

ATTIVITÀ' FRANOSA IN RELAZIONE ALL'ATTIVITÀ' TETTONICA RECENTE NELLA MEDIA VALLE DEL FIUME CRATI

M. Sorriso-Valvo - C. Tansi
CNR-IRPI, Roges di Rende (Cosenza)

ABSTRACT - *Landsliding controlled by recent tectonic activity in the Crati River middle valley (Calabria, S Italy)* - Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences, 9(1), 1996, 345-352 - The paper presents the results of a study carried out in a zone of approximately 125 km² that has a complex geological structure and is tectonically active. Mass-movements in this zone are strongly controlled by tectonic features, especially as far as their spatial distribution is concerned. The studied area is located along the eastern side of the Tyrrhenian Coastal Chain in Calabria (S Italy), which is a tectonically still active horst structure of Plio-Pleistocene age. The structural setting is dominated by N-S trending sets of block faults with features derived from an important strike-slip component of the tectonic displacement. Landsliding phenomena of various types characterise ca. 20% of the study area, with complex landslides being the most frequent type. An accurate 1:10,000 mapping of main tectonic structures and mass movements shows that landsliding phenomena are clustered in zones where jointing is dense and a secondary faulting linked to main faults is present. Distribution and position of landslides depend on the type of fault and, subordinately, on the type of rocks involved.

RIASSUNTO - *Attività franosa in relazione all'attività tettonica recente nella media valle del Fiume Crati* - Il Quaternario, 9(1), 1996, 345-352 - Uno studio integrato dei caratteri geomorfologici e tettonici di un settore ad elevata complessità geologico-strutturale ha consentito di meglio comprendere il grado e le modalità di controllo del modello lito-strutturale sull'evoluzione gravitativa, sia superficiale che profonda, dei versanti. L'area, situata lungo il bordo orientale della Catena Costiera tirrenica nel tratto compreso tra Marano Principato e Montalto Uffugo, è caratterizzata dalla presenza di una importante direttrice tettonica regionale che ne condiziona profondamente i caratteri geologici, per la presenza al suo contorno di ricorrenti superfici di discontinuità tettoniche di vario ordine e tipologia. Lungo le fasce di debolezza strutturale indotte dalle suddette discontinuità si concentrano dissesti con fenomenologie ed entità variabili in funzione dei particolari siti lito-strutturali. L'area presenta una franosità di circa il 20% con dissesti diffusi prevalentemente del tipo complesso scorrimento-colata di terra, del tipo scorrimento e del tipo colata. Gli studi sono stati effettuati attraverso rilievi geomorfologici e geologico-strutturali (macro e meso-strutturali) di campagna, eseguiti alla scala 1:10.000.

Parole chiave: Franosità, strutture tettoniche, Calabria, Italia meridionale
Key words: Landslide incidence, tectonic structures, Calabria, Southern Italy

1. PREMESSA

La modalità di controllo dell'assetto lito-strutturale sull'evoluzione gravitativa, sia superficiale che profonda, dei versanti, può essere compresa solo tramite uno studio integrato dei caratteri geomorfologici e tettonici delle zone di interesse. Ciò è tanto più vero nelle aree ad elevata complessità geologico-strutturale.

Nel caso in esame l'area, situata lungo il bordo orientale della Catena Costiera tirrenica nel tratto compreso tra Marano Principato e Montalto Uffugo (Fig. 1), è caratterizzata dalla presenza di una importante direttrice tettonica regionale che ne condiziona profondamente i caratteri geologici.

Le indagini si sono svolte attraverso la delimitazione delle fasce di debolezza strutturale indotte dalle suddette discontinuità e l'analisi dei rapporti tra queste e i dissesti. Le frane occupano circa il 20% del territorio, con fenomeni prevalentemente del tipo complesso scorrimento-colata di terra, del tipo scorrimento e del tipo colata.

Gli studi sono stati effettuati tramite rilievi geomorfologici e geologico-strutturali (macro e meso-strutturali) di campagna, eseguiti alla scala 1:10.000.

2. CARATTERI LITO-STRUTTURALI

Nell'area di studio ricade una importante direttrice tettonica regionale di direzione N-S, che solleva l'edificio

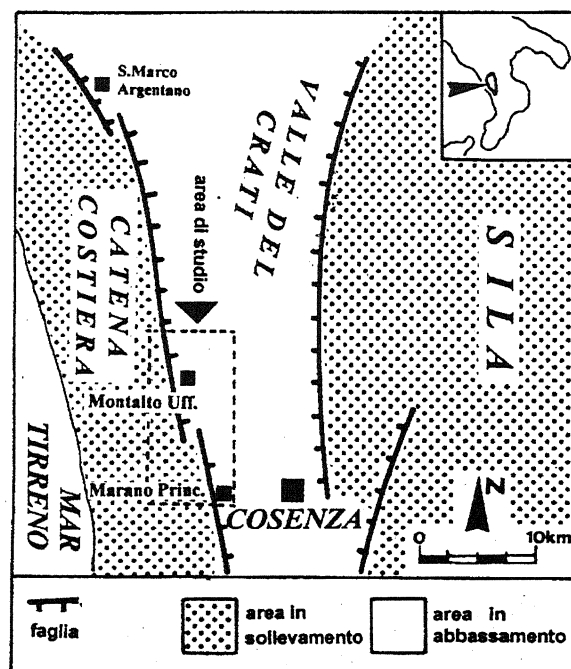


Fig. 1 - Ubicazione dell'area di studio e schema neotettonico della Valle del F. Crati.

Location of the studied area and neotectonic sketch of the Crati River valley.

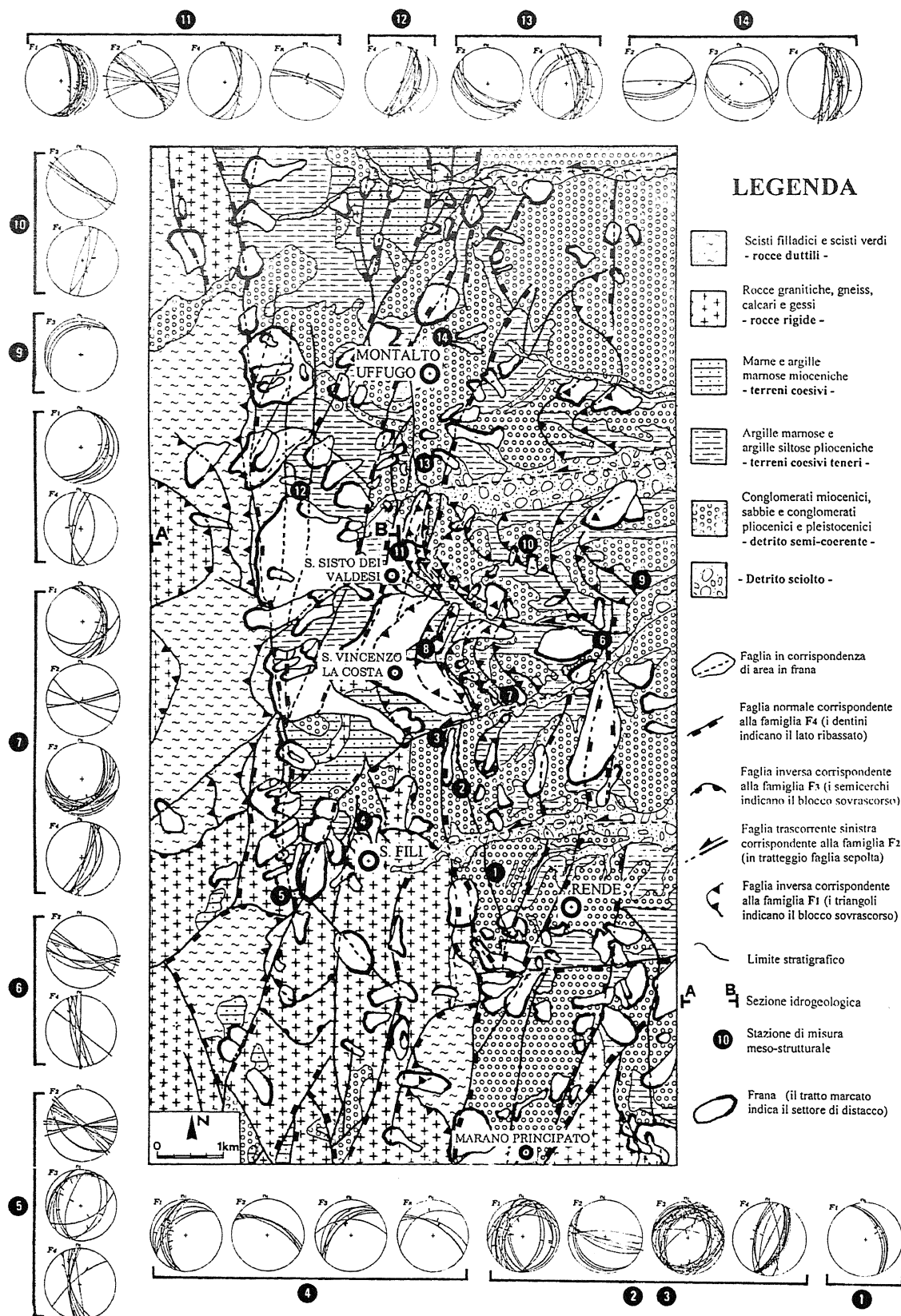


Fig. 2 - Carta litologico-strutturale e delle frane con gli stereogrammi di Schmidt (emisfero inferiore), con indicazioni della giacitura dei piani di faglia striati per ogni famiglia di discontinuità F1, F2, F3, F4, FR.

Lithostructural and landslides map with Schmidt's stereographic projections (lower hemisphere) showing the attitude of striated planes of F1, F2, F3, F4 and FR fault sets.

a falde metamorfico-cristallino paleozoico, che costituisce l'*horst* della Catena Costiera tirrenica (Colonna & Compagnoni, 1982), rispetto ai depositi postorogeni (ortoniano-quaternari) della Valle del F. Crati (Fig. 1). Tale struttura è suddivisa in tre segmenti disposti *en échelon*, e si allunga per una cinquantina di chilometri dai pressi di Marano Principato fino a S. Marco Argentano, dove assume direzioni NW-SE. Tortorici *et al.* (1995) attribuiscono a questa struttura caratteri di faglia sismogenetica, sede di intensi *stress* tettonici sin dal Pliocene medio (Philip & Tortorici, 1981) che hanno condizionato profondamente l'assetto geologico-strutturale dell'area; ciò per la presenza, al suo contorno, di diffusi sistemi di faglie ad essa associate, d'origine sia distensiva che trascressiva.

2.1. Stratigrafia

I terreni metamorfico-cristallini paleozoici sono costituiti da una serie di unità tettonostratigrafiche alpine distinte da Amodio-Morelli *et al.* (1976), dal basso, in: metabasiti tipicamente verdastre (Unità di Malvito); filladi grigio-scure con associate metareniti e scisti anfibolici (Unità di Bagni); gneiss occhiadini a due miche e paragneiss biotitici associati a masse pegmatitiche (Unità di Castagna); gneiss e fels a granato e sillimanite con intercalazioni di rocce basiche (Unità di Polia-Copanello).

Tra i depositi postorogeni affiorano successioniortoniano-calabriere distinte da Lanzafame & Zuffa (1976), dal basso, in: conglomerati, calcari arenacei e argille marnose (ortoniano); arenarie passanti a livelli lutitici con intercalazioni gessose (Messiniano); argille dal tipico colore grigio-azzurro (Pliocene inf.); conglomerati-sabbie-argille-conglomerati del ciclo Pliocene medio-Calabriano. I terreni post-calabriani sono rappresentati da depositi terrazzati quaternari marini e fluviali costituiti rispettivamente da conglomerati a matrice sabbioso-argillosa e da ghiaie embriciate e matrice sabbioso-limoso, con lenti da sabbiose ad argillose.

2.2. Strutture

Lo studio geologico-strutturale è stato affrontato mediante un approccio essenzialmente morfoneotettonico, attraverso l'interpretazione di foto aeree e di immagini SPOT pancromatiche, e supportato da studi meso-strutturali.

L'analisi meso-strutturale, compiuta su 14 stazioni di misura (sono stati considerati oltre 400 piani di faglia striati), ha comprovato quasi sempre la natura tettonica dei lineamenti regionali ed ha consentito di valutarne i cinematismi; l'analisi ha inoltre evidenziato la presenza di quattro famiglie di faglie — F1, F2, F3, F4 (in ordine cronologico) —, riconducibili ad altrettanti eventi deformativi.

L'analisi macro-strutturale ha consentito il riconoscimento di strutture distensive, compressive e trascorrenti, che hanno mostrato chiare relazioni con i sistemi riconosciuti alla macro-scala.

Le strutture distensive sono rappresentate da faglie subverticali orientate mediamente N0°-30° legate al sollevamento dell'*horst* della Catena Costiera, tuttora in atto; tali strutture sono attribuibili alla famiglia F4 riconosciuta dall'analisi meso-strutturale, che ha evidenziato

movimenti per lo più normali con componenti di trascorrenza destra talora predominanti.

Le strutture compressive sono rappresentate da *thrust* orientati prevalentemente N-S con piani immergenti di 30°-40° verso E, corrispondenti alle meso-strutture della famiglia F3, che hanno evidenziato *pitch* orientati mediamente N110°; in subordine sono stati riconosciuti *thrust* con direzioni prevalenti E-W e piani suborizzontali, corrispondenti alle meso-strutture della famiglia F1 (*pitch* con direzioni medie N-S).

Le strutture trascorrenti, che costituiscono gli elementi più antichi e meno frequenti, hanno mostrato direzioni medie E-W (da N80° a N120°). Alla meso-scala tali strutture hanno evidenziato forti componenti di trascorrenza sinistra (famiglia F2), anche se sono state riconosciute localmente riattivazioni passive, compatibili con il sollevamento in atto (famiglia FR).

I caratteri macro e meso-strutturali sono riportati in Figura 2.

3. ELEMENTI MORFOLOGICI D'ORIGINE GRAVITATIVA

L'identificazione e la cartografia di movimenti di massa, eseguite mediante aerofotointerpretazione e successivi rilievi di campagna, ha permesso di definirne la distribuzione e la tipologia. Il lavoro di rilevamento è stato condotto in diverse fasi in un'area di circa 80 km² (Sorriso-Valvo *et al.*, 1994), e per questo lavoro esteso ulteriormente verso sud.

L'area di studio è caratterizzata da una diffusa franosità, che interessa circa il 20% del territorio, le cui tipologie (distinte secondo la classificazione di Varnes, 1978) sono riconducibili a: scorrimenti, colate, fenomeni complessi di scorrimento-colata e zone franose. Queste ultime rappresentano settori più o meno estesi caratterizzati da corpi franosi tra loro coalescenti e non facilmente delimitabili singolarmente. In Figura 2 sono riportati i movimenti franosi non differenziati per tipologia, onde evitare di aumentare oltremodo la complessità grafica della figura.

Riguardo alla distribuzione spaziale dei movimenti, si osserva una maggiore concentrazione degli stessi a ridosso del tratto della faglia regionale Marano Principato-S.Marco Argentano che ricade nell'area d'interesse. Una significativa percentuale di frane (circa il 75%) si sviluppa inoltre lungo gli elementi strutturali, con un sensibile aumento della frequenza in corrispondenza dei settori di interferenza tra faglie.

4. COMPLESSI LITO-TECNICI E FASCE DI DEFORMAZIONE TETTONICA

I terreni affioranti sono stati raggruppati in sei complessi lito-tecnici: "rocce duttili", "rocce rigide", "terreni coesivi", "terreni coesivi teneri", "detrito semi-coerente", "detrito sciolto" (per maggiori informazioni cfr. Fig. 2).

Associata ad ogni struttura tettonica è stata riconosciuta e cartografata al suo contorno una fascia di anisotropia strutturale caratterizzata da un sensibile aumento dell'indice di fratturazione e/o, più raramente, da fenomeni di milonizzazione (argillificazione); la posizione

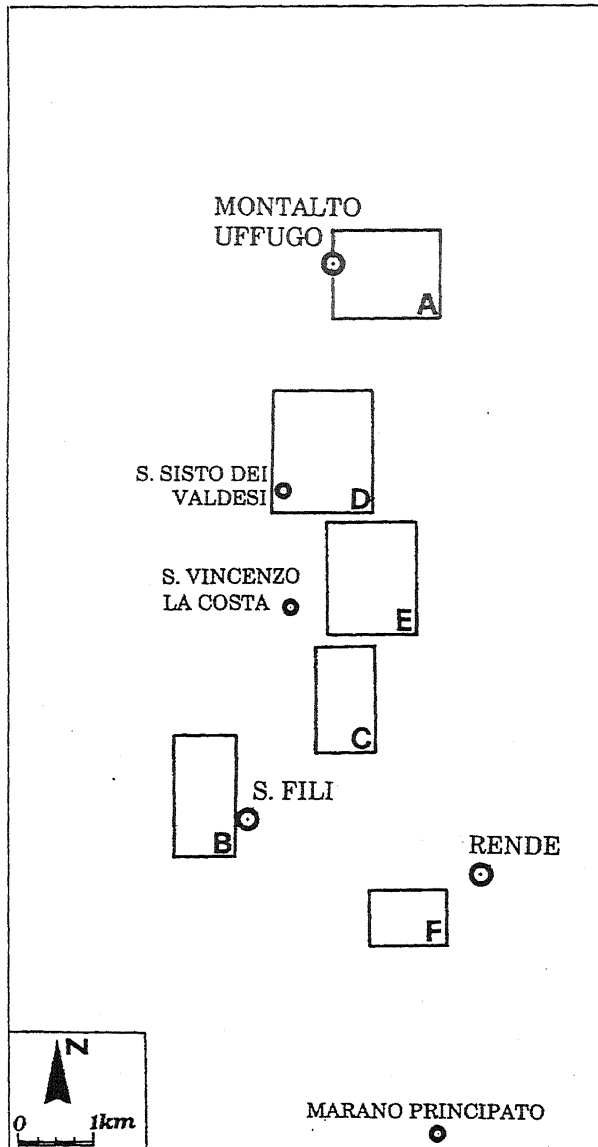


Fig. 3 - Localizzazione dei sei settori corrispondenti a modelli geo-strutturali e geomorfologici caratteristici (A, B, C, D, E, F), nell'area compresa nella carta di Fig. 2.

Zonation based on the geostructural and geomorphologic characters (A, B, C, D, E, F) of the study area shown in Fig. 2.

relativa delle fasce di deformazione rispetto al piano di scivolamento tettonico è stata attribuita in funzione della tipologia di struttura: per le faglie normali la fascia è stata associata al blocco ribassato, per i *thrust* al blocco sovrascorso e per le faglie trascorrenti la fascia ricade "a cavallo" della struttura. Lo spessore delle fasce è stato dimensionato in settori caratteristici per ogni litologia e per strutture tettoniche di diverso ordine gerarchico, ed è stato successivamente generalizzato per tutto il resto dell'area di interesse.

Le fasce di fratturazione, consentendo l'infiltrazione di acque meteoriche chimicamente attive nel sottosuolo, "guidano" lo sviluppo dei processi di degradazioni fisico-chimica anche in profondità (Carrara *et al.*, 1982; Matano & Tansi, 1994). Queste fasce rappresentano un elemento fondamentale per l'esame dei fattori predisponenti la

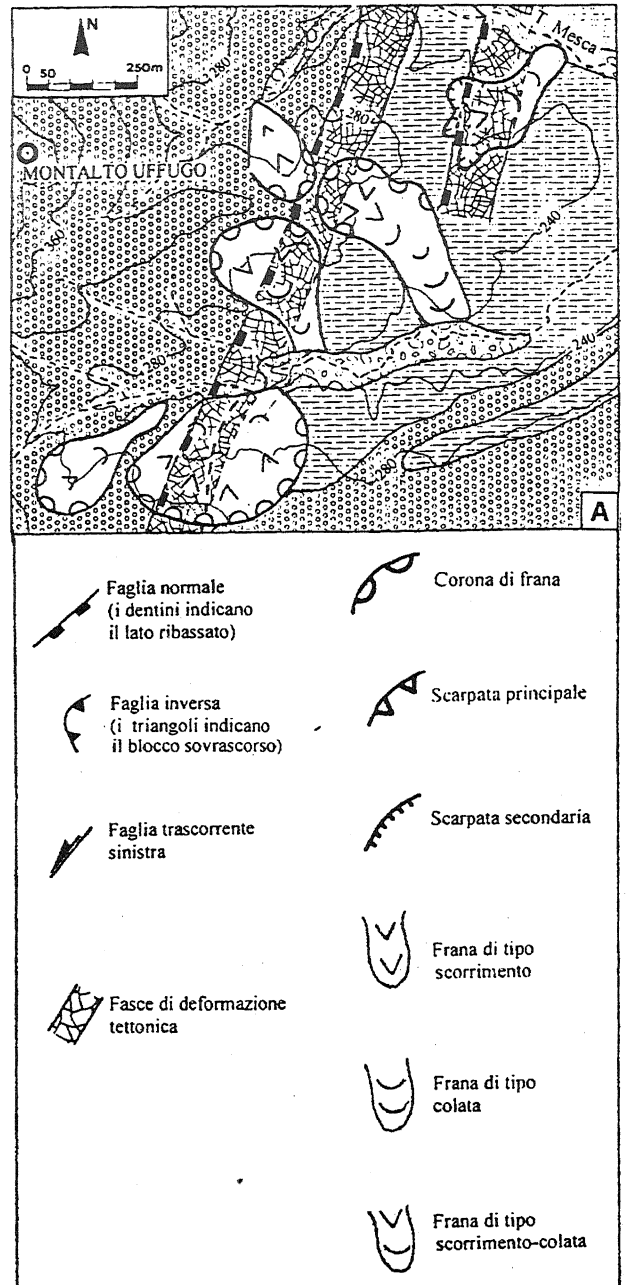


Fig. 4 - Caso A: rapporti tra fasce di fratturazione indotte da faglie normali e settori di distacco e di trasporto dei fenomeni franosi. Per la legenda dei simboli geologici si rimanda alla Fig. 2.

Case A: relationships between normal faults-controlled jointing bands and landslide detachment and transport areas. Symbols as in Fig. 2.

franosità (franosità potenziale), in quanto lungo esse si concentra la maggior parte delle frane e si impostano fenomeni di incisione lineare che generano valli ad elevata energia di rilievo, condizionando i processi morfodinamici su ampia scala.

Inoltre le suddette fasce rappresentano limiti idrogeologici (orizzonti drenanti o tamponanti, a seconda che si tratti, rispettivamente, di fasce cataclastiche o milonitiche) che si riflettono profondamente sulla geometria del campo delle pressioni neutre (e quindi sulle condizioni di stabilità

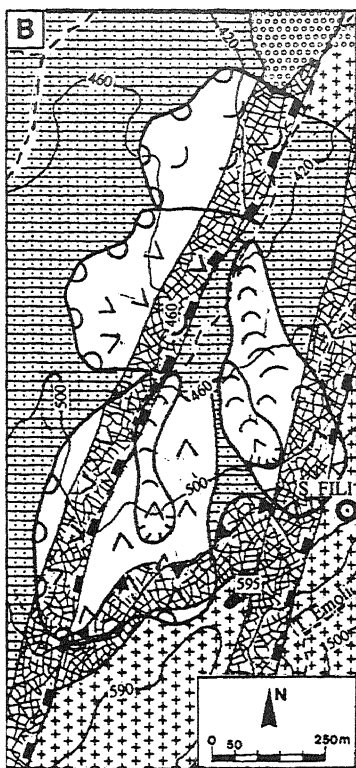


Fig. 5 - Caso B: rapporti tra fasce di fratturazione indotte da faglie normali/trascorrenti (corrispondenti con aste vallive) e settori di piede di raggruppamenti di frane.

Case B: relationships between jointing bands linked to normal/strike-slip faulting (coincident with thalwegs), and landslides-group toe.

dei versanti), il quale può risultare più o meno distorto in funzione della complessità del sito lito-strutturale.

5. CASI: RELAZIONE TRA STRUTTURE TETTONICHE E FRANE

L'analisi comparata dei dati geologico-strutturali e geomorfologici ha evidenziato come l'ampia diffusione dei fenomeni di instabilità sia da collegare ai caratteri lito-tecnici dei terreni affioranti, in gran parte definiti dalle condizioni geodinamiche del sito di studio; queste condizioni hanno favorito lo sviluppo di fasce di deformazione tettonica di natura sia distensiva, che compressiva, lungo cui si verificano gran parte dei fenomeni franosi. In zone di interferenza tra macro-strutture è stata riscontrata una maggiore frequenza ed una maggiore articolazione di fenomeni di dissesto. In circa il 75% dei casi, i cinematismi e gli elementi morfologici dei dissesti risultano direttamente influenzati dai sistemi di faglie riconosciuti nell'ammasso roccioso

I dissesti si impostano, nella maggior parte dei casi, in corrispondenza del blocco ribassato, lungo le faglie normali, e del blocco sovrascorso, lungo le faglie inverse.

In Figura 3 sono localizzati sei settori caratteristici dell'area di studio dove possono essere schematizzate altrettante situazioni-tipo (Figg. 4, 5, 6, 7, 8, 9) riguardo alle relazioni tra il modello lito-strutturale, che ha considerato anche le fasce di anisotropia strutturale, ed il modello geomorfologico.

In gran parte dei casi di studio le fasce di deformazione indotte da faglie normali sub-verticali, intersecano con varie orientazioni le frane nei settori di distacco o di trasporto (Fig. 4 - caso A). Questa situazione è particolarmente ricorrente nel detrito semi-coerente, nei terreni coesivi e coesivi teneri, lungo i blocchi ribassati di faglie che giustappongono secondo varie modalità i suddetti terreni; in subordine questo caso caratteristico è stato

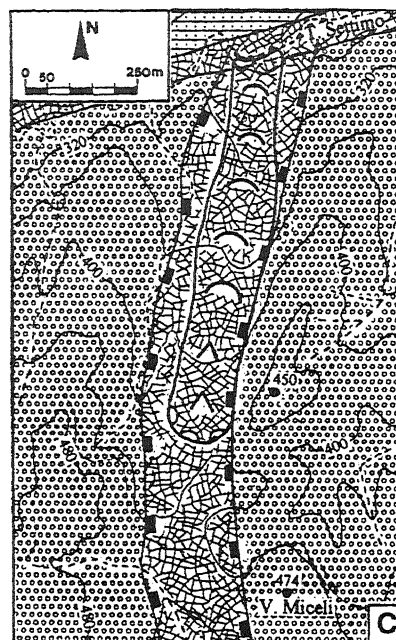


Fig. 6 - Caso C: rapporti tra fasce di deformazione (milonitizzazione) spesse indotte da faglie normali di importanza regionale e fenomeni franosi.

Case C: relationships between thick mylonitic bands linked to regional-scale normal faulting and landsliding.

riscontrato nelle rocce duttili e rigide, dove le anisotropie strutturali au-

mentano sensibilmente lo spessore dell'orizzonte d'alterazione.

Un altro caso caratteristico, meno frequente del precedente e ricorrente soprattutto nei terreni coesivi e coesivi teneri, è rappresentato da fasce di fratturazione indotte da faglie normali e trascorrenti coincidenti con l'asta vall-

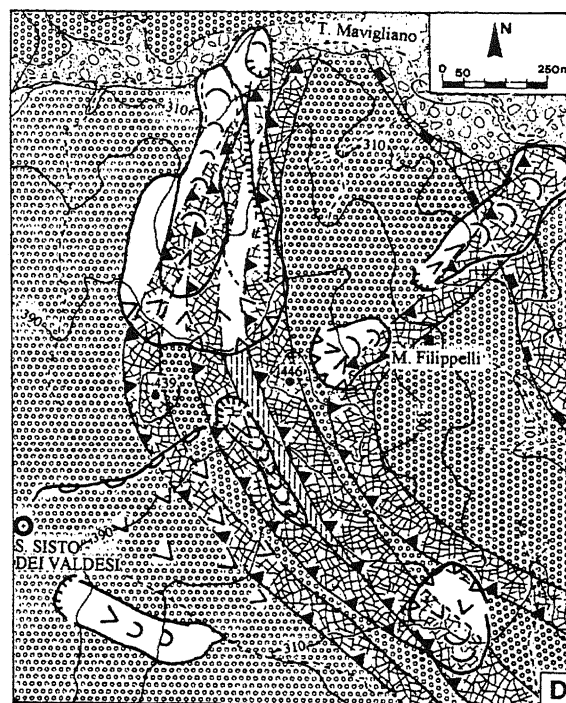


Fig. 7 - Caso D: rapporti tra fasce di fratturazione indotte da thrust e fenomeni franosi ad andamento parallelo rispetto alla direzione del piano di thrust.

Case D: relationships between deformation bands linked to thrusting and landsliding movements parallel to the thrust plane direction.

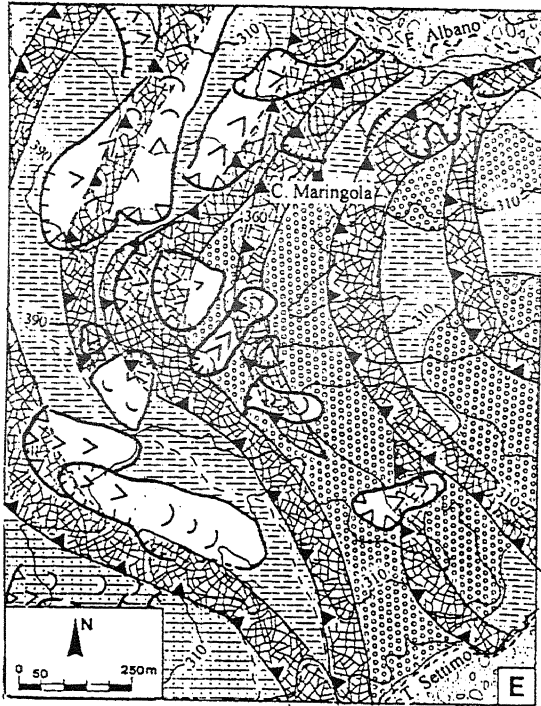


Fig. 8 - Caso E: rapporti tra fasce di fratturazione indotte da thrust e fenomeni franosi ad andamento trasversale rispetto alla direzione del piano di thrust.

Case E: relationships between jointing bands linked to thrusting and landsliding movements across the thrust plane direction.

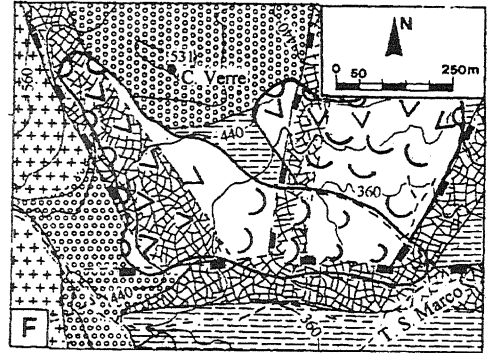


Fig. 9 - Caso F: rapporti tra fasce di fratturazione in situazioni geologico-strutturali complesse (intersezioni di faglie normali a differenti direzioni) e fenomeni franosi a sviluppo complesso.

Case F: relationships between jointing bands in complex geo-structural conditions (variously oriented normal fault intersection) and landsliding.

va, che presentano relazioni con il piede di raggruppamenti di frane (Fig. 5 - caso B). Nella figura è osservabile inoltre come il settore di distacco delle frane del versante meridionale dell'asta valliva in erosione, sia strettamente vincolato nel suo sviluppo dal complesso assetto strutturale (combinazione di faglie normale ed inversa).

Una situazione-tipo è caratteristica di fasce di deformazione particolarmente spesse, corrispondenti ad orizzonti di milonizzazione (argillificazione), che marciano i blocchi ribassati di faglie di importanza regionale. In

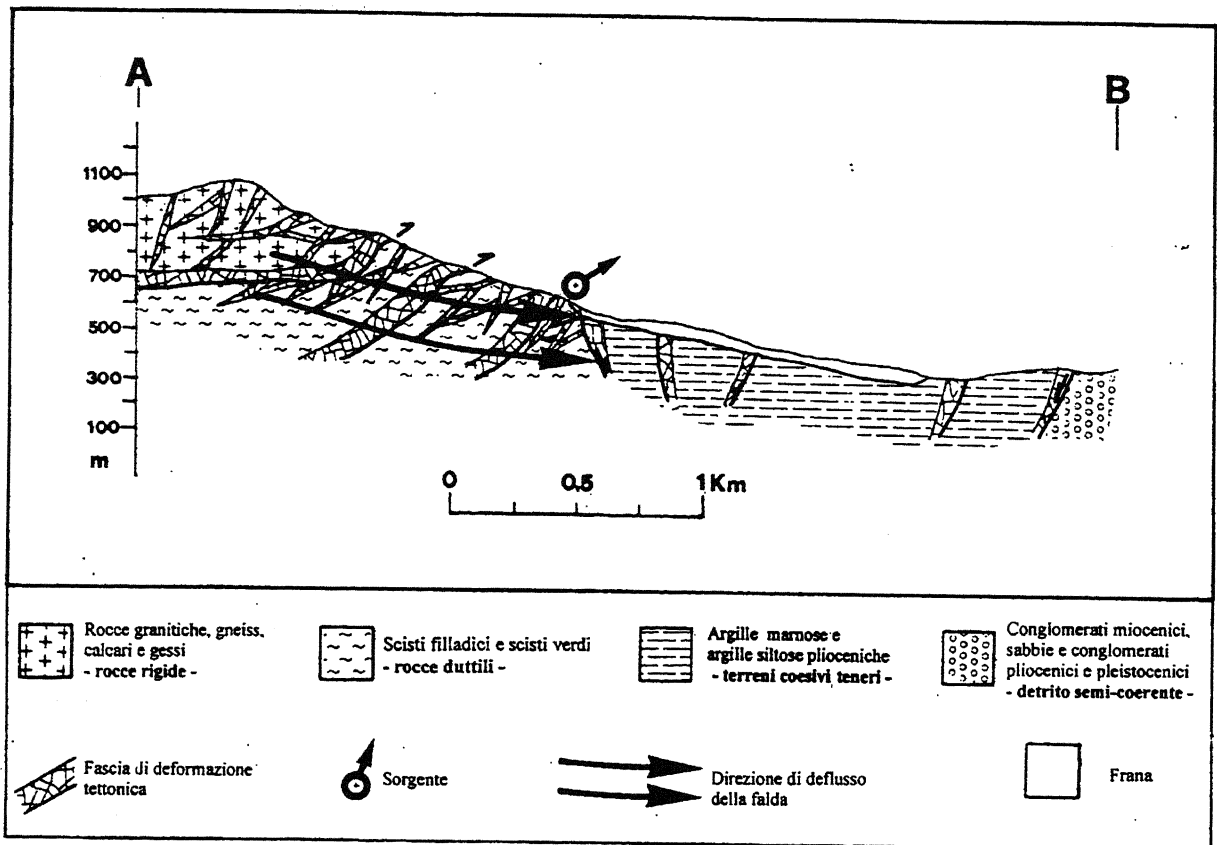


Fig. 10 - Sezione idrogeologica relativa alla traccia A-B di Fig. 2.
Hydrogeologic section along the A-B trace of Fig. 2.

questi casi i corpi di frana si allungano sensibilmente lungo tali fasce (Fig. 6 - caso C).

La porzione centrale dell'area di studio è caratterizzata da thrust orientati N-S con piani immergenti verso E che interessano il detrito semi-coerente (*thrust* intraformazionali) o giustappongono questo a terreni coesivi teneri. Lungo i *thrust* sono particolarmente diffusi fenomeni franosi di varia entità che si impostano lungo i fianchi delle strutture (frane parallele ai piani di sovrascorimento tettonico; vedi Fig. 7 - caso D).

Sono state anche riconosciute, in minori percentuali, frane che si allungano perpendicolarmente o obliquamente rispetto alle direzioni dei piani di *thrust*, con i settori di scorrimento e di trasporto interessati dalle fasce di fratturazione (Fig. 8 - caso E).

Laddove sono state riscontrate combinazioni di faglie normali e trascorrenti con diverse orientazioni, i fenomeni franosi risultano vincolati, nel movimento e nell'evoluzione, dai piani di faglia dei blocchi sollevati più integri. In questo caso tali superfici possono "guidare" sia l'ampliamento retrogressivo verso monte che lo sviluppo delle colate verso valle (Fig. 9 - caso F). Un caso attribuibile a questa situazione-tipo è quello già discusso a proposito della Figura 5.

Un'ultima situazione-tipo si è riscontrata lungo il bordo ribassato della faglia regionale N-S dell'*horst* della Catena Costiera (cfr. Cap. 1) nel tratto compreso tra Gesuiti e Vaccarizzo (2+2.5 km ad ovest dell'allineamento S. Vincenzo La Costa - S. Sisto dei Valdesi - Montalto Uffugo. Fig. 2), lungo cui si sviluppano aree in frana su settori molto ampi. Ciò è causato dalla sensibile presenza di acqua sotterranea proveniente dagli acquiferi della Catena Costiera su cui è sovrainposta, lungo la suddetta faglia, una soglia di permeabilità rappresentata dai depositi postorogeni a minore trasmissività idraulica (Fig. 10).

In conclusione, si può affermare che dato l'alto grado d'associazione tra le strutture tettoniche e i fenomeni franosi, la distribuzione territoriale delle strutture tettoniche può essere considerato come un indicatore preliminare della distribuzione dei fenomeni franosi (franosità potenziale), e viceversa.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il dott. F. Fragale per l'aiuto prezioso fornito nella realizzazione delle figure.

BIBLIOGRAFIA

- Amodio-Morelli L., G. Bonardi, V. Colonna, D. Dietrich, G. Giunta, F. Ippolito, V. Liguori, S. Lorenzoni, A. Paglionico, V. Perrone, G. Piccarreta, M. Russo, P. Scandone, E. Zanettin-Lorenzoni & A. Zuppetta, 1976 - *L'Arco Calabro-Peloritano nell'orogene appennino-maghrebide*. Mem. Soc. Geol. It., **17**, 1-60.
- Carrara A., M. Sorriso-Valvo & C. Reali, 1982 - *Analysis of landslide form and incidence by statistical techniques, Southern Italy*. Catena, **9**, 35-62.
- Colonna V. & R. Compagnoni, 1982 - *Guida all'escursione sulle unità cristalline della Catena Costiera (Calabria)*. Rend. Soc. It. Min. Petr., **38**, 1141-1152.
- Lanzafame G. & G. G. Zuffa, 1976 - *Geologia e petrografia del Foglio di Bisignano (bacino del F. Crati, Calabria)*. Geologica Romana, **15**, 223-270.
- Matano F. & C. Tansi, 1994 - *Influenza delle strutture tettoniche sul profilo d'alterazione e sulla franosità negli gneiss dell'area di San Pietro in Guarano (Calabria Settentrionale)*. Geologica Romana, **30**, 361-370.
- Philip H. & L. Tortorici, 1980 - *Tectonique superposée dans les sédiments Miocène supérieur à Pléistocène de la Calabre centrale et septentrionale (Italie méridionale)*. C. R. somm. Soc. Geol. Fr., **5**, 191-194.
- Sorriso-Valvo M., Agnesi V., Gullà G., Merenda L., Antronico L., Di Maggio C., Filice E., Petrucci O., & Tansi C., 1994 - *Temporal and spatial occurrence of landsliding and correlation with precipitation time series in Montalto Uffugo (Calabria) and Imera (Sicilia) areas*. In: J. C. Flageolet, D. Brunnsden and M. L. Ibsen (eds.), *Final Report*, Progr. EPOCH, Contract 90 0025.
- Tortorici L., C. Monaco, C. Tansi & O. Cocina, 1995 - *Recent and active tectonics in the Calabrian arc (Southern Italy)*. Tectonophysics, **243**, 37-55.
- Vames 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.

Ms. ricevuto : 25 maggio 1996
 Inviato all'A. per la revisione: 4 giugno 1996
 Testo definitivo ricevuto : 28 giugno 1996
 Ms received: May 25, 1996
 Sent to the A. for a revision: June 4, 1996
 Final text received: June 28, 1996