-311.
- Rolandi, G., 1997. *The Eruptive History of Somma-Vesuvius Volcanism and Archeology in Mediterranean Area*. De Vivo and Cortini. Ed.
- Rolandi, G., Bertollini, F., Cozzolino, G., Esposito, N., Sannino, D., 2000. *Sull'origine delle coltri piroclastiche presenti sul versante occidentale del Pizzo d'Alvano (Sarno - Campania)*. *Quad. Geol. Appl.* 7, 37-47.
- Scheidegger, A. E., 1973. On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides. *Rock mechanics* 5, 231-236.