

MAURO CARDINALI (*), MIRCO GALLI (**), FAUSTO GUZZETTI (*),
PAOLA REICHENBACH (*) & GIANNI BORRI (**)

RELAZIONI FRA MOVIMENTI DI VERSANTE E FENOMENI TETTONICI NEL BACINO DEL TORRENTE CARPINA (UMBRIA SETTENTRIONALE)

ABSTRACT: CARDINALI M., GALLI M., GUZZETTI F., REICHENBACH P., & BORRI G., *Relationships between mass-movements and tectonic setting in the Carpina basin (Northern Umbria)*. (IT ISSN 0391-9838, 1994).

A research project aimed at establishing the relationships between the geological and structural setting and the distribution of slope movements has been carried out in the Carpina basin, located in the northern sector of the Umbria region (Central Italy). The area is typical of the terrigenous Apennines of Central Italy, and was chosen for its geological and tectonic features as well as for the abundance and variety of slope movements. A 3500 m thick sequence of marl and shale, with interbedded sandstone and calcarenite, of Miocene age outcrops in the area. For the 67,22 km² basin we prepared a detailed structural-geological map at 1:10,000 scale, a land-use map, and a detailed landslide inventory map, through the interpretation of aerial photographs of different vintages and extensive field surveys.

The relationships between the lithologic and structural setting and the distribution of slope movements were studied. The presence of weak lithological layers; the attitude of planar and continuous bedding planes dipping towards the free-face of slope; the presence of unfavourable hydrogeological conditions; and the occurrence of normal faults were identified as the most important factors controlling the distribution of slope movements in the area. According to movement typology, landslides were classified into three groups: surficial movements, on soil and marl; deep-seated recent and old, mostly translative, slides; and deep-seated ancient slides in bedrock. According to the local tectonic setting four groups of landslides were identified: failures along slopes of the monocline valleys, where bedding dips either into or out of the slope; failures along slopes of the valleys cut perpendicularly to the monocline; failures along the thrust zones; and failures related to the presence of normal faults. Each group of mass-movements refers to a characteristic tectonic setting, inherited from the compressive deformations of Mio-Pliocene age, or from the extensional movements of Pliocene to Holocene age. Generally, slope movements were found to be the result of more than a single cause.

The relationships between the different lithological units outcropping in the area, the structural domains, each representing different tectonic setting, the land-use classes and the spatial distribution of landslides are also presented and discussed. For each theme classes more and less prone to failures are identified, both in absolute terms, computing the total landslide area, and in relative terms, computing the percentage of landslide area within each class. Lastly, a scheme of the tectonic and geomorphologic evolution of the area from the Pliocene to present is given, and the relationships between tectonic features and slope movements are briefly outlined.

KEY WORDS: Landslides, Tectonics, Morphology, Marnoso Arenacea Formation, Umbria, (Italy).

RIASSUNTO: CARDINALI M., GALLI M., GUZZETTI F., REICHENBACH P., & BORRI G., *Relazioni fra movimenti di versante e fenomeni tettonici nel bacino del Torrente Carpina (Umbria settentrionale)*. (IT ISSN 0391-9838, 1994).

Il bacino del Torrente Carpina, in Umbria settentrionale, è stato scelto per le sue caratteristiche geologico-strutturali e per l'abbondanza e la varietà dei movimenti di versante, per uno studio sull'influenza esercitata dalla struttura geologica sulla tipologia e la distribuzione spaziale dei dissesti nell'appennino terrigeno umbro.

Per l'area, che ha un'estensione di 67,22 km², sono state realizzate: una carta geologico-strutturale, attraverso un rilevamento di campagna a scala 1:10.000; una carta dell'uso del suolo ed una carta inventario dei movimenti franosi, attraverso l'interpretazione di fotografie aeree a diverse scale e ad estesi controlli in campagna. Dal confronto fra queste cartografie è emerso come i fattori strutturali e morfologici che maggiormente predispongono l'innescio e lo sviluppo dei dissesti sono: la presenza di formazioni complesse dalle scadenti caratteristiche geomeccaniche, l'andamento a franapoggio di livelli competenti che costituiscono discontinuità planari e continue all'interno dei versanti, le sfavorevoli condizioni idrogeologiche dovute all'alternanza di livelli a diversa permeabilità, e la presenza di faglie.

In base alla tipologia del movimento i dissesti sono stati classificati come: movimenti superficiali, di tipo colata o scorrimento colata; movimenti profondi recenti ed antichi, di tipo scorrimento, o scorrimento-colata; e movimenti profondi molto antichi, costituiti da scorrimenti generalmente traslativi. In base alle caratteristiche strutturali sono stati individuati 4 gruppi di dissesti: frane sviluppate lungo i versanti delle valli monoclinali in condizioni strutturali a franapoggio od a reggipoggio; frane lungo i versanti delle valli cataclinali ed anaclinali; frane nelle zone di fronte di sovrascorrimento; e frane legate alla presenza di faglie dirette. Ciascun gruppo di movimenti è in relazione ad un assetto strutturale caratteristico, ereditato dalle deformazioni compressive miocenico-pleioceniche, o generato dalle successive dislocazioni distensive pliocenico-quadernarie. I movimenti di versante non sono comunque mai riconducibili ad un singola causa, ma sono più spesso il risultato della complessa interazione di più fattori.

(*) CNR-IRPI, Perugia, Italia.

(**) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Perugia.

La ricerca è stata svolta con fondi CNR-GNDICI U.O. 3.1 (Resp. F. Melone) e con fondi CNR-IRPI, attività ordinaria (Ricerca 2, Resp. F. Guzzetti).

Gli Autori ringraziano A. Negri (Università di Bologna) e L. Brozzetti (Università di Perugia) per le analisi micro-paleontologiche; G.P. Piali e C. Cattuto (Università di Perugia) per i suggerimenti e la guida durante il rilevamento; A. Carava (CNR-CIOC di Bologna) e M. Marchetti (Università di Modena) per la lettura critica del manoscritto; l'Amministrazione Comunale di Pietralunga per il supporto logistico durante il rilevamento.

Nel corso del lavoro vengono anche valutate quantitativamente le relazioni fra le diverse unità litologico-tecniche affioranti nel bacino, i domini strutturali caratteristici di condizioni tettoniche differenti, e le unità di uso del suolo, con la distribuzione spaziale dei dissesti. Per ogni tematismo vengono individuate le classi più e meno franose, sia in termini assoluti, ovvero di area totale coperta da dissesti, sia in termini relativi, come percentuale di area in frana rispetto all'intero territorio. Al termine del lavoro viene discusso uno schema generale per l'evoluzione geomorfologica dell'area a partire dal Pliocene, in cui si evidenzia come i processi morfologici attualmente prevalenti sono quelli legati allo sviluppo ed all'evoluzione dei movimenti di massa.

TERMINI CHIAVE: Frane, Tettonica, Morfologia, Formazione Marnoso Arenacea, Umbria.

INTRODUZIONE

Questo studio prende in considerazione il medio ed alto bacino del Torrente Carpina, affluente in sinistra del F. Tevere, localizzato in Umbria settentrionale, e ritenuto rappresentativo dal punto di vista geologico e geomorfologico dell'appennino terrigeno umbro. L'area di studio, che si estende per 67,22 km², è delimitata a N dal bacino del F. Metauro che drena nel Mare Adriatico, ad W dai bacini dei Torrenti Soara e Lana affluenti in sinistra del F. Tevere, e ad E dal Torrente Carpinella con il quale il Carpina condivide lo spartiacque Sud-orientale (fig. 1).

Lo scopo del lavoro è analizzare le complesse relazioni esistenti fra l'evoluzione geo-morfologica ed i fenomeni tettonici, per stabilire quanto e come l'assetto strutturale

abbia condizionato la localizzazione e la tipologia dei movimenti di versante, in un'area campione il cui contesto geologico generale è sufficientemente conosciuto.

Il bacino del T. Carpina si presta a tale scopo per la contemporanea presenza di litologie caratteristiche del complesso terrigeno, in maggioranza di natura marnoso-argillosa ed in minore quantità di natura arenitica, calcarenitica od a struttura caotica; come pure di strutture tettoniche rappresentative dei diversi eventi deformativi succedutisi nella regione: l'anticlinale sovrascorsa di Madonna dei Cinque Faggi-M. Macinare, il sistema di faglie dirette di M. Frontano, probabile continuazione della struttura distensiva di Gubbio, e le estese monoclinali di Pagialla e di S. Andrea in Confofano. Nell'area sono infine rappresentati numerosi e significativi esempi di diverse tipologie di movimenti di versante, caratterizzati da geometrie e da meccanismi evolutivi tipici del complesso terrigeno umbro-marchigiano (GUZZETTI & CARDINALI, 1989; ANTONINI & *alii*, 1993).

Il lavoro è stato condotto integrando studi e metodologie tipiche tanto della geomorfologia come della geologia strutturale. Il rilevamento di campagna e lo studio sistematico delle fotografie aeree, disponibili per diverse età ed a diverse scale, hanno rappresentato gli strumenti base di raccolta dei dati. In particolare sono state realizzate una carta geologica (fig. 3), una carta dell'uso del suolo (fig. 4), ed una carta inventario dei fenomeni franosi (fig. 5).

La carta geologica è stata ottenuta sulla base di un rilevamento di dettaglio a scala 1:10.000, anche effettuando sezioni stratigrafiche in diverse aree del bacino. La correlazione tra le sezioni è stata eseguita sia su basi stratimetriche, basandosi sulla continuità geometrica di livelli *marker* di arenarie e calcareniti, sia grazie a determinazioni biostratigrafiche ottenute attraverso la datazione della fauna a nanofossili (A. NEGRI, comun. personale). La carta dell'uso del suolo è stata ottenuta aggiornando, attraverso l'interpretazione delle fotografie aeree a colori a scala 1:13.000 ca. ed a controlli di campagna, la «Carta dell'Uso del Suolo», a scala 1:10.000, realizzata dalla Regione dell'Umbria (1977) per tutto il territorio regionale.

La carta inventario dei dissesti infine è stata preparata attraverso l'analisi interpretativa di fotografie aeree in bianco e nero, a scala 1:33.000 ca. (Volo IGMI, 1954-56), ed a colori, a scala 1:13.000 ca. (REGIONE DELL'UMBRIA, 1985) integrata da estesi controlli in campagna. I dissesti sono stati classificati in base alla tipologia del movimento (VARNES, 1978; CARRARA & *alii*, 1985). Sono stati inoltre stimati il grado di attività e l'età relativa presunta dei dissesti, nonché la loro profondità ed il tipo di materiale coinvolto. Per un numero limitato di eventi (2%) è stato possibile raccogliere informazioni sulla data di occorrenza dei fenomeni.

Particolare attenzione è stata dedicata alle metodologie di elaborazione e rappresentazione automatica dei dati, sia geologici che geomorfologici. Sono state utilizzate tecniche di cartografia automatica, sistemi informativi geografici, tecniche di *map analysis* e di analisi automatica della topografia (BURROUGH, 1988; ARONOFF, 1989; DAVIS, 1986). L'utilizzo di queste tecniche, se in una prima fase ha richiesto un tempo notevole per la digitalizzazione, la codifica e la verifica dei dati, si è rivelato estremamente utile durante la fase di analisi ed elaborazione.

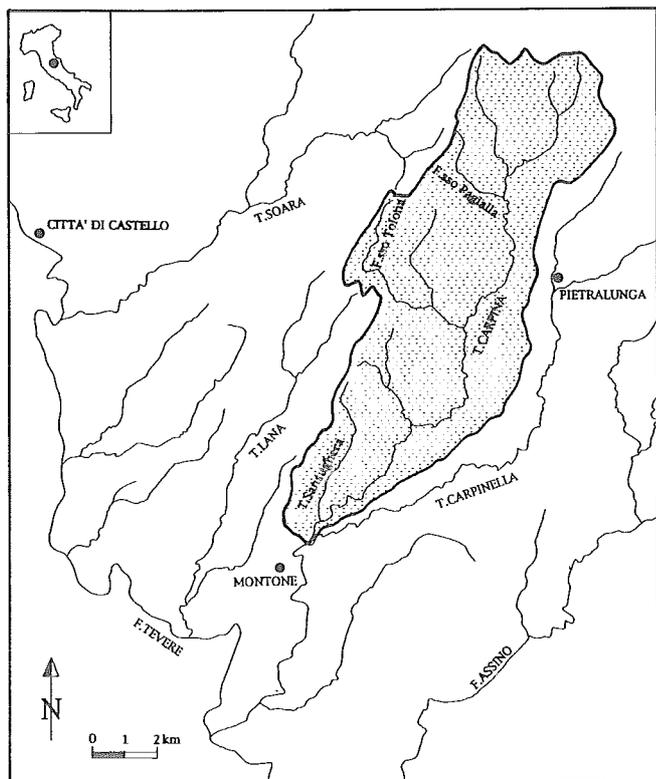


FIG. 1 - Localizzazione dell'area di studio.

FIG. 1 - Location of the study area.

ASSETTO DELL'AREA

Stratigrafia

Nel bacino del T. Carpina affiorano i termini terrigeni della successione umbro-marchigiana costituiti in prevalenza dalla Formazione della Marnoso-Arenacea (Miocene Medio) (DAMIANI & *alii*, 1983) ed in minor parte dalla Formazione dello Schlier (Burdigaliano) (fig. 2). Lungo i fondovalle affiorano depositi recenti, prevalentemente colluvioni ed alluvioni a luoghi terrazzate del T. Carpina.

La Formazione dello Schlier affiora esclusivamente nel settore meridionale del bacino, in un piccolo lembo (0,15% dell'area) localizzato nella parte sommitale del M. Cucco (fig. 3). Essa affiora per poco meno di 50 metri di spessore ed è caratterizzata da materiali a grana fine (peliti), litologicamente omogenei. Si tratta di alternanze di marne silteose ed argille marnose di colore grigio, sottilmente stratificate ed intensamente fratturate. A luoghi la stratificazione è indistinta.

La Formazione della Marnoso-Arenacea umbra, che copre il 99,85% del bacino, è costituita da un'alternanza irregolare di marne, arenarie e calcareniti, con inclusi olistostromi costituiti da argille e marne policrome ed in minor misura da calcari di piattaforma ed ofioliti (DAMIANI & PANNUZZI, 1986). A causa delle numerose faglie presenti nell'area, sia dirette che inverse, non è stato possibile definire una sezione stratigrafica completa. Sono però stati misurati 13 *logs* stratigrafici, prevalentemente in destra idrografica del bacino (fig. 2 e fig. 3). Grazie ai *logs* stratigrafici, alle sezioni geologiche di dettaglio, ed a considerazioni stratimetriche è possibile affermare che la successione stratigrafica affiorante nell'area ha uno spessore di almeno 3500 metri.

Il tratto inferiore della successione, che affiora nel settore centro settentrionale del bacino, dallo spartiacque settentrionale sino all'olistostroma di Pieve dei Saggi, ha un'età compresa fra il Langhiano ed il Serravalliano Medio, e copre il 72,00% del bacino. La successione, di circa 2700 metri di spessore, è costituita da marne e peliti di colore grigio o bruno con intercalazioni, in percentuale variabile, di arenarie e calcareniti di spessore compreso fra 30 cm e 3 m. Nella successione stratigrafica sono presenti due episodi arenitici di oltre 5 metri di spessore (livelli «Contessa» e «Contessina» secondo PIALLI & RICCI LUCCHI, 1973). Le arenarie e le calcareniti più potenti, utilizzate come orizzonti di riferimento stratimetrico (livelli *marker*), ove possibile sono state cartografate per tutta la loro estensione, utilizzando sia il rilevamento di campagna e le sezioni geologiche di dettaglio, sia l'interpretazione fotogeologica.

Il tratto superiore della successione, al di sopra dell'olistostroma di Pieve dei Saggi, ha un'età stimata al Serravalliano superiore, e si estende per il 27,85% dell'area oggetto di studio, prevalentemente nel settore meridionale del bacino. La successione stratigrafica, con una potenza stimata di circa 800 metri, è costituita in prevalenza da marne di colore grigio-nocciola alle quali si alternano, in rapida successione, arenarie in strati e banconi di spessore variabile da qualche decina di centimetri a qualche metro, con alcuni episodi arenitici di spessore superiore ai 5 metri.

L'olistostroma, la cui messa in posto è stimata al Serra-

valliano Medio, affiora nel settore centrale del bacino, comprendo un'area di 2,94 km² (4,37% del totale). Si estende dallo spartiacque occidentale con il Torrente Lana, passando per l'abitato di Pieve dei Saggi, fino allo spartiacque sud-occidentale con il Torrente Carpinella. Il corpo alloctono è costituito in prevalenza da argille, dai colori cangianti dal rosso violaceo al verde («argille varicolori») con inclusioni, anche di notevoli dimensioni, di calcari organogeni, di calcari micritici e di sequenze ofiolitiche. La struttura dell'ammasso è caotica e priva di stratificazione evidente o continua.

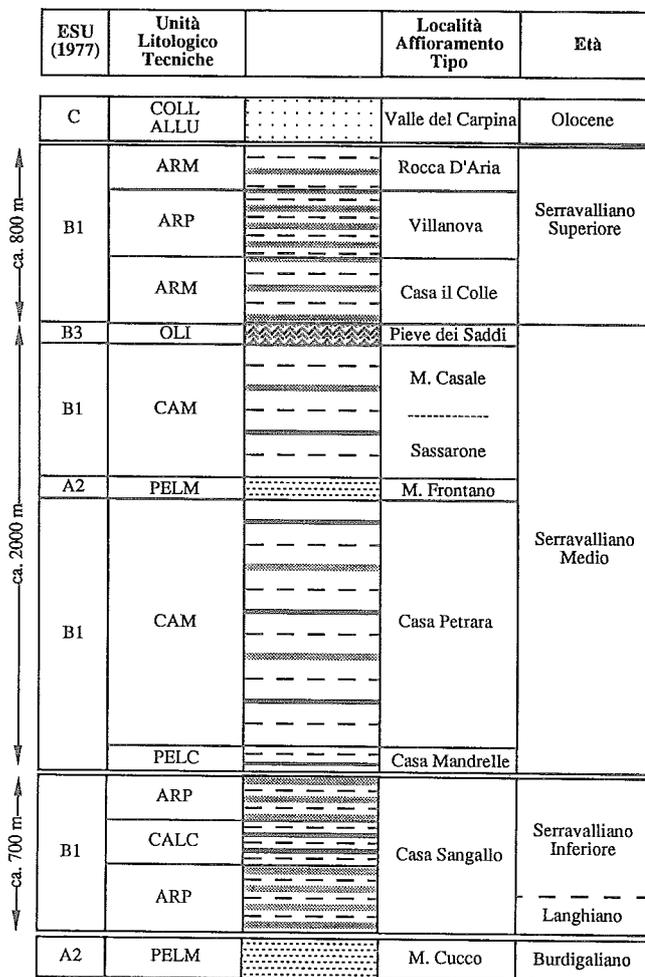


Fig. 2 - Serie litologico-stratigrafica del bacino del T. Carpina. Sono indicate accanto alle unità litologico-tecniche, le età stimate e le località principali di affioramento. È anche indicata l'appartenenza delle unità litologico-tecniche alle classi strutturali di Esu (1977).

Fig. 2 - Lithological and stratigraphic sequence. The extent of the litho-technical units, their estimated age, and the location of main outcrops are given. Reference to the classification of the complex lithological formations (Esu, 1977) is also given.

no di classe A2. L'unità dell'olistostroma (OLI), un ammasso roccioso a struttura caotica, è invece attribuibile alla classe B3. Infine, alluvioni e colluvioni, mescolanze di materiali sciolti eterogenei, sono classificabili come terreni della classe C.

La presenza della componente lapidea (arenarie o calcareniti) conferisce all'ammasso roccioso un comportamento geomeccanico sensibilmente diverso da quello della sola matrice marnosa (URCIUOLI, 1990). L'abbondanza relativa e la giacitura rispetto all'assetto del pendio dei livelli competenti controlla sia l'evoluzione morfologica (ESU, 1977) che il regime idraulico sotterraneo dei versanti. Come verrà illustrato successivamente, questi fattori condizionano sensibilmente sia la distribuzione spaziale e l'abbondanza che la tipologia e l'evoluzione dei movimenti franosi presenti nell'area.

Tettonica

L'attuale assetto strutturale dell'Appennino umbromarchigiano e dell'Appennino umbro è il risultato di due fasi tettoniche principali. La prima, compressiva (Miocene Superiore-Pliocene Inferiore), ha dato luogo alle strutture plicative, ai sovrascorrimenti ed ai sistemi di faglie subverticali a prevalente carattere trascorrente. La seconda, distensiva (Pliocene Superiore-Attuale), ha dislocato le precedenti strutture con faglie dirette, dando origine a blocchi rialzati (*horst*) e ribassati (*graben*).

Nel bacino del T. Carpina (fig. 5 B) alla prima fase compressiva sono riferibili: la struttura monoclinale che si sviluppa in direzione SW-NE per gran parte del tratto occidentale del bacino; i sovrascorrimenti posti presso lo spartiacque settentrionale e nella parte più meridionale del bacino; ed il sistema di faglie trascorrenti di direzione NNE-SSW presente lungo il corso principale del T. Carpina. La tettonica distensiva ha prodotto sistemi di faglie dirette, con direzione prevalente NW-SE, con rigetti stratigrafici variabili da pochi metri a circa 120 m. I rigetti massimi si riscontrano nel settore meridionale dell'area, in prossimità della faglia bordiera del bacino tiberino (SERV. GEOL. IT., 1969).

Procedendo da SW verso NE, ovvero risalendo il bacino, si incontrano le seguenti strutture tettoniche: i fronti di sovrascorrimento del Sassarone, disposto in senso meridiano che accavalla la Formazione dello Schlier sulla Marnoso Arenacea, e di M. Cucco, disposto in direzione appenninica e separato dal precedente dall'anticlinale di Tre Ponti; la struttura monoclinale meridionale, comprendente anche l'olistostroma di Pieve dei Saggi, che immerge verso SW con un'inclinazione compresa fra 10° e 35°; la struttura distensiva di M. Frontano, caratterizzata da due sistemi di faglie dirette immergenti a SW e NE con rigetti di qualche decina di metri (massimo 40 m); la struttura monoclinale settentrionale con immersione verso SW ed inclinazione compresa fra 10° e 20°; ed infine il fronte di sovrascorrimento di Madonna dei Cinque Faggi-M. Macinare, orientato in senso appenninico, che porta ad affiorare l'unità basale della Marnoso-Arenacea ricca in calcareniti con giaciture rovesce molto inclinate.

Domini strutturali

In base alle variazioni della giacitura dei piani di strato ed alla presenza dei principali sistemi di faglie, la zona studiata è stata suddivisa in 12 settori, o domini strutturali omogenei (BARCHI & *alii*, 1993) (fig. 5 A).

I domini da I a XI sono definiti sulla base delle deformazioni compressive, ovvero sono delimitati dai fronti di sovrascorrimento e dalle faglie subverticali a prevalente carattere trascorrente. In queste aree la tettonica distensiva ha prodotto faglie dirette, dal rigetto generalmente ridotto, che non hanno modificato in modo sostanziale l'assetto strutturale compressivo. La tettonica distensiva ha agito in maniera più significativa nella porzione centrale del bacino, in corrispondenza del dominio XII. Qui l'assetto suborizzontale della stratificazione e la presenza di un sistema di faglie dirette di direzione $N310 \pm 20$ definiscono la struttura ribassata di M. Frontano, probabile prosecuzione nord-occidentale del *graben* di Gubbio.

I domini I e II fanno parte della struttura compressiva settentrionale del M. Macinare. Il dominio I, compreso tra lo spartiacque nord-orientale ed il fronte di sovrascorrimento settentrionale, è caratterizzato da strati poco inclinati (10°-20°) con immersioni che da NE tendono, procedendo da S verso N, a ruotare gradualmente verso NW. Il dominio II, compreso tra il fronte settentrionale e la discontinuità di Madonna dei Cinque Faggi-M. Macinare, corrisponde al fianco rovescio della struttura sovrascorsa. La stratificazione, prevalentemente rovescia, ha immersioni verso SW ed inclinazioni comprese fra 50° e 90°. Strati diritti immergenti verso NE con debole inclinazione affiorano localmente in corrispondenza di mesopiege o di minori retroscorrimenti.

I domini III, IV, V e VI costituiscono la struttura monoclinale, caratterizzata, ad eccezione del dominio V, da strati immergenti verso SW che si estendono con continuità laterale anche per qualche chilometro, mantenendo inclinazioni generalmente basse. Il dominio III, che si estende dal limite meridionale del dominio II fino alla faglia diretta del Montaccio, è caratterizzato da immersione degli strati costante ($N220^\circ \pm 10^\circ$) e da inclinazioni basse (10°-20°) che a ridosso del dominio II aumentano progressivamente fino a raggiungere i 40°-60°. Il dominio IV si estende tra la faglia diretta del M. Frontano e l'affioramento dell'olistostroma ed è caratterizzato da strati poco inclinati (15°-30°) che immergono in prevalenza verso N230°. Il dominio V, l'olistostroma di Pieve dei Saggi, non è delimitato da discontinuità tettoniche ma si trova in successione stratigrafica con le litologie affioranti nei domini IV e VI. È caratterizzato dall'assoluta mancanza di stratificazione, sia nelle «argille varicolori» che negli elementi litoidi esotici in esso contenuti. Il dominio VI si estende dall'olistostroma fino al limite della struttura compressiva meridionale. Gli strati hanno immersione costante verso SW ($N240^\circ \pm 25^\circ$) ed inclinazione generalmente modesta (12°-25°).

I domini VII ed VIII fanno parte della struttura compressiva meridionale che, pur occupando una zona limitata del bacino, è contraddistinta dalla presenza dei due fronti di accavallamento del Sassarone e di M. Cucco. Il dominio VII, compreso tra i due fronti di sovrascorrimento, com-

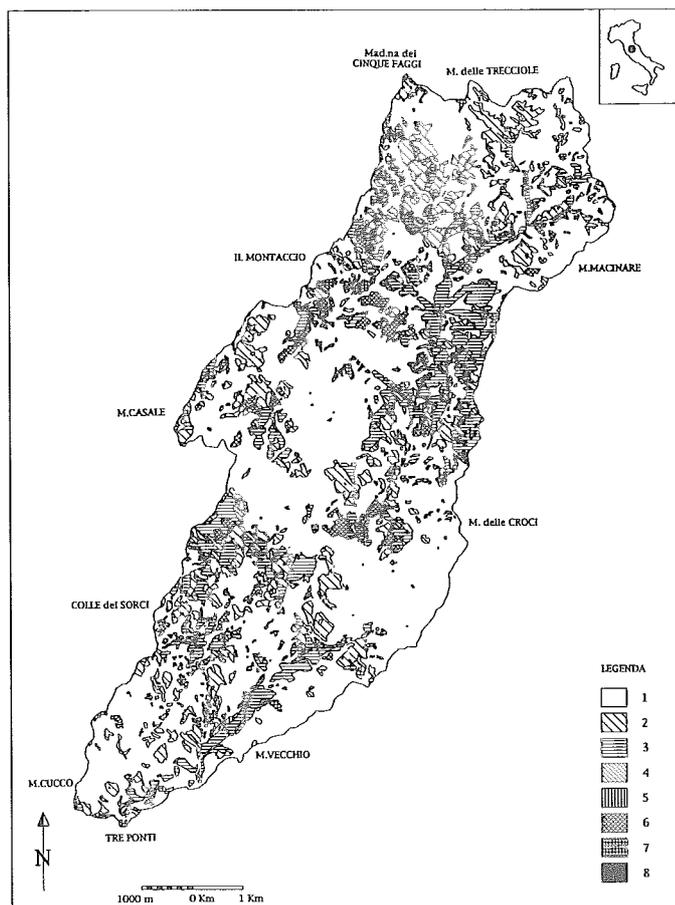


FIG. 4 - Carta dell'uso del suolo del bacino del T. Carpina. Legenda: 1. Bosco, 2. Prato pascolo, 3. Seminativo semplice, 4. Seminativo arborato, 5. Arborato, 6. Inculto, 7. Denudato, 8. Edificato.

FIG. 4 - Land use map. Legend. 1. Forest, 2. Pasture, 3. Cultivated area, 4. Specialised cultivated area, 5. Olive trees, 6. Abandoned area, 7. Barren area, 8. Dwellings.

prende l'anticlinale di Tre Ponti caratterizzata da strati generalmente molto inclinati (50° - 85°), con immersioni che da SW tendono, procedendo da S verso N, a disperdersi verso NE e NW. Il dominio VIII, compreso solo marginalmente all'interno dell'area di studio, è caratterizzato da strati, sia dritti che rovesci, immergenti verso SW con inclinazioni oscillanti tra i 20° ed i 40° .

I domini IX, X e XI si estendono lungo una fascia stretta ed allungata in direzione meridiana al margine orientale del bacino. Sono caratterizzati da immersioni assai variabili e dalla presenza di faglie dirette minori, con rigetto verticale limitato a poche decine di metri. Il dominio IX, il più esteso, è costituito da strati immergenti a SE con inclinazioni modeste (10° - 20°). Il dominio X, poco esteso, è delimitato a N e S da faglie dirette ed è caratterizzato da strati immergenti a NE, con inclinazioni com-

prese fra 10° e 15° . Il dominio XI pur essendo interessato da sistemi di faglie dirette, è caratterizzato da un assetto giaciturale costante con immersione verso W e con inclinazioni comprese tra 18° e 30° .

Il dominio XII, infine, corrisponde a gran parte della zona ribassata del *graben* di M. Frontano. È caratterizzato da strati suborizzontali (0° - 8°) immergenti verso W e NW. Solo in prossimità della faglia diretta settentrionale, per effetto di scorrimenti e trascinali locali, l'inclinazione degli strati aumenta fino a raggiungere i 20° .

Morfologia

Il bacino del T. Carpina, di forma stretta ed allungata in direzione NE-SW, si sviluppa per una lunghezza di circa 17,7 km ed una larghezza massima di 5,5 km, che decresce con gradualità fino alla confluenza con il T. Carpinella in località Tre Ponti. Il paesaggio è caratterizzato da rilievi continui ed allungati dalle sommità strette, separati da valli poco profonde dal profilo trasversale localmente asimmetrico.

Le cime più elevate, localizzate nel settore settentrionale del bacino, superano di poco gli 800 metri di quota (M. Castellaccio, 886; M. delle Trecciole, 860; M. Castellaccio, 839; Madonna dei Cinque Faggi, 811). Procedendo da NE verso SW le quote dei rilievi decrescono gradualmente fino a raggiungere i 568 metri del M. Cucco, situato a ridosso dell'abitato di Montone. I crinali, mediamente più elevati lungo lo spartiacque occidentale, separano i fondovalle con quote comprese fra i 600 ed i 300 metri s.l.m. La differenza di quota tra gli spartiacque e le valli («rilievo relativo») è dell'ordine di 250 metri.

L'organizzazione del reticolo idrografico è largamente controllata dall'assetto strutturale. Il corso principale del T. Carpina scorre in senso antiappenninico lungo una discontinuità tettonica orientata N30-210 ed è caratterizzato, nella parte medio-alta da un andamento di tipo ortogonale, con tratti disposti in direzione N-S e NE-SW, e nel tratto finale da un andamento rettilineo con direzione media NE-SW. Le aste sono generalmente rettilinee, ma assumono localmente andamenti sinuosi là dove attraversano alternanze di banconi resistenti e di livelli più erodibili (monoclinale di Pagiolla) od al piede di estesi movimenti franosi (Fosso Tolona). L'asta principale, del V ordine (STRAHLER, 1952), scorre addossata allo spartiacque orientale, determinando una marcata asimmetria sia nello sviluppo del reticolo idrografico che dei versanti. Gli affluenti in sinistra, tutti del I ordine, sono brevi (500-2000 m), dal profilo molto inclinato (9° - 17°) e scorrono fra loro paralleli, tra versanti corti ed acclivi. Gli affluenti in destra presentano le aste principali più lunghe (3000-6500 m) e profili longitudinali meno inclinati (4°).

L'assetto della stratificazione ed il rapporto percentuale tra i litotipi competenti (arenarie e calcareniti) e quelli incompetenti (marne) all'interno dei versanti hanno fortemente controllato l'evoluzione morfologica dei rilievi e delle valli, ovvero la morfoselezione del paesaggio.

Nel dominio II, dove gli strati competenti di calcareniti e marne sono subverticali o fortemente inclinati, i crinali, stretti ed allungati, seguono la direzione della stratificazione e coincidono con le testate dei banconi rigidi più poten-

ti. Per effetto dell'erosione differenziata, gli strati più resistenti emergono topograficamente anche di qualche metro, formando strutture tipo *hogback* che si seguono localmente lungo i versanti (Madonna dei Cinque Faggi, M. delle Treciole). Le valli, poco profonde, rettilinee e dai profili generalmente simmetrici, separano versanti corti ed acclivi, dal profilo rettilineo se disposti parallelamente all'andamento degli strati, o caratterizzati da displuvi stretti ed allungati e da impluvi profondi se disposti trasversalmente alla stratificazione.

Nella monoclinale settentrionale (domini III e IV) le valli di ordine superiore si sviluppano in direzione NW-SE parallelamente alla direzione degli strati, mentre quelle di ordine inferiore, anaclinale e cataclinale, sono disposte in senso NE-SW. La morfologia prevalente è costituita da *cuestas* dai versanti lunghi (400-700 m) e debolmente inclinati (10° - 20°) in corrispondenza degli strati a franapoggio («dorso»), e da versanti più brevi (300-400 m) e ripidi (20° - 35°) dove gli strati sono in giacitura a reggipoggio («fronte»). Il dorso delle *cuestas* presenta profili concavo-convessi in corrispondenza di estesi movimenti franosi (Podere Nuovo), e rettilinei dove affiorano le superfici di strato più resistenti all'erosione (Caivalentini). Nei litotipi marnosi, impermeabili e facilmente erodibili, sul dorso delle *cuestas* si sviluppano calanchi poco estesi, caratterizzati da piccole valli dai versanti molto acclivi. Il fronte delle *cuestas* ha un profilo rettilineo, localmente a gradini per effetto dell'emersione delle testate degli strati più competenti. Lungo il fronte si susseguono crinali stretti e rettilinei ed impluvi spesso colmi di depositi eluviali e coluviali che a luoghi si mobilitano dando luogo a piccole colate superficiali.

Diverso è l'assetto morfologico nel settore meridionale della monoclinale (dominio VI) dove i rilievi principali sono allungati in direzione NE-SW, ortogonali alla direzione della stratificazione. I rilievi presentano profili simmetrici, con creste arrotondate e versanti corti (100-150 m) e moderatamente acclivi (15° - 25°), lungo i quali sono frequenti gradonature dovute all'emersione di spessi banconi arenacei (fino a 5 m) che, debolmente inclinati, affiorano prevalentemente in giacitura a traversopoggio-franapoggio.

Nell'area occupata dall'olistostroma (dominio V), le «argille varicolori» danno luogo a rilievi arrotondati, dai versanti poco acclivi (5° - 15°), e dal profilo generalmente ondulato a causa dell'intensa attività franosa, prevalentemente di tipo superficiale. Le porzioni litoidi più competenti (calcarei organogeni, calcari micritici e sequenze ofiolitiche) formano rilievi isolati di limitata estensione areale, alti anche alcune decine di metri. I corsi d'acqua, ad andamento tortuoso, sono poco incisi. Fa eccezione l'area presso l'abitato di Pieve dei Saggi dove, per intensa erosione lineare, si sono generate profonde incisioni che hanno innescato scivolamenti di modeste dimensioni. Infine, là dove gli strati sono suborizzontali (dominio XII), la morfologia è caratterizzata da rilievi isolati dalle sommità piatte, separati da valli disposte in direzione NE-SW dai profili generalmente simmetrici, con versanti corti (400-500 m) e mediamente acclivi (15° - 25°).

Uso del suolo

Per comprendere le relazioni esistenti tra la distribuzione dei dissesti e l'utilizzazione del territorio è stata realizzata una carta dell'uso attuale del suolo (fig. 4). Nella ta-

bella 4 sono elencate le otto classi prese in considerazione e le corrispondenti estensioni areali espresse in chilometri quadrati ed in percentuale. Nella tabella sono anche riportate le percentuali di area in frana per ogni classe di uso del suolo.

Il bosco è presente lungo i rilievi, dove occupa con continuità versanti anche molto inclinati, lungo le valli più strette ed incise, come pure lungo le scarpate dei corsi d'acqua, ed è di gran lunga la classe più rappresentata (66,68%). Le aree boscate sono costituite per lo più da bosco ceduo e di alto fusto, e subordinatamente da estesi tratti di macchia mediterranea. In questa classe sono compresi anche i rimboschimenti impiantati a partire dagli anni settanta e costituiti in prevalenza da conifere.

Il prato-pascolo (13,88%) è presente sia lungo i crinali più ampi che lungo i versanti meno acclivi. Questa classe, costituita per lo più da vegetazione erbacea discontinua in cui non è possibile lo sfalcio, è rappresentata in appezzamenti di limitata estensione (6 ha di media) distribuiti uniformemente nel bacino e localizzati prevalentemente all'interno delle coperture boschive più estese.

Le aree coltivate a seminativo semplice (12,24%) sono presenti sia lungo i versanti, in appezzamenti poco estesi in prossimità dei centri abitati, sia lungo i tratti più ampi e pianeggianti dei fondovalle. Il seminativo arborato (0,80%) e l'arborato (0,31%) rappresentano piccoli appezzamenti di terreno localizzati in prossimità delle aree coltivate. Le colture che più frequentemente si osservano sono costituite da oliveti, vigneti e frutteti a diverso grado di specializzazione. Rispetto al rilevamento eseguito dalla Regione dell'Umbria (1977) il seminativo arborato e l'arborato hanno subito una riduzione areale di circa il 70% in meno di 15 anni, dovuta sia all'abbandono delle terre che alle mutate tecniche di coltivazione.

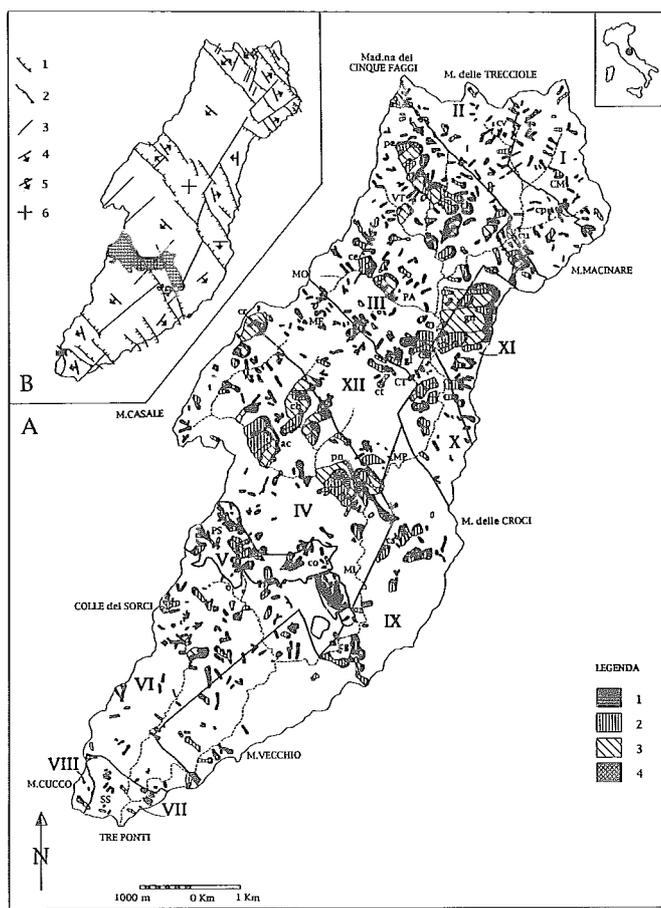
L'incolto (3,06%) è costituito da terreni un tempo coltivati ed oggi abbandonati alla crescita della vegetazione spontanea. Le aree denudate (2,53%) comprendono le superfici non coperte da vegetazione dove affiora la roccia in posto. Sono localizzate lungo i crinali, in corrispondenza delle testate degli strati, lungo i versanti dove affiorano i piani di strato, e localmente lungo le scarpate delle frane maggiori. Infine le aree edificate, che coprono lo 0,49% della superficie del bacino, sono costituite da piccoli centri abitati e da case rurali isolate, abbandonate e generalmente in rovina. Sono di preferenza localizzate sulle sommità dei rilievi o sulle pendici meno acclivi e meglio esposte.

Fenomeni franosi

Nell'area oggetto di studio sono stati cartografati numerosi fenomeni franosi di tipologia, dimensione ed origine assai varie (fig. 5 e tab. 1). I dissesti sono stati classificati in base alla tipologia del movimento, al grado di attività, all'età relativa, alla profondità ed al tipo di materiale coinvolto nel movimento (VARNES, 1978; CARRARA & alii, 1985). Le età dei movimenti, tranne che per un numero limitato di eventi (2%) per i quali è stato possibile risalire alla data di occorrenza del fenomeno, sono stimate e relative. La terminologia segue quella proposta da CARRARA & alii (1985) con la differenza che l'espressione «molto antico» è stata preferita ai termini «fossile» o «paleofrana».

FIG. 5 - Carta inventario dei movimenti franosi del bacino del T. Carpina. A) Distribuzione spaziale dei dissesti. Legenda: 1. Movimenti superficiali, 2. Movimenti profondi recenti ed antichi, 3. Movimenti profondi molto antichi, 4. Aree di corona. I numeri romani rappresentano i domini strutturali in cui è stata suddivisa l'area di studio (la definizione di tali domini è data nel testo). Le sigle di due lettere minuscole individuano i movimenti franosi citati nel testo: cg Casa Gaiano, co Col Celone, cs Casa Sanvenano, pn Podere Nuovo, gn Caignagni, gl Caiconsigli, cu Cai luca, cp Casa Pian del Pozzo, cv Casa Valtorbida, ce il Casale, cr Casa Serra, cb Casa Babiano, ac Sant'Andrea in Confornano, cl Casa Valcelle, pe Casa Petrarra, ct Croce Terzi. Le sigle di due lettere maiuscole individuano toponimi citati nel testo. ML Molino la Casella, MP Molino Col di Pinzo, CM Casa Mandrelle, PA Pagialla, MO il Montaccio, VT Cai Valentini, MF Monte Frontano, PS Pieve dei Saggi, SS Sassarone, CT Case Terzi. B) Carta strutturale. Legenda: 1. Faglia diretta, 2. Fronte di sovrascorrimento, 3. Faglia trascorrente, 4. Strati diritti, 5. Strati rovesci, 6. Strati suborizzontali. Con il tratteggio incrociato è indicato l'olistostroma di Pieve dei Saggi (fig. 3, A e B).

FIG. 5 - Landslide inventory map. A) Map of landslide distribution. Legend: 1. Surficial failures, 2. Recent to old, deep-seated slides, 3. Very old, deep-seated landslides, 4. Scarp area. Roman numbers indicate structural domains (see text for discussion). Lowercase letters indicate the location of landslides cited in the text: cg Casa Gaiano, co Col Celone, cs Casa Sanvenano, pn Podere Nuovo, gn Caignagni, gl Caiconsigli, cu Cai luca, cp Casa Pian del Pozzo, cv Casa Valtorbida, ce il Casale, cr Casa Serra, cb Casa Babiano, ac Sant'Andrea in Confornano, cl Casa Valcelle, pe Casa Petrarra, ct Croce Terzi. Uppercase letters indicate localities cited in the text. ML Molino la Casella, MP Molino Col di Pinzo, CM Casa Mandrelle, PA Pagialla, MO il Montaccio, VT Cai Valentini, MF Monte Frontano, PS Pieve dei Saggi, SS Sassarone, CT Case Terzi. B) Structural map. Legend: 1. Normal fault, 2. Thrust fault, 3. Trascorrent fault, 4. Normal bedding, 5. Overturned bedding, 6. Vertical bedding. The cross-hatched area indicates the Pieve dei Saggi Melange (fig. 3, A and B).



L'analisi delle caratteristiche tipologiche e geometriche dei dissesti ha permesso di individuare 3 gruppi di movimenti franosi:

- a) superficiali;
- b) profondi, antichi e recenti;
- c) profondi, molto antichi.

I movimenti superficiali sono classificabili in prevalenza come colate di terra (81%), e subordinatamente come scivolamenti traslativi o rotazionali (9%), localmente con componente di colata (10%). Le loro dimensioni sono ridotte (in media 0,5 ha), comprese fra qualche metro e qualche decina di metri di larghezza e/o lunghezza per le colate e gli scivolamenti, mentre superano le centinaia di metri di lunghezza per i movimenti complessi.

I fenomeni superficiali si innescano in occasione di eventi meteorologici estremi, prevalentemente come frane di neoformazione in versanti integri (82%) ed in minor misura come riattivazioni all'interno dei preesistenti corpi di frana maggiori (18%). Nel primo caso coinvolgono il suolo che raggiunge gli spessori maggiori in corrispondenza dei litotipi più argillosi, quali le intercalazioni argillose della Marnoso-Arenacea (Casa Pian del Pozzo e Casa Val Torbida) o le «argille varicolori» dell'olistostroma (il versante Sud-orientale di Col Celone). Nel secondo caso si impongono lungo le aree di scarpata, dove le pendenze sono più elevate (Casa Barbiano), od al piede delle grandi frane, dove è maggiore lo spessore della zona alterata (versante ad W di Pagialla, versante di Caignagni compreso tra Casanova

Tabella 1 - Abbondanza dei tre gruppi di movimenti franosi individuati nel bacino del Torrente Carpina.

Table 1 - Relative abundance of the three groups of landslides.

Movimenti	Numero				Area		
	Tot	%	Min [ha]	Max [ha]	Med [ha]	Tot [ha]	Tot [%]
Superficiali	722		0,05	3,82	0,08	135,11	
Colate	582	81	0,05	2,73	0,49	28,42	21,03
Scorrimenti	65	9	0,09	2,37	0,57	36,84	27,27
Scorrimenti-Colata	75	10	0,16	3,82	0,93	69,85	51,70
Profondi recenti ed antichi	259		0,06	13,84	2,35	609,39	
Colate	32	12	0,06	6,85	1,58	50,55	8,30
Scorrimenti	117	45	0,13	11,52	2,59	303,52	49,81
Scorrimenti-Colata	110	42	0,32	13,84	2,32	255,32	41,90
Profondi molto antichi	27		1,81	50,78	16,55	442,27	
Scorrimenti	23	85	4,81	50,78	18,34	421,71	95,35
Scorrimenti-Colata	4	15	1,81	8,43	6,25	20,56	4,65

e Molino di Cainardi). Nel complesso si tratta di frane vecchie e quiescenti, anche se non mancano riattivazioni (Cai-consigli) o dissesti di neoformazione recenti ed attivi (versante opposto al Colle dei Sorci, Novembre 1991).

I movimenti profondi, recenti ed antichi, hanno dimensioni comprese fra la decina ed il centinaio di metri di larghezza e/o lunghezza, ed area compresa fra 0,5 ha e circa 14 ha. Sono classificabili sia come scivolamenti (45%) che come movimenti complessi del tipo scorrimento-colata (42%), e più limitatamente come colate (12%). Gli scivolamenti presentano un rapporto lunghezza-larghezza vicino ad 1 (versante ad W di Pagialla) mentre i movimenti complessi hanno forma più stretta ed allungata, presentando localmente una forma lobata al piede (S. Andrea in Confomano, Casa Barbiano e Casa Petrarà). In generale si impostano lungo discontinuità strutturali, prevalentemente piani di strato in giacitura a franapoggio, e coinvolgono l'unità calcarenitico-arenitico-marnosa, là dove la componente argillosa prevale su quella lapidea. Si tratta in prevalenza di frane vecchie e quiescenti, anche se non mancano dissesti, o porzioni di dissesti, attivi (Casa Valcelle, novembre 1991).

I movimenti profondi molto antichi coinvolgono volumi considerevoli ed occupano estese porzioni di versante (in media 16 ha, fino ad un massimo di circa 50 ha). Si tratta di scivolamenti prevalentemente traslativi, localmente rotazionali nelle aree di testata, impostati in versanti con assetto giaciturale a franapoggio. La superficie di scivolamento è stimabile a profondità di 30-70 metri (fig. 6). I dissesti si presentano sia come corpi isolati, ben evidenziati da indizi morfologici quali il profilo concavo-convesso del versante, la deviazione del corso d'acqua, ed il restringimento della valle in corrispondenza del piede della frana (S. Andrea in Confomano e Casa Petrarà), sia in gruppi. Quest'ultimi si concentrano nei versanti più estesi e sono

il risultato di ripetute riattivazioni, sia profonde che superficiali (versante di Caignagni).

RELAZIONI TRA FRANOSITÀ ED ASSETTO DEL BACINO

Di particolare interesse per la comprensione dell'evoluzione geomorfologica dell'area oggetto di studio è l'analisi delle relazioni esistenti tra distribuzione ed evoluzione dei dissesti e l'assetto geologico-strutturale del bacino. Il confronto fra la carta geologica (fig. 3), la carta inventario dei movimenti franosi e la zonazione in domini strutturali (fig. 5), permette di stabilire come la distribuzione dei dissesti e la loro tipologia, siano fortemente controllate dalla struttura geologica. Le geometrie dei dissesti e le loro relazioni con la struttura geologica e litologica sono illustrate nelle sezioni geologiche di fig. 6.

Frane sviluppate all'interno della struttura monoclinale

A questo gruppo appartengono frane diverse per età, tipologia e dimensione. Le modalità di innesco e di evoluzione variano a seconda della localizzazione dei dissesti rispetto alla struttura monoclinale. È possibile individuare tre tipologie tipiche: i dissesti sviluppati lungo gli ampi versanti a franapoggio; i dissesti sviluppati lungo i più corti versanti a reggipoggio; ed i dissesti sviluppati lungo i versanti delle valli cataclinali ed anaclinali ad andamento NE-SW.

Lungo i versanti lunghi, ampi e poco acclivi con stratificazione a franapoggio come il pendio (fig. 6, sez. C-C'), si sono sviluppati estesi movimenti franosi come quelli di

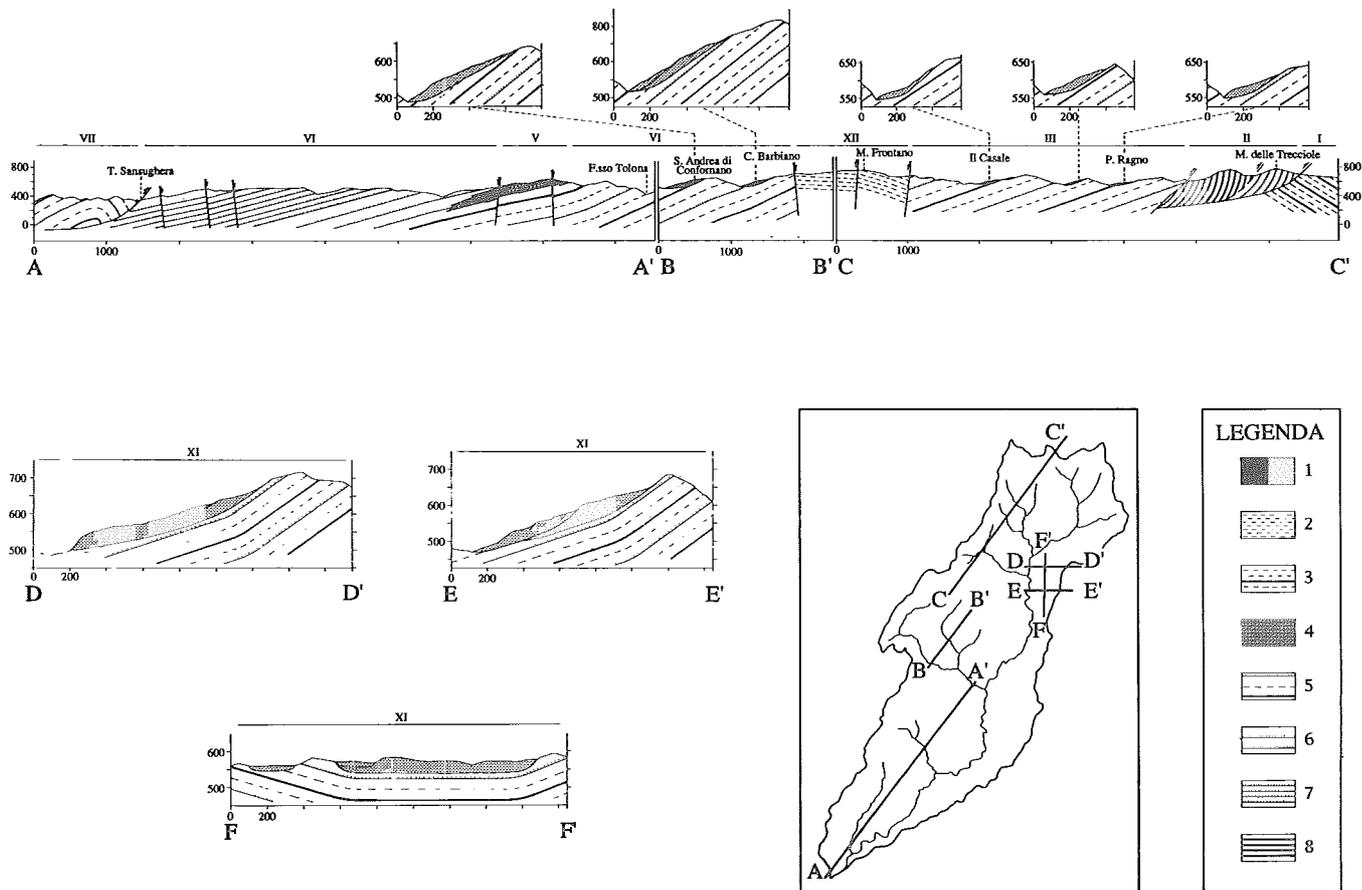


FIG. 6 - Sezioni geologiche attraverso il bacino del T. Carpina. Legenda: 1. Movimenti franosi, 2. Unità pelitico-marnosa (PELM), 3. Unità pelitico-calcarenitica (PELC), 4. Unità dell'olistostroma di Pieve dei Saggi (OLI), 5. Unità calcarenitico-arenitico-marnosa (CAM), 6. Unità arenitica con arenarie minori del 20% (ARM), 7. Unità arenitica con arenarie maggiori del 20% (ARP), 8. Unità calcarenitica (CALC). I numeri romani indicano i domini strutturali in cui è stata suddivisa l'area di studio (figura 5).

FIG. 6 - Geological cross-sections. Legend: 1. Landslide, 2. Marly unit (PELM), 3. Marly-calcarenitic unit (PELC), 4. Pieve dei Saggi Melange (OLI), 5. Calcarenitic-arenitic-marly unit (CAM), 6. Arenitic unit with less than 20% sandstone (ARM), 7. Arenitic unit with more than 20% sandstone (ARP), 8. Calcarenitic unit (CALC). Roman numbers indicate structural domains (figure 5).

Casa Petrarà e del Casale (fig. 5). Si tratta in generale di antichi scorrimenti o scorrimenti-colata, profondi, prevalentemente traslativi, che si sono mossi al di sopra dei livelli più potenti di arenarie e calcareniti. L'innescò dei movimenti è avvenuto per scalzamento al piede dei versanti. Quando l'erosione lineare lungo le valli monoclinali ha inciso le porzioni più marnose della successione stratigrafica, rimuovendo il sostegno alla base dei pendii, porzioni considerevoli di versante sono scivolate sul tetto dei livelli competenti di arenarie e calcareniti. Questi hanno svolto un duplice ruolo: da un lato, costituendo delle discontinuità planari, continue ed inclinate approssimativamente come il pendio, hanno favorito lo scivolamento; dall'altro hanno agito come livelli a maggior permeabilità che, intercalati a livelli prevalentemente argillosi, hanno consentito lo sviluppo di falde confinate al piede dei versanti, con la conseguente risalita della superficie piezometrica (ELMI & alii, 1993).

Lungo i versanti corti ed acclivi dove la stratificazione è a reggipoggio (fig. 6 sez. C-C') si sono sviluppate frane

di piccole dimensioni sia profonde che superficiali (versante opposto a Casa Petrarà). Questi movimenti si sono verificati all'interno dei litotipi più argillosi, prevalentemente a valle dei livelli competenti arenacei o calcarenitici. Il loro innescò è dovuto essenzialmente alla presenza di livelli più permeabili di arenarie e calcareniti che, consentendo la formazione di piccole falde sospese, alimentano i versanti sottostanti caratterizzati da successioni meno permeabili e dalle mediocri caratteristiche geotecniche. La presenza di terreni più permeabili (arenarie e calcareniti) sovrapposti a livelli meno permeabili (marne) e dalle mediocri caratteristiche geotecniche è una condizione geologico-idrologica tipica di aree ad elevata franosità in diversi ambienti geologici (BARCHI & alii, 1993; CARRARA & alii, 1991; LEMBO FAZIO & alii, 1984).

Lungo le valli cataclinali ed anaclinali i versanti corti e moderatamente acclivi non consentono lo sviluppo di movimenti franosi estesi o particolarmente profondi. Le frane, di piccole dimensioni, sono del tipo colata o scorrimento-colata sia superficiali che profonde. I movimenti si

verificano nella fascia superficiale alterata ed all'interno delle intercalazioni marnose, e seguono il contatto con i banconi arenacei, che affiorano con inclinazioni modeste e con giaciture a traversopoggio (Casa Valcelle).

All'interno dell'area di affioramento della monoclinale grandi frane sono anche localizzate in corrispondenza di aree intensamente fratturate (Sant'Andrea del Confomano, figg. 5 e 6 sez. B-B'), od in prossimità di faglie dirette (Casa Serra, Casa Barbiano, figg. 5 e 6 sez. B-B'). Nel primo caso i sistemi di fratture (*joints*) hanno agito come svincoli laterali lungo i quali sono scivolte porzioni anche considerevoli di versante; nel secondo caso le faglie oltre ad aver contribuito a degradare le caratteristiche meccaniche dell'ammasso, aumentandone il grado di fratturazione, ne hanno modificato le caratteristiche di permeabilità, favorendo una maggiore e più veloce infiltrazione.

Frane lungo il fronte settentrionale

Si tratta di colate e scorrimenti-colata, essenzialmente superficiali e di modeste dimensioni. La presenza di numerosi livelli competenti di arenarie e calcareniti in giacitura essenzialmente subverticale non consente infatti, pur in presenza di un considerevole rilievo relativo, lo sviluppo di movimenti estesi. I dissesti si innescano all'interno dei livelli meno competenti di marne sia lungo i versanti più acclivi, paralleli all'andamento della stratificazione (Casa Valtorbida), sia lungo quelli ad essa ortogonali (Casa Pian del Pozzo, M. delle Trecciole, Cailuca) dove le colate scorrono incanalate fra gli spessi banconi arenitici con giacitura subverticale, che fungono da veri e propri argini al movimento (figg. 5 e 6 sez. C-C).

Frane condizionate dalla presenza di faglie dirette

Il ruolo delle faglie dirette nella distribuzione dei dissesti è particolarmente evidente in quei settori del bacino che

per caratteristiche strutturali risultano essere moderatamente o poco franosi. In particolare all'interno dei domini IX e XII, caratterizzati da stratificazione a reggipoggio o suborizzontale, i dissesti sono concentrati quasi esclusivamente lungo i sistemi di faglie dirette e di *joints*, dei quali seguono localmente la direzione (Case Terzi, Casa Gaiano, M. Vecchio, Case Sanvenano) (fig. 5). Le zone di taglio delle faglie dirette, spesse da qualche metro a qualche decina di metri, costituiscono aree fortemente fratturate dove le resistenze dell'ammasso roccioso sono degradate e l'infiltrazione è favorita. I dissesti, scorrimenti, scorrimenti-colata e colate di piccole e medie dimensioni, coinvolgono indistintamente marne, arenarie, calcareniti ed anche settori dell'olistostroma (Casa Gaiano) all'interno dei versanti più rilasciati.

Frane del versante di Caignagni

Si tratta delle frane più estese dell'intero bacino, scorrimenti e scorrimenti-colata antichi e profondi. I dissesti sono localizzati lungo l'ampio e poco inclinato versante di Caignagni (dominio XI, figg. 5 e 6, sez. D-D', E-E', F-F') dove i livelli competenti di arenarie e calcareniti, permeabili per porosità e fratturazione, hanno una giacitura generale a franapoggio come il pendio che tende a ruotare disponendosi a traversopoggio-franapoggio, convergendo verso la parte centrale del versante. Un tale assetto giaciturale a «conca» ha concentrato il flusso idraulico sotterraneo, permettendo la risalita della superficie piezometrica, ed ha determinato condizioni idrogeologiche particolarmente favorevoli allo sviluppo di movimenti franosi profondi ed estesi. A ciò va aggiunto il ruolo svolto dalla faglia trascorrente alla base del pendio che ha contribuito a degradare le caratteristiche geomeccaniche del terzo inferiore del versante.

All'interno dei movimenti più antichi sono presenti,

Tabella 2 - Confronto fra le percentuali di area in frana per ciascuna delle unità litologico-tecniche affioranti nel bacino del Torrente Carpina.

Table 2 - Percentage of landslide area in each lithological unit.

Domini strutturali		Area	Area	Area	Area	Area in frana
		[km ²]	[%]	in frana	in frana	Area unità
				[km ²]	[%]	[%]
Dominio I	Fronte	3,39	5,04	0,34	2,77	10,03
Dominio II	Fronte	4,89	7,27	0,56	4,57	11,45
Dominio III	Monoclinale	11,95	17,78	3,13	25,53	26,19
Dominio IV	Monoclinale	11,85	17,63	2,84	23,16	23,97
Dominio V	Monoclinale	2,89	4,30	0,88	7,18	30,45
Dominio VI	Monoclinale	8,85	13,17	0,88	7,18	9,94
Dominio VII	Fronte	1,15	1,71	0,10	0,82	8,70
Dominio VIII	Fronte	0,26	0,39	0,03	0,24	11,54
Dominio IX	Trascorrente	11,94	17,76	1,09	8,89	9,13
Dominio X	Trascorrente	2,40	3,57	0,43	3,51	17,92
Dominio XI	Trascorrente	2,18	3,24	1,30	10,60	59,63
Dominio XII	Graben	5,47	8,14	0,68	5,55	12,43
Totale		67,22	100,00	12,26	100,00	

Tabella 3 - Confronto fra le percentuali di area in frana in ciascun dominio strutturale del bacino del Torrente Carpina.

Table 3 - Percentage of landslide area in each structural domain.

Domini strutturali		Area	Area	Area	Area	Area in frana
		[km ²]	[%]	in frana	in frana	area unità
				[km ²]	[%]	[%]
Dominio I	Frontè	3,39	5,04	0,34	2,77	10,03
Dominio II	Fronte	4,89	7,27	0,56	4,57	11,45
Dominio III	Monoclinale	11,95	17,78	3,13	25,53	26,19
Dominio IV	Monoclinale	11,85	17,63	2,84	23,16	23,97
Dominio V	Monoclinale	2,89	4,30	0,88	7,18	30,45
Dominio VI	Monoclinale	8,85	13,17	0,88	7,18	9,94
Dominio VII	Fronte	1,15	1,71	0,10	0,82	8,70
Dominio VIII	Fronte	0,26	0,39	0,03	0,24	11,54
Dominio IX	Trascorrente	11,94	17,76	1,09	8,89	9,13
Dominio X	Trascorrente	2,40	3,57	0,43	3,51	17,92
Dominio XI	Trascorrente	2,18	3,24	1,30	10,60	59,63
Dominio XII	Graben	5,47	8,14	0,68	5,55	12,43
Totale		67,22	100,00	12,26	100,00	

nella zona di piede e di corona, riattivazioni sia profonde che superficiali. Una di queste, localizzata al piede del pendio nei pressi di Cagnagni, è probabilmente avvenuta nell'inverno del 1905. Il movimento, classificabile come scorrimento-colata, si è esteso per oltre 500 m di lunghezza e 100 m di larghezza, formando una scarpata nella zona di corona di oltre 15 m di altezza. Dalle testimonianze raccolte risulta che il movimento, che travolse due abitazioni, avvenne in seguito al rapido scioglimento di un manto nevoso di oltre 2 m di spessore.

DISCUSSIONE

I dissesti

Nell'area studiata sono stati cartografati 1008 movimenti franosi, che coprono una superficie di 11,87 km², pari a 17,66% dell'area totale del bacino, valore da ritenersi tipico per il complesso terrigeno nell'appennino umbro-marchigiano.

La distribuzione spaziale dei dissesti che, ad una prima analisi visiva, può apparire casuale, è in realtà controllata dall'assetto del territorio. Ciò è vero anche per le frane superficiali che sono diffuse in tutte le unità litologico-tecniche ed in tutti i domini strutturali. Un semplice *test* per stimare il grado di dispersione spaziale dei dissesti superficiali, consistito nel valutare la differenza fra il numero di dissesti presenti all'interno di ogni chilometro quadrato di bacino ed il numero di dissesti attesi (stimato come il rapporto fra il numero totale di dissesti cartografati ed il numero di chilometri quadrati del bacino), ha rilevato come la distribuzione non sia di tipo casuale, bensì i dissesti siano raggruppati. Lo stesso *test* effettuato per il terzo superiore del bacino, fra lo spartiacque settentrionale e M. Frontano, ha rivelato come, ad eccezione di due sole aree con rispettivamente una frana (Croce Terzi) e ben 22 frane (Casa Valtorbida), la distribuzione è di tipo quasi-casuale

(la deviazione standard è molto simile al valore medio atteso, cfr. DAVIS, 1986, 295-312).

Allo scopo di comprendere meglio la distribuzione spaziale dei dissesti, di seguito vengono analizzate in dettaglio le caratteristiche tipologiche dei movimenti franosi nei diversi ambienti litologico-tecnici, strutturali e di uso del suolo presenti nel bacino.

La tabella 2 permette di confrontare le percentuali di area in frana per ciascuna delle unità litologico-tecniche affioranti. Le unità più franose sono l'olistostroma (OLI, 30,61%) e l'unità calcarenitico-arenitico-marnosa (CAM, 24,26%), entrambe caratterizzate dalla presenza di spessori potenti di argille. La prima è costituita prevalentemente da litotipi argillosi dalle scadenti caratteristiche geomeccaniche («argille varicolori»), coinvolta da dissesti tipo colata o scorrimento-colata, sia profondi che superficiali. La seconda è invece costituita da potenti livelli argillosi intercalati da banconi calcarenitici od arenitici. I dissesti, particolarmente estesi, si innescano al tetto dei livelli più competenti, che svolgono sia un controllo strutturale che idraulico, e coinvolgono essenzialmente la frazione argillitica.

Unità litologiche mediamente franose sono l'unità pelitico-marnosa (PELM, 12,25%), l'unità arenitica con arenarie maggiori del 20% (ARP, 10,82%), l'unità pelitico-calcarenitica (PELC, 9,82%), l'unità calcarenitica (CALC, 9,34%) e l'unità arenitica con arenarie minore del 20% (ARM, 9,12%). Le unità CALC, ARP ed ARM sono costituite da una successione di livelli competenti di arenarie e di calcareniti, che conferiscono all'ammasso buone caratteristiche di resistenza meccanica, impedendo l'innescamento di movimenti franosi estesi. Colate o scorrimenti-colata di dimensioni limitate si sviluppano in corrispondenza delle intercalazioni marnose. Le unità più argillose (PELM e PELC), pur se caratterizzate da scadenti proprietà geomeccaniche, danno luogo ad un numero limitato di dissesti, prevalentemente colate e scorrimenti-colata di piccola estensione. La prima perché affiora essenzialmente con giaciture sub-orizzontali (M. Frontano), la seconda perché

Tabella 4 - Confronto fra le percentuali di area in frana per ciascuna classe di uso del suolo nel bacino del Torrente Carpina.

Table 4 - Percentage of landslide area in each land use class.

Classi uso del suolo	Area	Area	Area	Area	Area in frana
	[km ²]	[%]	in frana [km ²]	in frana [%]	Area unità [%]
Bosco	44,82	66,68	5,33	43,47	11,89
Prato-Pascolo	9,33	13,88	3,34	27,24	35,80
Seminativo semplice	8,23	12,24	2,68	21,86	32,56
Seminativo arborato	0,54	0,80	0,09	0,73	16,67
Arborato	0,21	0,31	0,07	0,57	33,33
Denudato	1,70	2,53	0,04	0,33	2,35
Incolto	2,06	3,06	0,70	5,71	33,98
Edificato	0,33	0,49	0,01	0,08	3,03
Totale	67,22	100,00	12,26	100,00	

si trova più frequentemente in assetto a reggipoggio (Casa Mandrelle).

Nei depositi alluvionali (ALLU) e colluviali (COLL), fatta eccezione per alcune piccole cadute di detrito e colate di detrito non cartografabili alla scala del lavoro, non sono presenti dissesti. Le percentuali indicate nella tabella 2, comunque limitate, si riferiscono a incongruenze minori fra la carta geologica e quella dei dissesti introdotte durante la digitalizzazione, come pure alla presenza di depositi, prevalentemente di colate, che nella zona di piede interessano affioramenti di alluvioni.

Il confronto fra la carta inventario dei movimenti franosi e la zonazione in domini strutturali (fig. 5) consente di stabilire come la distribuzione spaziale dei dissesti sia fortemente controllata dalla struttura geologica. Nella tabella 3 sono riportate le percentuali di area in frana per i singoli domini strutturali. Il dominio più colpito è il XI, in cui oltre il 59% del territorio è coinvolto da movimenti franosi. L'area è costituita da un unico ampio versante articolato nel quale la stratificazione, a franapoggio come il pendio, tende a ruotare da S verso N dal IV al III quadrante, disponendosi a traversopoggio-franapoggio. La struttura a «conca» che si viene a formare, per le condizioni geologiche ed idrogeologiche che svolgono sia un controllo strutturale che idraulico, è favorevole allo sviluppo di estesi movimenti franosi profondi.

Particolarmente instabili risultano essere anche il dominio V (30,45%) ed i domini III (26,19%), IV (23,97%) e X (17,92%). Nel primo, che corrisponde all'olistostroma, la franosità è legata essenzialmente alle scadenti caratteristiche geomeccaniche delle «argille varicolori» che affiorano in assetto caotico. Nei domini III e IV, corrispondenti al settore centro-settentrionale della monoclinale, l'instabilità è connessa all'assetto della stratificazione, immergente verso SW. Lungo i versanti a franapoggio si sviluppano estesi scorrimenti e scorrimenti-colata mentre dove la stratificazione è a reggipoggio, si innescano colate o scorrimenti-colata, prevalentemente superficiali. All'interno del dominio X i dissesti, scorrimenti e scorrimenti-colata, si concentrano nel settore in sinistra idrografica del T. Carpina dove la giacitura è a franapoggio.

Scarsamente franosi sono i restanti domini (I, II, VI,

VII, VIII, IX, e XII) nei quali meno del 12,5% di territorio è interessato da dissesti. Nei domini XII (12,43%) e IX (9,13%) caratterizzati da stratificazione sub-orizzontale il primo ed a reggipoggio il secondo, i dissesti si concentrano a ridosso dei sistemi di faglie dirette e di *joints* che, aumentando il grado di fratturazione e la capacità d'infiltrazione, hanno ridotto le caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso, favorendo l'innescamento di movimenti franosi. Nel dominio II la stratificazione subverticale o comunque molto inclinata consente l'innescamento esclusivamente di piccole colate e scorrimenti-colata, dalla forma stretta ed allungata, che si muovono incanalati tra banconi più resistenti (Cailuca). Infine, nei domini I, VI e VII le giaciture sono pressoché ovunque debolmente inclinate, sia a reggipoggio che a traversopoggio, e non consentono lo sviluppo di movimenti franosi estesi. In queste aree si innescano esclusivamente dissesti, prevalentemente superficiali, che utilizzano per lo scivolamento il tetto dei livelli più competenti.

Nella tabella 4 sono indicate le percentuali di area in frana per le singole classi di uso del suolo. Le classi più colpite sono il prato-pascolo (35,80%), l'incolto (33,98%), l'arborato (33,33%) ed il seminativo semplice (32,56%), per ognuna delle quali all'incirca un terzo del territorio è coinvolto da dissesti. Le classi produttive occupano i versanti a franapoggio, prevalentemente esposti a solatio, interessati da estesi movimenti franosi. Lo sfruttamento agricolo di queste aree è stato favorito dalla presenza di antichi movimenti profondi che hanno contribuito a produrre pendii localmente meno acclivi e terreni rimaneggiati, sui quali si sono sviluppati suoli più profondi e quindi più facilmente coltivabili. Il generale abbandono delle campagne, verificatosi nel corso degli ultimi 3 o 4 decenni, ha favorito il degrado di una parte di queste aree oggi incolte ed interessate da dissesti attivi, prevalentemente superficiali.

Come in altre aree del preappennino umbro (CARRARA & alii, 1991) l'area boscata, pur essendo la classe di uso del suolo più estesa nel bacino, è scarsamente franosa, essendo interessata per poco meno del 12% da dissesti. Il bosco occupa i tratti più acclivi dei versanti, corrispondenti in gran parte alle aree di scarpata e di piede delle grandi frane. Molti sono anche i rimboschimenti realizzati nelle aree degradate da fenomeni erosivi (Madonna dei Cinque Faggi-

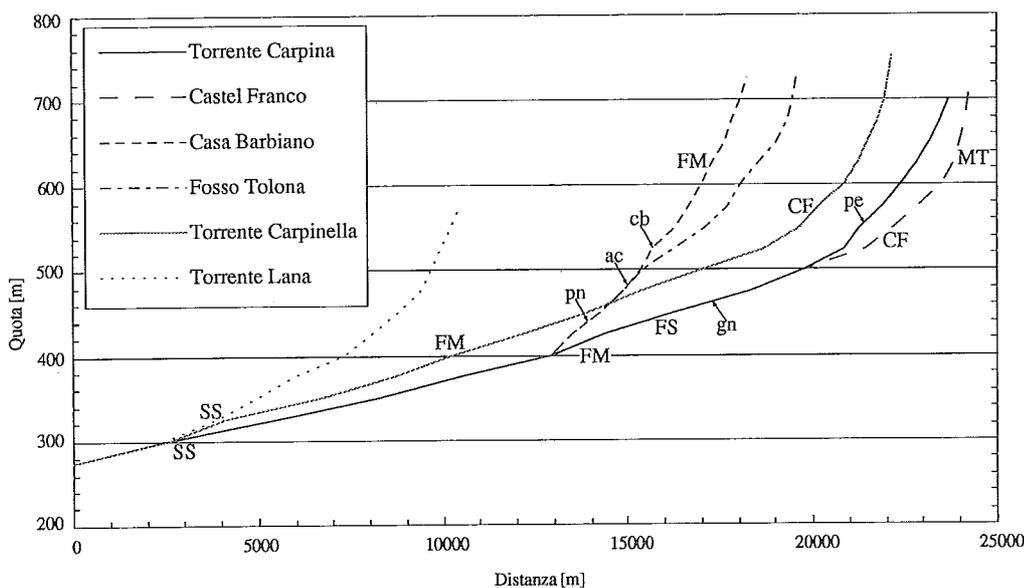


FIG. 7 - Profili topografici dei principali corsi d'acqua presenti nell'area oggetto di studio. Le sigle di due lettere minuscole individuano i movimenti franosi citati nel testo: ac Sant' Andrea in Conforzano, cb Casa Babiano, gn Caignagni, pe Casa Petrarà, pn Podere Nuovo. Le sigle di due lettere maiuscole individuano i toponimi citati nel testo: SS Sassarone, MT Monte delle Trecciole, CF Madonna dei Cinque Faggi, FS Faglia settentrionale dell'area ribassata di M. Frontano, FM Faglia meridionale dell'area ribassata di M. Frontano.

FIG. 7 - Topographic profiles along main rivers. Lowercase letters indicate landslides cited in the text: ac Sant' Andrea in Conforzano, cb Casa Babiano, gn Caignagni, pe Casa Petrarà, pn Podere Nuovo. Uppercase letters indicate localities cited in the text: SS Sassarone, MT Monte delle Trecciole, CF Madonna dei Cinque Faggi, FS Northern fault of the M. Frontano graben, FM Southern fault of the M. Frontano graben.

M. Macinare) o da dissesti (Casa Barbiano) nel tentativo di stabilizzare i versanti e di regimare l'infiltrazione delle acque, limitando le possibili riattivazioni superficiali.

Evoluzione geomorfologica

Nel bacino del T. Carpina, così come in altri settori dell'Appennino umbro-marchigiano, i movimenti tettonici hanno fortemente condizionato l'evoluzione del paesaggio ed in particolare l'innescò e lo sviluppo dei fenomeni franosi (BARCHI & *alii*, 1993). L'assetto strutturale (giacitura degli strati e localizzazione delle faglie) è un fattore decisivo nel controllo «passivo» della distribuzione della franosità, in quanto determina le condizioni che predispongono al dissesto. È anche ragionevole ipotizzare che i movimenti tettonici possano avere in qualche misura condizionato «attivamente» l'innescò delle frane, e che alcuni movimenti possano essere avvenuti in coincidenza di terremoti, facilitati dallo scuotimento sismico (COTECCHIA, 1981; KEEFER, 1984). Testimonianze orali raccolte nell'area sembrano confermare questa ipotesi.

L'effetto dei movimenti tettonici sull'assetto morfologico dell'area è particolarmente chiaro quando si analizzano i profili topografici dei principali corsi d'acqua. Perturbazioni nell'andamento dei profili altimetrici corrispondono infatti alla presenza sia dei fronti di sovrascorrimento o delle faglie dirette, che delle frane più estese (fig. 7). Se la presenza dei fronti meridionali (Sassarone e M. Cucco) è evidenziata esclusivamente da una modesta variazione altimetrica lungo il corso dei torrenti Carpina, Carpinella e Lana, ben più rilevante è la presenza del fronte settentrionale, dove la geometria del sovrascorrimento ha portato alla messa in posto di una fascia a stratificazione subverticale dello spessore di 700-1500 metri (fig. 6 sez. C-C'). Questa ha costituito un'efficace barriera all'erosione regressiva, tanto da aver preservato nella parte più alta del bacino al-

cune aree spianate, di modesta estensione, localizzate circa ad 800 metri di quota, probabili resti di un'antica superficie topografica relativa ad una fase erosiva antecedente all'attuale. L'effetto dei movimenti recenti lungo le faglie dirette è particolarmente chiaro in corrispondenza dell'area ribassata di M. Frontano, dove, lungo i Torrenti Carpina e Carpinella, è rilevabile una variazione di quota di qualche metro non imputabile a variazioni litologiche o ad un diverso assetto giaciturale. Variazioni locali della pendenza dei corsi d'acqua sono infine presenti in corrispondenza di molte delle frane profonde ed antiche (fig. 7).

Sulla base delle conoscenze disponibili sulla cronologia delle deformazioni in questo settore dell'Appennino umbro-marchigiano, la formazione delle strutture plicative risale probabilmente al Tortoniano Superiore, mentre la loro successiva dislocazione da parte dei fronti di accavallamento e delle faglie trascorrenti è databile al Messiniano. Mancando sedimenti sintettonici le età citate sono solo indicative, ed è anche difficile stabilire quale sia stata l'evoluzione paleogeografica corrispondente ai diversi stadi della deformazione compressiva. Non meno problematica è la datazione dei movimenti tettonici pliocenico-quadernari (CENCETTI, 1990; CATTUTO & *alii*, 1988; AMBROSETTI & *alii*, 1987; CATTUTO & *alii*, 1979; MAZZANTI & TREVISAN, 1978).

Circa 5 milioni di anni fa, le prime dorsali e gli avvallamenti maggiori, a direzione meridiana, che pilotavano il drenaggio principale, ricalcavano presumibilmente il *pattern* delle deformazioni plicative. Durante il Pliocene superiore al sollevamento isostatico ed all'emersione della catena appenninica si è sovrapposto il campo di sforzi regionale, di tipo distensivo, connesso all'apertura del Tirreno (LAVECCHIA & *alii*, 1984; AMBROSETTI & *alii*, 1982; MAZZANTI & TREVISAN, 1978). Il campo tensionale risultante ha portato alla formazione di sistemi di faglie dirette, all'apertura dei bacini intramontani di San Sepolcro, Città di Castello, Gubbio e Gualdo, della Valle Umbra, e nel settore meridionale

dell'Appennino umbro-marchigiano alla formazione delle conche di Norcia, Cascia e Rieti.

Nel bacino del T. Carpina, tra il F. Tevere e l'attuale spartiacque Tirreno-Adriatico, il sollevamento ha avuto diverse conseguenze sull'assetto morfologico. In un primo momento l'assetto giaciturale, prevalentemente a monoclinale, ha controllato la formazione di valli cataclinali, organizzate in un sistema di drenaggio rettilineo, parallelo, e dalla direzione coincidente con l'immersione regionale della stratificazione (SW). Durante questa fase, lungo la fascia trascorrente, all'interno della quale gli ammassi rocciosi sono particolarmente fratturati e più facilmente erodibili, si è probabilmente impostato un asse drenante principale, con direzione NE-SW.

Con l'approfondimento delle valli cataclinali e la formazione di nuovi livelli di base locali, si è verificato un aumento delle pendenze medie dei versanti, del rilievo relativo, e lo sviluppo di un diverso sistema di drenaggio. L'erosione lineare, tagliati i livelli marnosi, ha fatto affiorare localmente i livelli più competenti di arenarie e calcareniti lungo la cui direzione si sono andati a formare nuovi tratti di reticolo idrografico. Questi, a loro volta richiamati dal T. Carpina che si andava formando nella zona trascorrente, hanno catturato alcune delle vecchie aste cataclinali (M. Santo Stefano). Si è così venuto a formare un nuovo reticolo idrografico, di tipo ortogonale, che ancora oggi caratterizza ampi settori del bacino. L'approfondimento delle valli monoclinali ha infine portato allo sviluppo di corte valli anaclinali come pure, lungo i versanti a franapoggio dove l'erosione ha tagliato i livelli meno resistenti, all'innescò dei movimenti di versante più estesi e profondi (Casa Petrarà, il Casale). Questo meccanismo ha agito anche lungo la valle principale del T. Carpina là dove, per effetti strutturali locali, la stratificazione è a franapoggio (Caignagni).

BIBLIOGRAFIA

AMBROSETTI P., CARBONI M.G., CONTI M.A., ESU D., GIROTTI O., LA MONICA G.B., LANDINI B. & PARISI G. (1987) - *Il Pliocene e il Pleistocene inferiore della Valle del Tevere, Lazio settentrionale e Umbria meridionale*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 10, 10-33.

AMBROSETTI P., CARRARA G., DELIANA G. & DRAMIS F. (1982) - *Il sollevamento dell'Italia Centrale tra il Pleistocene inferiore e il Pleistocene medio*. C.N.R., Contributi alla Carta Neotettonica d'Italia, Pubbl. 513, 219-223.

ANTONINI G., CARDINALI M., GUZZETTI F., REICHENBACH P. & SORRENTINO A. (1993) - *Carta Inventario dei Fenomeni Franosi della Regione Marche ed aree limitrofe*. G.N.D.C.I., Pubbl. 580. Carta a scala 1:100.000.

ARONOFF S. (1989) - *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publications, Ottawa, 294 pp.

BARCHI M., CARDINALI M., GUZZETTI F. & LEMMI M. (1993) - *Relazioni fra movimenti di versante e fenomeni tettonici nell'area del M. Coscerno-M. di Civitella, Valnerina (Umbria)*. Boll. Soc. Geol. It., 112, 83-111.

BURROUGH P.A. (1988) - *Principles of Geographical information systems for Land Resources Assessment*. Clarendon, Oxford, 194 pp.

CARRARA A., CARDINALI M., DETTI R., GUZZETTI F., PASQUI V. & REICHENBACH P. (1991) - *GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard*. Earth Surf. Proces. Landf., 16, 427-445.

CARRARA A., D'ELIA B. & SEMENZA E. (1985) - *Classificazione e nomenclatura dei fenomeni franosi*. Geol. Appl. Idrogeol., 20, 223-243.

CATTUTO C., CENCETTI C. & GREGORI L. (1988) - *Lo studio dei corsi d'acqua minori dell'Italia appenninica come mezzo di indagine sulla tettonica del Plio-Pleistocene*. Atti del Convegno «I corsi d'acqua minori dell'Italia appenninica. Aspetti ecologici e gestionali», Aulla, 22-24 giugno 1987. Boll. Mus. St. Nat. Lunigiana, 6-7, 7-10.

CATTUTO C., CONTI M.A., NICOSIA U. & PARISI G. (1979) - *Relazione sulla neotettonica dei Fogli 130, 131, 137 e 138*. C.N.R., Contributi alla Carta Neotettonica d'Italia, Pubbl. 251, 13-28.

CENCETTI C. (1990) - *Il Villafranchiano della «Riva umbra» del F. Tevere: elementi di geomorfologia e di neotettonica*. Boll. Soc. Geol. It., 109, 337-350.

COTECCHIA V. (1981) - *Considerazioni sui problemi geomorfologici, idrogeologici e geotecnici evidenziati nel territorio colpito dal sisma campano-lucano del 23 novembre 1980 e possibilità di intervento del Progetto Finalizzato «Conservazione del Suolo» del CNR*. Rend. Soc. Geol. It., 4, 73-102.

DAVIS J.C. (1986) - *Statistics and data analysis in geology*. 2nd ed., Wiley, New York, 646 pp.

DECANDIA F.A. & GIANNINI E. (1977) - *Studi geologici nell'Appennino Umbro-marchigiano. 1 - Evidenze di due fasi tettoniche terziarie a SE di Spoleto*. Boll. Soc. Geol. It., 96, 723-734.

DAMIANI A.V., PANNUZI L. & PIALLI G. (1983) - *Osservazioni geologiche nelle aree comprese fra i Massicci Perugini ed i rilievi di Gubbio*. Gior. Geol., ser. 3, 45, 127-150.

DAMIANI A.V. & PANNUZI L. (1986) - *Assetto stratigrafico-strutturale della olistoplaacca di San'Agata Calagbitta ad oriente di Umbertide (Umbria settentrionale)*. Boll. Serv. Geol. It., 104, 205-224.

ELMI C., FINI A., FRANCA R., LIZZANI A. & GENEVOIS R. (1993) - *Large landslides in flysch formations in the Northern Apennines, Italy: Analysis and comparison of the geomorphological features and geomechanical behaviour*. In: Chowdhury R.N. & Sivakumar S.M. (eds.). «Proc. Environmental Management Geo-Water and Engineering Aspects». Wollongong, New South Wales, Australia, 8-11 Febbraio 1993. Balkema, Rotterdam, 299-304.

ESU F. (1977) - *Behaviour of slopes in structurally complex formations*. Inter. Symp. on the Geotechnics of Structurally Complex Formations, Capri.

GUZZETTI F. & CARDINALI M. (1989) - *Carta Inventario dei Fenomeni Franosi della Regione dell'Umbria ed aree limitrofe*. G.N.D.C.I., Pubbl. 204, Carta a scala 1:100.000.

KEEFER D.K. (1984) - *Landslides caused by earthquakes*. Geol. Soc. Am. Bull., 95, 406-421.

LAVECCHIA G., MINELLI G. & PIALLI G. (1984) - *L'Appennino umbro-marchigiano: tettonica distensiva e ipotesi di sismogenesi*. Boll. Soc. Geol. It., 103, 467-476.

LEMO-FAZIO A., MANFREDINI G., RIBATTI R. & SCIOTTI M. (1984) - *Slope failure and cliff instability in the Orvieto tuff*. Inter. Symp. on Landslides, Toronto, 2, 115-120.

MAZZANTI R. & TREVISAN L. (1978) - *Evoluzione della rete idrografica nell'Appennino centro-settentrionale*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 1, 55-62.

REGIONE DELL'UMBRIA (1985) - *Cartografia di base in Umbria*. Ufficio P.U.T., Settore Cartografia, 75 pp.

REGIONE DELL'UMBRIA (1977) - *Carta dell'Uso del Suolo*. Ufficio P.U.T., Settore Cartografia, Scala 1:10.000.

RICCI LUCCHI F. & PIALLI G. (1973) - *Apporti secondari nella Marnoso-arenacea: Torbiditi di conoide e di pianura sottomarina ad E-NE di Perugia*. Boll. Soc. Geol. It., 92, 669-712.

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1969) - *Carta Geologica d'Italia, Foglio n° 115 - Città di Castello*. Poligrafico dello Stato.

STRAHLER N.S. (1952) - *Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography*. Geol. Soc. Am. Bull., 63, 1117-1142.

URCIUOLI G. (1990) - *Contributo alla caratterizzazione geotecnica delle frane dell'Appennino*. Quad. Ist. Tecn. delle Fondazioni, Università di Napoli, Napoli, 1, 143.

VARNES D.J. (1978) - *Slope movements types and processes*. In: Schuster R.L. & Krizek R.S. (eds.). *Landslides: Analysis and Control*. U.S. Nat. Acad. Sc., 12-33.