Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
134° (2016), Vol. XL, Parte II, pp. 59-78

GIANDOMENICO FUBELLI[1] – FRANCESCO DRAMIS[2]
VALERIO SALVITTI[2]

Suscettibilità di Frana nel Versante Nord del Massiccio Silano (Calabria)*

Riassunto – Viene descritta la metodologia impiegata per realizzare carte della suscettibilità di frana in un settore del versante nord-orientale del Massiccio della Sila (Calabria). Tale metodologia, basata sulla sovrapposizione in ambiente *GIS* di mappe tematiche indicizzate secondo giudizio esperto, ha permesso di ottenere carte di suscettibilità relative a otto diverse tipologie di frana: *scorrimenti rotazionali in copertura*; *scorrimenti rotazionali in substrato*; *scorrimenti traslativi in copertura*; *scorrimenti traslativi in substrato*; *colate lente in copertura*; *colate lente in substrato*; *colate rapide*; *crolli*. La procedura con cui sono state realizzate le carte è stata svolta nelle fasi seguenti: 1. Rilevamento geologico-geomorfologico dell'area di studio; 2. Individuazione e mappatura dei *parametri discriminanti* (*geologia*, *pendenza*, *frana preesistente*), condizioni necessarie ma non sufficienti perché possa verificarsi una data tipologia di frana, e dei *fattori predisponenti* (*litologia*, *pendenza*, *tipo di contatto litologico*, *rapporto giaciturale*, *zonazione tettonica*, *viabilità*, *sorgenti*, *uso del suolo*), condizioni che concorrono a destabilizzare il versante; 3. Definizione delle *Unità Territoriali Lito-Morfometriche* (*UTLM*), prodotte mediante l'intersezione dei parametri discriminanti (litologia, pendenza, indicizzati 1 o 0 secondo la possibilità o meno dell'esistenza del tipo di frana considerato; 4. Definizione delle *Unità Territoriali Omogenee* (*UTO*) per integrazione delle *UTLM* con i *fattori predisponenti* cui vengono attribuiti un indice (da 0 a 9) e un peso in funzione del contributo all'instabilità; 5. Definizione della funzione $Sf = (Igeol, Ipend, Ifrana) *\Sigma n\ (in *Pn)/\Sigma n\ Pn$, dove *Sf* è la suscettibilità, *Igeol* è indice del parametro discriminante *geologia*, *Ipend* è l'indice del parametro discriminante *pendenza*, *Ifrana* è l'indice del parametro discriminante *frana*, *in* e *Pn* sono rispettivamente l'indice e il peso del fattore predisponente *n-simo*. Sulla base dei valori di *Sf* sono state realizzate le diverse carte relative alle otto tipologie di frana considerate, nelle quali di suscettibilità è stata distinta in cinque classi: *nulla*, *bassa*, *media*, *alta*, *molto alta*.

Parole chiave: geomorfologia applicata, frane, carte di suscettibilità, Calabria.

[1] Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino.
E-mail: giandomenico.fubelli@unito.it
[2] Università Roma Tre.

* La relazione è stata presentata nell'ambito della giornata di studio su: «Rischio Idrogeologico. Previsione, Prevenzione e Controllo», Arcavacata di Rende, 8 aprile 2016.

Abstract – This paper illustrates the methodology used to produce landslide susceptibility maps for a sector of the Sila Massif northern slope (Calabria). This methodology, based on GIS overlaying thematic layers, indexed according to expert judgment, allowed the production of susceptibility maps relating to eight different types of landslides: *rotational slides in eluvial-colluvial covers*; *rotational slides in bedrock*; *translational slides in eluvial-colluvial covers*; *translational slides in bedrock*; *slow flows in cover*; slow *flows in bedrock*; *debris flows*; *falls*. The mapping procedure of landslide susceptibility has been carried out according the following steps: 1. geological-geomorphological survey of the study area; 2. identification and mapping of *discriminating parameters* (*geology*, *slope*, *pre-existing landslide*), conditions necessary but not sufficient to allow the occurrence of a given type of landslide, and *predisposing factors* (*lithology*, *slope*, *type of lithological contact*, *layering attitude/slope relationship*, *tectonic zonation*, *roads*, *springs*, *land use*), conditions that contribute to destabilize the slope; 3. definition of *Litho-Morphometric Territorial Units* (*LMTU*) by intersecting the discriminating parameters, *indexed* 1 or 0 according to whether or not a given type of landslide can occur; 4. definition of *Homogeneous Territorial Units* (*HTU*) by integrating *Litho-Morphometric Territorial Units* and predisposing factors, to which an index (0 to 9) and a weight are assigned depending on their contribution to slope instability; 5. definition of the function $Sf = (Igeol\ Islope,\ Ilandslide) * \Sigma n\ (in * Pn) / \Sigma n\ Pn$ (where *Sf* is the susceptibility, *Igeol* is the index of the discriminant parameter *geology*, *Islope* is the index of the discriminant parameter *slope*, *Ilandslide* is the index of the discriminant parameter *pre-existing landslide*, *in* and *Pn* are, respectively, the index and weight of the nth predisposing factor). Based on *Sf* values, eight different maps relating to the considered types of landslides have been produced, where susceptibility is distinguished into five classes: *none*, *low*, *medium*, *high*, *very high*.

Key words: applied geomorphology, landslides, susceptibility maps, Calabria.

1. Introduzione

La Calabria, come gran parte del territorio italiano, è diffusamente interessata da fenomeni franosi a causa dell'assetto geologico-geomorfologico del territorio e delle condizioni climatiche caratterizzate da lunghi periodi caldi e secchi alternati a stagioni piovose spesso contraddistinte da eventi estremi (Cendrero & Dramis, 1996). A incrementare la franosità territorio calabrese hanno contribuito gli interventi antropici che hanno introdotto profonde modifiche nel paesaggio alterandone i naturali equilibri (Dramis & Caracciolo, 2010).

Per la Regione Calabria i dati del Progetto IFFI (Amanti *et al.*, 1996), già piuttosto allarmanti, sono decisamente sottostimati rispetto alla reale situazione di dissesto poiché, a oggi, il censimento dei fenomeni franosi è stato concentrato prevalentemente nelle aree in cui sorgono centri abitati o in quelle interessate dalle principali infrastrutture di comunicazione (Trigila *et al.*, 2015). D'altra parte, secondo i risultati dell'indagine promossa da Legambiente (Ottaviani & Zampetti, 2016) sulle attività svolte per mitigare il rischio idrogeologico, il 99,8% del territorio calabrese è soggetto a pericolo di frana o alluvione.

La *suscettibilità di frana* definisce la propensione di un area a generare fenomeni franosi e la sua valutazione rappresenta uno strumento particolarmente utile ai fini

di una corretta gestione del territorio (Carrara *et al.*, 1995; Guzzetti *et al.*, 1999; Leoni *et al.*, 2009).

Il presente lavoro descrive la metodologia impiegata per valutare la suscettibilità di frana di un'area della Calabria Ionica settentrionale compresa tra i comuni di Rossano, Paludi, Cropalati e Longobucco in Provincia di Cosenza. Tale metodologia ha permesso di ottenere carte di suscettibilità relative a otto diverse tipologie di frana, definite in base alla classificazione di Cruden & Varnes (1996): a. *scorrimenti rotazionali in copertura*; b. *scorrimenti rotazionali in substrato*; c. *scorrimenti traslativi in copertura*; d. *scorrimenti traslativi in substrato*; e. *colate lente in copertura*; f. *colate lente in substrato*; g. *colate rapide*; h. *crolli*. A quest'ultima tipologia sono stati associati anche gli s*corrimenti traslativi* in roccia ad alto angolo.

2. Inquadramento geologico dell'area di studio

L'area di studio si sviluppa per un'estensione di circa 35 km^2 sul versante nord-orientale dell'Altopiano della Sila tra i 60 e 700 m s.l.m., è attraversata dal Fiume Trionto e dai Torrenti Celadi, Colognati, Otturi e Coserie. Essa fa parte dell'Arco Calabro-Peloritano, tratto della catena che raccorda l'Appennino (ad andamento NW-SE) alle Magrebidi (ad andamento E-W), delimitato da due importanti lineamenti tettonici la cui attività è proseguita fino al Tortoniano superiore: la linea di Sangineto a nord, un complesso sistema di faglie con componente trascorrente sinistra, e la linea di Taormina a sud; un *thrust* immergente verso NNE (Amodio-Morelli *et al.*, 1976; Bonardi *et al.*, 2005). Il confine nord-occidentale è rappresentato dalla transizione graduale tra la crosta continentale assottigliata e la crosta oceanica Pliocenico-Quaternaria della piana abissale tirrenica; quello sud-orientale corrisponde alla zona di subduzione lungo la quale la placca Africana sottoscorre verso nord-ovest.

L'Arco Calabro-Peloritano è un edificio a falde costituito da un basamento metamorfico ercinico e da settori della catena alpina cretacico-paleogenica Europa-vergente sovrascorsi, a partire dal Miocene inferiore, sulle unità più interne della futura catena appenninica Africa-vergente. Durante il tardo Oligocene, le rocce del basamento facevano parte di un cuneo orogenico compreso in una zona di subduzione immergente verso nord lungo il margine europeo sud-occidentale (Corsica, Sardegna, Calabria, Africa Settentrionale e Spagna Meridionale.

Il Massiccio della Sila, corrispondente alla falda più superficiale dell'Arco Calabro-Peloritano, è costituito da un basamento metamorfico (*Scisti Filladici* nell'area di studio) con intrusioni granitoidi tardo erciniche cui si sovrappone una copertura sedimentaria mesozoica, talora debolmente metamorfosata (Bonardi *et al.*, 1982).

A partire dal Trias medio-superiore, l'area di studio è stata interessata da una fase tettonica estensionale a scala regionale responsabile della formazione di *graben* impostati su precedenti strutture erciniche la cui evoluzione è culminata nel Giurassico medio con l'apertura di un braccio oceanico tra Africa e Europa. In questa fase sono state deposte successioni sedimentarie marine (Young *et al.*, 1986; Santan-

tonio & Teale, 1987) il cui ambiente deposizionale è variato nel tempo da continentale a poco profondo (Unità di Longobucco, Trias superiore? - Lias superiore) fino a condizioni decisamente batiali (Unità di Caloveto, Titonico-Cretaceo inferiore).

La *Formazione di Paludi*, di età compresa tra l'Oligocene e l'Aquitaniano (Dubois, 1976; Bonardi *et al.*, 2005), poggia in discordanza angolare sul basamento e sui depositi sedimentari mesozoici nella parte nord-orientale della Sila, tra i torrenti Laurenzana e Colognati (Amodio Morelli *et al.*, 1976; Lanzafame & Tortorici, 1981). La successione, descritta per la prima volta da Magri *et al.* (1965), comprende dal basso verso l'alto: un conglomerato basale, flysch marnoso-arenacei, calcari selciferi, marne rossastre e diaspri varicolori.

Tra il Miocene medio e il Miocene superiore, a causa di una regressione momentanea, hanno avuto origine bacini chiusi o parzialmente chiusi al cui interno è avvenuta la deposizione di una sequenza costituita da più cicli sedimentari trasgressivi, contraddistinta localmente, verso l'alto, da caratteristiche che documentano un ambiente pelagico euxinico in evoluzione verso condizioni evaporitiche (Di Nocera *et al.*, 1974; Amodio-Morelli *et al.*, 1976; Colella, 1995). Nell'area di studio si riconoscono due subcicli sedimentari, ambedue appartenenti al «*Complesso Postorogenico*» di Ogniben (1973). I depositi del primo subciclo sono costituiti, alla base, da una formazione conglomeratica nota in letteratura come *Conglomerato Rosso Basale* (Serravalliano-Tortoniano) (Ogniben, 1973); a questa si sovrappongono arenarie di ambiente marino (*Arenarie a Clypeaster*) (Ogniben, 1973; Di Nocera *et al.*, 1974, Amodio-Morelli *et al.*, 1976), seguite in continuità stratigrafica da argille con microfaune pelagiche (Ogniben, 1973; Moretti, 1993) e, quindi, da *Calcari Gessiferi* messiniani (Panizza, 1966; Ogniben, 1973; Di Nocera *et al.*, 1974; Amodio-Morelli *et al.*, 1976). In discordanza angolare con i depositi del primo subciclo si trovano argille torbiditiche e gessi in eteropia laterale con calcareniti di mare poco profondo, note in letteratura come *Molassa di Castiglione* (Ogniben, 1955, 1973; Amodio-Morelli *et al.*, 1976). Localmente, in eteropia con le calcareniti e le argille torbiditiche, sono presenti le *Argille Varicolori* (Ogniben, 1955).

Tra il Messiniano e il Pliocene inferiore l'area è stata interessata da una nuova fase estensionale che ha portato allo sviluppo di sistemi a *horst* e *graben* con orientazione NW-SE e N-S e alla formazione di bacini subsidenti interessati da cicli sedimentari marini e continentali.

Durante il Pliocene, in seguito a una nuova fase trasgressiva dovuta a subsidenza, si è avuta la deposizione di sabbie di ambiente marino poco profondo (Burton, 1971). La sedimentazione è proseguita con il *Ciclo Suprapliocenico – Pleistocenico* (Vezzani, 1968) i cui depositi, argillosi, sabbiosi e conglomeratici, costituiscono forme terrazzate discordanti sulle rocce neogeniche (Vezzani, 1968; Ogniben, 1973; Critelli, 1990).

Nel Pleistocene medio, un forte sollevamento regionale ha interessato tutto il, blocco Calabro – Peloritano (Moretti & Guerra, 1997; Molin *et al.*, 2002, 2004) contribuendo all'emersione parziale del riempimento sedimentario del bacino di Rossano

e, in risposta alle variazioni eustatiche, alla formazione di una gradinata di terrazzi deltizi (Corbi *et al.*, 2009; Robustelli *et al.*, 2009).

La dinamica attuale della Calabria settentrionale è espressa dall'elevata sismicità intermedia e profonda (Gasparini *et al.*, 1982; Ghisetti & Vezzani, 1982) che associata alle immagini tomografiche, ben definisce la morfologia dello *slab* in subduzione (Frepoli *et al.*, 1996).

3. Lineamenti di geomorfologia

Il paesaggio fisico dell'area di studio è caratterizzato da incisioni vallive strette e profonde, separate da interfluvi ampi e rotondeggianti. I corsi d'acqua, localmente chiamati fiumare, sono caratterizzati da un regime torrentizio con abbondanti portate durante l'inverno e aridità quasi totale in estate. Essi mostrano nei tratti a monte percorsi meandriformi incassati nei terreni del complesso igneo-metamorfico paleozoico e nelle successioni meso-cenozoiche dell'*Unità di Longobucco* che testimoniano gli effetti del sollevamento regionale recente (Sorriso-Valvo, 1993; Molin, 2001).

Nel tratto compreso tra il fronte della Sila, caratterizzato da una vistosa scarpata di faglia, e la fascia litorale i corsi d'acqua sviluppano canali di tipo *braided*, in alvei larghi fino a diverse centinaia di metri (Panizza, 1966; Dramis *et al.*, 1990). In questa zona gli spartiacque sono caratterizzati da più ordini di terrazzi fluvio-marini generati dall'interazione tra il sollevamento regionale e le oscillazioni eustatiche del livello marino (Vezzani, 1968; Dramis *et al.*, 1990; Molin *et al.*, 2002, 2004; Robustelli *et al.*, 2009). I versanti sono diffusamente interessati da movimenti di massa di diversa tipologia in relazione alle litologie coinvolte, al loro assetto strutturale, alle condizioni idrogeologiche e all'impatto delle attività antropiche (Panizza, 1966; Dramis *et al.*, 1990; Sorriso-Valvo, 1993; Sorriso-Valvo *et al.*, 1996, 1998).

4. Metodologie generali di lavoro per il calcolo della suscettibilità di frana

La valutazione della suscettibilità di frana è una stima qualitativa/quantitativa della tipologia, del volume e della distribuzione spaziale delle frane che interessano e possono interessare una data area. Essa richiede innanzitutto uno rilevamento preliminare di terreno volto a realizzare una carta geologica-geomorfologica dell'area in esame a scala di dettaglio e un censimento di tutti i fenomeni franosi ivi riconoscibili, da svolgere sia in campagna sia tramite interpretazione di foto aeree di scala adeguata, anche al fine di estendere il censimento anche ad aree di accesso difficile o impossibile.

4.1. *Unità di terreno e metodi di zonazione*

Caratteristica di tutti i metodi per la zonazione e valutazione della suscettività da frana è l'individuazione delle *unità di terreno di riferimento*, definibili come quelle

porzioni di terreno contraddistinte da caratteristiche che la differenziano dalle unità adiacenti attraverso limiti ben definiti (Hansen, 1984).

Tra i diversi metodi di zonazione proposti dagli autori (Meijerink, 1988; Carrara *et al.*, 1995; Guzzetti *et al.*, 1999; Iwahashi *et al.*, 2001; Fell *et al.*, 2008; Corominas *et al.*, 2014) quelli più spesso impiegati sono i seguenti:

– *metodo delle unità geomorfologiche*, basato sull'assunto che in un ambiente naturale le relazioni fra materiali, forme e processi diano per risultato elementi che sintetizzano differenze di ordine geologico e geomorfologico;

– *metodo della matrice di celle*, in cui il territorio viene suddiviso in celle quadrate di dimensioni predefinite che diventano le unità di riferimento per la sua mappatura;

– *metodo delle unità territoriali omogenee*, nelle quali ogni fattore di instabilità viene descritto mediante poche classi sufficienti ad esprimerne la variabilità interna e vengono prodotte carte tematiche diverse per ciascun fattore di franosità; l'intersezione delle carte tematiche evidenzia porzioni di territorio aventi elementi in comune il cui numero e le cui dimensioni sono funzione dei criteri utilizzati nella classificazione dei fattori di instabilità;

– *metodo delle unità di versante*, basato su unità territoriali derivate in automatico da modelli digitali del terreno di alta qualità. Queste sono riconducibili a elementi topografici evidenziabili mediante aree di drenaggio superficiale e linee spartiacque; a seconda del processo investigato possono essere usati bacini idrografici di ordine diverso oppure porzioni degli stessi corrispondenti a singoli versanti.

4.2. *Metodi di calcolo della suscettibilità*

Per definire in modello concettuale di calcolo della suscettibilità di frana è necessario un approccio metodologico articolato nelle seguenti fasi:

– individuazione dei parametri necessari ai fini della valutazione previsionale;

– creazione di un *geo-database* per mezzo dell'utilizzo di un *GIS* che contenga tutti i parametri necessari ai fini del calcolo (area di studio, inventario delle frane, carte tematiche correlate alla valutazione dell'instabilità dei versanti);

– correlazione tra il modello di suscettibilità e le unità di terreno adottate.

Vari autori propongono due differenti metodi per il calcolo della suscettibilità: *metodi qualitativi* e *metodi quantitativi*.

4.2.1. *Metodi qualitativi*

Si tratta di metodi euristici (o diretti), esclusivamente basati sul giudizio della persona che conduce la valutazione. I dati vengono acquisiti da rilevamento sul terreno supportato dall'interpretazione di foto aeree. Essi possono seguire due diversi approcci: quello geomorfologico e quello della sovrapposizione di mappe tematiche indicizzate.

Nell'*approccio geomorfologico* l'operatore produce la carta di suscettibilità affidandosi alla propria esperienza e conoscenza pregressa di situazioni simili senza l'applicazione di regole formalizzate, sulla base di rilevamenti di terreno volti alla produzione di carte geomorfologiche.

Nella sovrapposizione di carte tematiche indicizzate, l'operatore sceglie a priori i *parametri discriminanti* (condizioni necessarie ma non sufficienti per l'esistenza di un dato tipo di frana) e, sulla base di osservazioni di campagna, seleziona i *fattori predisponenti* l'instabilità dei versanti.

4.2.2. *Metodi quantitativi*

La costruzione di mappe di suscettibilità di frana procede per passi successivi, adottando un approccio statistico diversificato unito a uno deterministico fisicamente basato.

L'approccio statistico prevede l'applicazione delle tecniche dell'analisi condizionale, successivamente quelle della statistica multivariata (regressione logistica, analisi discriminante), e infine quella delle reti neurali artificiali. Tutte queste tecniche rappresentano metodi indiretti di tipo quantitativo che, pur diversificandosi dal punto di vista concettuale, sono accomunate dal fatto che i risultati sono espressi in termini di probabilità futura di frana, caratteristica che le distingue nettamente dai metodi deterministici.

5. Metodologia utilizzata nell'area di studio

La metodologia utilizzata in questo lavoro è del tipo qualitativo e consiste nella sovrapposizione di mappe tematiche indicizzate secondo un approccio euristico basato sul giudizio della persona che effettua la valutazione (Casagli *et al.*, 2004; Leoni *et al.*, 2009, 2011).

Nell'area di studio è stata utilizzata come base di rilevamento la Carta Tecnica in scala 1:5000 della Regione Calabria.

Oltre alle forme e ai processi morfogenetici con particolare riferimento ai fenomeni franosi, sono stati presi in considerazione le caratteristiche litologici e l'assetto strutturale del substrato. Altri dati quali uso del suolo, sorgenti e viabilità sono stati ripresi da indagini bibliografiche.

Le fasi di lavoro secondo le quali è stata effettuata la valutazione della suscettibilità di frana nell'area di studio sono di seguito descritte (Fig. 1).

5.1. Fase 1. *Rilevamento geologico e geomorfologico dell'area di studio*

Il rilevamento geologico eseguito nel corso della primavera 2010 dopo un approfondito esame dei riferimenti bibliografici ha permesso di definire i caratteri litologici dei terreni affioranti nell'area, la loro successione stratigrafica e il loro assetto strutturale (giaciture, discordanze, eteropie, faglie, fratture, ecc.).

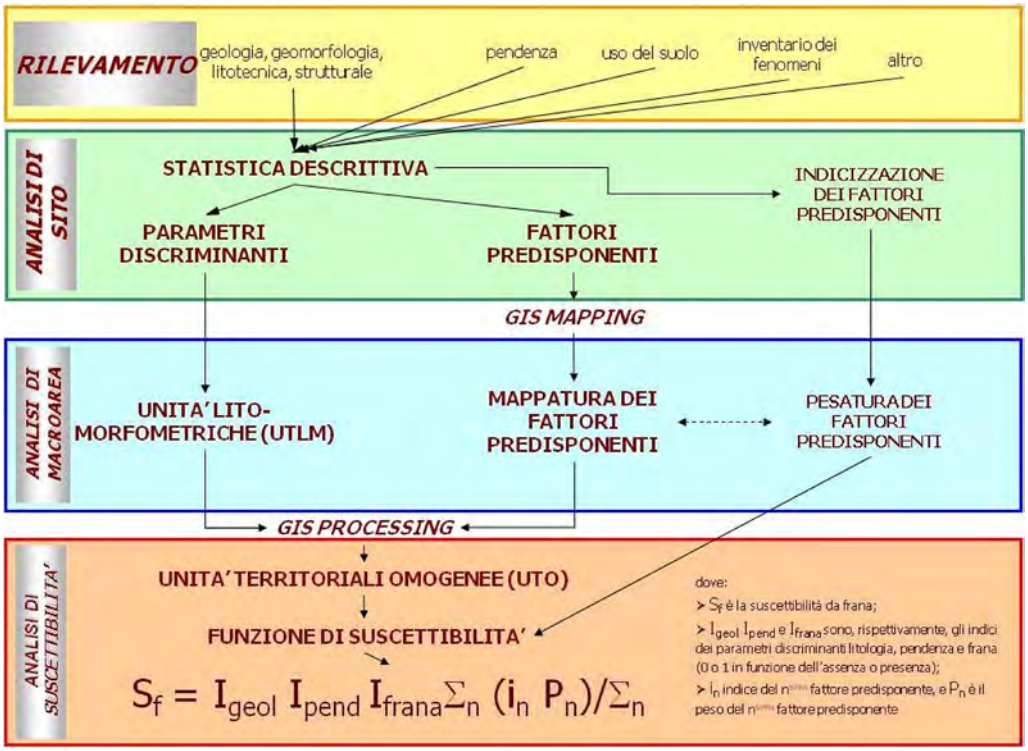

Fig. 1. Diagramma di flusso che sintetizza le fasi dell'approccio metodologico impiegato (da Leoni *et al.*, 2009).

I sedimenti pre-pliocenici sono stati distinti secondo il criterio lito-stratigrafico mentre per quelli plio-pleistocenici è stato adottato il criterio delle unità allo-stratigrafiche, (unità stratigrafiche a limiti non conformi *sensu North American Stratigraphic Code* (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 2005).

5.1.1. *Le unità litologiche*

Per la valutazione della suscettibilità da frana nell'aerea di studio sono state prese in considerazione le 17 unità litologiche di seguito descritte.

1. *Scisti Filladici* (Devoniano), rocce metamorfiche di età devoniana appartenenti al basamento dell'Unità di Longobucco e costituite di mica bianca, quarzo plagioclasio sodico, clorite e, in minore misura, di plagioclasio potassico. Queste rocce si presentano spesso intensamente fratturate.

2. *Granito rosa* (Permo-Carbonifero), intruso negli scisti filladici (Amodio Morelli, 1976) e frequentemente ricoperto da una spessa coltre di alterazione super-

ficiale costituita di materiale sabbioso limoso. Talvolta si presenta come un complesso di sabbie grossolane, noto in letteratura «saprolite», che conserva l'aspetto della roccia originaria ma è facilmente disgregabile.

3. *Formazioni del Giurassico*, consistenti in marne verdastre, conglomerati, arenarie e calcari massicci e stratificati alternati a livelli calcarenitici e marnosi.

4. *Formazione di Paludi* (Aquitaniano nell'area di studio), a contatto per sovrascorrimento sul complesso metamorfico-intrusivo dell'*Unità della Sila* e costituita da un conglomerato basale poligenico clasto-sostenuto estremamente cementato seguito da marne e marne arenacee alternate a calcareniti e, alla sommità, da arenarie torbiditiche.

5. *Conglomerato Rosso Basale* (Tortoniano-Serravalliano), trasgressivo sulle formazioni precedenti e di spessore molto variabile da pochi metri a meno di un metro, fino a risultare del tutto assente dalla successione stratigrafica, e composto di clasti poligenici ed eterometrici (fino a 25 cm di diametro), matrice-sostenuti e generalmente ben arrotondati.

6. *Arenarie a Clypeaster* (Tortoniano), complesso di sabbie giallastre o rossastre di spessore compreso tra 50 e 75 m con alla base un livello conglomeratico discontinuo spesso non più di 1 m. I granuli, poco o mal classati, sono cementati da detrito fine e da argilla. È presente una stratificazione in bancate di 2-3 m e talora una stratificazione incrociata. Intercalate ai banchi arenacei si rinvengono localmente livelli centimetrici argilloso-marnosi.

7. *Formazione Argilloso-Marnosa* (Tortoniano), consistente in un complesso di argille marnose e marne argillose di colore grigio chiaro-azzurro spesso 100-150 m, ben stratificato in bancate metriche e disposto in concordanza sulle *Arenarie a Clypeaster*. Al suo interno si rinvengono talora blocchi poligenici ed eterometrici (di dimensioni sempre inferiori ai 3 m) oltre a noduli, lenti e livelli di gesso.

8. *Calcare di Base* (Messiniano), calcari stratificati in banchi metrici con intercalazioni argilloso-marnose di spessore variabile tra i 20 cm e il m. I banchi inferiori, generalmente biancastri, hanno una struttura brecciata vacuolare derivante dall'originaria presenza di cristalli di salgemma successivamente dissolti. Nella parte alta della formazione si rinvengono frequentemente banchi a struttura nodulare, mentre talvolta compaiono noduli di gesso saccaroide bianco. Lo spessore varia tra 10 e 60 m anche se generalmente si aggira sui 30-40 m. Il *Calcare di Base* calcarea poggia in concordanza sulla *Formazione Argilloso-marnosa* con un passaggio graduale, caratterizzato dalla comparsa di qualche strato calcareo alla sommità delle argille prima dei banchi calcarei. Nel complesso gli strati presentano un assetto monoclinalico con un'immersione verso NE e inclinazione variabile dai 20° ai 30°. Tali strutture sono dislocate da sistemi di faglie normali a direzione N120° che ne ribassano la porzione meridionale. Sono talvolta riconoscibili strutture plicative ad ampio raggio con che modificano la giacitura originaria degli strati che assumono un assetto verticale.

9. *Argille Marnose Salifere* (Messiniano), argille marnose grigiastre con noduli e strati centimetrici di gesso e salgemma. Il passaggio dalla formazione calcarea a quella argillosa avviene attraverso banchi a noduli calcarei e gessosi cementati da argilla. La potenza della formazione si aggira sui 70 m. Talvolta il suo spessore si riduce drasticamente fino alla quasi completa scomparsa.

10. *Molassa di Castiglione* (Messiniano), calcareniti in banchi spessi 1-2 m con sottili intercalazioni argillose e gessose. La grana è prevalentemente psammitica fine con elementi da angolosi ad arrotondati, spesso ben classati e immersi in scarsa matrice carbonatica. Lo spessore è estremamente variabile, raggiungendo i 100 metri nel settore sudorientale e tendendo talora a diminuire, fino alla completa scomparsa.

11. *Formazione CTSL* (Messiniano), argille grigiastre con intercalazioni di sottili livelli arenacei eteropiche con la *Molassa di Castiglione* e con la *Formazione dei Gessi*. La potenza è variabile da 0 m ai 100 m.

12. *Formazione dei Gessi* (Messiniano), costituita di ammassi metrici discontinui di gesso inglobati all'interno di una predominante matrice argillosa o sabbiosa. Nell'area rilevata lo spessore raggiunge i 100 m. La formazione poggia sulla *Molassa di Castiglione* o, localmente, sulle *Argille Marnose Salifere*.

13. *Olistostroma di Scorpiano* (Messiniano), olistoliti di calcareniti e gessareniti brecciate e vacuolari, immersi in una matrice argillosa di colore grigio chiara, o tendente al giallo quando alterata, e spesso contraddistinti da *slumping* ed da altre strutture di flusso.

14. *Argille Varicolori* (Messiniano), Si tratta di argille policrome di norma mal stratificate o di aspetto caotico, contenenti blocchi arenacei, calcarei e gessosi provenienti dalle formazioni sottostanti. La formazione tende a diminuire di spessore procedendo verso nord-ovest, direzione lungo la quale poggia su termini sempre più alti della successione.

15. *Argille Grigio-Azzurre* (Siciliano - Pliocene), costituita alla base da sabbie stratificate con intercalazioni di livelli ghiaiosi e argillosi, seguite verso l'alto da argille ed argille siltose mal stratificate di colore variabile dal grigio all'azzurro. Lo spessore dell'unità può raggiungere diverse decine di metri. Sulla base di analisi micropaleontologiche è stato possibile assegnare le *Argille Grigio-Azzurre* all'intervallo temporale compreso tra il Pliocene ed il Siciliano.

16. *Alloformazione Destra Olivellosa* (Pleistocene inferiore-medio), successione clastica poggiante in discordanza sulla *Formazione dei Gessi,* sulla *Formazione Argilloso Marnosa*, sulle *Argille Grigio Azzurre* e sulle *Argille Varicolori*. Nel complesso la successione esaminata presenta caratteri di *facies* ed architetture riferibili ad un ambiente di barra di foce e di piana deltizia nell'ambito di uno *shelf-type delta*.

17. *Alloformazione Bucida* (Pleistocene medio-superiore), correlabile ad ambienti deposizionali fluviali tipo *braided* ad elevata energia caratterizzati dalla migrazione di barre ghiaiose.

5.1.2. *Tettonica*

Le unità litologiche affioranti nell'area rilevata risultano dislocate da diversi sistemi di faglie distensive con rigetti fino a circa 150 m e da sovrascorrimenti corrispondenti al contatto tettonico tra la *Formazione di Paludi* e il basamento metamorfico-cristallino silano.

Il sistema più sviluppato è rappresentato da faglie normali con direzione NW-SE e piani inclinati tra i 60 e gli 80 gradi che suddividono la zona in *horst* e *graben*. Gli altri sistemi di faglie mostrano direzione E-W, NE-SW, WNW-ESE e risultano caratterizzate da estensione e rigetto notevolmente più ridotti. Le faglie dell'ultimo sistema mostrano evidenze di attività recente.

5.1.3. *Censimento dei fenomeni franosi*

Il censimento dei fenomeni franosi è stato effettuato sulla base del rilevamento di campagna e della foto-interpretazione.

Le osservazioni di dettaglio effettuate sul terreno mediante *GPS* hanno permesso di individuare le componenti che caratterizzano un fenomeno franoso (area di distacco, area di scorrimento e area di accumulo).

Le frane ritenute più significative in termini di pericolosità sono state catalogate in apposite schede contenenti tutte le informazioni utili per la valutazione della suscettibilità.

L'interpretazione di ortofoto (elaborate a partire dal Volo 2008 della Regione Calabria) ha permesso inoltre di editare in ambiente *GIS* tutti quei fenomeni franosi che, per motivi logistici, non è stato possibile rilevare direttamente sul terreno.

5.2. Fase 2. *Individuazione e mappatura dei parametri discriminanti e dei fattori predisponenti*

I *parametri discriminanti* rappresentano, come già accennato, le condizioni necessarie ma non sufficienti perché possa verificarsi una data tipologia di frana: *pendenza* (pendenza originaria del versante), *geologia* (litologia su cui è impostata la superficie di rottura) e *frana* (ubicazione dei fenomeni franosi già avvenuti). Quest'ultimo parametro si riferisce al caso di riattivazione totale o parziale di precedenti fenomeni franosi.

I *fattori predisponenti* sono quelli che concorrono a rendere instabile un versante: *litologia* e *pendenza* (distinzione in classi dei parametri discriminanti); *tipo di contatto litologico*; *rapporto giaciturale*; *zonazione tettonica*; *viabilità*; *sorgenti*; *uso del suolo*.

5.3. Fase 3. *Definizione delle Unità Territoriali Lito-Morfometriche*

Le *Unità Territoriali Lito-Morfometriche* (*UTLM*) vengono prodotte mediante l'intersezione dei parametri discriminanti indicizzati attraverso un approccio euristico

(con indice 0 la frana non si può verificare; con indice 1 si può verificare). Gli indici dei parametri discriminanti *geologia* e *pendenza* relativi alle *UTLM* variano in base alla tipologia di frana considerata.

Mentre il parametro *pendenza* è già in formato *GRID*, i parametri *geologia* e *frana* sono stati convertiti in *raster* per mezzo del *tool Convert feature to raster.*

5.4. Fase 4. *Definizione delle Unità Territoriali Omogenee*

Per integrazione delle *UTLM* con i *fattori predisponenti*, cui viene attribuito un indice (da 0 a 9) e un peso in funzione del contributo all'instabilità, vengono individuate le *Unità Territoriali Omogenee* (*UTO*).

5.4.1. *Litologia e pendenza*

I fattori predisponenti *litologia* e *pendenza* vengono considerati in funzione della maggiore o minore diffusione di frane nell'area di indagine su base essenzialmente statistica. Ad ogni litologia e in base alla tipologia di frana considerata viene associato un indice, ottenuto creando un apposito campo nella tabella degli attributi, ad esempio *LITROTCOP* (litologia-rotazionali-in copertura). I campi dello *shapefile* litologia relativi agli indici di suscettibilità sono trasformati in *raster* per mezzo del *tool Convert feature to raster*.

Per il fattore *pendenza*, sono state create classi per ogni tipologia di frana mediante l'operatore *Reclassify* associando alle stesse gli indici di suscettibilità.

5.4.2. *Contatto litologico*

Il tipo di contatto litologico prende in esame la discontinuità determinata in un versante dal passaggio tra due litologie di natura diversa (rigida, duttile, granulare) ed è rappresentato da una fascia di influenza larga 40 metri estesa lungo il contatto stesso. Le tipologie sono le seguenti: rigido/duttile, granulare/duttile, granulare/rigido. Ad ogni tipo di contatto litologico viene attribuito un indice in base all'incidenza che questo ha sull'attivazione di una frana.

Nel presente studio al contatto duttile/rigido è stato assegnato l'indice 9, a quello granulare/rigido l'indice 7, a quello duttile/granulare l'indice 5 e infine dove non sono presenti contatti litologici delle tipologie descritte, è stato assegnato un indice pari a 0. Il campo creato nella tabella degli attributi dello *shapefile CONTATTI_LITO* è stato trasformato in *raster* per la formulazione dell'equazione finale per il calcolo della suscettibilità.

5.4.3. *Zonazione tettonica*

La *zonazione tettonica* contribuisce all'instabilità del versante secondo due modalità diverse, principalmente secondo fasce di deformazione nell'intorno dei sin-

goli elementi tettonici (*zonazione per sistema di faglie*) e, secondariamente, come deformazione «diffusa» in funzione dei sistemi tettonici locali e regionali (*zonazione per dominio strutturale*). L'ampiezza della fascia di deformazione varia in base al tipo e all'estensione dell'elemento tettonico considerato.

Nel caso della *zonazione per sistema di faglie*, ad ogni tipologia di faglia è stato attribuito un indice in base all'influenza che questa poteva esercitare sull'attivazione del fenomeno franoso: il campo degli indici creato nella tabella attributi è stato trasformato in *raster*. Per la *zonazione per dominio strutturale* è stato assegnato l'indice 9 ai terreni interessati da intensa tettonica polifasica compressiva e distensiva, l'indice 6 ai terreni interessati da tettonica moderata, prevalentemente distensiva, l'indice 2 ai terreni interessati da blanda tettonica distensiva.

5.4.4. *Rapporto giaciturale*

Il *rapporto giaciturale*, corrispondente alla spazializzazione del rapporto fra la giacitura degli strati, la pendenza e dell'esposizione del versante ottenuta tramite derivazione automatica dal DEM e successiva riclassificazione manuale in *Unità di Versante* (*UV*) caratterizzate da pendenza ed esposizione omogenee. Il fattore *rapporto giaciturale*, preso in considerazione solo per gli scorrimenti traslativi in substrato, è stato classificato in funzione della propensione al dissesto inserendo i vari indici in un campo.

5.4.5. *Viabilità*

Il fattore *viabilità* intende qualificare il contributo all'instabilità di versante dato dai tagli stradali come elementi di discontinuità del profilo del versante. Nella tabella di attributi dello *shapefile strade* è stato creato un campo dove sono stati inseriti gli indici di incidenza delle strade, ad ogni tipologia di infrastruttura è stato assegnato un indice pari a 9.

5.4.6. *Sorgenti*

Il fattore *sorgenti* viene preso in considerazione in quanto testimonianza di maggiore saturazione dei terreni. Per ogni sorgente, elemento puntuale, sono stati prodotti 3 *buffer* che indicano il rispettivo raggio di incidenza (distanza 20, 50, 100 m). Nella tabella degli attributi dello *shapefile sorgenti* è stato creato un campo nel quale sono stati assegnati diversi indici in base alla distanza di incidenza (buffer >100 m = indice 0; buffer 100 m = indice 3; buffer 50 m = indice 6; buffer 20 m= indice 9.

5.4.7. *Uso del suolo*

Per il fattore *uso del suolo* è stato creato uno *shapefile* poligonale sulla base della Carta dell'Uso del Suolo della Regione Calabria alla quale, tenendo conto delle

scala di dettaglio della ricerca, sono state apportate alcune modifiche focalizzandosi soprattutto sulle aree urbanizzate. Dalla tabella degli attributi di questo *shapefile* sono stati creati i campi degli indici associati ad ogni area di *uso del suolo* in relazione alle diverse tipologie di frana.

5.5. Fase 5. *Definizione della funzione di suscettibilità*

Per il calcolo della suscettibilità è stata utilizzata la funzione:

$$Sf = (Igeol, Ipend, Ifrana) * \Sigma n\ (in * Pn) / \Sigma n\ Pn$$

dove: *Sf* è la suscettibilità alla tipologia di fenomeno franoso, *Igeol* è indice del parametro discriminante *geologia*, *Ipend* è l'indice del parametro discriminante *pendenza*, *Ifrana* è l'indice del parametro discriminante *frana* (ubicazione frana già avvenuta), *in* e *Pn* sono rispettivamente l'indice e il peso del fattore predisponente *n-simo*.

Nella prima parte della funzione vengono definite le *UTLM* mentre nella seconda le *UTO*, il loro prodotto permette di definire la suscettibilità.

La funzione viene tradotta in ambiente *GIS* in un algoritmo costruito all'interno di uno specifico strumento del software *ArcGIS 9.3* che permette di raccogliere i dati all'interno di un *GeoDataBase* nei formati vettoriale e *raster*. I livelli informativi sono stati omogeneizzati e organizzati secondo il processo metodologico applicato per la valutazione della suscettibilità dell'area di studio, con l'aggiunta di attributi di tipo numerico (classi di tipo *short integer*) corrispondenti agli indici *UTLM* e *UTO*.

I fattori predisponenti che concorrono nella creazione delle *UTO* cambiano in base alla tipologia di frana e di materiale coinvolto, pertanto per quanto riguarda le frane in copertura all'equazione viene aggiunto il parametro: tipologia frana mentre per le traslative in substrato è stato considerato il parametro *rapporti giaciturali*. Sono state create al proposito tre diverse equazioni, una riferita ai fenomeni franosi in substrato esclusi gli scorrimenti traslativi, una solo per questi ultimi e una per le frane in copertura.

Le carte di suscettibilità sono state prodotte per mezzo del *tool Map Algebra* presente all'interno dei *software ToolsetSpatial Analyst* e *ArcGIS 9.3.* L'applicazione di quest'ultimo software ha consentito di raccogliere i dati all'interno di un apposito *GeoDataBase*. I diversi *layer* informativi sono stati omogeneizzati e organizzati secondo il processo metodologico utilizzato per la valutazione della suscettibilità di frana dell'area di studio, con l'aggiunta di attributi di tipo numerico (classi di tipo *short integer*) corrispondenti agli indici *UTLM* e *UTO* differenziati per ogni tipologia di frana. Poiché questo strumento permette di elaborare solo dati *raster*, tutti i campi numerici associati agli indici delle *UTLM* e *UTO*, sono stati trasformati in questo formato.

Per tutte le tipologie di frana prese in considerazione sono state prodotte carte caratterizzate da cinque classi di suscettibilità: *nulla*, *bassa*, *media*, *alta*, *molto alta*.

Le carte di suscettibilità forniscono una serie di informazioni che dipendono dalla differente indicizzazione dei *layer* informativi associati alle diverse tipologie di frana indagate.

6. Risultati

L'analisi relativa agli *scorrimenti rotazionali in substrato* e *in copertura*, indica ampie zone con suscettibilità molto alta, localizzate per la maggior parte in corrispondenza di litologie duttili, come gli *Scisti Filladici*, contraddistinti da una grana molto fine e da una scistosità netta e regolare. Quest'ultima caratteristica favorisce la formazione nei versanti di zone di debolezza con conseguente mobilizzazione di masse di roccia lungo superfici di scorrimento. All'instabilità degli scisti contribuisce la presenza nell'area di una faglia inversa a basso angolo con direzione NE-SW, che provoca il sovrascorrimento di questi sui terreni miocenici a sud di Cropalati. Un'altra zona a suscettibilità molto alta è localizzata in corrispondenza dei termini più marnosi delle formazioni giurassiche.

Le zone a suscettibilità bassa o nulla sono localizzate dove affiorano terreni litoidi e nelle piane alluvionali; presentano suscettibilità bassa anche alcune aree a debole pendenza aree anche in corrispondenza di terreni con caratteristiche litotecniche particolarmente duttili come, ad esempio, la *Formazione Argilloso-Marnosa*.

Tenuto conto che gli *scorrimenti rotazionali in substrato* non si verificano di norma in terreni profondamente rimaneggiati, il parametro *Frana* non è stato introdotto nel calcolo dell'equazione della suscettibilità; lo stesso invece è stato inserito nel calcolo dell'equazione relativa agli *scorrimenti rotazionali in copertura*, considerato che questi interessano spesso terreni rimaneggiati e, in particolare, soprattutto corpi e accumuli di frana precedenti.

Nell'equazione di calcolo della suscettibilità relativa agli *scorrimenti traslativi in substrato* e *in copertura* sono stati presi in considerazione fattori diversi. Per i primi è stato introdotto il fattore *rapporto giaciturale,* molto importante dato che queste frane si verificano dove le giaciture degli strati o di altri elementi strutturali planari (faglie, diaclasi, piani di scistosità) sono a franapoggio con pendenza minore di quella del pendio, ed è stato escluso il fattore *frana* (Fig. 2); per i secondi il fattore *rapporto giaciturale* non viene considerato mentre, come per gli scorrimenti rotazionali in copertura, viene inserito il fattore *frana*. Il parametro *geologia*, anche in questo caso ha un importanza rilevante: i terreni maggiormente suscettibili sono la *Formazione di Paludi*, caratterizzata da alternanze di termini marnosi e calcarenitici, e gli *Scisti Filladici*, nei quali le superfici di debolezza sono rappresentate dai piani di scistosità.

Le aree suscettibili a *colate lente in substrato* sono circoscritte nella *Formazione Argilloso-Marnosa*, un potente complesso di argille marnose e marne argillose di colore grigio chiaro-azzurro, e negli *Scisti Filladici*. In corrispondenza degli stessi terreni, profondamente alterati in superficie, sono diffuse le aree con elevata suscettibilità alle *colate lente in copertura* e i termini marnosi e calcarenitici della *Formazione di Paludi*.

I fattori predisponenti che influiscono maggiormente sulla suscettibilità a *colate rapide* sono *litologia* e *pendenza*. Queste tipologie di frana non richiedono una specifica superficie di scorrimento e si sviluppano lungo incisioni preesistenti, pertanto

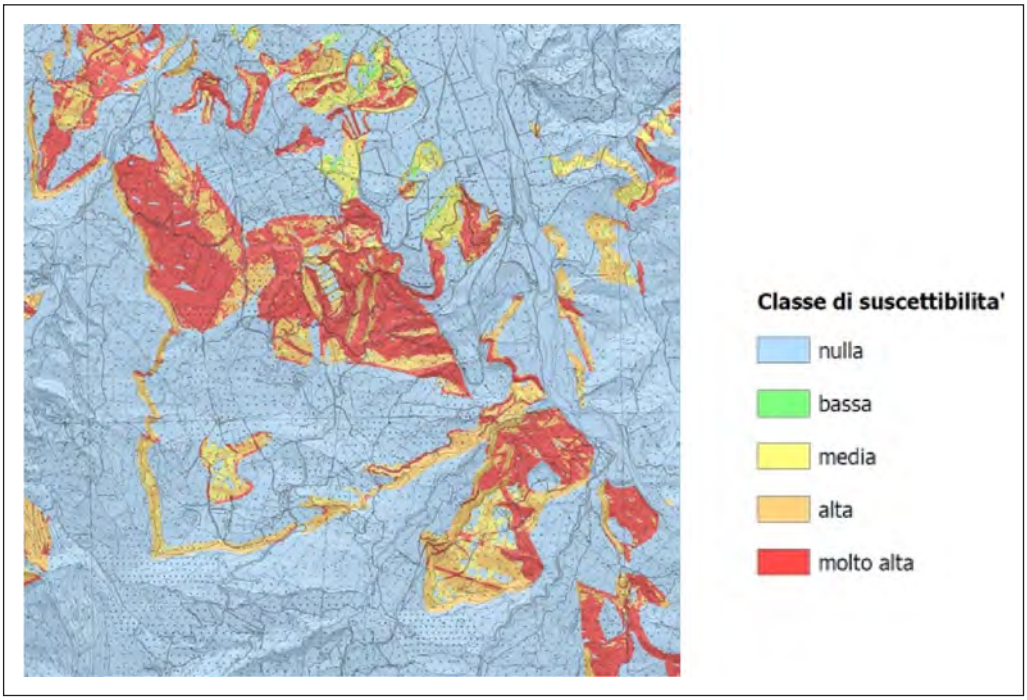

Fig. 2. Mappa della suscettibilità relativa agli scorrimenti traslativi in substrato.

la maggior parte delle aste torrentizie incise su versanti ripidi è caratterizzata da suscettibilità molto alta anche se non mancano casi di *colate rapide* su versanti privi di incisioni. La suscettibilità a *colate rapide* spesso è alta o molto alta in corrispondenza di versanti ripidi modellati negli *Scisti Filladici* e nella *Formazione di Paludi* qualora le litologie affioranti siano fortemente alterate (Fig. 3).

Per quanto riguarda i *crolli*, i parametri che hanno maggior rilevanza nel calcolo della suscettibilità sono tre: la *litologia*, la *pendenza* e l'*uso del suolo*. Le zone a suscettibilità molto alta risultano infatti localizzate laddove sono presenti scarpate subverticali modellate su rocce litoidi quali il *Calcare di Base*, il *Conglomerato Rosso Basale* e le *Arenarie a Clypeaster*. Queste rocce sono spesso molto fratturate, soprattutto a causa della presenza di faglie a direzione E-W, e risultano quindi particolarmente suscettibili al dissesto.

Infine, con riferimento all'uso del suolo, le aree a suscettibilità più elevata sono localizzate in corrispondenza dei tagli stradali e di scarpate artificiali nelle aree urbanizzate.

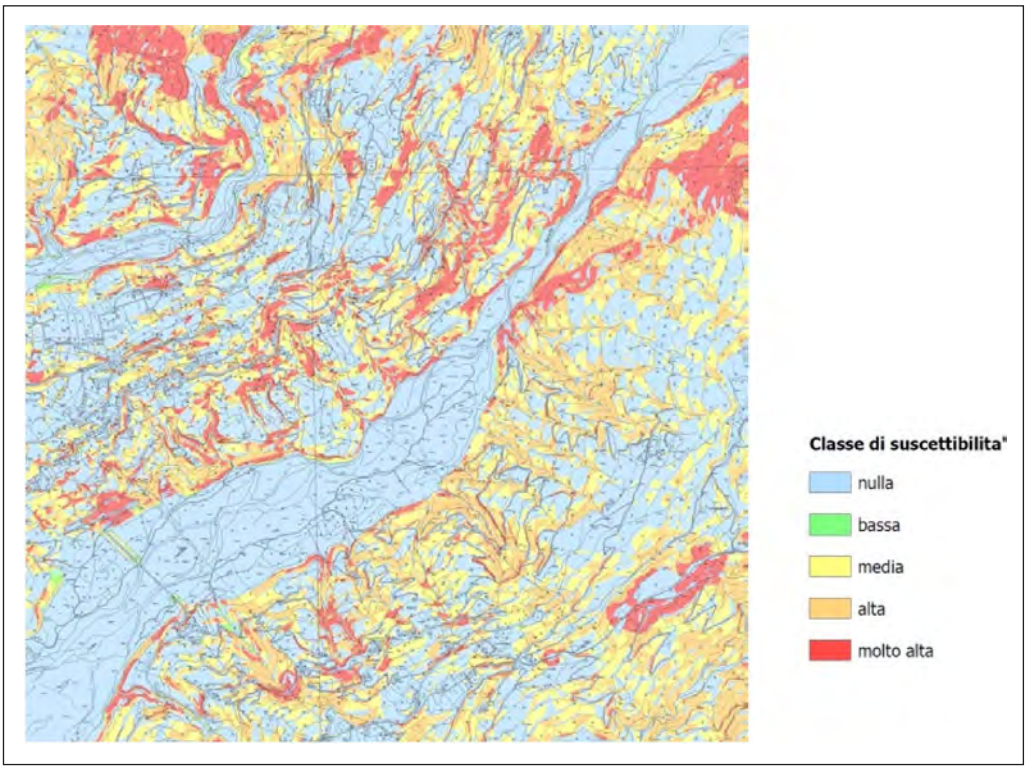

Fig. 3. Mappa della suscettibilità relativa alle colate rapide; le zone ad alta suscettibilità sono localizzate lungo gli impluvi.

7. Conclusioni

Il rilevamento di campagna e l'elaborazione dei dati ottenuti attraverso il *GIS*, hanno consentito di valutare in dettaglio il grado di suscettibilità al dissesto dei versanti nell'area di studio individuando le zone dove coesistono tutti, o in gran parte, i parametri discriminanti e i fattori predisponenti l'innesco di frane.

La scelta della diversificazione delle carte di suscettibilità per tipologia di frana e per materiale coinvolto (substrato/copertura) è stata motivata dal fatto che i diversi fenomeni gravitativi sono controllati da parametri e fattori diversi e che produrre un'unica carta di suscettibilità per tutti i tipi di frana può portare a una erronea valutazione della propensione al dissesto.

BIBLIOGRAFIA

Amanti M., N. Casagli, F. Catani, M. D'Orefice, G. Motteran, 1996. *Guida al Censimento dei Fenomeni Franosi ed alla loro Archiviazione*. Miscellanea del Servizio Geologico Nazionale, VII, SGN, Roma, 109 pp.

Amodio-Morelli L., G. Bonardi, V. Colonna, D. Dietrich, G. Giunta, F. Ippoliti, V. Liguori, S. Lorenzoni, A. Paglianico, V. Perrone, G. Piccarreta, M. Russo, P. Scandone, E. Zanettin, E. Lorenzoni, A. Zuppetta, 1976. *L'arco calabro-peloritano nell'orogene appennino-maghrebide*. Memorie della Società. Geologica Italiana, 17, 1-60.

Bonardi G., G. Cello, V. Perrone, L. Tortorici, E. Turco, A. Zuppetta, 1982. *The evolution of the northern sector of the Calabrian Arc in a semiquantitative palinspastic restoration*. Bollettino della Società. Geologica Italiana, 101, 259-274.

Bonardi G., P. De Capoa, A. Di Staso, V. Perrone, M. Sonnino, M. Tramontana, 2005. *The age of the Paludi Formation: a major constraint to the beginning of the Apulia-verging orogenic transport in the northern sector of the Calabria–Peloritani Arc*. Terranova, 17, 331-337.

Burton A.N., 1971. *Carta Geologica della Calabria: Relazione Generale*. Cassa per il Mezzogiorno, 120 pp.

Carrara A., M. Cardinali, F. Guzzetti, P. Reichenbach, 1995. *GIS technology in mapping landslide hazard*. In: *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards* (Carrara A., F. Guzzetti eds.), Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 135-175.

Casagli N., F. Catani, F., C. Puglisi, C., G. Del Monaco, L. Ermini, C. Margottini, 2004. *An inventory-based approach to landslide susceptibility assessment and its application to the Virginio River basin, Italy*. Environmental and Engineering Geoscience, 10, 203-216.

Cendrero A., F. Dramis, 1996. *The contribution of mass movements to landscape evolution in Europe*. Geomorphology, 15, 191-211.

Colella A., 1995. *Sedimentation, deformational events and eustacy in the perityrrhenian Amantea basin: preliminary synthesis*. Giornale di. Geologia, 57 (1-2), 179-193.

Corbi F., G. Fubelli, F. Lucà, F. Muto, T. Pelle, G. Robustelli, F. Scarciglia, F. Dramis, 2009. *Vertical movements in the Ionian margin of the Sila Massif (Calabria, Italy)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 128 (3), 731-738.

Corominas J., C. van Westen, P. Frattini, L. Cascini, J.P. Malet, S. Fotopoulou, F. Catani, M. Van Den Eeckaut, O. Mavrouli, F. Agliardi, K. Pitilakis, M.G. Winter, M. Pastor, S. Ferlisi, V. Tofani, J. Hervás, J.T. Smith, 2014. *Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 73 (2), 209-263.

Critelli S., 1990. *Geological Setting of the Trionto River Basin. Excursion Guidebook*. IGU-COMTAG and CNR, Symposium on Geomorphology of Active Tectonic Areas, Cosenza, June 1990, 67-70.

Cruden D.M., D.J. Varnes, 1996. *Landslide types and processes*. In: *Landslides: Investigation and Mitigation* (Turner A.T., R.L. Schuster eds.), Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., 36-75.

Di Nocera S., F. Ortolani, M. Russo, M. Torre, 1974. *Successioni sedimentarie messiniane e limite Miocene-Pliocene nella Calabria Settentrionale*. Bollettino della Società. Geologica Italiana, 93, 575-607.

Dramis F., T. Caracciolo, 2010. *Spostamenti delle linee di riva in Calabria e loro effetti sull'ambiente costiero*. In: *La ricerca scientifica dopo il terremoto siculo-calabrese del 1908*, Scritti e Documenti XLIII, Accademia Nazionale delle Scienze, Roma, pp. 139-164.

Dramis F., B. Gentili, G. Pambianchi, 1990. *Geomorphological scheme of the River Trionto basin*. In: *Excursion Guide-Book* (Sorriso-Valvo M. ed.). I.G.U. - COM.TA.G. and C.N.R. Symposium on Geomorphology of Active Tectonics Areas, I.R.P.I., Cosenza, Geodata 39, 63-66, 1990.

Dubois R., 1976. *La suture calabro-apenninique Crétacé-Eocène et l'ouverture tyrrhenienne Néogène: étude pétrographique et structurale de la Calabre centrale*. Thèse Université P. et M. Curie, Paris, 567 pp.

Fell R., J. Corominas, C. Bonnard, L. Cascini, E. Leroi, W.Z. Savage, 2008. *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning*. Engineering Geology, 102, 85–98.

Frepoli A., G. Selvaggi, C. Chiarabba, A. Amato, 1996. *State of stress in the southern Tyrrhenian subduction zone from fault-plane solutions*. Geophysical Journal International, 125, 879-891.

Gasparini C, G. Iannaccone, P. Scandone, R. Scarpa, 1982. *Seismotectonics of the Calabrian Arc*. Tectonophysics, 84, 267-286.

Ghisetti F., L. Vezzani, 1982. *The recent deformation mechanisms of the Calabrian Arc*. Earth Evolution Sciences, 3, 197-206.

Guzzetti F., A. Carrara, M. Cardinali, P. Reichenbach P., 1999. *Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy*. Geomorphology, 31, 181-216.

Hansen A., 1984. *Landslide hazard analysis*. In: *Slope Instability* (Brunsden D., D.B. Prior eds.), J. Wiley & Sons, New York, 523-602.

Iwahashi J., S. Watanabe, T. Furuya, 2001. *Landform analysis of slope movements using DEM in Higashikubiki area Japan*. Computers and Geosciences 27: 851-865.

Lanzafame G., L. Tortorici, 1981. *La tettonica recente della valle del Fiume Crati (Calabria)*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 4, 11-21.

Leoni G., F. Barchiesi, F. Catallo, F. Dramis, G. Fubelli, S. Lucifora, M. Mattei, G. Pezzo, C. Puglisi, 2009. *GIS methodology to assess landslide susceptibility: application to a river catchment of Central Italy*. Journal of Maps, v2009, 87-93.

Leoni G., F. Dramis, G. Fubelli, C. Puglisi, P. Romano, M. Cavallaro, 2011. *La metodologia ENEA-Università Roma Tre per la valutazione della suscettibilità da frana: applicazione alle colate rapide di Cervinara (AV)*. In: *Frane e dissesto idrogeologico: consuntivo*, Atti dei Convegni Lincei, X Giornata dell'Acqua, 22 marzo 2010, vol. 262, 119-126.

Meijerink A.M.J., 1988. *Data acquisition and data capture through terrain mapping unit*. ITC Journal, 1, 23-44.

Molin P., 2001. *L'analisi topografica come strumento per definire il ruolo morfogenetico della tettonica distensiva e del sollevamento regionale in un transetto della Calabria settentrionale*. Ph.D. thesis, Università degli Studi «Roma Tre», Rome, Italy, 140 pp.

Molin P., F. Dramis, E. Lupia Palmieri, 2002. *The Pliocene-Quaternaty uplift of the Ionian northern Calabria coastal belt between Corigliano Calabro and Capo Trionto*. Studi Geologico Camerti, Vol. Spec. 2002, 135-145.

Molin P., F.J. Pazzaglia, F. Dramis, 2004. *Geomorphic expression of active tectonics in a rapidly-deforming arc, Sila Massif, Calabria, southern Italy*. American Journal of Sciences, 304, 559-589.

Moretti A., 1993. *Note sull'evoluzione tettono-stratigrafica del bacino crotonese dopo la fine del Miocene*. Bollettino della Società. Geologica Italiana, 112, 845-867.

Moretti A., I. Guerra, 1997. *Tettonica dal Messiniano ad oggi in Calabria: implicazioni sulla geodinamica del sistema Tirreno-Arco calabro*. Bollettino della Società. Geologica Italiana, 116, 125-142.

North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 2005. *North-American stratigraphic code*. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 89 (11), 1547-1591.

Ogniben L., 1955. *Le argille scagliose del Crotonese*. Memorie e Note dell'Istituto di Geologia Applicata, Napoli, 6, 72 pp.

Ogniben L., 1962. *Le argille scagliose ed i sedimenti messiniani a sinistra del Trionto (Rossano, Cosenza)*. Geologica Romana, 1, 275-281.

Ogniben L., 1973. *Schema geologico della Calabria in base ai dati odierni*. Geologica Romana, 12, 243-585.

Ottaviani F., G. Zampetti, 2016. *Rapporto Ecosistema Rischio*. Legambiente, 49 pp.

Panizza M., 1966. *Carta e osservazioni geomorfologiche del territorio di Calopezzati (Calabria)*. Rivista Geografica Italiana, 73 (1), 1-32.

Robustelli G., F. Lucà, F. Corbi, T. Pelle, F. Dramis, F. Scarciglia, G. Fubelli, F. Muto, D. Cugliari, 2009. *Alluvial terraces on the Ionian coast of northern Calabria (S. Italy): implications for tectonic and base-level controls*. Geomorphology, 106, 165-179.

Santantonio M., T. Teale, 1987. *An example of the use of detrital episodes in elucidating complex basin histories: the Caloveto and Longobucco Groups of NE Calabria, Southern Italy*. In: *Marine Clastic Sedimentology* (Legget J.K., G.G. Zuffa eds.), Graham and Trotman, London, 62–74.

Sorriso-Valvo M., 1993. *The geomorphology of Calabria - A sketch*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 16, 75-80.

Sorriso-Valvo M., L. Antronico, E. Le Pera, 1998. *Controls on modern fan morphology in Calabria, southern Italy*. Geomorphology, 24, 169-187.

Sorriso-Valvo M., C. Tansi, L. Antronico, 1996. *Relazioni tra frane, forme del rilievo e strutture tettoniche nella media valle del fiume Crati (Calabria)*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 19, 107-117.

Trigila A., C. Iadanza, M. Bussettini, B. Lastoria, A. Barbano, M. Munafò, 2015. *Dissesto Idrogeologico in Italia: Pericolosità e Indicatori di Rischio*. Rapporto 233/2015, ISPRA, Roma.

Vezzani L., 1968. *I terreni plio-pleistocenici del basso Crati (Cosenza)*. Atti dell'Accademia Gioenia in Catania, Scienze Naturali, s. 6, 20, 28-84.

Young J.R., C.T. Teale, P.R. Bown, 1986. *Revision of the stratigraphy of the Longobucco Group (Liassic, southern Italy) based on new data from nannofossils and ammonites*. Eclogae Geologica Helvetica, 79, 117–135.