

MARINO SORRISO-VALVO (\*), CARLO TANSI (\*) & LOREDANA ANTRONICO (\*)

## RELAZIONI TRA FRANE, FORME DEL RILIEVO E STRUTTURE TETTONICHE NELLA MEDIA VALLE DEL FIUME CRATI (CALABRIA)

**ABSTRACT:** SORRISO-VALVO M., TANSI C., ANTRONICO L., *Relationships between landslides, landform and tectonic structures in the River Crati Valley (Calabria)*. (IT ISSN 0391-9838, 1996).

Structural and geomorphological studies have been carried out in a sample zone located in the River Crati Valley (northern Calabria). Aim of this work is to analyse the relationships between tectonic structures, landforms and landslides in an area, 72 km<sup>2</sup> large, located in an intensely tectonically deformed zone characterised by a very high frequency of slope instability. Structural setting has been obtained through field surveys at macroscopic and mesoscopic scale.

To acquire and to process geomorphic data a Geographic Information System (G.I.S.) has been used. The maps of litho-technical complexes, landslides and elementary morphological units has been digitised and georeferenced.

The study has shown that the structural elements control the territorial distribution of landslides and, to a lesser extent, that of elementary morphologic units. Also landslide typology within tectonically deformed bands of different litho-technical complexes, appears to be modified with respect of what is found in non intensely jointed outcrops.

**KEY WORDS:** Tectonic structures, Landforms, Landslides, G.I.S., Calabria (Italy).

**RIASSUNTO:** SORRISO-VALVO M., TANSI C., ANTRONICO L., *Relazioni tra frane, forme del rilievo e strutture tettoniche nella media valle del Fiume Crati (Calabria)*. (IT ISSN 0391-9838, 1996).

È stato eseguito uno studio dei caratteri geomorfologici e geo-strutturali lungo il versante orientale della Catena Costiera. L'analisi è stata volta a comprendere le relazioni intercorrenti tra l'assetto geo-strutturale, ricostruito attraverso dettagliati rilievi di campagna alla meso e macro-scala, e le forme e i processi gravitativi. Per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati territoriali è stato utilizzato un Sistema Informativo Geografico basato su tre tematismi: litologia, dissesti e unità morfologiche elementari (u.m.e.).

L'area, che si estende per circa 72 km<sup>2</sup>, risulta caratterizzata da un'elevata complessità strutturale e da una diffusa instabilità.

I risultati ottenuti hanno evidenziato lo stretto controllo degli elementi tettonici sulla distribuzione dei fenomeni franosi e, in alcuni casi, delle unità morfologiche elementari; è stata inoltre riscontrata una diversificazione delle tipologie franose all'interno di fasce di fratturazione associate alle strutture tettoniche che hanno interessato i differenti complessi lito-tecnici.

**TERMINI CHIAVE:** Strutture tettoniche, Forme del rilievo, Frane, G.I.S., Calabria.

### INTRODUZIONE

Nell'ambito di ricerche volte all'esame dei fattori pre-disponenti la franosità ed alla valutazione delle condizioni di stabilità dei versanti lungo il bordo orientale della Catena Costiera, settore ad elevata complessità strutturale e franosità diffusa, sono stati eseguiti studi integrati dei caratteri geomorfologici e geo-strutturali. In passato varie metodologie di studio sono state utilizzate per una migliore comprensione dei rapporti tra caratteri fisici dell'ambiente e caratteri dei fenomeni franosi, focalizzando quasi sempre l'attenzione sui rapporti tra la litologia e la franosità (CARRARA & MERENDA 1976; CARRARA & *alii* 1978; CARRARA & *alii*, 1992; CARRARA, 1983; SORRISO-VALVO, 1984). In particolare, l'area oggetto del presente lavoro era stata già studiata per mezzo di analisi statistiche (ANTRONICO & *alii*, 1996) al fine di indagare sulle relazioni intercorrenti tra la tipologia e la morfometria dei dissesti e la litologia ricavata dalla Carta Geologica della Calabria al 25.000 della CAMESZ. Il risultato delle analisi tuttavia non confermava pienamente quanto ottenuto da indagini simili condotte in zone vicine (CARRARA & MERENDA, 1976; CARRARA & *alii*, 1982) e cioè che la litologia dei versanti influenza la morfologia e la tipologia delle frane. Come negli altri lavori, la base litologica era stata derivata dalla carta geologica al 25.000 che non caratterizza sufficientemente la complessità strutturale dell'area.

Scopo del presente lavoro è quello di analizzare le relazioni tra assetto strutturale, processi gravitativi e forme del paesaggio sulla medesima area d'indagine considerata da ANTRONICO & *alii* (1996). Lo studio è stato basato su un modello lito-tecnico ottenuto da un rilievo geo-strutturale di dettaglio eseguito alla scala 1:10.000, che ha individuato le strutture tettoniche di vario ordine (macro e meso-strutture) anche intraformazionali e le fasce di deformazione ad esse associate. Per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati territoriali è stato utilizzato un Sistema Informativo Geografico (ILWIS, in ITC, 1993).

(\*) C.N.R.-I.R.P.I., 87030 - Roges di Rende (Cosenza, Italy).

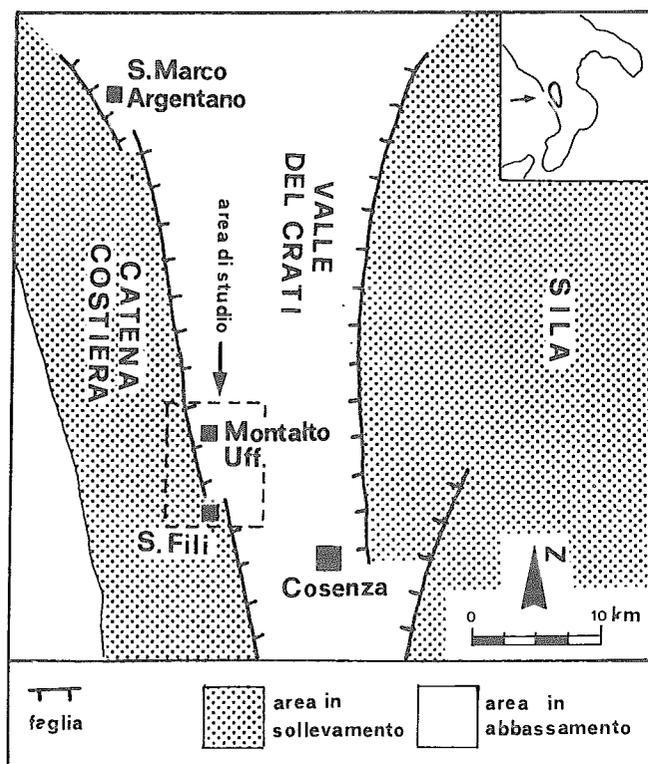


Fig. 1 - Ubicazione dell'area di studio e schema neotettonico della valle del F. Crati.

Fig. 1 - Study area and neotectonic scheme of River Crati Valley.

L'area di studio ha una superficie di circa 72 km<sup>2</sup> e si estende in direzione N-S, lungo il versante occidentale della media valle del F. Crati, dai pressi di Montalto Uffugo a S. Fili (fig. 1).

## ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

L'area in esame è situata in una zona strutturalmente complessa in quanto ricade lungo una importante direttrice tettonica regionale di direzione all'incirca N-S, responsabile del sollevamento dell'edificio a falde costituite da terreni metamorfico-cristallini paleozoici che strutturano l'*horst* della Catena Costiera rispetto al *graben* della valle del F. Crati (SORRISO-VALVO & TANSI, 1996b). Questo elemento tettonico regionale, che si allunga per 50 km circa, dai pressi di S. Fili fino a S. Marco Argentano (fig. 1), corrisponde ad un limite tettonicamente attivo sin dal Pliocene inferiore (TORTORICI & *alii*, 1995). A questo limite sono associati diffusi sistemi di faglie di origine sia distensiva che transpressiva, generatesi attraverso deformazioni polifasiche (SORRISO-VALVO & TANSI, 1996a).

## CARATTERI LITO-STRATIGRAFICI

Nell'*horst* della Catena Costiera affiorano quasi esclusivamente i terreni dell'edificio a falde metamorfico-cristalli-

no miocenico, composto da formazioni della Catena Alpina (TORTORICI, 1982). L'edificio è costituito alla base da una unità tettono-stratigrafica ofiolitifera rappresentata prevalentemente da filladi grigio-scure, con associate metareniti a grana medio-fine e scisti anfibolici. I litotipi filladici sono intercalati, in situazioni di intensa deformazione tettonica, da metabasiti verdastre in facies lawsonite-albite d'origine profonda. Le metabasiti, originariamente profonde, vengono a tratti portate in superficie lungo i principali piani di sovrascorrimento.

Al di sopra dell'unità filladica giace una unità tettono-stratigrafica costituita da gneiss biotitico-granatiferi, a volte muscovitici, con livelli quarzoso-feldspatici.

Nel *graben* affiorano quasi esclusivamente i depositi postorogeni della valle del F. Crati. In posizione basale si rinvengono i terreni del ciclo sedimentario Tortoniano-Pliocene inferiore (DI NOCERA & *alii*, 1974), che comprendono dal basso conglomerati continentali rossastri a matrice sabbiosa passanti ad argille marnose grigio-scure con intercalazioni marnose e pelitiche più chiare (Tortoniano), arenarie bruno-chiare a grana medio-fine passanti a livelli lutitici grigio-scuri con intercalazioni gessose (Messiniano), su cui poggiano in discordanza argille del Pliocene inferiore.

Al di sopra giacciono depositi dei cicli mediopliocenico-quaternari (LANZAFAME & ZUFFA, 1976) che comprendono dal basso conglomerati a matrice sabbiosa d'origine marina, passanti a sabbie ed arenarie a grana media (Pliocene medio), argille marnose grigio-azzurre a frattura tipicamente concoide (Pliocene superiore), sabbie giallo-rossastre fossilifere con livelli conglomeratici alla base che evolvono verso l'alto a termini argilloso-marnosi e siltosi (Pliocene superiore-Calabriano), sabbie bruno-chiare con livelli arenaceo-conglomeratici e banchi argilloso-siltosi (Calabriano), sabbie e conglomerati rossastri a stratificazione incrociata con tipici livelli a Lamellibranchi (Calabriano superiore).

Sul substrato costituito dai terreni sopra descritti, giacciono depositi terrazzati quaternari d'origine marina e continentale: i primi sono costituiti da conglomerati a matrice sabbioso-argillosa, mentre i depositi continentali sono costituiti da ghiaie localmente embriciate a matrice sabbioso-limoso, con intercalazioni lentiformi da sabbiose ad argillose. Lungo le principali scarpate di faglia si rinvengono depositi di delta conoidi (COLELLA & *alii*, 1987) e falde di detrito.

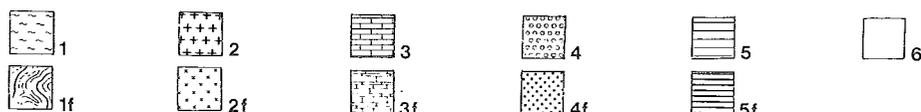
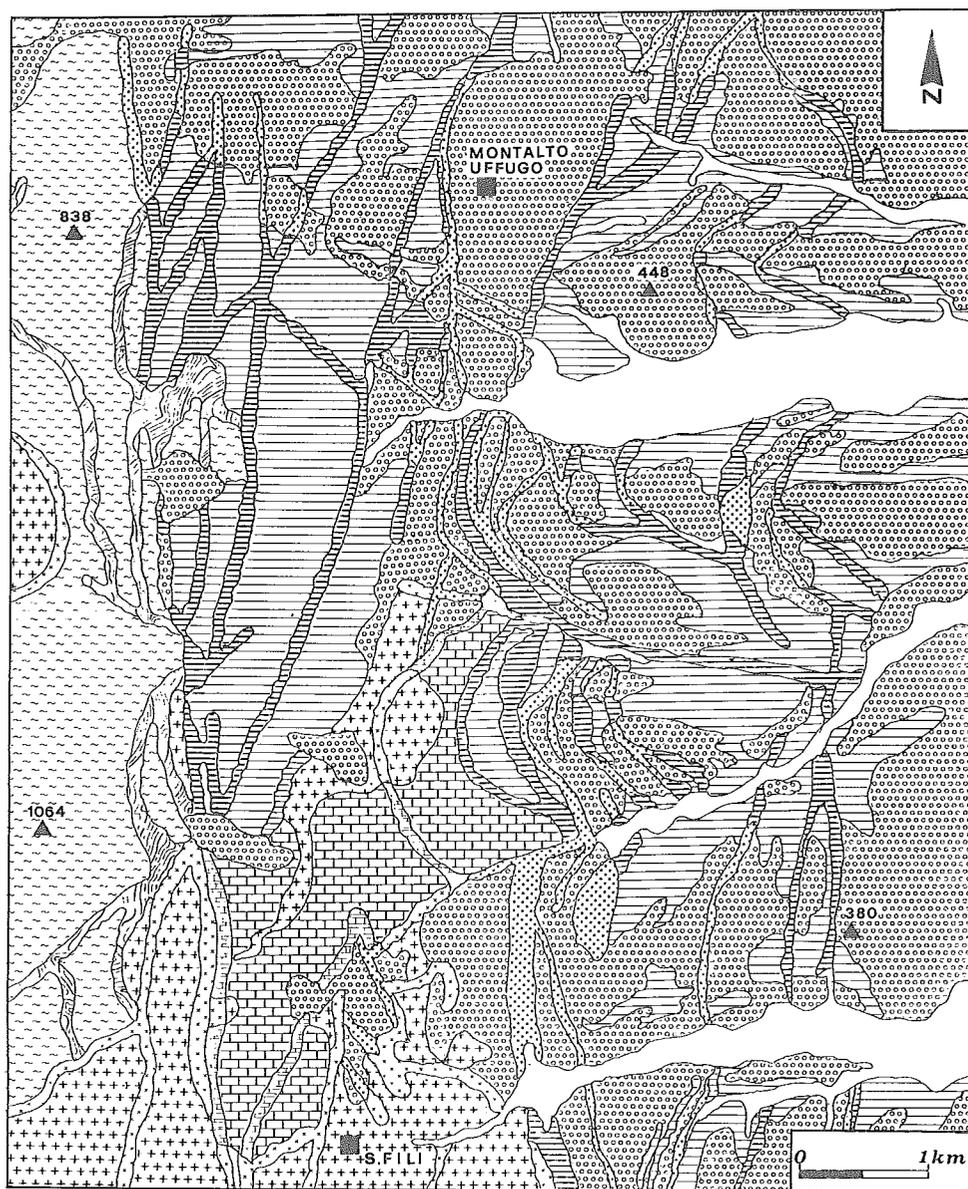
## STRUTTURE TETTONICHE

Sono state riconosciute nell'area (SORRISO-VALVO & TANSI, 1996b) faglie d'origine distensiva, compressiva e trascorrente, di seguito descritte in ordine cronologico a partire dalle più recenti.

Le strutture distensive, legate al sollevamento dell'*horst* della Catena Costiera, presentano piani sub-verticali orientati mediamente N 0-30° e nel complesso costituiscono un sistema a gradinata ribassante verso E che culmina con la direttrice S. Fili-S. Marco Argentano; questa struttura giustappone i litotipi paleozoici a quelli neogenici e produce dislocazioni di minori entità anche all'interno di questi ultimi. I piani di faglia immergono quasi sempre verso E ed

Fig. 2 - Carta lito-strutturale dell'Area di studio: 1. scisti filladici e scisti verdi (rocce duttili); 2. rocce granitiche, gneiss e calcari (rocce rigide); 3. marne e argille marnose mioceniche (terre coesive); 4. argille marnose e argille silteose mioceniche (terre coesive tenere); 5. conglomerati miocenici, sabbie e conglomerati pliocenici e pleistocenici (detrito semi-coerente); 6. alluvioni fluviali (detrito sciolto). I simboli con «f» si riferiscono alle fasce di fratturazione tettonica.

Fig. 2 - Geological map of the study area: 1. phyllitic schists and green schists (ductile rocks); 2. granites, gneiss and limestones (brittle rocks); 3. Miocene marls and marly clay (cohesive soils); 4. Pliocene marly clays and silty clays (soft cohesive soils); 5. Miocene conglomerates, Pliocene-Pleistocene sands and conglomerates (semi-coherent soils); 6. alluvial river beds (loose soils). Symbols with «f» refer to tectonically deformed bands.



in subordine verso O (sistemi antitetici) ed hanno mostrato alla meso-scala cinematismi prevalentemente normali con componente di trascorrenza destrorsa talora predominante.

Le strutture compressive sono rappresentate in primo luogo da *thrust* con piani orientati mediamente N-S, immersione verso E ed inclinazioni variabili da 0-30° a 30-60° a seconda che si tratti rispettivamente di *flat* o di *ramp*; tali strutture hanno evidenziato cinematismi inversi, con *pitch* mediamente orientati E-O. In subordine

sono stati riconosciuti *thrust* orientati E-O, con inclinazioni inferiori ai 40° verso S e *pitch* orientati mediamente N-S.

Le strutture trascorrenti mostrano direzioni medie E-O (N 80-120°) e piani sub-verticali. Alla meso-scala, la maggior parte delle strutture appartenenti a questa famiglia hanno mostrato movimenti sinistrorsi, anche se sono state riconosciute localmente riattivazioni passive delle stesse come faglie normali, compatibili con il sollevamento in atto.

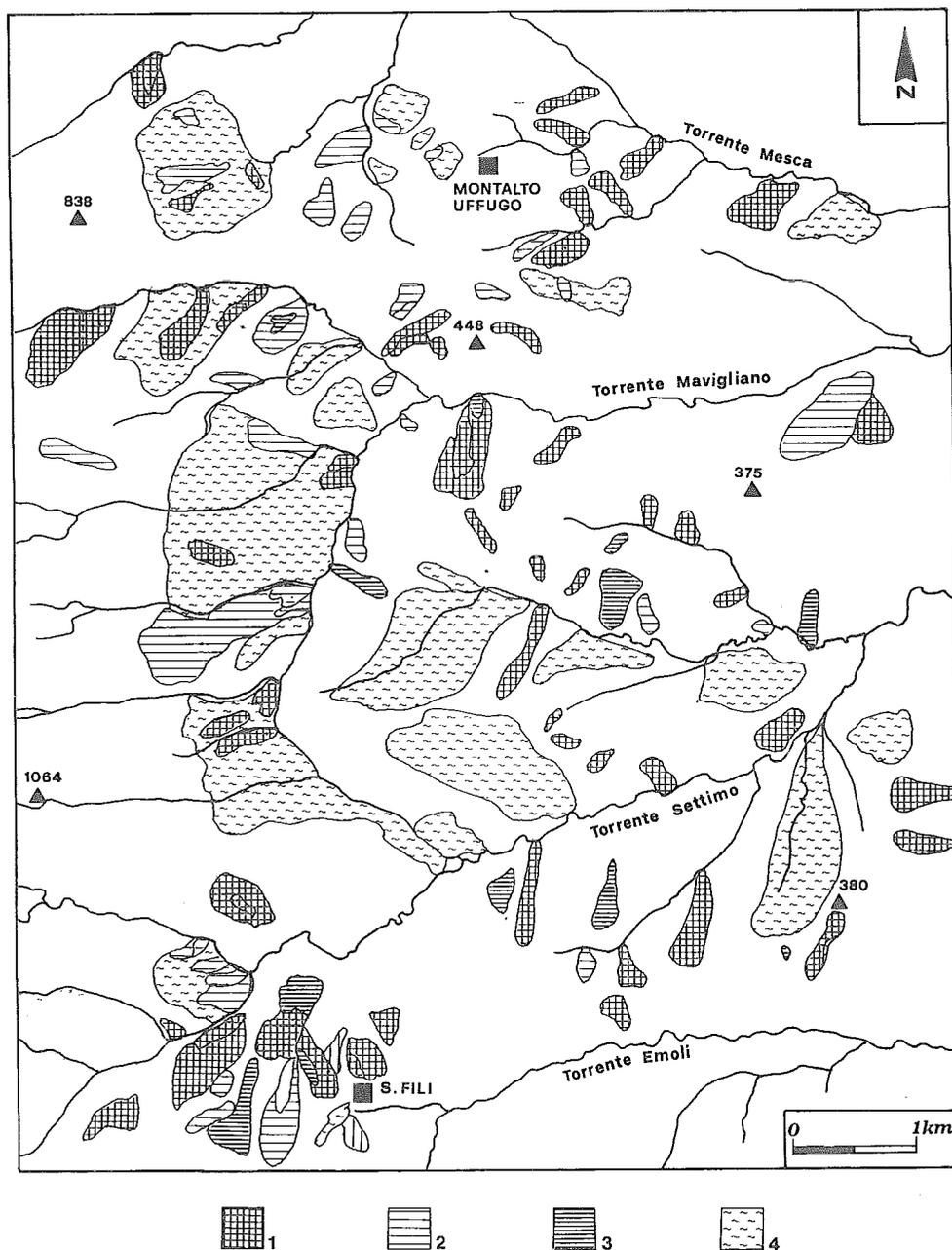


FIG. 3 - Carta dei fenomeni franosi dell'area di studio: 1. scorrimento-colata; 2. scorrimento rotazionale; 3. colata; 4. casi non classificati.

FIG. 3 - Landslide map: 1. slide-flow; 2. slide; 3. flow; 4. non-classified events.

#### FASCE DI DEFORMAZIONE TETTONICA

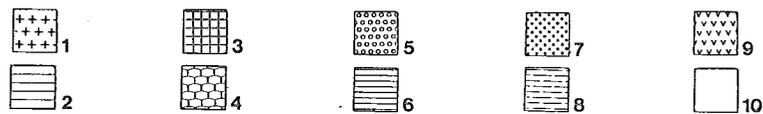
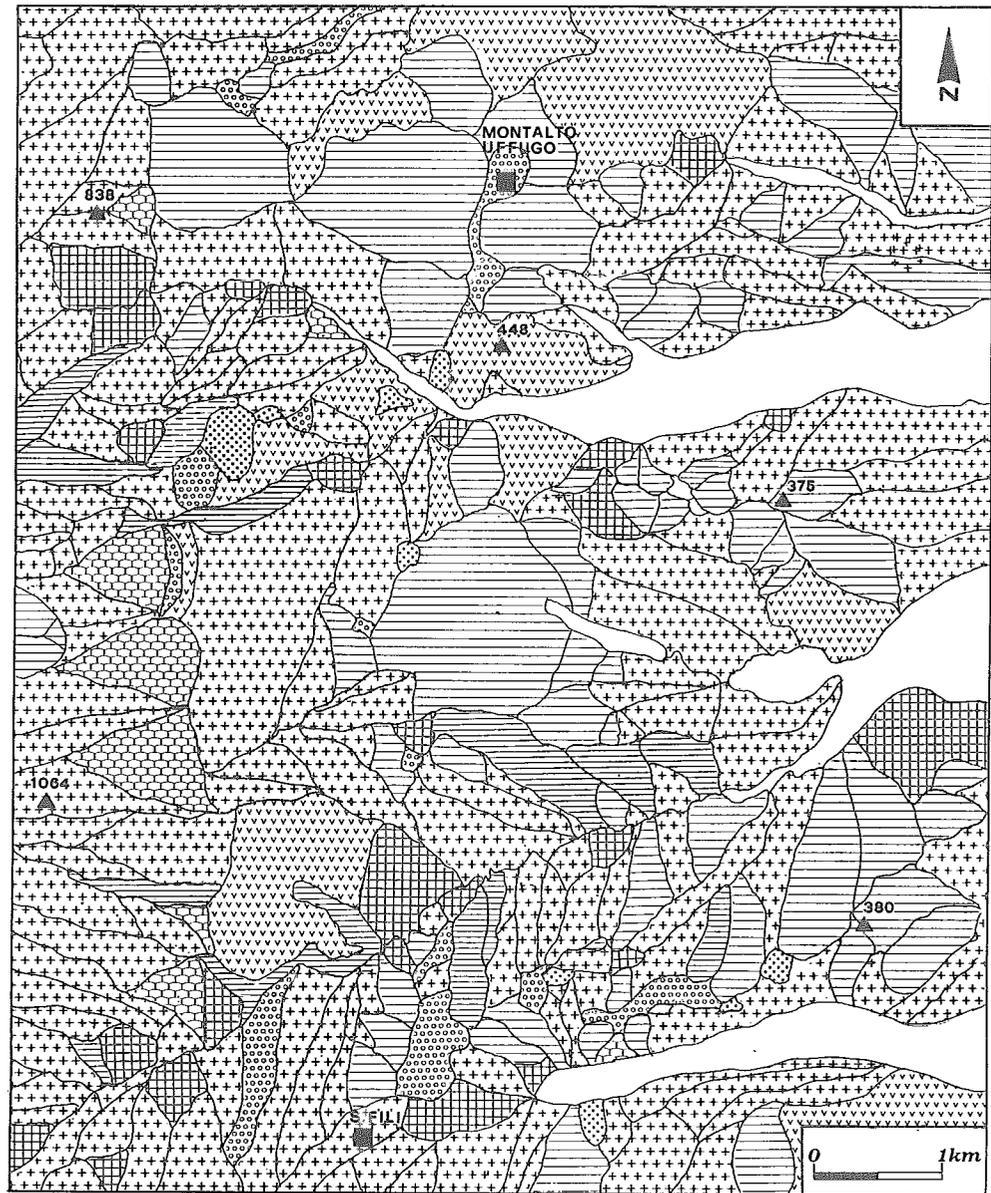
Le macrostrutture tettoniche riconosciute (lunghezza maggiore di 300 m) sono accompagnate da fasce di cataclasi di larghezza variabile in funzione dell'entità e della tipologia delle dislocazioni che, unitamente ai caratteri litologici primari, hanno definito le proprietà lito-tecniche dei terreni. Queste fasce guidano lo sviluppo dei processi di degradazione fisico-chimica lungo cui, specialmente in materiali litoidi, si concentrano i movimenti franosi (CARRARA & alii 1982; MATANO & TANSI 1994; SORRISO-VALVO &

TANSI 1996b). Lungo le suddette fasce si impostano processi di erosione lineare che generano valli ad elevata energia di rilievo, condizionando l'evoluzione morfodinamica su ampia scala.

I movimenti franosi possono essere favoriti sia dalla maggiore permeabilità delle fasce cataclastiche che dalla presenza di fasce di fillonizzazione (milonisi), che possono realizzare soglie di permeabilità. In entrambi i casi le condizioni idrogeologiche si riflettono profondamente sulla geometria del campo delle pressioni neutre dei versanti, che può risultare più o meno distorto a seconda della complessità del modello geo-strutturale locale.

Fig. 4 - Carta delle unità morfologiche elementari: 1. versanti; 2. testate; 3. nasi; 4. faccette triangolari; 5. altopiani e terrazzi; 6. valloni; 7. picchi; 8. creste; 9. aree irregolari; 10. aree pianie vallive.

Fig. 4 - Map of elementary morphologic units: 1. slope; 2. hollow; 3. nose; 4. triangular facet; 5. mesa; 6. gully; 7. peak; 8. ridge; 9. irregular; 10. valley bottom.



## GEOMORFOLOGIA

Nell'area di studio, le aree di affioramento dei terreni metamorfico-cristallini sono caratterizzate da versanti molto acclivi con profilo prevalentemente rettilineo-convesso, incisi da valli strette e in approfondimento.

Le aree di affioramento dei depositi postorogeni presentano una morfologia relativamente dolce, mentre localmente, per contrasto litologico, l'acclività può essere molto elevata. Il profilo dei versanti tende alla rettilinearità, ma

è tipicamente bi-rettilineo o concavo con forte rottura di pendenza nel caso di affioramento di terreni a comportamento meccanico diverso. In generale, i litotipi argillosi sono caratterizzati da una sensibile irregolarità nei profili dovuta alle precarie condizioni di stabilità degli stessi, con tipiche depressioni e montonature.

## ELEMENTI MORFONEOTETTONICI

La morfologia dell'area appare fortemente condiziona-

TABELLA 1 - Frequenza areale dei sei complessi lito-tecnici, suddivisione in terreni integri e fasce di fratturazione ad essi associate e frequenze totali per ogni tipo lito-tecnico

TABLE 1 - Frequency (%) of litho-technical complex, subdivision in unaffected terranes and tectonically deformed bands and total frequency for each litho-technical complex

Scisti filladici e scisti verdi	Roccia duttile	RD	10,92%	
	Fascia di fratturazione	rd1	2,12%	13,04%
Rocce granitiche, gneiss e calcari	Roccia rigida	RR	7,62%	
	Fascia di fratturazione	rr1	2,11%	9,73%
Marne e argille marnose	Terra coesiva	TC	4,64%	
	Fascia di fratturazione	tc1	0,78%	5,42%
Argille marnose e siltose	Terra coesiva tenera	TCT	21,10%	
	Fascia di fratturazione	tct1	6,14%	27,24%
Sabbie e conglomerati	Detrito semi-coerente	DSC	32,94%	
	Fascia di fratturazione	dsc1	4,53%	37,47%
Alluvioni fluviali	Detrito sciolto	DT	7,10%	7,10%
			100,00	100,00

ta, oltre che dalle caratteristiche litologiche dei terreni affioranti, anche dal suo assetto geo-strutturale. Tale assetto è legato al sollevamento dell'*horst* della Catena Costiera che, generando movimenti normali lungo le faglie sub-verticali, ha individuato morfostrutture di vario ordine. Ciò ha prodotto costanti incrementi dell'energia di rilievo con diffusi approfondimenti del reticolato idrografico, che hanno indotto processi di erosione, di movimento e trasporto in massa.

Da un punto di vista morfologico le faglie normali hanno generato versanti rettilinei e faccette triangolari, particolarmente evidenti nei litotipi metamorfico-cristallini, resi discontinui da movimenti di massa di varia entità; lungo le direttrici tettoniche si allineano altresì picchi isolati e «selles». Le faglie trascorrenti sinistre si identificano morfologicamente con i principali corsi d'acqua che attraversano l'area (T. Emoli, T. Settimo, T. Mavigliano, T. Mesca - fig. 3) e risultano in gran parte coperti dai depositi alluvionali. Trattandosi di una zona in sollevamento, il reticolo principale risulta essenzialmente sovrainposto nelle aree vallive dove affiorano i depositi sedimentari, mentre è adattato strutturalmente, salvo l'antecedenza rispetto alle faglie N-S, nella zona montana.

I *thrust* intersecano generalmente i crinali con superfici inclinate intorno ai 30-40°, che determinano nel complesso un andamento del reticolo idrografico a «spina di pesce».

#### ELEMENTI D'ORIGINE GRAVITATIVA

L'area di studio è interessata da una diffusa instabilità, con il 67% circa dei fenomeni franosi mobilizzati fra novembre e febbraio (ANTRONICO, 1995), periodo in cui in Calabria cade circa il 50% del totale delle precipitazioni annue. Sulla base di un rilevamento geomorfologico di dettaglio (SORRISO-VALVO & *alii*, 1993) e di una successiva revisione (ANTRONICO & *alii*, 1996), sono stati cartografati 139 fenomeni franosi, tipologicamente distinti in base alla classificazione di VARNES (1978). Sono stati riconosciuti fenomeni di tipo scorrimento rotazionale, colata, tipo complesso di scorrimento-colata e casi non classificati.

Con quest'ultimo termine sono stati indicati complessi di frana non delimitabili singolarmente, per cui non è stato possibile determinare quantitativamente le incidenze delle relative tipologie.

#### UNITÀ MORFOLOGICHE ELEMENTARI (U.M.E.)

Per caratterizzare la topografia del territorio sono state definite manualmente, alla scala 1:10.000, le unità morfologiche elementari (u.m.e.) (fig. 4). Sono stati distinti dieci tipi di u.m.e.: versanti (1), testate (2), nasi (3), faccette triangolari (4), altopiani e terrazzi (5), valloni (6), picchi (7), creste (8), aree irregolari (9), aree piane vallive (10). Le unità 1, 2, 3, 4 e 10 sono caratterizzate da morfologia omogenea in termini di forma generale, esposizione media, e possono essere considerate i costituenti principali del paesaggio. Le unità 5, 6, 7 e 8 possono essere considerate, invece, come forme che alterano la regolarità di quelle principali. Aree non attribuibili alle forme suddette sono state considerate indefinite (9).

#### SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO

Per la gestione e l'analisi dei dati territoriali è stato utilizzato un Sistema Informativo Geografico costituito da tre tematismi di base: litologia (complessi lito-tecnici e relative fasce di fratturazione), dissesti ed u.m.e. I tematismi sono stati ottenuti dalla digitalizzazione di carte a scala 1:25.000 (ricavate dai rilievi effettuati alla scala 1:10.000), successivamente georeferenziate e rasterizzate con celle elementari quadrate di 15 metri. Le matrici ottenute (costituite da 628 righe e 510 colonne, per un totale di 320.280 celle elementari) sono state «incrociate» in modo da ottenere matrici derivate che descrivono le condizioni di interazione tra i tematismi di base. Dalla statistica descrittiva ottenuta dal G.I.S., sono stati ricavati i dati quantitativi sulle condizioni di associazione tra tipi litologici, fenomeni franosi e u.m.e. Il pacchetto informativo utilizzato è ILWIS 1.4 (1993), implementato su Personal Computer Ms-Dos. Questo pacchetto, per la sua facilità di gestione, è adatto per procedure in cui non è richiesta un'alta qualità di prodotti cartografici.

#### TEMATISMI DI BASE

##### Litologia

I terreni affioranti sono stati raggruppati in sei complessi lito-tecnici: roccia duttile (RD), roccia rigida (RR),

Fig. 5 - Frequenza areale dei fenomeni franosi rispetto all'area totale in frana.

Fig. 5 - Landslide frequency relative to total unstable area.

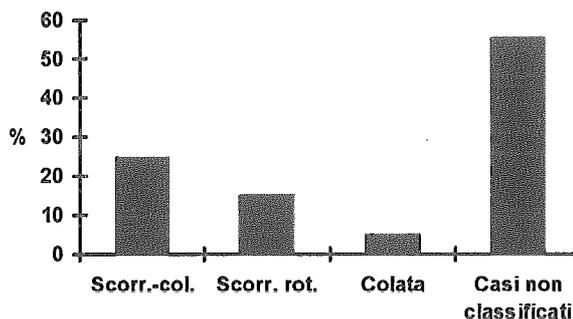
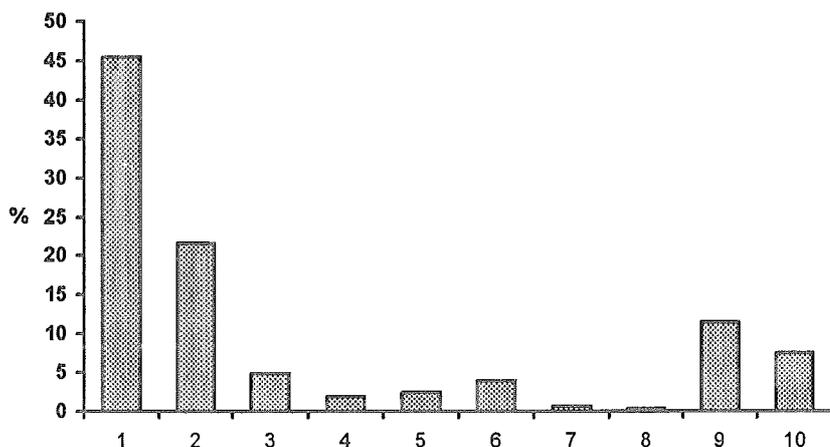


Fig. 6 - Frequenza areale delle unità morfologiche elementari. I numeri si riferiscono alla figura 4.

Fig. 6 - Relative frequency of elementary morphologic units. Numbers refer to figure 4.



terra coesiva (TC), terra coesiva tenera (TCT), detrito semi-coerente (DSC) e detrito sciolto (DT). I termini «roccia», «terra» e «detrito» sono usati con significato ingegneristico. L'uso dei termini «duttile» e «rigido» riferito alle rocce è indicativo e non implica dati sperimentali.

In prossimità di ogni struttura tettonica è stata individuata e delimitata una fascia di fratturazione ad essa associata (fig. 2). La larghezza delle fasce è stata stimata in sito ove possibile, ed i valori, caratteristici dei vari complessi lito-tecnici e dei diversi tipi di struttura tettonica, sono stati estesi a tutta l'area. In particolare, estendendo le osservazioni in loco e utilizzando concetti ben noti in geologia strutturale, lungo le strutture distensive la fascia di fratturazione è stata associata al blocco ribassato, per le strutture compressive al blocco sovrascorso mentre, per le strutture trascorrenti i limiti della fascia sono stati considerati equidistanti dalla struttura.

Ad ognuno dei sei complessi lito-tecnici è stato, quindi, associato un sottogruppo costituito dalle fasce di fratturazione derivanti dall'interferenza degli elementi strutturali con gli ammassi rocciosi (rdl, rrl, tcl, tctl, dscl). Al complesso lito-tecnico detrito sciolto (DT) non è stata associata la fascia di fratturazione in quanto comprende le alluvioni fluviali attuali, non interessate da cataclasi tettonica.

La tabella 1 riporta le frequenze areali dei sei complessi lito-tecnici e delle fasce di fratturazione associate.

#### Dissesti

Il 20,43% dell'area di studio risulta interessata da fenomeni franosi. Questi sono rappresentati da fenomeni di

scorrimento-colata (24,58%), di scorrimento rotazionale (15,10%) e di colata (5%); infine il 55,32% è rappresentato da casi non classificati (fig. 5).

#### Unità morfologiche elementari (u.m.e.)

Mediante il Sistema Informativo Geografico sono state ottenute le aree e le relative percentuali per tutte le u.m.e. considerate, mentre con procedura manuale sono stati misurati, sulla carta al 10.000, anche i valori delle pendenze per le unità principali.

Considerando le frequenze areali delle u.m.e. (fig. 6), sono risultati prevalenti i versanti (45,47 %); seguono le testate (21,58 %), le aree irregolari (11,45 %), le aree piane vallive (7,47 %), i nasi (4,88 %) e i valloni (3,84 %). Le unità meno rappresentate sono risultate rispettivamente gli altopiani e i terrazzi (2,41 %), le faccette triangolari (1,88 %), i picchi (0,65 %) e le creste (0,35 %) (fig. 6).

#### TEMATISMI DERIVATI

##### Litologia e franosità

Nei diagrammi a barre delle figure 7 e 8 sono rappresentati l'estensione, l'area in frana e la franosità rispettivamente per i complessi lito-tecnici e per le fasce di fratturazione associate. Dal confronto dei due diagrammi si evince un generale incremento della franosità in corrispondenza delle fasce di fratturazione. Incrementi particolarmente significativi caratterizzano il detrito semi-coerente (DSC) e la relativa fascia di fratturazione (dsc1), le terre coesive (TC) e la fascia di fratturazione delle terre coesive tenere (tct1) (figg. 7 e 8).

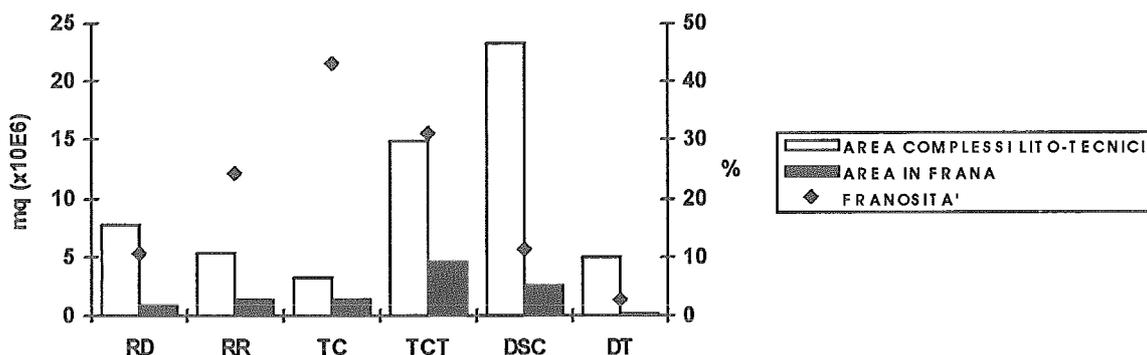


Fig. 7 - Estensione, area in frana e franosità nei complessi lito-tecnici: RD. roccia duttile; RR. roccia rigida; TC. terra coesiva; TCT. terra coesiva tenera; DSC. detrito semi-coerente; DT. detrito sciolto.

Fig. 7 - Total surface, landslide surface and landslide incidence of litho-technical complexes; RD. ductile rocks; RR. brittle rocks; TC. cohesive soils; TCT. soft cohesive soils; DSC. semi-coherent soils; DT. loose soils.

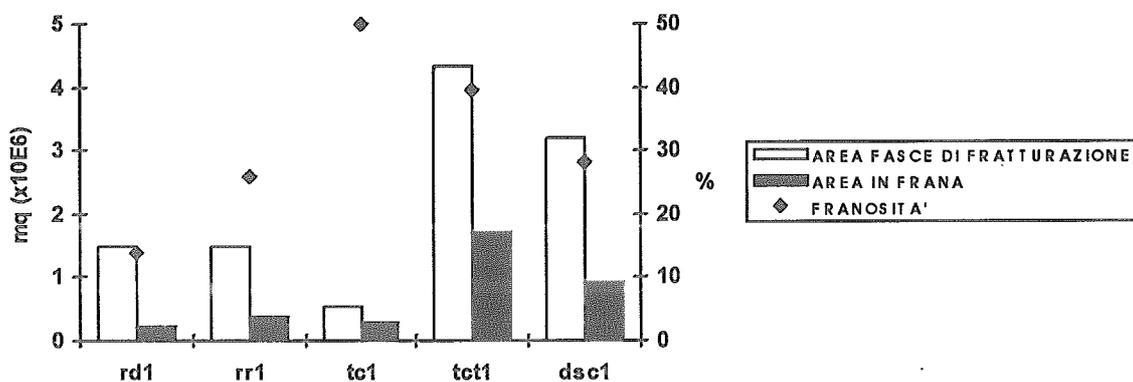


Fig. 8 - Estensione, area in frana e franosità nelle fasce di fratturazione: rd1. fascia di fratturazione associata a roccia duttile; rr1. fascia di fratturazione associata a roccia rigida; tc1. fascia di fratturazione associata a terra coesiva; tct1. fascia di fratturazione associata a terra coesiva tenera; dsc1. fascia di fratturazione associata a detrito semi-coerente

Fig. 8 - Total surface, landslide surface and landslide incidence for tectonically deformed bands: rd1. tectonically deformed band related to ductile rocks; rr1. tectonically deformed band related to brittle rocks; tc1. tectonically deformed band related to cohesive soils; tct1. tectonically deformed band related to soft cohesive soils; dsc1. tectonically deformed band related to semi-coherent soils

Al fine di verificare se le differenze dei valori di franosità tra i complessi lito-tecnici e le fasce di fratturazione associate siano casuali o meno, è stato eseguito un test di chi-quadrato considerando nel calcolo le aree in frana (in ettari) per le coppie complessi /fasce associate. I valori delle aree in frana sono stati corretti per il rapporto areale tra complessi lito-tecnici e relative fasce di fratturazione. Il risultato ottenuto, chi-quadrato uguale a 495,10 con probabilità dello 0,000 per  $H_0$ , conferma che l'aumento della franosità in corrispondenza delle fasce di fratturazione non è casuale. Sono state inoltre considerate le frequenze areali delle diverse tipologie franose in relazione all'area in frana di ogni complesso lito-tecnico e delle fasce di fratturazione associate (tab. 2).

Riguardo ai complessi lito-tecnici, dall'analisi della tabella 2, emerge come i casi non classificati risultino i più rappresentati, con incrementi significativi nei complessi a forte componente pelitica (TC, TCT). Limitatamente alle frane tipologicamente definite, in tutti i terreni prevalgono nettamente i fenomeni di tipo scorrimento-colata, tranne che per le rocce duttili dove prevalgono gli scorrimenti rotazionali.

Riguardo invece alle fasce di fratturazione, si osservano variazioni rilevanti nelle frequenze relative tra i tipi di frana, con inversioni (nelle fasce di fratturazione associate ai complessi rocce duttili - rd1) o incrementi delle prevalenze (TC, TCT) delle differenze rispetto ai litotipi originari. Tali variazioni sono ovviamente associate a variazioni nelle frequenze di casi non classificati. Questi ultimi, presentano una maggiore frequenza in rd1, terre coesive (tc1) e detrito semi-coerente (dsc1).

Relativamente ai dati riportati nella tabella 2, sono stati effettuati dei test di chi-quadrato considerando per ogni coppia, complesso lito-tecnico e fascia di fratturazione associata, l'area (in ettari) interessata solo dalle frane tipologicamente definite. Poiché tutti i test, tranne quello relativo al detrito semi-coerente (DSC), sono risultati significativi, è possibile affermare che la presenza delle fasce di fratturazione influenza la frequenza dei vari tipi di frana.

#### Fenomeni franosi e unità morfologiche elementari (u.m.e.)

Il diagramma a barre di figura 9 rappresenta la percentuale di area in frana per ogni u.m.e. I valloni e le testate

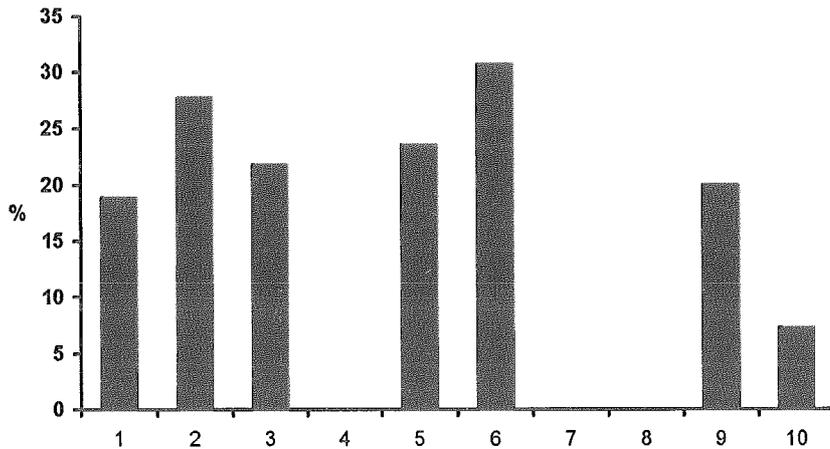


Fig. 9 - Franosità delle unità morfologiche elementari. Per i numeri vedere figura 4.

Fig. 9 - Landslide incidence for each type of elementary morphologic units. For numbers refer to figure 4.

TABELLA 2 - Frequenze areali relative delle diverse tipologie franose per i complessi lito-tecnici e per le fasce di fratturazione associate: RD = roccia duttile, rd1 = fascia di fratturazione associata; RR = roccia rigida, rr1 = fascia di fratturazione associata; TC = terra coesiva, tc1 = fascia di fratturazione associata; TCT = terra coesiva tenera, tct1 = fascia di fratturazione associata; DSC = detrito semi-coerente, dsc1 = fascia di fratturazione associata; DT = detrito sciolto

TABLE 2 - Relative frequency of the different landslide type for each litho-technical complexes and tectonically deformed bands: RD = ductile rocks, rd1 = tectonically deformed band; RR = brittle rocks, rr1 = tectonically deformed band; TC = cohesive soils, tc1 = tectonically deformed band; TCT = soft cohesive soils, tct1 = tectonically deformed band; DSC = semi-coherent soils, dsc1 = tectonically deformed band; DT = loose soils

	RD	rd1	RR	rr1	TC	tc1	TCT	tct1	DSC	dsc1	DT
Scorr. colata	33,44	15,03	24,95	36,89	14,35	27,55	25,74	50,70	30,44	42,37	34,15
Scorr. rot.	28,25	28,65	11,33	26,73	16,70	16,26	1,73	9,91	16,89	5,73	49,27
Colata	0,00	0,00	4,19	6,35	2,81	0,99	6,68	4,91	4,51	7,22	5,04
Casi non classificati	38,30	56,53	59,53	30,02	66,14	55,20	65,84	34,48	48,15	44,68	11,54
Totale	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

TABELLA 3 - Franosità per tipologie franose (in grassetto sono riportate le percentuali più elevate) dei diversi tipi di unità morfologiche elementari  
TABLE 3 - Areal incidence for each type of landslide on the different elementary morphologic units (highest values in bold face)

	Vers.	Test.	Nasi	Facc. tr.	Alt. e terr.	Valloni	Creste	Picchi	Aree p.v.	Irregolari
Scorr.-colata	17,58	10,95	13,99	0,00	1,29	13,06	0,00	0,00	13,41	29,03
Scorr. rot.	27,60	26,07	25,14	0,00	22,60	15,02	0,00	0,00	18,18	18,18
Colate	7,28	1,55	0,00	0,00	22,30	0,00	0,00	0,00	5,00	4,32
Casi non classificati	47,53	61,41	60,86	0,00	53,80	71,91	0,00	0,00	63,41	46,37
Totale	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

presentano le percentuali più elevate (rispettivamente il 30,68 % e il 27,74 %) (fig. 9).

Considerando la tipologia dei movimenti franosi è stata calcolata la loro distribuzione percentuale rispetto alle diverse u.m.e. (tab. 3). I casi non classificati costituiscono una considerevole percentuale di area dissestata per ogni unità. I versanti, le testate ed i nasi presentano una maggiore percentuale di fenomeni di tipo scorrimento rotazionale, mentre nelle unità irregolari sono più frequenti i fenomeni complessi di tipo scorrimento-colata. I valloni mostrano frequenze all'incirca simili dei fenomeni di tipo scorrimento-colata e scorrimento rotazionale; gli altopiani e terrazzi invece presentano percentuali uguali degli scorrimenti rotazionali e delle colate.

#### Litologia e unità morfologiche elementari (u.m.e.)

La tabella 4 riporta la percentuale relativa di area occupata dalle diverse u.m.e. rispetto all'area totale dei vari

complessi lito-tecnici e fasce di fratturazione associate. Dall'analisi della tabella emerge che tutti i complessi e le relative fasce ricadono per lo più in corrispondenza dei versanti, ad eccezione della fascia di fratturazione relativa al detrito semi-coerente (dsc1) che ricade prevalentemente in corrispondenza delle testate. Inoltre, le fasce di fratturazione delle rocce duttili (rd1) presentano percentuali più elevate di area in affioramento in corrispondenza delle faccette triangolari. A tal proposito, sembra opportuno evidenziare come questa fascia ricada al contorno della faglia regionale N-S dell'horst della Catena Costiera.

I versanti e le faccette triangolari si rinvengono più estesamente con le rocce duttili (RD); i nasi con le rocce rigide (RR); le testate con i detriti semi-coerenti (DSC); i valloni, gli altopiani e terrazzi e gli irregolari con le terre coesive (TC); le aree piane vallive, ovviamente, con le alluvioni (DT).

TABELLA 4 - Frequenza areale delle unità morfologiche elementari relative ai complessi lito-tecnici e fasce di fratturazione associate: RD = roccia duttile, rd1 = fascia di fratturazione associata; RR = roccia rigida, rr1 = fascia di fratturazione associata; TC = terra coesiva, tc1 = fascia di fratturazione associata; TCT = terra coesiva tenera, tct1 = fascia di fratturazione associata; DSC = detrito semi-coerente, dsc1 = fascia di fratturazione associata; DT = detrito sciolto

TABLE 4 - Relative frequency of elementary morphologic units for litho-technical complexes and tectonically deformed bands: RD = ductile rocks, rd1 = tectonically deformed band; RR = brittle rocks, rr1 = tectonically deformed band; TC = cohesive, soils, tc1 = tectonically deformed band; TCT = soft cohesive soils, tct1 = tectonically deformed band; DSC = semi-coherent soils, dsc1 = tectonically deformed band; DT = loose soils

	RD	rd1	RR	rr1	TC	tc1	TCT	tct1	DSC	dsc1	DT
Versanti	68,71	55,87	58,87	53,99	52,86	39,00	39,00	50,00	39,34	28,67	16,36
Testate	3,23	0,00	10,37	11,97	21,05	33,40	10,10	14,85	32,88	43,87	5,35
Nasi	6,44	6,37	13,65	11,96	3,00	2,78	12,28	9,12	3,01	4,03	1,93
Facc. triang.	8,37	18,69	0,00	1,61	0,25	0,41	0,00	0,00	0,23	0,26	0,00
Altop. e terr.	0,50	0,00	4,24	6,16	1,40	0,00	8,64	1,02	2,89	3,95	0,00
Valloni	4,70	6,02	4,67	9,98	2,73	5,00	6,67	9,00	3,48	4,02	0,00
Picchi	1,43	3,51	0,00	0,00	0,39	1,50	0,00	0,00	0,81	0,95	0,00
Creste	0,00	5,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
Aree p.v.	0,00	0,00	0,00	0,00	5,17	4,72	0,00	0,00	2,91	1,18	71,56
Irregolari	5,73	3,97	3,14	4,32	13,15	13,17	23,29	16,00	14,34	13,06	4,78
Totale	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

In merito alle variazioni tra complessi lito-tecnici e fasce cataclastiche, dall'analisi della tabella 4 si ricava che i valloni, le testate, le faccette triangolari e le creste occupano nel complesso una maggiore percentuale areale nelle fasce cataclastiche rispetto agli affioramenti normali. In particolare, l'aumento è sensibile per le testate in corrispondenza di complessi lito-tecnici coesivi (TC e TCT) e semi-coerenti (DSC). I valloni e le faccette triangolari mostrano in tutti i tipi lito-tecnici incrementi di frequenza. Gli altopiani e terrazzi, le aree piane vallive e i picchi, mostrano oscillazioni limitate in positivo o in negativo. I nasi e le aree irregolari presentano decrementi di percentuale. Il test di chi-quadrato condotto sulle aree (in ettari), per coppie complessi lito-tecnici - fascia associata, ha fornito costantemente risultati dai quali si evince che le variazioni osservate non sono casuali. Al fine di poter stabilire se l'influenza dei complessi lito-tecnici sulla distribuzione tipologica delle u.m.e. sia casuale, è stato effettuato un test di chi-quadrato, utilizzando le aree di affioramento delle u.m.e. per ogni complesso lito-tecnico; non sono stati considerati nell'analisi i tipi di u.m.e. che presentano un numero esiguo di casi. La significatività del test induce ad affermare che la distribuzione tipologica delle unità nei vari tipi litologici non è casuale.

## DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

In aree geodinamicamente attive come la Calabria si riscontrano situazioni geologico-strutturali complesse che si riflettono sulle condizioni di anisotropia dei litotipi, con l'individuazione di fasce di deformazione che influiscono sui cinematismi e sulla distribuzione areale dei movimenti franosi. La modellizzazione geo-strutturale e geomorfologica di siti così complessi risulta alquanto difficile e pone non pochi problemi in termini di franosità. A tal fine è necessario stabilire, attraverso studi geo-strutturali quantitativi o semiquantitativi, una dettagliata ricostruzione lito-strutturale alla quale riferire la distribuzione e la tipologia dei movimenti franosi.

Riguardo a ciò sembra opportuno rilevare l'obsolescenza della carta geologica al 25.000, inadeguata per la formulazione di modelli geologici realistici, data la scarsa rilevanza attribuita alle strutture tettoniche. Tuttavia, anche nel riferirsi ad una cartografia geologica più recente e dettagliata, bisogna tenere conto del fatto che le faglie intraformazionali, che non hanno un significato geologico rilevante, non vengono normalmente cartografate. Al contrario esse risultano determinanti nella definizione delle caratteristiche meccaniche dei terreni.

Quanto detto trova conferma nell'area del versante occidentale della media valle del Fiume Crati, oggetto del presente studio, sia per l'aumento generale della franosità in corrispondenza delle fasce di fratturazione associate ai vari complessi lito-tecnici che per l'incidenza di tali complessi sulle tipologie di frana.

In particolare (tab. 2), considerando le rocce duttili si osserva una diminuzione del rapporto scorrimento-colata/scorrimento rotazionale (SC/SR) nei litotipi fratturati a causa dell'aumento dei casi non classificati. Per le rocce rigide, invece, la diminuzione del rapporto SC/SR nelle fasce di fratturazione è data sia dall'aumento degli scorrimenti rotazionali rispetto agli scorrimenti-colata ed alle colate, che da una diminuzione dei casi non classificati. Per le terre coesive, nei litotipi fratturati il rapporto SC/SR aumenta a causa di un incremento degli scorrimenti-colata ed una diminuzione, come per le rocce rigide, dei casi non classificati. Considerando le terre coesive tenere, nei litotipi fratturati il rapporto SC/SR diminuisce a causa di un minore aumento degli scorrimenti-colata rispetto agli scorrimenti rotazionali; anche in questo caso si ha una diminuzione dei casi non classificati. Infine, per il detrito semi-coerente si osserva un considerevole aumento del rapporto SC/SR nei litotipi fratturati, a causa di una diminuzione degli scorrimenti rotazionali.

In generale per tutti i tipi lito-tecnici, tranne che per le rocce duttili, i casi non classificati diminuiscono più o meno nettamente. Ciò può dipendere dal fatto che la fratturazione induce una maggiore dinamica dei processi, con genesi di frane anche recenti meglio conservate di quelle, meno frequenti, che si possono trovare sui corrispondenti litotipi in-

tegrì che sono state modificate dall'erosione susseguente agli ultimi movimenti.

Resta da spiegare la differenza con le rocce duttili, per le quali dovrebbe valere lo stesso principio. In questi terreni evidentemente, la parte bassa della frana, con componente di colata, diventa di forma indefinita per coalescenza tra corpi diversi o per movimenti ripetuti. Il generale incremento degli scorrimenti-colata sulle fasce di fratturazione è da attribuire alla maggiore evoluzione dei fenomeni, testimoniata dal maggiore sviluppo della componente di colata; infatti, scorrimenti privi di lingua indicano fenomeni poco evoluti (non necessariamente più recenti).

Circa i rapporti tra tipologia delle frane e delle u.m.e., l'assenza di frane sulle faccette triangolari, creste e picchi, è da correlare con il fatto che tali u.m.e., per essere individuate, devono essere preservate integre. Per le u.m.e. affette da frane si rileva che la maggior frequenza di scorrimenti-colata sulle aree irregolari deriva proprio dal fatto che corpi franosi con grado di evoluzione avanzato, e quindi con una importante componente di colata, generano forme irregolari che hanno reso impossibile definire u.m.e. tipiche. La presenza areale relativamente costante di scorrimenti rotazionali puri nelle varie forme primarie deriva probabilmente dal fatto che questi fenomeni poco evoluti sono da collegare a crisi climatiche o sismiche generalizzate, quindi poco connesse con la tipologia delle u.m.e. L'alta frequenza di colate negli altipiani e terrazzi è da riferire a questi ultimi, dove le lingue delle colate possono espandersi.

Infine, circa i rapporti tra tipi litologici, fasce di fratturazione e u.m.e., si osserva che essi sono governati da due variabili indipendenti: geologia (includendo la distribuzione sia degli affioramenti che delle fasce di fratturazione) e reticolo idrografico. In effetti, il reticolo idrografico è in parte adattato al reticolo strutturale. Il discorso è quindi estremamente complesso e non si possono estrarre conclusioni generali. La maggior frequenza di faccette triangolari sulle rocce duttili dipende dal fatto che queste affiorano lungo la faglia che è stata attiva più a lungo (TORTORICI & *alii*, 1995). Le testate sono più frequenti sui detriti semi-coerenti perché le faglie inverse sono trasversali rispetto ai rilievi che attraversano (fig. 2). Le aree irregolari sono più frequenti sulle terre coesive perché più propense a franare, mentre i nasi sono più frequenti sulle rocce rigide per la maggiore resistenza di queste. Invece, non è chiaro il motivo per cui i versanti siano più frequenti sulle rocce duttili che negli altri complessi lito-tecnici.

In conclusione lo studio effettuato lungo il versante occidentale della media valle del F. Crati evidenzia non solo

il controllo degli elementi tettonici sulla distribuzione dei fenomeni franosi e, in alcuni casi, nelle u.m.e., ma anche la diversificazione delle tipologie franose all'interno delle fasce di fratturazione nei differenti complessi lito-tecnici.

#### BIBLIOGRAFIA

- ANTRONICO L. (1994) - *Dati storici preliminari su alcuni eventi franosi nell'area di Montalto Uffugo*. CNR-IRPI, R.I. 382,13 pp., Rende.
- ANTRONICO L., PETRUCCI O. & SORRISO-VALVO M. (1996) - *I fenomeni franosi nella tavoletta Montalto Uffugo (CS) - Risultati inattesi dell'analisi delle relazioni fra morfometria e tipologia delle frane e litologia dei versanti*. Geol. Appl. Idrogeol., in stampa.
- CARRARA A. (1983) - *Multivariate models for landslide hazard evaluation*. Mathematical Geol., 15, 403-426.
- CARRARA A. & MERENDA L. (1976) - *Landslide inventory in northern Calabria, Southern Italy*. Geol. Soc. Am. Bull., 87,1153-1162.
- CARRARA A., CATALANO E., SORRISO VALVO M., REALI C. & OSSO I. (1978) - *Digital terrain analysis for land evaluation*. Geol. Appl. Idrogeol., 13, 69-127.
- CARRARA A., SORRISO-VALVO M. & REALI C. (1982) - *Analysis of landslide form and incidence by statistical techniques, Southern Italy*. Catena, 9, 35-62.
- COLELLA A., DE BOER P. & NIO S. (1987) - *Sedimentology of a marine intermontane Pleistocene Gilbert-type fan-delta complex in the Crati Basin, Calabria, Southern Italy*. Sedimentology, 34, 721-736.
- DI NOCERA S., ORTOLANI F., RUSSO M. & TORRE M. (1974) - *Successioni sedimentarie e limite Miocene-Pliocene nella Calabria settentrionale*. Boll. Soc. Geol. It., 98, 559-587.
- ITC (1993) - *Ilwis 1.41. User's Manual*. Enschede.
- LANZAFAME G. & ZUFFA G.G. (1976) - *Geologia e petrografia del Foglio di Bisignano (Bacino del Crati, Calabria)*. Geol. Romana, 15, 223-270.
- MATANO F. & TANSI C. (1994) - *Influenza delle strutture tettoniche sul profilo d'alterazione e sulla franosità negli gneiss dell'area di San Pietro in Guarano (Calabria Settentrionale)*. Geol. Romana, 30, 361-370.
- SORRISO-VALVO M. (1984) - *Deep-seated gravitational slope deformation in Calabria (Italy)*. Série Docum. BRGM, 83, 81-90.
- SORRISO-VALVO M., AGNESI V., GULLÀ G., MERENDA L., ANTRONICO L., DI MAGGIO C., FILICE E., PETRUCCI O. & TANSI C. (1993) - *Temporal and spatial occurrence of landsliding and correlation with precipitation time series in Montalto Uffugo (Calabria) and Imera (Sicily) areas*. In: J. C. FLAGEOLLET (ed): *Temporal occurrence and forecasting of landslides in the european community*. Final report programme EPOCH CT90 0025, part II, V.2,823-869.
- SORRISO-VALVO M. & TANSI C. (1996 a) - *Grandi frane e deformazioni gravitative profonde di versante della Calabria - Note illustrative per la Carta al 250.000*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., in stampa.
- SORRISO-VALVO M. & TANSI C. (1996 b) - *Attività franosa in relazione all'attività tettonica recente nella media valle del Fiume Crati*. Atti del Convegno «Il ruolo della Geomorfologia nella Geologia del Quaternario», 27/29 Febbraio 1996, Napoli, in stampa.
- TORTORICI L. (1982) - *Lineamenti geologico-strutturali dell'Arco Calabro*. Soc. It. Min. Petr., 38, 927-940.
- TORTORICI L., MONACO C., TANSI C. & COCINA O. (1995) - *Recent and active tectonics in the Calabrian Arc (Southern Italy)*. Tectonophysics, 243, 37-55.
- VARNES D.J. (1978) - *Slope movement types and processes*. In: Schuster R. L. & KRIZEK R.J., eds., *Landslides, Analysis and Control*. Transp. Res. Board Special Publication 176, Nat. Acad. Sc., 11-33, 1 pl.