

Analisi morfoevolutiva sulla riattivazione di sistemi franosi a cinematismo intermittente in Appennino campano-lucano (Italia meridionale)

Domenico Guida¹, Nicola Nocera², Vincenzo Siervo³

¹Dip. Ingegneria Civile, Università Salerno-Via Ponte Don Melillo 84084-Fisciano (SA);Autore corrispondente; dguida@unisa.it, fax:0974/988023

²Funzionario ANAS - Salerno

³Rilevatore del Foglio 521 "Lauria" (Progetto CARG) – Via Marone, 18, 84030-Monte San Giacomo (SA); vsiervo@unisa.it

Morpho-evolutive analysis of the landslide system reactivations in Campano-lucanian Apennine (Southern Italy)

ABSTRACT: Reactivable landslides represent the widespread slope movements along the clayey hillslope of the Campano-lucanian Apennine and produce large damages to settlements and infrastructures, limiting the local socio-economic growth. Therefore, the identification, reconnaissance, mapping and geomorphic trends of reactivation for this landslides constitute a major challenge for present-day hillslope stability and hazard studies, coupling the geomorphological and the engineering geological approaches. Following previous geomorphological studies and models on landslide reactivations at regional scale, this paper describes the results of geomorphological analysis on the last landslide system reactivations. By means of mid-term morpho-evolutive sequence reconstructions, quantitative observations from distinctive kinematic geomorphic indicators and surface features, landslide analysis have carried out in selected sites of the Southern Apennine. The study focuses on three landslide training areas subjected to reactivations that occurred in the last winter (February-march 2005), also as a consequence of rapid snowmelt. Semi-quantitative observations from multi-temporal aerial-photo analysis and detailed field surveys concerning spatial evidences of mass deformations and displacements allow to prepare medium-scale landslide activity maps of training areas. A uniform long-term trend has been observed in the landslide system evolution: i) mid-slope rotational slide as original triggering mechanism in the erosional knickpoint; ii) retrogressive landsliding toward watershed; iii) progressive disarticulation and remoulding of landsliding materials till their flowing. In such a long-term evolution, the landslide system alternates slow movements and slight changes in morphology over a time scale of decades with short monthly acceleration of the displacements and strong topographic modification, as surface expression toward flow-like event. A progressive shortening of the reactivation phases causes the collapse of the landslide system and the emptying of the landslide basin. The use of geomorphological techniques for producing mid-term morpho-evolutive maps and short-term landslide activity maps offers opportunity to perform geotechnical controls and to rationalize the landslide hazard assessment.

Key terms: landslide system, reactivation, Southern Apennine, Southern Italy.

Termini chiave: Sistema franoso, riattivazione, Appennino Meridionale, Italia Meridionale

Riassunto

Le frane con evoluzione a lungo termine ed a cinematismo intermittente rappresentano i fenomeni franosi più diffusi lungo i versanti collinari dell'Appennino campano-lucano; essi provocano gravi danni agli insediamenti ed alle infrastrutture, ponendo limiti allo sviluppo socio-economico locale. Le problematiche di studio di questi fenomeni attengono alla loro individuazione, riconoscimento e delimitazione, nonché alle modalità e tempi di riattivazione. Il problema costituisce, inoltre, uno dei principali campi di ricerca riguardanti la stabilità dei versanti appenninici e rappresenta un passo importante nella valutazione della pericolosità da frana in queste aree. In riferimento alle ricerche condotte su area vasta, il lavoro espone le risultanze delle ricostruzioni di sequenze morfoevolutive a

medio termine ed, in particolare, sul riconoscimento degli indicatori geomorfologici di cinematismo osservati durante gli stadi di riattivazione di alcuni "sistemi franosi" ritenuti più significativi dei diversi contesti morfostrutturali e morfoclimatici appenninici. In particolare, sono stati considerati tre casi studio di riattivazione occorsi durante l'inverno 2005, anche a seguito del rapido scioglimento delle abbondanti ed eccezionali precipitazioni nevose avvenute tra gennaio e febbraio. I dati di spostamento in profondità di uno dei sistemi franosi esaminati, monitorato strumentalmente da alcuni decenni, ha fornito una preliminare oggettivazione geotecnica per la taratura degli indicatori geomorfologici presi in considerazione e viceversa.

1. Introduzione

Le problematiche più rilevanti inerenti le frane con evoluzione a lungo termine ed a cinematisimo intermittente attengono principalmente alla loro individuazione, riconoscimento (Rib&Liang, 1978) e delimitazione (Cotecchia, 1978), nonché alle modalità e tempi di riattivazione parziale o totale (Pellegrino, 1986; Guida et al., 1988; Guida&Iaccarino, 1991). La risoluzione di tali problematiche costituisce uno dei principali obiettivi delle ricerche riguardanti la stabilità dei versanti su area vasta e rappresenta un passo importante nella valutazione della pericolosità di questo tipo di fenomeni (arealmente i più diffusi lungo i versanti collinari del segmento campano-lucano della catena appenninica) arrecando gravi e persistenti danni agli insediamenti ed alle infrastrutture e ponendo rilevanti limiti allo sviluppo socio-economico locale (Guerricchio, et al., 1995; Schuster, R.L., 1996). In riferimento alle ricerche condotte su un vasto areale del territorio campano-lucano ed alla carta inventario delle

frane del Foglio 521 "Lauria" (Guida&Siervo, 2005, presente congresso), il presente lavoro espone sinteticamente le risultanze delle analisi pluridecennali condotte sulla ricostruzione di sequenze morfoevolutive a medio termine ed, in particolare, sul riconoscimento degli indicatori geomorfologici di cinematisimo osservati durante gli stadi di riattivazione di alcuni "sistemi franosi" (*sensu* Guida D. et al., 1988a) ritenuti significativi dei diversi contesti lito-morfostrutturali e morfoclimatici appenninici. I dati di spostamento in profondità di uno dei sistemi franosi esaminati, sottoposto a monitoraggio strumentale da alcuni decenni, ha fornito l'oggettivazione necessaria alla taratura di alcuni degli indicatori geomorfologici presi in considerazione.

2. Localizzazione delle aree di studio

L'area oggetto di studi sistematici sulla distribuzione dei sistemi franosi comprende gran parte del tratto campano-lucano dell'Appennino meridionale (Fig. 1).

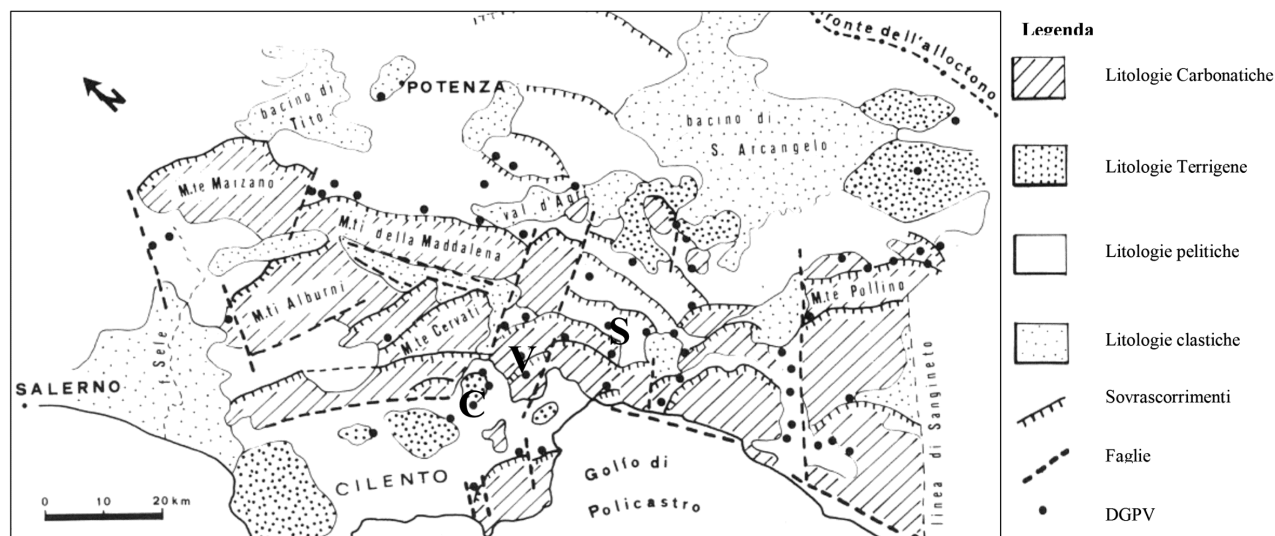


Figura 1: Schema geologico e localizzazione dei principali sistemi franosi delle aree di studio: C) Caporra; V) Votemare; S) Sirino
Geological setting and location of main landslide systems and training areas: C) Caporra; V) Votemare; S) Sirino

Questi fenomeni sono diffusi soprattutto lungo i tratti di versante collinare e montagnoso, laddove si sono concretizzate condizioni litostratigrafiche, lito-strutturali, idrogeologiche e di rapida creazione di rilievo locale o generale favorevoli all'innesco di grandi deformazioni e rotture che coinvolgono rilevanti volumi di versante (Guida D. et al., 1988b). In molti dei casi esaminati, infatti, le fenomenologie in esame costituiscono la evoluzione progressiva delle DGPV (Deformazioni Gravitative Profonde di Versante), *sensu* Sorriso Valvo, et al. (1987).

3. Geologia e geomorfologia delle aree di studio

La prima area di studio è localizzata lungo il versante sud-orientale del M. Centaurino (Cilento Meridionale), dove

affiorano le sequenze arenacee riferite alla Formazione del Torrente Bruca del Gruppo del Cilento (Bonardi et al. 1995), classificabili in termini di terreni strutturalmente complessi come B1 in A.G.I. (1979), in contatto stratigrafico discordante sul substrato paleo-deposizionale costituito da terreni prevalentemente pelitici riferibili alle Unità Interne (Bonardi et al., 1988) ed in particolare all'Unità Nord-Calabrese ed al Complesso dei terreni "ad affinità sicilide" (Bonardi et al., 1992), entrambi classificabili come B2-B3 (A.G.I., 1979).

Il sistema franoso di Caporra si è sviluppato lungo la fascia di contatto fra le due unità sopra citate, interessando con profondità di scorrimento decametriche sia le successioni arenacee sovrastanti che quelle pelitiche

sottostanti, con scorrimenti rotazionali multipli evolventi a colate di terra lente e rapide. Dal punto di vista geomorfologico-evolutivo, il sistema si inquadra nella evoluzione a lungo termine di un settore di piedimonte che è stato interessato in tempi relativamente recenti dalla erosione retrogressiva del Vallone Strazza, responsabile della dissezione di un preesistente *glacis* deposizionale fino al contatto areniti-peliti, che costituisce il punto di singolarità morfostrutturale (*knickpoint*) di una delle morfostrutture tipo “1_2” di Guida D. *et al.*, (1988b), predisponente all’innesco di fenomeni franosi di grandi dimensioni tipo *rock-block slides* (Zaruba&Mencì, 1969).

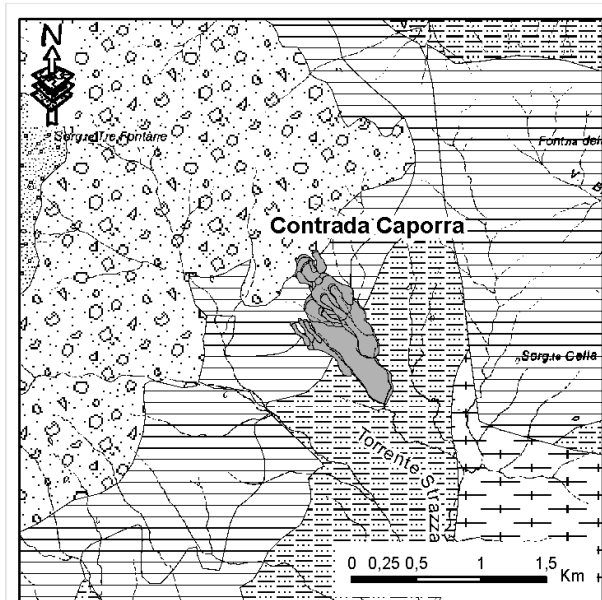


Figura 2: Aspetti geologici del sistema franoso Caporra; 1. Formazione di M. Sacro; 2. Formazione del T. Bruca; 3. Membro di Caporra; 4. Unità Liguridi; Formazioni del Saraceno e delle Crete Nere; 5. Formazione del Bifurto-Piaggine

Figure 2: Geological setting of the Caporra landslide system; 1. M. Sacro Form.; 2. T. Bruca Form.; 3. Caporra member; 4. Liguride Units; Saraceno and Crete Nere Form.s; 5. Bifurto-Piaggine Form.

Il sistema franoso di Votemare è localizzato, invece, lungo il versante collinare in sinistra orografica del F. Bussento, poco a monte dell'inghiottitoio “La Rupe”, (Cilento Meridionale). Nell'area affiorano terreni prevalentemente pelitici, con disposizione caotica, classificabili come B3 in A.G.I.(1979) e riferibili alla Formazione di Piaggine (Sgrosso, 1992), membro terrigeno sommitale della Unità Alburno-Cervati (D'Argenio *et al.* 1973). Il sistema franoso si inserisce nell'ambito di una struttura sinforme, con asse E-W, immergente verso il fondonalle, al nucleo della quale si riscontra la presenza di argille varicolori a scadenti caratteristiche tecniche e di condizioni idrogeologiche sfavorevoli alla stabilità. Dal

punto di vista geomorfologico, il sistema si iscrive in un compluvio di genesi recente, certamente successiva allo svuotamento del piccolo bacino lacustre di Caselle di probabile età Pleistocene medio-superiore (D'Elia *et al.*, 1986), ed attualmente costituito da vallette a fondo concavo riempite progressivamente da depositi colluviali ed interessati a ripetizione da frane complesse tipo scorrimento-colata. Durante le fasi parossistiche questi eventi interferiscono con il sistema fluviale, fornendo sedimenti di versate in eccesso rispetto alla capacità di trasporto del corso d'acqua. Un tale eccesso di materiale potrebbe indurre l'otturazione dell'inghiottitoio “La Rupe”, provocando la formazione di un lago temporaneo, come già avvenuto nel recente passato durante fasi di piena storiche.

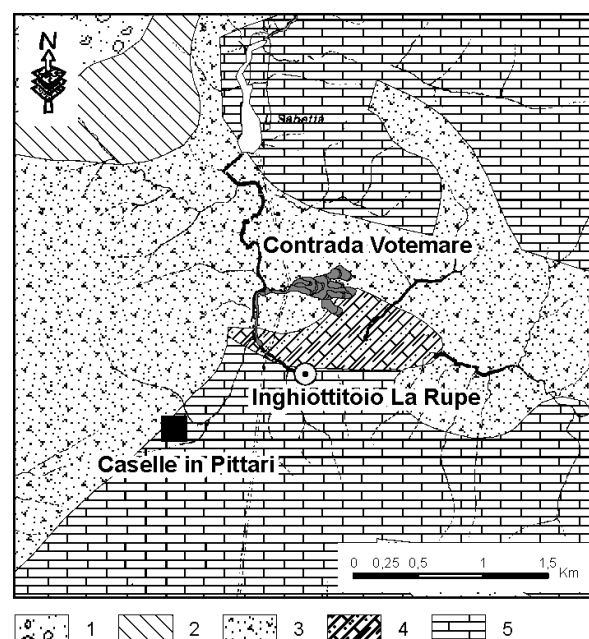


Figura 3: Aspetti geologici del sistema franoso di Votemare; 1. Formazione T. Bruca; 2. Membro di Caporra; 3. Formazione Bifurto-Piaggine; 4. Formazione di Trentinara; 5. Formazione dei Calcarei a rudiste

Figure 3: Geological setting of Votemare landslide system; 1. T. Bruca Form.; 2. Caporra member; 3. Bifurto-Piaggine Form.s; 4. Trentinara Form.; 4. “Rudist Limestone” Form.

Il sistema franoso Sirino si colloca alla base del versante montagnoso sud-occidentale del M. Sirino, dove affiorano le successioni calcareo-silico-marnose delle Unità Lagonegresi disposte in strutture piegate a largo raggio di curvatura (Torrente, 1992). In particolare, l'area in frana si compone di una zona sommitale, dove prevalgono i fenomeni di scorrimento traslativo interstratale della formazione “Flysch Galestrino” su quella degli “Scisti Silicei”; verso valle si passa a scorrimenti roto-traslativi, anche profondi, in graduale transizione a colate lente di terra. Queste ultime, in occasione delle più intense

riattivazioni, si possono trasformare in colate rapide canalizzate. Dal punto di vista morfostrutturale, il fenomeno rientra nella casistica tipo “2_1” di Guida et al., 1988, cioè “fianco di piega emianticlinale con strati a franapoggio”.

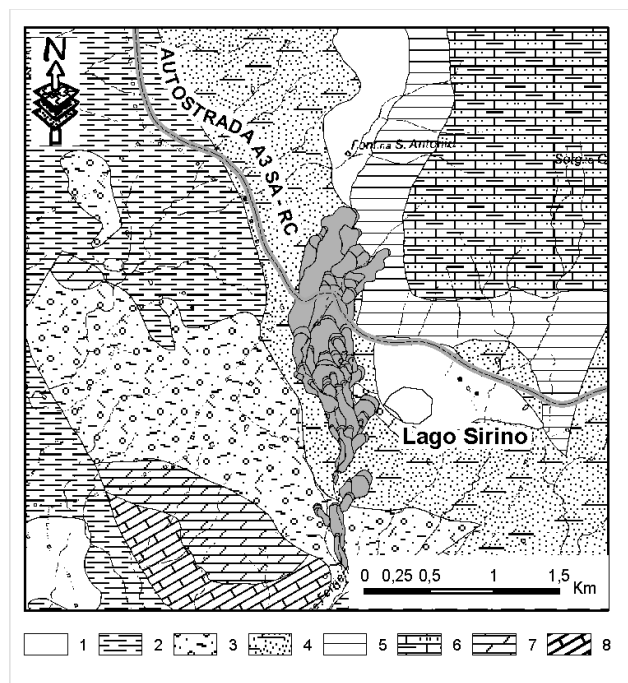


Figura 4: Aspetti geologici del sistema franoso Sirino; 1. Depositi quaternari; 2. Unità Liguridi: Formazioni del Saraceno e delle Crete Nere; 3. Formazione di M. Facito; 4. Formazione “Flysche Galestrini”; 5. Formazione “Scisti silicei”; 6. Formazione “Calcarei con Selce”; 7. Unità Foraporta; 8. Unità M. Maddalena

Figure 4: Geological setting of Sirino landslide system; 1. Quaternary deposits; 2. Ligurian Unit: Saraceno & Crete Nere Forms; 3. M. Facito Form.; 4. “Scisti Galestrini” Form.; 5. “Scisti Silicei” Form.; 6. “Calcarei con Selce” Form.; 7. Foraporta Unit; 8: M. Maddalena Unit

4. Metodologia adottata

Le metodologie adottate per la individuazione e la caratterizzazione in termini morfoevolutivi dei sistemi franosi in Appennino Campano-lucano sono state diversificate in relazione alla scala di analisi, al grado di approfondimento delle indagini ed al livello di risoluzione dei dati (Wieczorek, 1984). Nel presente lavoro essa si basa su di un approccio modulato in base alle unità territoriali di riferimento significative per le problematiche poste, secondo quanto suggerito da Guida et al., 1994. Su area vasta è stato adottato l'approccio sistematico già utilizzato da Guida et al., (1988b) e Guida et al., (1995); a scala di bacino e di sottobacino, invece, l'approccio esposto in precedenza è stato integrato da quello utilizzato in Guida & Iaccarino (1990) e Guida & Iaccarino (1991). A scala di evento, infine, si è fatto riferimento alle indicazioni contenute in Guida et al., (1996) e Corbi et al. (1999), che illustrano la fase parossistica della frana di Ripamolisan, in

Molise, a partire dalla primavera 1996. Da questi esempi si deduce che l'analisi morfoevolutiva dei sistemi franosi costituisce una fase fondamentale e prodromica per studiare, alle diverse scale, il comportamento di queste fenomenologie franose caratterizzate da evoluzione a lungo termine. Gli elementi riconoscibili e misurabili posti alla base di un tale approccio possono costituire le espressioni spaziali di processi geomorfici, che, essendo controllati da meccanismi complessi di infiltrazione, deformazione e rottura, possono essere utilizzabili, nello stesso tempo, sia come indicatori di stato tensionale, che come precursori di evento. Gli indicatori geomorfologici si possono considerare quelle evidenze di meso- e micro-morfologia presenti sul terreno e/o sui manufatti, per le quali è possibile una individuazione, delimitazione, misurazione e monitoraggio. Attraverso il loro studio è possibile ricavare informazioni pertinenti in termini di tipologia, cinematisma (spostamento, direzione e velocità), stadio evolutivo, deformazione, rottura da frana, nonché di condizioni idrogeologiche, idrologiche e sismiche al contorno. I processi geomorfici si possono descrivere e tradurre in termini di meccanismi che coinvolgono grandezze e parametri fisici; è possibile, pertanto, quantificare in termini geomeccanici e geoidrologici, specifici indicatori geomorfologici che possono costituire gli elementi di base per auspicabili sistemi di “taratura” delle modellazioni analitiche (Di Nocera et al., 1995). In questo lavoro vengono considerati gli indicatori di cinematisma riscontrabili come evidenze al suolo e su eventuali manufatti durante le fasi di riattivazione, con particolare riferimento agli stadi pre- e post-parossistici dell'intero sistema geomorfico che possono essere considerati gli eventi entro cui si esaurisce la storia evolutiva di questi fenomeni. Al fine di rilevare la frequenza areale di riattivazione dei principali sistemi franosi di cui alla Fig. 1, sono state applicate le tecniche tradizionali di interpretazione fotogeologica multitemporale già sperimentate in Corbi et al., (1999). Esse sono state integrate da originali approcci di rilevamento ed interpretazione degli indicatori geomorfologici a livello di elemento di frana (*analytical landslide mapping*, in Fleming et al., 1993), mutuati dagli studi sugli effetti di fratturazione al suolo post-terremoto (Fleming & Johnson, 1989). Questa tecnica consente di effettuare interpretazioni cinematiche sulle masse in movimento attraverso l'analisi della distribuzione, disposizione ed evoluzione di *sets* di fratture al contorno o all'interno dei corpi di frana, a condizione che le osservazioni vengano effettuate durante o immediatamente dopo la riattivazione.

5. Ricostruzioni delle sequenze morfoevolutive ed analisi delle riattivazioni

La ricostruzione di sequenze morfoevolutive costituisce un approccio molto utilizzato in campo geomorfologico per la ricostruzione di paesaggi passati, modellati in particolari

stadi evolutivi (Guida et al., 1980; Guida et al., 1996).

Di recente, tali esperienze sono state utilizzate anche nella definizione delle fasi evolutive di particolari tipi di frane (Soeters & Van Westen, 1996) e nell'analisi delle fasi di riattivazione di frane appenniniche (Guida & Iaccarino, 1991; Corbi et al., 1999). Particolarmente utili si sono rilevati gli approcci metodologici applicati alla definizione e classificazione degli insiemi di frane di diversa tipologia, età e stato di attività, definiti "sistemi franosi" in Guida et al. (1988), con l'adozione di una originale classifica tassonomica proposta informalmente da Guida et al., (1995). Più recentemente, Parise & Wasowski (1999) hanno introdotto interessanti tecniche di analisi per la predisposizione di "landslide activity maps", applicabili in contesti geologici differenziati e sotto l'influenza di sollecitazioni sismiche. Nel seguito si illustrano gli scenari

morfoevolutivi relativi alle tre aree campione prescelte, utilizzando le tecniche esposte ed evidenziando il significato degli indicatori geomorfici considerati.

5.1 Frana Caporra

Per questo sistema franoso sono stati ricostruiti due scenari evolutivi corrispondenti rispettivamente alla riattivazione del 1963 (Fig. 5a) ed a quella del 2005 (Fig. 5b). In generale, si assiste ad una progressiva retrogressione verso monte e rigonfiamento-disarticolazione verso valle dello scorrimento rotazionale centrale più antico, innescatosi in successioni pelitico-arenacee, le quali prima rigonfiano e, quindi, evolvono in forma di frane secondarie complesse scorrimento-colate rapide di terra, che, a loro volta, si sovrappongono ai corpi deposizionali più antichi, in progressivo e lento spostamento verso valle.

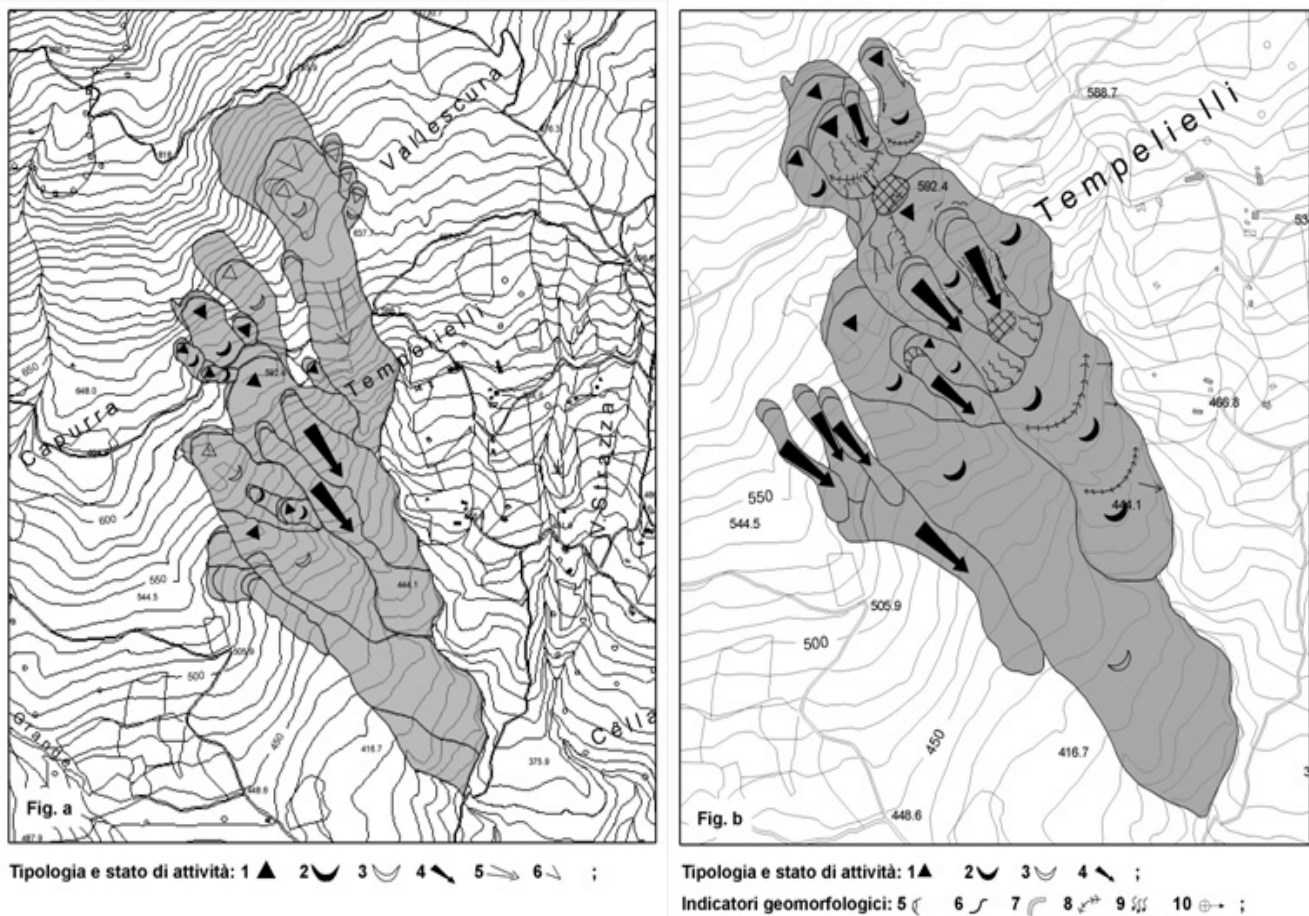


Figura 5: Frana Caporra: a) riattivazione 1963; b) riattivazione 2005; Tipologia e stato di attività; 1. Scorrimento rotazionale attivo; 2. Colata di terra attiva; 3. Colata di terra quiescente; 4. Colata rapida di terra attiva; 5. Colata antica inattiva; 6. Scorrimento antico inattivo; Indicatori geomorfologici: 5. Fratture di trazione; 6. Fratture "en echelon"; 7. Scarpata; 8. Rigonfiamento; 9. Slickensides; 10. Vettori.

Figure 5: Caporra Landslide; a) 1963 reactivation; b) 2005 reactivation; Landslide type and activity state: 1. Active rotational slide; 2. Active earth-flow; 3. Dormant earthflow; 4. Active rapid earth-flow; 5. Ancient inactive flow-like landslide; 6. Ancient inactive slide; Geomorphic indicator; 5. Tension crack; 6. En echelon fracture; 7. Scarp; 8. Bulging; 9. Slickenside; 10. Displacement vectors.

A monte si assiste ad una evoluzione retrogressiva del sistema in forma di scorrimento rotazionale nelle litologie

arenaceo-marnose in strati e banchi ben stratificati, che induce la formazione di una vasta parete sommitale, in

evoluzione per crolli, ed una zona di accumulo basale che si sovrappone alla depressione in progressiva contropendenza dello scorrimento centrale citato. Sulla Fig. 5 sono anche riportati gli indicatori geomorfologici di cinematisma, utilizzando la tecnica dell'*analytical landslide mapping*, con localizzazione dei punti di misura e dei relativi valori degli spostamenti.

5.2 Frana Votemare

Per questo sistema franoso sono stati ricostruiti due scenari evolutivi corrispondenti rispettivamente alla riattivazione dell'inizio '900 (Fig. 6a) ed a quella del 2005 (Fig. 6b). Anche per questa ultima sono stati riportati gli indicatori geomorfologici di cinematisma utilizzando la citata tecnica

dell'*analytical mapping*. In generale, si assiste ad una progressiva disarticolazione verso valle di uno scorrimento rotazionale centrale più antico, in forma di scorrimenti rotazionali multipli che si trasformano in colate rapide di terra, in corrispondenza di litologie argillose scagliose varicolori, ed una evoluzione retrogressiva del sistema in forma di frana complessa scorrimento roto-traslattivo- colata di terra a scapito sia dei materiali argillo-siltosi fogliettati che delle coperture colluviali. La riattivazione del 2005 ha dato origine anche a fenomeni di colata rapida detritico-fangosa passanti verso valle a flussi iperconcentrati incanalati lungo l'alveo del F. Bussento.

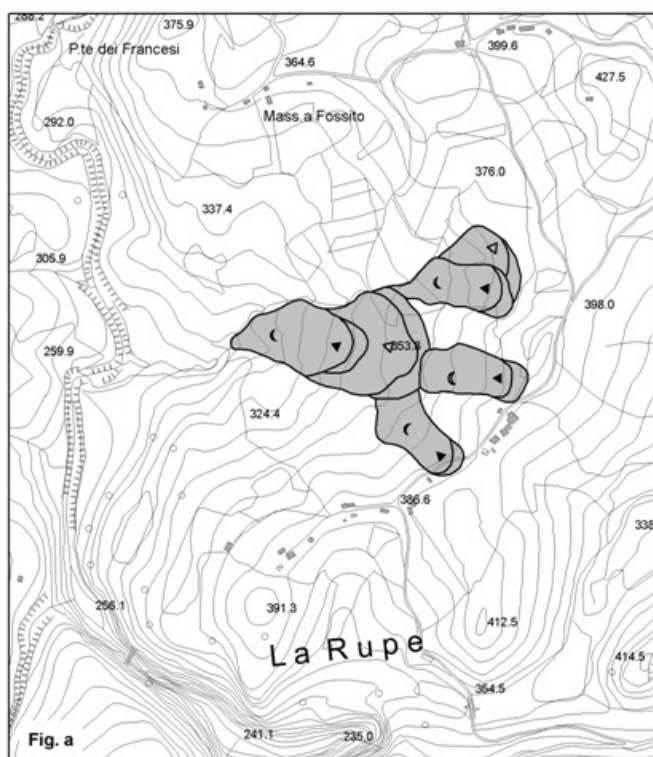


Fig. a

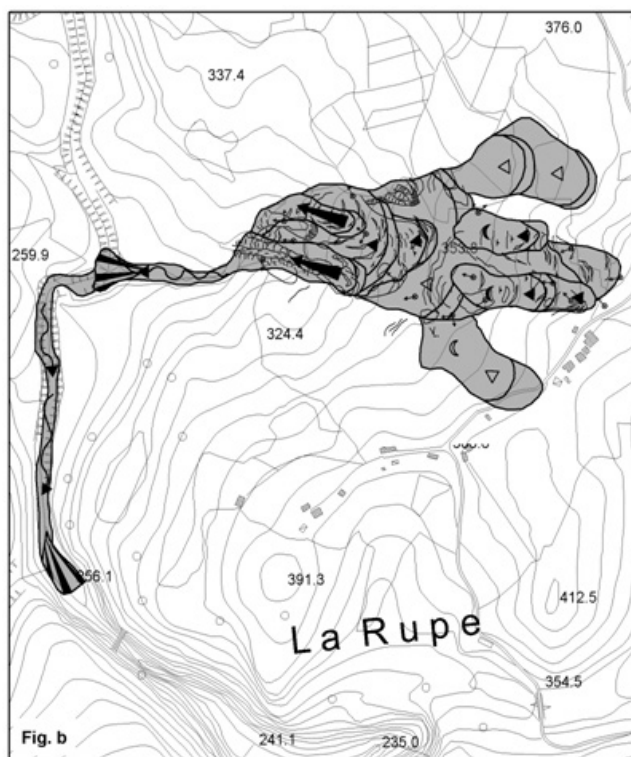


Fig. b

Figura 6: Frana Votemare: a) riattivazione inizi '900; b) riattivazione 2005; Tipologia, stato di attività frana: 1. Scorrimento rotazionale attivo; 2. Sc. Rot. quiescente; 3. Colata di terra attiva; 4. Col. terra quiescente; 5. Colata di terra rapida; 6. Debris flow fangoso; 7. conoide di frana; Indicatori geomorfologici: 5. frattura di trazione; Frattura en echelon; scarpata; rigonfiamento; Strie orizzontali; vettori spostamento superficiale

Votemare Landslide; a) early 1900 reactivation; 2005 reactivation; Landslide type and activity state; 1. Active rotational slide; 2. Active earthflow; 3. Dormant earthflow; 4. Rapid earthflow; Geomorphologic indicator: 5. Tension crack; 6. En echelon fracture; 7. Scarp; 8. Bulging; 9. Slickenside; 10. Displacement vector.

5.3 Frana Sirino

Anche per quest'ultimo sistema analizzato sono stati impostati due scenari di riattivazione di cui il primo relativo al 1973 (Fig. 7a), in occasione della costruzione della Autostrada SA-RC e l'altro relativo al 2005 (Fig. 7b). A seguito di cospicue precipitazioni nevose verificatesi nel periodo gennaio-febbraio 2005, infatti, il sistema franoso in

esame si è riattivato coinvolgendo, tra l'altro, l'autostrada SA-RC in corrispondenza della chilometrica 131+000. I vari sopralluoghi eseguiti anche in aree esterne alla sede autostradale, hanno consentito di evidenziare che le masse in movimento coinvolgono una superficie di diverse centinaia di ettari, con profondità delle superfici di scorrimento superiori a 40 m. I dissesti hanno interessato

anche altre infrastrutture immediatamente a valle della sede autostradale, come la ex SS 19 e la ex SS 104. Gli spostamenti rilevabili in superficie sono dell'ordine dei centimetri per la sede autostradale, di diversi decimetri per

la ex SS 19 e di alcuni metri per la ex SS 104. Spostandosi progressivamente verso valle, invece, l'evoluzione è tipica di una colata rapida di terra, con evidenti fenomeni di sovrascorrimento dell'unghia sul terreno in sede.

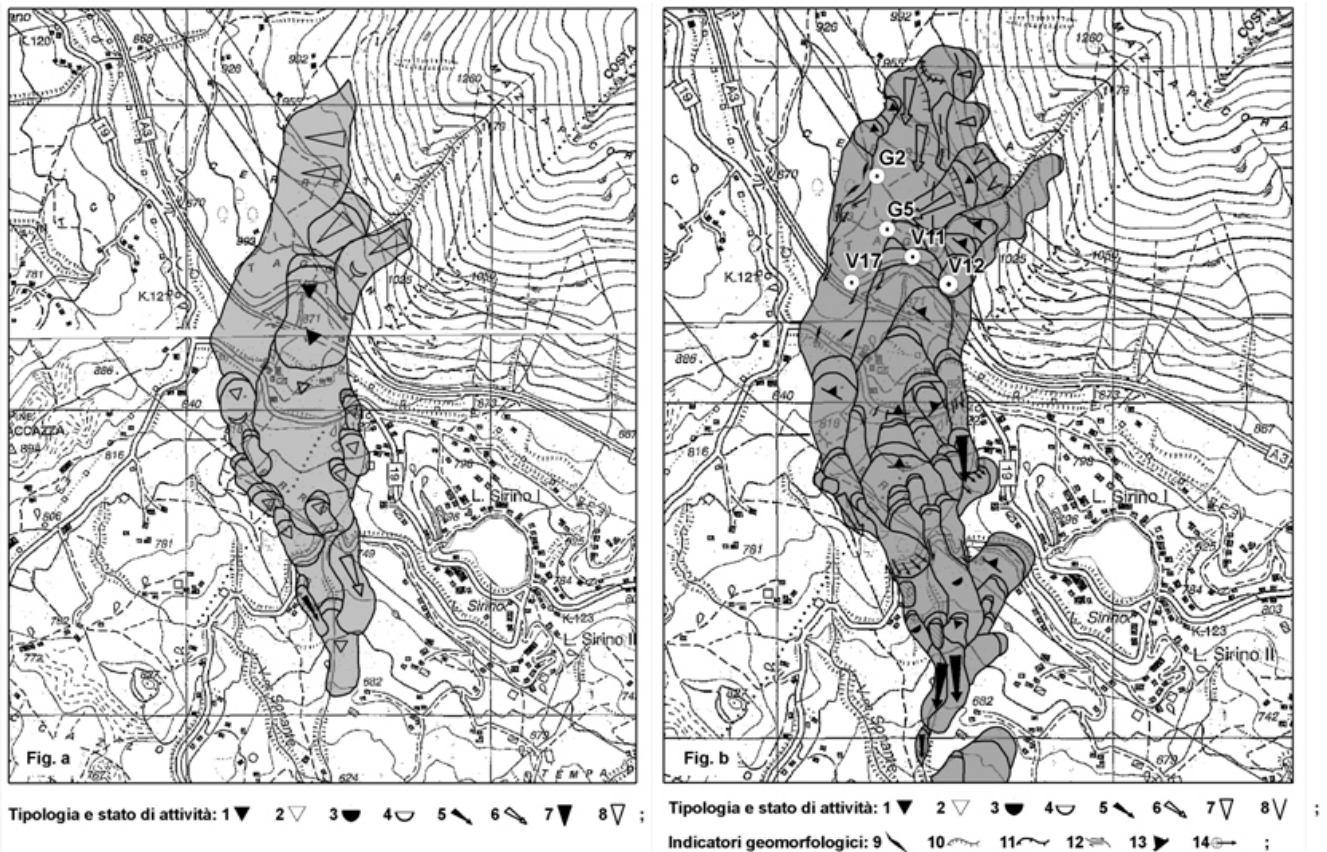


Figura 7: Carta dell'attività di Frana Sirino e degli indicatori geomorfologici considerati; a): riattivazione 1973; b): riattivazione 2005; Tipologia, stato di attività ed indicatore geomorfico: 1. Scorrimento rotazionale attivo; 2. Scorrimento rotazionale quiescente; 3. Colata di terra attiva; 4. Colata di terra quiescente; 5. Colata di terra rapida attiva; 6. Colata di terra rapida quiescente; 7. Scorrimento traslativo attivo; 8. Scorrimento traslativo quiescente; 9. Frattura di trazione; 10. Scarpata; 11. Rigonfiamento; 12. Frattura "en echelon"; 13. Contropendenza; 14. Vettori spostamento superficiale

Figure 7: Landslide activity map of Sirino Landslide and geomorphological indicator; a) reactivation 1973; b) reactivation 2005

Typology, activity state and geomorphic indicator; 1. Active rotational slide; 2. Dormant rotational slide; 3. Active earth-flow; 4. Dormant earth-flow; 5. Active rapid earth-flow; 6. Dormant rapid earth-flow; 7. Active translational slide; 8. Dormant translational slide; 9. Tension crack; 10. Scarp; 11. Bulging; 12. En echelon fracture; 13. Counterslope; 14. Displacement vector

La frana è stata oggetto di studi ed indagini svolte dall'ANAS sin dagli anni '70 (Morandi&Olivero, 1980; ANAS, 2005). In questo caso, la comprensione delle fenomenologie di frana, dato che è stata finalizzata alla successiva definizione degli interventi di stabilizzazione, è stata basata anche sulla interpretazione di misure *in situ* (Cascini, 1988, Bertini et al., 1988), supportata da accurati analisi di carattere geomorfico (Pellegrino, 1996). Così operando, avvalendosi delle misure eseguite sui piezometri e sugli inclinometri installati nel corso degli anni, è stato possibile evidenziare alcuni caratteri peculiari del

movimento franoso di interesse. In particolare, l'analisi dei dati ha consentito, da una parte, di individuare la distribuzione spaziale dei caratteri cinematici di superficie (fig. 7b), e, dall'altra, di individuare, per ognuna delle zone, le superfici di scorrimento più o meno profonde (Figg. 8a e 8b). La Fig. 8b si riferisce ad un movimento profondo che coinvolge il substrato argillitico e che è controllato dalla struttura geologica, come evidenziato chiaramente da rigonfiamenti, fratture trascorrenti, espansione. A fenomeni più superficiali, che coinvolgono i materiali di alterazione e detritico-colluviali è da riferire l'inclinogramma di Fig. 8b.

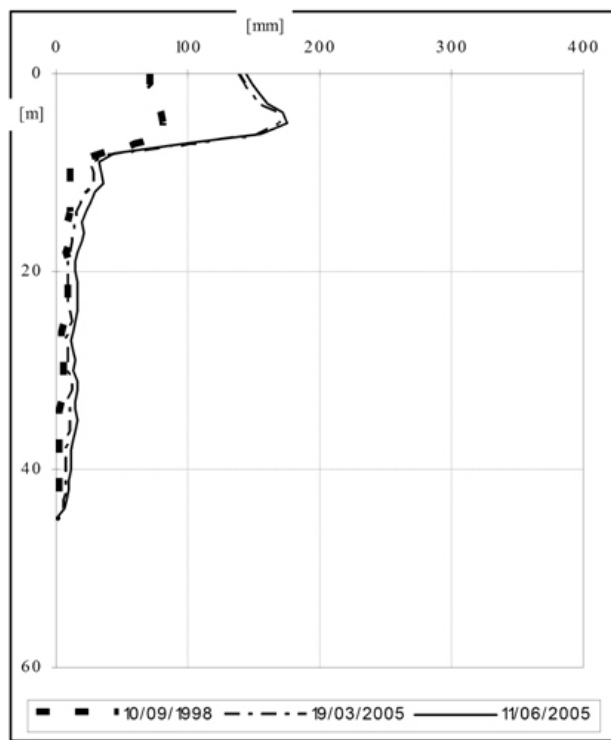


Figura 8a: Frana Sirino: Inclinometro G2 – Misure dal 1981
 Figure 8a: Sirino Landslide: Inclinometer G2; Data from 1981

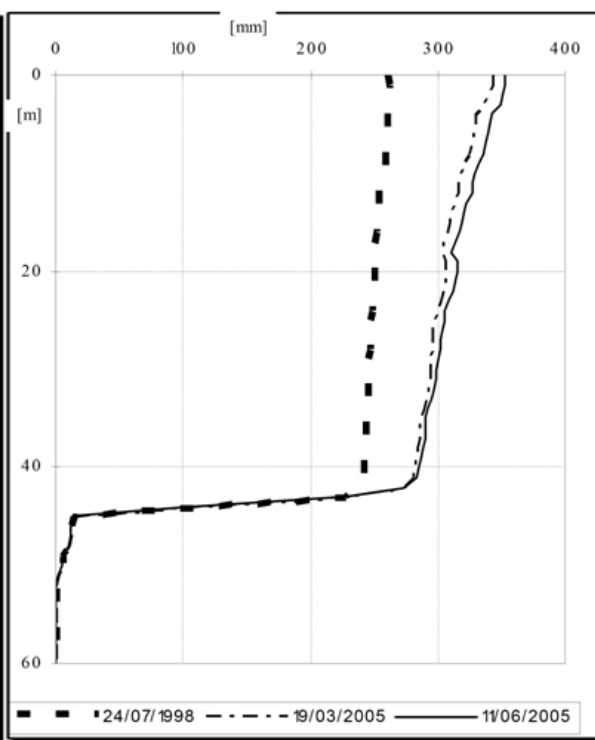


Figura 8b: Frana Sirino: Inclinometro V17 – Misure dal 1984
 Figure 8b: Sirino Landslide: Inclinometer V17 – Data from 1984

L'analisi comparata dei dati inclinometrici e geomorfologici, infatti, ha consentito di evidenziare che nel periodo di misurazione pre-evento 2005 (fase di maturazione), si è riscontrata una velocità di spostamento di circa 0,5 cm/anno; nella fase di riattivazione (periodo febbraio-marzo 2005), invece, tale velocità risulta triplicata; tra marzo e giugno 2005 gli spostamenti segnano una graduale diminuzione. In Tab. 1, oltre ai dati geometrici essenziali dei sistemi franosi esaminati, sono sintetizzate le valutazioni quantitative relative alla fase di riattivazione. Almeno per la Frana Sirino le valutazioni geomorfiche e strumentali sembrano comparabili, dimostrando la possibile integrazione dei due tipi di approcci.

6. Considerazioni conclusive

Tab. 1: Geometry and kinematics of landslide reactivations

Dall'analisi della casistica contenuta nella letteratura specialistica e dalle risultanze del presente studio è emerso che il comportamento dei grandi sistemi franosi (*sensu* Guida et al., 1988) sviluppati nell'ambito delle litologie strutturalmente complesse sud-appenniniche, a dispetto della grande variabilità delle condizioni litologiche e morfo-strutturali, risulta seguire percorsi morfo-evolutivi relativamente uniformi e ripetitivi. In particolare, risulta che le fasi di riattivazione presentano un rapporto non lineare rispetto alle cause innescanti a breve termine, mostrando, in particolare, una risposta ritardata rispetto agli eventi meteo-climatici annuali; una sorta di "inerzia

Tab. 1: Geometria e grandezze cinematiche di riattivazione dei sistemi franosi

Parametri frana	Caporra	Votemare	Sirino
Quota max (m slm)	690	400	1015
Quota min (m slm)	361	308	650
Lunghezza (m)	1327	780	2150
Larghezza (m)	520	385	690
Superficie (m ²)	400.000	100.000	800.000
Profondità media (m)	20	10	30
Volume (m ³)	8x10 ⁶	1.0x10 ⁶	24x10 ⁶
Spostamento max (m)	30	45	10
Spostamento min (m)	.5	.3	0.02
Durata riattivazione (g)	45	30	60
Velocità max (m/d)	0.66	1.5	0.16
Velocità min (m/d)	0.01	0.01	3.33x10 ⁴

morfodinamica" che trova ragione, oltre che nella scarsa permeabilità dei terreni coinvolti, soprattutto in una progressiva "maturazione" del sistema in termini di percorsi tensionali che, prima della rottura generalizzata, si concretizzano in fasi deformative a lungo termine, interrotte solo da collassi locali. A medio termine, infatti, la storia evolutiva di quasi tutti i sistemi franosi indagati attraversa periodi di relativa tranquillità morfogenetica, di durata decennale, durante i quali si realizza una "ricarica tensionale" del sistema, e periodi caratterizzati, invece, da vivaci processi erosionali e denudazionali (Corbi et al., 1999). Alle diverse scale di analisi si possono individuare

indicatori geomorfologici utili per stabilire lo stadio evolutivo del sistema al momento del rilevamento, ma anche di prevederne il comportamento in futuro, ponendo così le basi per un ottimizzato programma di monitoraggio a scala di bacino. In tal senso, lo studio svolto dimostra che le misurazioni strumentali e l'applicazione di modellazioni geomeccaniche possono oggettivare il modello

geomorfologico, mentre questo ultimo, se basato su un sistema di indicatori e soglie geomorfiche definite, può rendere significative le elaborazioni analitiche di tipo geotecnico necessariamente basate sulla estensione alla scala di versante del comportamento dell'unità di volume sperimentale di laboratorio.

Bibliografia

- A.G.I.: 1979, Some Italian experiences on the mechanical characterization of structurally complex formations. Proc. IV Int. Congr. ISRM (Montreux) 1, 827-846.
- Amanti, M., Casagli N., Catani F., D'Orefice M. & Motteran G., 1996. Guida al censimento dei fenomeni franosi ed alla loro archiviazione. Miscell. Serv. Geol. d'It., VII, 109 pp., Roma.
- ANAS S.p.A., 2005. Misure inclinometriche in foro per il monitoraggio del movimento franoso in corrispondenza delle pendici del versante M. Sirino, nei comuni di Rivello e Nemoli, tratto Autostradale SA-RC- progr.va km.ca 130+500
- Bertini T., Cugusi F., D'Elia B., Rossi-Doria M., 1988. Un esempio di monitoraggio di movimenti lenti su pendii in terreni argillosi. CNR GNDICI - Atti del Convegno sul tema: Cartografia e Monitoraggio dei movimenti franosi, Bologna.
- Bonardi G., Amore F.O., Ciampo G., de Capoa P., Miconnet P. & Perrone V., 1992 - Il Complesso Liguride Auct.: stato delle conoscenze e problemi aperti sulla sua evoluzione preappenninica ed i suoi rapporti con l'arco calabro. Mem. Soc. Geol. It., 41, 17-35, 14 figg.
- Bonardi, G., Ciampo, G. & Perrone, V., 1985 - La Formazione di Albidona nell'Appennino calabro-lucano: ulteriori dati stratigrafici e relazioni con le unità esterne appenniniche. Boll. Soc. Geol. It., 104: 539-549, 5 figg.
- Cascini L., 1988. Il monitoraggio dei movimenti franosi. CNR GNDICI - Atti del Convegno sul tema: Cartografia e Monitoraggio dei movimenti franosi, Bologna.
- Cotecchia, V., 1978. Systematic Reconnaissance Mapping and Registration of Slope Movements. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 17, pp. 5-37.
- D'Argenio B., Pescatore T. & Scandone P., 1973. Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania-Lucania). Atti del Convegno: Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino. Ac. Naz. Lincei, Quad., 183.
- D'Elia, G., Guida, M., Terranova, C., 1986. Osservazioni sui fenomeni di deformazione gravitativa profonda nel bacino del fiume Bussento (Campania), Boll. Soc. Geol. It., 106, 253-264, Roma.
- Di Nocera, S., Fenelli, G. B., Iaccarino, G., Pellegrino, A., Pescatore, T. S., and Picarelli, L.: 1995, An example on the geotechnical implications of geological history, Proc. XI ECSMFE (Copenhagen), 8, 39-48.
- Fleming, R.W., and Johnson, A.M., 1989, Structures associated with strike-slip faults that bound landslide elements: Engineering Geology, v. 27, p. 39-114.
- Fleming, R.W., Baum, R.L., and Johnson, A.M., 1993, Deformation of landslide surfaces as indicators of movement processes, in Proceedings of the 2nd Seminar on Landslide Hazards, Cosenza, Italy, March 5-6, 1990: Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, v. 16, no. 1, p. 9-11.
- Guerricchio, A., Melidoro G., Melidoro, N.L. 1995 - Convivenza con la fragilità geologica nell'area urbana di Lagonegro (prov. di Potenza).
- Convegno su: Grandi Fenomeni Gravitativi Lenti nei Centri Abitati delle Regioni Alpine ed Appenniniche. Maratea.
- Guida, D., Guida, M., Luise, D., Vallario, A., 1980. Ricostruzione di sequenze morfoevolutive pleistoceniche nell'area ad W di M. Sacro (Cilento); Geol. Appl. ed Idrog. Bari, Vol. XV.
- Guida, D., Iaccarino, G. e Perrone, V., 1988a. Nuovi dati sulla successione del Flysch del Cilento a M. Centaurino: relazioni fra Unità Litostratigrafiche, Unità Litotecniche e principali Sistemi Franosi. Mem. Soc. Geol. 41.
- Guida, D., Guida, M., Iaccarino, G., Perrone, V., Sgrosso, I., Vallario, A. 1988b. Tipologia e diffusione delle Deformazioni Gravitative Profonde di Versante nell'Appennino Campano-lucano Meridionale in relazione all'assetto stratigrafico-strutturale. Mem. Soc. Geol. It., 41, 889-896, 2ff.
- Guida D., Iaccarino, G., 1991. Fasi evolutive delle frane tipo colata nell'alta valle del fiume Basento (Potenza). Studi trentini di Scienze naturali, vol. 68, "Acta Geol.", Trento.
- Guida, D., Iaccarino, G., Lanzara, R., Peduto, F., 1995. Proposta di classificazione tassonomica dei fenomeni franosi. Giornate poster sulle ricerche del Gruppo Geomineralogico, V Conferenza Scientifica Annuale del Dipartimento di Scienze della Terra, Università "Federico II", Napoli.
- Guida, D., Guida, M., Lanzara, R., Vallario, A., 1994, Proposte metodologiche e procedurali di pianificazione del territorio in aree protette: l'Unità Territoriale di Riferimento. Geologia Tecnica e Ambientale, luglio-settembre.
- Guida, D., Guida, M., Lanzara, R., 1996. Ricostruzione di sequenze morfoevolutive mediante modellazione digitale nell'area nord-orientale di Monte Bulgheria. Il Quaternario.
- Guida, D., Siervo, V., 2005. La Carta Inventario dei Fenomeni Franosi del Foglio 521 "Lauria", presente Convegno;
- Parise, M., Wasowski, J., 1999. Landslide Activity Maps for Landslide Hazard Evaluation: Three Case Studies from Southern Italy. Natural Hazards 20: 159-183, 1999.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P.: 1994, The AVI Project: a bibliographical and archive inventory of landslides and floods in Italy, Environ. Manag. 18(4), 623-633.
- Morandi R. & Olivero S., 1980. Consulenza per la formazione ed interpretazione di un piano di indagini per i lavori di consolidamento del Tronco III - Lotto 3° dell'Autostrada Salerno - Reggio Calabria. ANAS S.p.A.
- Pellegrino, A., 1986. L'analisi dei movimenti franosi per la progettazione degli interventi di stabilizzazione, AGI XVI Convegno Nazionale di Geotecnica, Bologna:
- Rib, H.T., and Liang, T., 1978. Recognition and Identification in R.L. Schuster and R.J. Krizek (eds.), Landslides, Analysis, and Control, Special Report 176 (Washington, D.C.: Transportation Research Board), pp. 34-80.
- Schuster, R.L., 1996. Socio-economic significance of landslides. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides: investigation and mitigation, Transportation Research Board-National Research Council Special Report 247, pp. 12-35.
- Sgrosso I., 1992. Nuovi elementi per un più articolato modello paleogeografico nell'Appennino centro-meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 41 (1988): 225-242.
- Soeters, R. and van Westen, C. J.: 1996, Slope instability recognition, analysis, and zonation, In: A. K. Turner and R. L. Schuster (eds), Landslides.
- Investigation and Mitigation, Transp. Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington, D.C., pp. 129-177.
- Torrente M., 1992. Folding and thrusting in the calcareo-silico-marnosa sequence (Lagonegro area, Southern Apennines). Mem. Soc. Geol. It., 45 (1990): 511-517.
- Wieczorek, G. F.: 1984, Preparing a detailed landslide inventory map for hazard evaluation and reduction, Bull. Ass. Eng. Geol. 21(3), 337-342.
- WP/WLI (Working Party on World Landslide Inventory), 1993, A suggested method for describing the activity of a landslide, IAEG Bull. 47, 53-57.
- Zaruba Q., Mencl, A., 1969. Landslides and their controls, Academia, Prague, 85-91.