

GIACOMO D'AMATO AVANZI (*), AMERINO PIERONI (*) & ALBERTO PUCCINELLI (*)

STUDIO DEI MOVIMENTI GRAVITATIVI DI S. ROMANO IN GARFAGNANA (VAL DI SERCHIO, LUCCA)

ABSTRACT: D'AMATO AVANZI G., PIERONI A. & PUCCINELLI A., *Study of gravitational movements of the S. Romano in Garfagnana area (Serchio Valley, North-Western Tuscany), Italy.* (IT ISSN 0391-9838, 1997).

S. Romano in Garfagnana is a village of Garfagnana, a high seismicity region of Northern Apennines. The village lies on a slope where sandstone outcrops, overlaid by argillitic rocks, close to one of the master faults bounding the tectonic depression of the Serchio Valley. Active and dormant landslides and deep-seated gravitational slope deformations affect the slope and make built-up areas and roads prone to a severe landslide hazard.

In this area, a geologic-structural and geomorphological survey was performed, in order to improve the knowledge of mass movements, their preparation and triggering factors and their relations with morpho-structural conditions. The structural analysis did not detect any deformation rising from deep-seated mass movements. Distribution and orientation of the structural features conditioned the position of some mass movements, whose detachment areas and sliding surfaces partially correspond to weak zones of the slope (fault, joint zones).

Seismicity and uplift during middle/late Pleistocene-Holocene (which caused, together with the quick deepening of drainage, an increased relief energy), together with climatic conditions, had a prominent role in the development of mass movements.

Because of the high landslide hazard, researches were made in historic times, to find the activation dates and causes of the recognized landslides. An experimental landslide hazard zonation map was produced, based on the activity and the return period of mass movements.

KEY WORDS: Landslide, Deep-seated gravitational slope deformation, Landslide hazard, Serchio Valley, Tuscany, Italy.

RIASSUNTO: D'AMATO AVANZI G., PIERONI A. & PUCCINELLI A., *Studio dei movimenti gravitativi di S. Romano in Garfagnana (Val di Serchio, Lucca)* (IT ISSN 0391-9838, 1997).

S. Romano in Garfagnana sorge presso una delle faglie principali che limitano la depressione tettonica della Val di Serchio. Il versante, intagliato in arenarie sovrastate da rocce argillitiche, è interessato da numerose frane

attive e quiescenti e da fenomeni di deformazione gravitativa profonda, che espongono l'abitato e la viabilità a un'alta pericolosità di frana.

In quest'area è stato effettuato il rilevamento geologico-strutturale e geomorfologico, per approfondire le conoscenze sui movimenti di massa, sui fattori predisponenti e determinanti e sulle relazioni con le condizioni morfo-strutturali. L'analisi dei caratteri strutturali non ha messo in evidenza strutture deformative ascrivibili a movimenti gravitativi profondi; la distribuzione e l'orientazione degli elementi strutturali hanno comunque condizionato la localizzazione di alcuni movimenti di massa, le cui zone di distacco e superfici di scorrimento si sono parzialmente impostate in corrispondenza di zone meccanicamente deboli (faglie, famiglie di diaclasi).

Allo sviluppo dei movimenti di massa hanno contribuito, oltre alle condizioni climatiche, la sismicità e i sollevamenti che nel Pleistocene medio/superiore-Olocene hanno determinato, con il rapido approfondimento del reticolo idrografico, l'incremento di energia del rilievo.

Poiché a S. Romano si verifica una situazione ad alta pericolosità di frana, sono state compiute ricerche storico-archivistiche, per individuare le date di attivazione o riattivazione dei movimenti e le cause relative. In base ai dati raccolti, è stata effettuata la zonazione sperimentale della pericolosità di frana, basata sull'attività dei movimenti franosi e sui tempi di ritorno delle riattivazioni.

TERMINI CHIAVE: Frana, DGPV, Pericolosità di frana, Val di Serchio, Toscana.

INTRODUZIONE

S. Romano in Garfagnana si trova in sinistra orografica del Fiume Serchio, su un versante caratterizzato da vasti movimenti gravitativi: oltre a grandi frane, si individuano indizi significativi della presenza di fenomeni di deformazione gravitativa profonda di versante (Dgpv) e diffuse manifestazioni di dissesto, che interessano gli edifici e la viabilità. Il paese sorge nella zona mediana della depressione tettonica della Garfagnana (fig. 1), dove le condizioni di stabilità sono tra le più critiche (D'Amato Avanzi & alii, 1995b), soprattutto in relazione ai fattori geologico-strutturali, alle condizioni climatiche e alla sismicità storica e attuale.

Questa situazione ha condizionato nel tempo il processo di antropizzazione, interferendo con le vie di comunicazione e con la localizzazione e l'assetto urbanistico dei centri abitati. Non di rado gli insediamenti sono situati in aree

(*) Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, via S. Maria 53 - 56126 Pisa (Italia).

Lavoro eseguito nell'ambito delle ricerche del Cnr - Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Linea di Ricerca «Previsione e prevenzione di eventi franosi a grande rischio» (Resp. Uo: R. Nardi) e nell'ambito del progetto Murst 40% «Instabilità dei versanti e metodi di intervento» (Resp. Uo: R. Nardi). Pubblicazione Cnr-Gndci n. 1384.

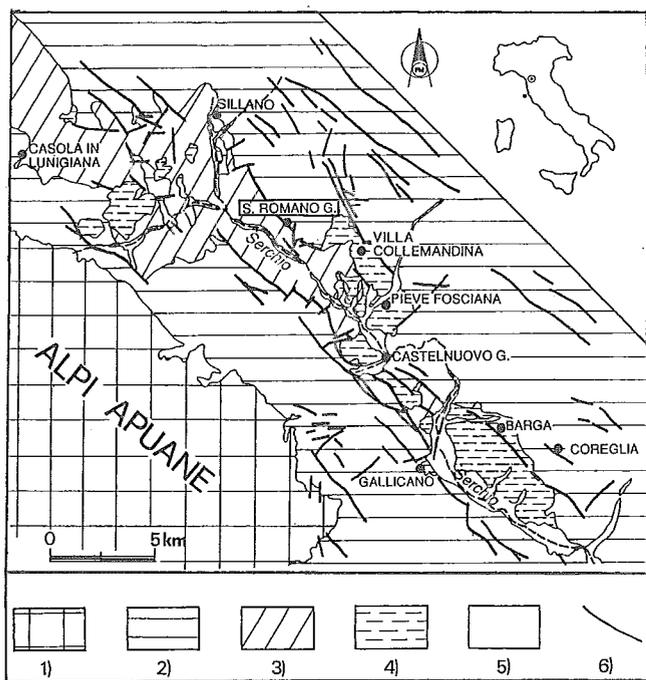


FIG. 1 - Schema tettonico della medio-alta Val di Serchio: 1) Nucleo metamorfico delle Alpi Apuane; 2) Successione Toscana non metamorfica; 3) Unità Subliguri e Liguri esterne; 4) depositi lacustri e fluviali dei bacini di Barga e di Castelnuovo di Garfagnana; 5) depositi alluvionali di fondovalle; 6) faglie.

FIG. 1 - Tectonic sketch of the middle-upper Serchio Valley: 1) Apuan Alps metamorphic complex; 2) Non metamorphic Tuscan Sequence; 3) Sub-Liguride and External Liguride Units; 4) lacustrine and fluvial deposits of the Barga and Castelnuovo di Garfagnana basins; 5) valley floor alluvial deposits; 6) fault.

subpianeggianti, apparentemente favorevoli agli insediamenti antropici, per la minore acclività e per la presenza di coperture di varia natura, più adatte alle pratiche agricole; talvolta invece queste aree corrispondono a pianori sommitali di grandi movimenti di massa, che espongono la comunità a gravi situazioni di rischio.

CARATTERISTICHE GEOLOGICO-STRUTTURALI

S. Romano sorge in corrispondenza di una delle faglie dirette principali, che limitano a nord-est la depressione tettonica della Garfagnana. Lungo il versante affiorano formazioni riferibili a tre unità tettoniche, appartenenti ai domini Toscano, Subligure e Ligure (Nardi & alii, 1989 e 1992), descritte secondo l'ordine di sovrapposizione, dal basso verso l'alto (fig. 2).

Successione Toscana

Nota anche come «Falda Toscana», nella zona è rappresentata solo dal Macigno. Questa formazione, che affiora tipicamente lungo il crinale appenninico toscano-emiliano, è costituita da potenti sequenze torbiditiche prevalente-

mente arenacee e arenaco-pelitiche; le arenarie hanno composizione quarzoso-feldspatico-micacea e granulometria da media a grossolana, con cemento fillosilicatico. La potenza degli strati arenacei varia da qualche decimetro a circa 3 metri; lo spessore affiorante è valutabile in circa 500 metri, ma lungo il crinale appenninico può superare i 2.000 metri. Età: Oligocene superiore - Miocene inferiore.

Il Macigno costituisce gran parte del rilievo M. Pisone - Carescioletto, a monte di S. Romano ed è in contatto per faglia diretta con l'Unità di Canetolo sovrastante.

Unità di Canetolo

È rappresentata quasi esclusivamente dalla formazione delle Argille e calcari; essa è composta prevalentemente da argilliti fogliettate con intercalazioni di calcilutiti, torbiditi calcareo-marnose a base arenitica, calcareniti e brecciole organogene; gli strati calcarei hanno spessori da decimetrici a metrici. Trattandosi di una formazione intensamente deformata dalle vicende tettoniche, lo spessore reale è difficilmente valutabile; quello apparente è stimabile in circa 150 metri. Età: Eocene inferiore-medio.

Le Argille e calcari costituiscono la porzione inferiore del versante di S. Romano, compresa tra il paese e il F. Serchio; nella parte medio-alta della formazione si intercalano stratigraficamente lenti di Calcari di Groppo del Vescovo, costituiti da torbiditi calcaree e calcareo-marnose a base calcarenitica, con spessore massimo di circa 30 metri.

Unità di Ottone-S. Stefano

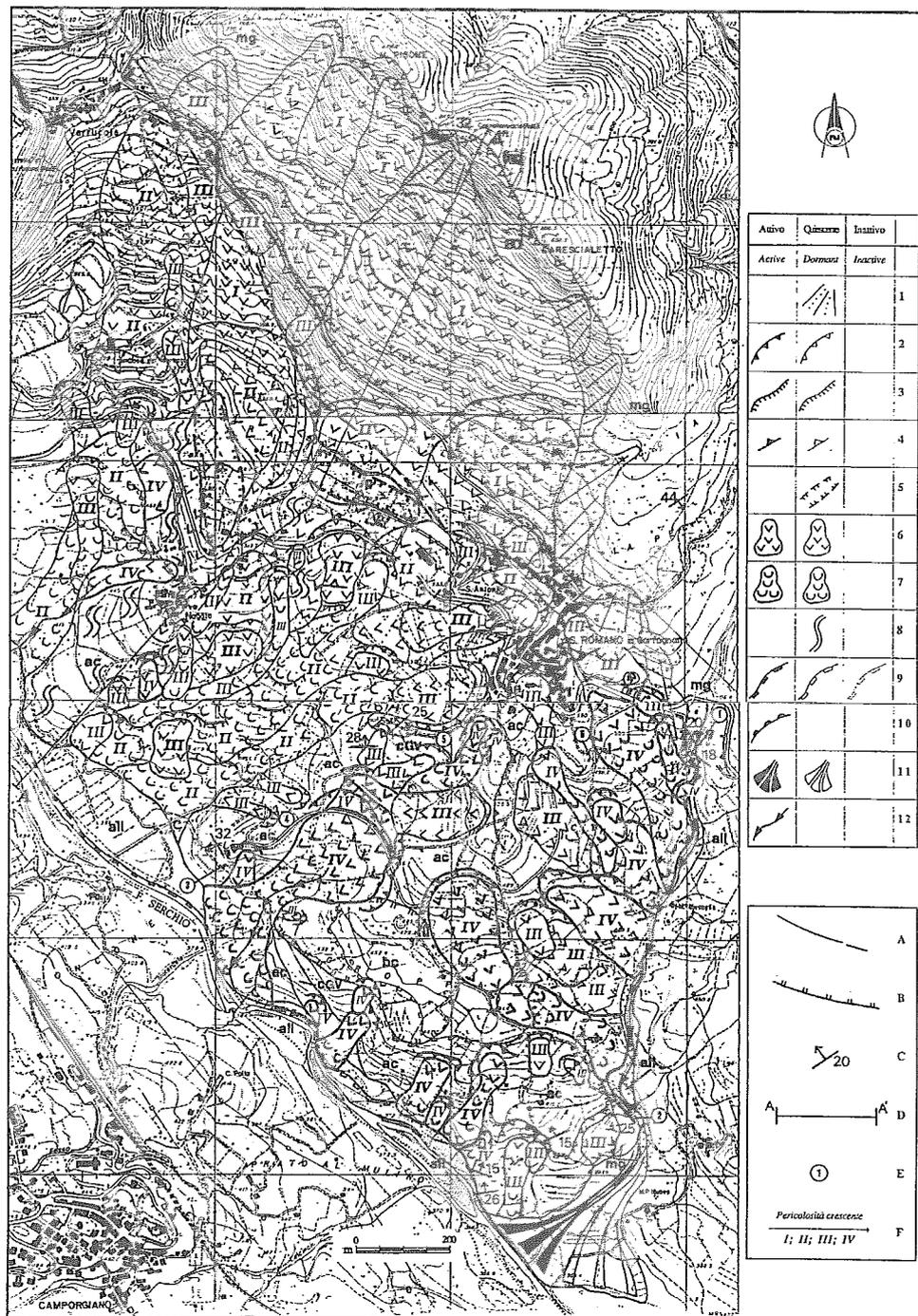
L'Unità di Ottone-S. Stefano si sovrappone tettonicamente all'Unità di Canetolo. Di essa è presente solo il membro delle Breccie a elementi ofiolitici e calcarei: si tratta di breccie polimittiche granulo-sostenute, con matrice siltitico-arenitica, costituite in prevalenza da clasti ofiolitici (basalti, gabbri e serpentiniti) e da clasti di radiolariti e calcilutiti silicee (tipo «palombino»); lo spessore massimo è di alcune decine di metri. Età: Campaniano inferiore-superiore.

Il membro delle breccie affiora a sud-ovest di S. Romano e fa parte del Complesso di M. Penna-Casanova, base stratigrafica del Flysch ad Elmintoidi di Ottone-S. Stefano.

La messa in posto e il piegamento di queste unità tettoniche sono riconducibili a una complessa storia evolutiva, che in più fasi ha portato alla costruzione della catena appenninica, a falde di ricoprimento (Elter, 1960, 1973; Dallan & Nardi, 1974; Elter & alii, 1975; Boccaletti & alii, 1981). Schematicamente, essa può essere ricondotta a due periodi principali: dal Cretaceo medio al Miocene superiore si ha uno stile eminentemente compressivo, responsabile dell'impilamento e della messa in posto di unità tettoniche provenienti da domini paleogeografici diversi (da ovest verso est: Dominio Ligure, Dominio Subligure, Dominio Toscano); dal Miocene superiore-Pliocene inferiore si instaura una tettonica di tipo distensivo, che dà luogo alla formazione di depressioni tettoniche, fra cui quella della Garfagnana, nelle quali sedimentano potenti successioni lacustri e fluviali, che affiorano tipicamente in Val di Serchio, presso Barga e tra Castelnuovo G. e Pieve Fosciana; nel Pleistoce-

FIG. 2 - Carta geologica con elementi geomorfologici della zona di S. Romano in Garfagnana, con indicazione della pericolosità di frana (base topografica: dai tipi della Carta Tecnica della Regione Toscana): 1) Falda detritica; 2) scarpata di frana; 3) gradino di frana; 4) contropendenza; 5) trincea; 6) corpo di frana di scorrimento; 7) corpo di frana di colamento; 8) area interessata da Dgpv; 9) scarpata di erosione fluvio-torrentizia; 10) erosione di sponda; 11) cono di deiezione; 12) erosione in alveo. A) Faglia; B) limite di ricoprimento tra unità tettoniche; C) giacitura di strato; D) traccia di sezione; E) stazione di misura per analisi strutturale; F) classe di pericolosità di frana (crescente da I a IV). mg) Macigno; ac) Argille e calcari; cGV) Calcari di Groppo del Vescovo; bc) breccie poligeniche; p) depositi palustri e colluviali; all) depositi alluvionali recenti e attuali.

FIG. 2 - Geological map with geomorphological elements and landslide hazard of the S. Romano in Garfagnana area: 1) Scree slope; 2) landslide scarp; 3) landslide step; 4) reverse slope; 5) trench; 6) landslide body (slide); 7) landslide body (flow); 8) area affected by deep-seated gravitational slope deformation; 9) fluvial or torrential erosion scarp; 10) stream bank erosion; 11) alluvial fan; 12) downcutting of the riverbed. A) Fault; B) overthrust boundary; C) attitude of strata; D) cross-section line; E) site of structural measurements; F) landslide hazard class (hazard increases from I to IV). mg) Macigno sandstone; ac) Argille e calcari; cGV) Groppo del Vescovo Limestone; bc) polygenetic breccia; p) marshy and colluvial deposits; all) recent and present alluvial deposits.



ne medio-superiore-Olocene si verificano sollevamenti differenziali e basculamenti, cui segue il rapido approfondimento del reticolo idrografico e l'incremento di energia del rilievo (Federici & Rau, 1980; Bartolini & alii, 1983).

ANALISI STRUTTURALE

Le rocce affioranti nell'area indagata sono interessate da intense deformazioni duttili e fragili; su di esse è stata

effettuata l'analisi mesostrutturale, volta a comprenderne l'origine e i rapporti con i movimenti di massa. A questo riguardo, si possono fare due ipotesi:

- le deformazioni degli ammassi rocciosi derivano solo dall'evoluzione tettonica regionale, precedentemente descritta;
- tali deformazioni sono prodotte anche da movimenti di massa di grandi dimensioni (tipo deformazione gravitativa profonda di versante - si veda in seguito), che determinano ulteriori deformazioni dell'ammasso roccioso.

Nel primo caso, si può verificare in che modo gli elementi strutturali derivanti dalle deformazioni tettoniche influenzino la genesi e la distribuzione dei movimenti di massa; nel secondo caso, individuare le deformazioni connesse con i movimenti gravitativi profondi.

Traendo spunto da studi precedenti sulle Dgpv svolti nella zona di Bagnone in Val di Magra, dove D'Amato Avanzi & alii (1995a) hanno messo in evidenza che, alla base dei versanti coinvolti, alcuni elementi strutturali (fitte superficiali di taglio e pieghe decimetriche, con asse perpendicolare alla direzione di massima pendenza del versante) risultavano anomali nel contesto strutturale del territorio ed erano invece associabili ai movimenti gravitativi profondi, è stato effettuato uno studio strutturale anche nella zona di S. Romano. Sono stati raccolti dati strutturali su vari affioramenti, sia all'interno che al di fuori della zona interessata dai movimenti gravitativi profondi, per stabilire quali caratteri deformativi differenziassero gli ammassi rocciosi interessati da tali movimenti; a questo scopo, sono state considerate in particolare le deformazioni fragili, rappresentate da diversi sistemi di faglie e diaclasi.

In fig. 3 sono rappresentati sinteticamente in proiezione equiareale, utilizzando il reticolo di Schmidt (emisfero inferiore), i dati raccolti nelle stazioni più significative, la cui localizzazione è riportata in fig. 2. La scarsità di buoni affioramenti rocciosi nell'area studiata non ha permesso di raccogliere una quantità di dati del tutto significativa per l'analisi statistica; ciò nonostante, la distribuzione statistica è stata ugualmente rappresentata, ritenendola comunque utile ai fini dell'interpretazione dei risultati.

Sulla formazione del Macigno sono state raccolte 32 misure di piani di frattura in corrispondenza delle stazioni 1 e 2, lungo il torrente Covezza di S. Romano (fig. 2). Dall'esame degli *stereonet* relativi alle stazioni nel Macigno (fig. 3, A e B), si nota la presenza di diverse famiglie di fratture; di esse, quella principale ha un andamento NW-SE, evidenziato anche dai massimi di densità relativi a piani con direzione «appenninica» (N 130° - N 150°), mostrati in fig. 3 C (totale delle misure). Un secondo sistema di fratture, verticali e subverticali, taglia il precedente con direzione trasversale NE-SW («antiappenninica»); sono presenti, infine, altri due sistemi minori orientati rispettivamente circa est-ovest e nord-sud. La distribuzione di queste fratture, osservabili a scala minore, risulta essere in accordo con quanto osservato, alla megascala, per le faglie maggiori e rientra nel quadro tettonico regionale dell'area studiata.

Nella formazione delle Argille e calcari sono distinguibili, alla mesoscala, diversi sistemi di faglie dirette e di diaclasi in corrispondenza delle stazioni 3, 4, 5, e 6, localizzate nell'area a sud-ovest di S. Romano, dove sono state raccolte 41 misure (fig. 2). Le faglie, caratterizzate da rigetti minimi e difficilmente valutabili, sovente sembrano essersi impostate su discontinuità preesistenti, rappresentate in genere da superfici di clivaggio, verosimilmente legate alle fasi tettoniche compressive; le diaclasi hanno generalmente il medesimo andamento delle faglie. Dall'analisi degli *stereonet* relativi alle singole stazioni di misura (fig. 3 D, E, F, G e H) e alla distribuzione statistica del totale delle misure (fig. 3 I) nelle Argille e calcari, si nota la presenza di due sistemi principali relativi ai due massimi principali

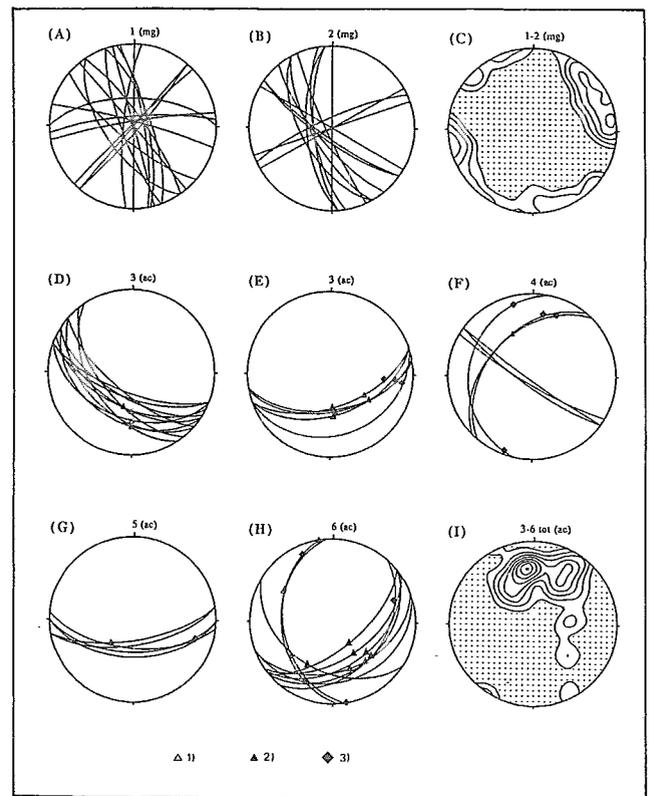


FIG. 3 - Distribuzione di faglie e diaclasi nella zona di S. Romano in Garfagnana (reticolo di Schmidt, emisfero inferiore); stazioni localizzate in fig. 1: A, B) piani di frattura misurati nel Macigno (mg; staz. 1 e 2); C) distribuzione dei poli di 32 piani di frattura nel Macigno (freq. 1, 2, 3, 4, 5 %) (mg; staz. 1 e 2); D, E, F, G, H) diaclasi, faglie e strie nelle Argille e calcari (ac; staz. 3, 4, 5 e 6); I) distribuzione statistica dei poli di 41 piani di frattura nelle Argille e calcari (freq. 1, 2, 3... 8%) (ac; staz. 3, 4, 5 e 6). 1) Strie, movimento diretto; 2) strie, movimento prevalentemente diretto; 3) strie, movimento prevalentemente trascorrente.

FIG. 3 - Fault and joint distribution in the S. Romano in Garfagnana area (equal-area Schmidt net, lower hemisphere; sites of measurement in fig. 1): A, B) planar features of the Macigno sandstone (mg; sites 1, 2); C) pole distribution to 32 planar features of the Macigno sandstone (freq. 1, 2, 3, 4, 5 %) (mg; sites 1, 2); D, E, F, G, H) planar features and grooves of the Argille e calcari Fm. (freq. 1, 2, 3... 8%) (ac; sites 3, 4, 5, 6); I) pole distribution to 41 planar features of the Argille e calcari Fm. (ac; sites 3, 4, 5, 6). 1) Dip-slip groove; 2) mainly dip-slip groove; 3) mainly strike-slip groove.

di densità: un sistema «appenninico» con direzione NW-SE ed uno trasversale avente direzione circa est-ovest; sono presenti, inoltre, alcuni sistemi di minore importanza, tra i quali uno con direzione circa nord-sud. Le faglie mostrano frequentemente strie, sia in calcite che in roccia, orientate secondo diverse direzioni, senza che si riesca a stabilirne con certezza la successione temporale. Le strie testimoniano, in genere, una componente principale di movimento diretto, secondo l'immersione del piano di faglia; in questo caso l'angolo che la stria forma, sul piano di faglia, con la direzione del piano stesso (*pitch*) è maggiore di 45°. In alcuni casi, tuttavia, la componente principale del movimento indicato dalle strie è di tipo trascorrente, essendo disposta secondo la direzione del piano di faglia

(*pitch* compresi tra 0° e 35°). Nel primo caso, quindi, il senso di movimento di queste faglie coincide spesso con quello dei movimenti gravitativi, rendendo così possibile un legame genetico.

Oltre a questi elementi strutturali, probabilmente connessi alla tettonica regionale, il rilevamento non ha messo in evidenza strutture distensive nella parte alta del versante, né altre di tipo compressivo al piede, eventualmente attribuibili a movimenti gravitativi lungo il versante stesso. Ciò può derivare dalla mancanza, nella zona di interesse, di sezioni per l'analisi strutturale; infatti, vaste aree sono mascherate dai corpi di frana.

L'analisi dei caratteri strutturali rilevati nell'area di S. Romano non ha quindi permesso (anche per la suddetta scarsità di affioramenti) di mettere in evidenza strutture deformative ascrivibili a movimenti gravitativi profondi. È stato tuttavia osservato che la distribuzione e l'orientazione degli elementi strutturali hanno comunque condizionato la localizzazione di alcuni movimenti di massa, le cui zone di distacco e superfici di scorrimento si sono parzialmente impostate in corrispondenza di zone meccanicamente deboli (faglie e diaclasi). Più evidente sembra la connessione tra posizione e orientazione della faglia che mette a contatto le Argille e calcari con il Macigno e localizzazione, orientazione e forma delle depressioni a nord-ovest di S. Romano e a nord-est di Naggio (descritte nel paragrafo successivo).

LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

I lineamenti geomorfologici dell'area studiata sono condizionati soprattutto dalle caratteristiche litologiche e dal motivo morfostrutturale della Val di Serchio, costituito dalla depressione tettonica, entro la quale scorre in posizione mediana il fiume; significativa l'impronta data al paesaggio dai movimenti franosi.

Nella parte nord dell'area studiata (fig. 2) il M. Pisone-Carescialetto, costituito in gran parte di arenaria Macigno, fa parte dei pilastri orientali, che limitano verso nord-est la depressione tettonica della Garfagnana. La porzione superiore del versante sud-ovest di questo rilievo scende ripida verso il Serchio, con un'inclinazione di circa 35°, conforme alla stratificazione; gran parte di questa zona è occupata da vasti corpi di frana di scorrimento traslativo di roccia (Varnes, 1978; Carrara & alii, 1987), le cui scarpate principali sono ubicate a ridosso del crinale di questo rilievo. Sono riconoscibili, soprattutto al limite orientale di questi corpi di frana, lembi di falde detritiche, prodotte dalla degradazione delle scarpate di frana.

Nella zona mediana del versante, a quota di circa 550 m s.l.m., le Argille e calcari vengono a contatto per faglia con il Macigno. Si ha qui una netta riduzione di pendenza, marcata anche dalla presenza di aree subpianeggianti o in contropendenza, nei pressi delle quali sorgono il paese di S. Romano e il nucleo abitato di Naggio. In particolare, si riconoscono due deboli ampie depressioni allungate, subparallele alla faglia. La depressione più occidentale è allungata per circa 300 m in direzione nord-sud, allargandosi fin quasi a 150 m; l'altra è orientata NW-SE, con lunghezza

analogha e larghezza di poco inferiore. Entrambe dovevano costituire dei bacini di ristagno delle acque piovane e ruscianti; infatti quella occidentale era soggetta fino a pochi decenni or sono a periodici e talora prolungati ristagni d'acqua, con la formazione di depositi di ambiente palustre; successivamente questi allagamenti non si sono più verificati, verosimilmente in seguito alla realizzazione di drenaggi superficiali e di un terrapieno in materiali di riporto e anche per una modificazione della circolazione idrica sotterranea. Una storia non molto dissimile deve aver avuto la depressione orientale; le due depressioni sono attualmente quasi colmate da depositi di varia natura (palustri, detritici, di frana, colluviali, antropici), sulla cui stratigrafia non si hanno dati più precisi. Si ritiene che questi pianori, sul significato dei quali si tornerà in seguito, siano espressione di movimenti gravitativi profondi, che hanno coinvolto la porzione media e inferiore del versante.

La porzione mediana del versante è occupata da un potente accumulo di materiale arenaceo, che copre per vaste estensioni le Argille e calcari; esso è composto da clasti eterometrici di Macigno in matrice sabbioso/limosa, contenente blocchi e pacchi di strati della stessa arenaria. Questo accumulo potrebbe essere il residuo di una vasta falda detritica, che in passato si appoggiava al versante di faglia; altrimenti, forse più verosimilmente, potrebbe trattarsi del piede delle grandi frane di scorrimento traslativo riconoscibili nella zona superiore del versante, smembrato e rimodellato dagli interventi antropici e da ulteriori movimenti di massa.

Procedendo ancora verso il fondovalle, sul lembo ribassato della faglia, il pendio è modellato prevalentemente nelle Argille e calcari e degrada più dolcemente verso il Serchio; localmente, fenomeni di morfoselezione mettono in risalto rocce più competenti (calcari marnosi, breccie), intercalate o sovrapposte alle argilliti. Le forme sono caratterizzate da impluvi e displuvi piuttosto ampi e arrotondati; si riconoscono due displuvi principali: uno scende da S. Romano, separando il Serchio dal T. Covezza; il secondo ospita il nucleo di Naggio. A quote inferiori, la zona di interfluvio ha sostanzialmente la configurazione di una conca valliva, quasi interamente occupata da movimenti franosi; al di sopra, i due displuvi si individuano con maggior difficoltà e tendono a confondersi con i pianori precedentemente descritti. Un altro vasto impluvio, a nord-ovest di Naggio, è anch'esso quasi totalmente interessato da movimenti franosi; numerose frane interessano anche il pendio che da S. Romano scende a sud/sud-est verso la Covezza. I tipi di movimento prevalenti sono rappresentati da scorrimenti rotazionali, colamenti e scorrimenti-colata (Varnes, 1978; Carrara & alii, 1987).

Da questa sintetica descrizione si evince che i movimenti di massa hanno avuto e hanno tuttora un ruolo significativo nella morfogenesi dell'area studiata. Si riconoscono anche, localmente, forme, processi e depositi fluviali; essi sono rappresentati in particolare da scarpate di erosione, da fenomeni di erosione di sponda e in alveo, da depositi alluvionali di fondovalle; la confluenza della Covezza nel Serchio ha generato un cono di deiezione relativamente vasto, in parte attivo.

CONDIZIONI CLIMATICHE

La posizione geografica, le variazioni altimetriche e la configurazione morfologica della Garfagnana influenzano in modo determinante il regime e la distribuzione delle precipitazioni, con afflussi meteorici, prevalentemente piovosi, che raggiungono valori tra i più alti in Italia (Trevisan, 1947). Infatti, la porzione medio-alta del bacino del F. Serchio è compresa tra la dorsale delle Alpi Apuane e quella dell'Appennino tosco-emiliano, disposte parallelamente alla costa ligure-tirrenica e pertanto notevolmente esposte alle perturbazioni atlantico-mediterranee; sulle dorsali citate risultano massimi di piovosità superiori rispettivamente a 3.200 e 2.900 mm/anno, mentre nella zona in esame, nella medio-alta Val di Serchio, si raggiungono 1.500-2.000 mm/anno (Baldacci & alii, 1993).

Alla stazione pluviometrica di Pontecosì (310 m s.l.m.), situata lungo il Serchio, pochi chilometri a valle di S. Romano, risulta una media, dal 1950 a oggi, di circa 1.600 mm/anno; il valore massimo fu registrato nel 1960 (2695 mm); particolarmente elevati anche i valori registrati negli anni 1952 (2.057 mm), 1965 (2.231 mm), 1968 (1.957 mm), 1977 (1.915 mm) e 1979 (2.221 mm). Le precipitazioni prolungate si verificano soprattutto nel periodo ottobre-febbraio, mentre quelle concentrate hanno una distribuzione meno regolare e sono più frequenti nella stagione estiva: 22 agosto 1965 (244 mm), 24-25 luglio 1968 (248 mm).

Queste abbondanti precipitazioni, soprattutto se prolungate, determinano l'incremento delle pressioni interstiziali, favoriscono lo scadimento delle proprietà fisico-mecaniche delle rocce e mantengono attiva l'erosione fluvio-torrentizia nei fondovalle, contribuendo nel tempo alla destabilizzazione dei pendii. Le piogge concentrate determinano sovente sia l'imbibizione delle coperture di versante, sia rapidi aumenti di portata dei corsi d'acqua e repentine azioni erosive, causando molteplici frane superficiali (scorimenti e colate di detrito).

SISMICITÀ

La Garfagnana rientra tra le aree sismicamente più attive dell'Appennino settentrionale, come testimoniano numerosissimi terremoti di intensità anche molto elevata, con epicentri generalmente allineati con i sistemi di faglie dirette che individuano la depressione tettonica. Dal 1464 al 1987 si sono registrate circa 250 scosse sismiche, delle quali oltre 20 superiori al VI-VII grado M.C.S. (Postipischl, 1985; Ferrari & alii, 1985; Boschi, 1987; Boschi & alii, 1995).

Particolarmente significativi, per la zona in esame, sono i terremoti del 15-5-1481 (VIII grado M.C.S., area epicentrale Piazza al Serchio), 6-3-1740 (VIII-IX, Barga), 23-7-1746 (IX, Alpi Apuane), 7-9-1920 (X, Villa Collemandina), 15-10-1939 (VII, Alpi Apuane). Si ricordano anche le scosse del 23-1-1985 (VI, Garfagnana), del 10-2-1987 (VI, Giuncugnano). Studi di pericolosità sismica (Cattaneo & alii, 1986) indicano per questa regione intensità attendibili fino al IX-X grado M.C.S., con periodo di ritorno di 500 anni.

Fra quelli citati, il sisma del 1920 provocò grandi distruzioni e numerose vittime in vaste aree della Garfagnana e della Lunigiana. Secondo la ricostruzione storica di Patacca & alii (1986), S. Romano, situato nei pressi della zona epicentrale del sisma, rientra fra i paesi più colpiti (VIII grado): vi furono testimoniate cadute di massi, franamenti e fessurazioni, intorbidimento e aumento di portata di sorgenti. L'attivazione o la rimobilizzazione di movimenti di massa si verifica, in genere, già con intensità del VI-VII grado M.C.S. (Keefer, 1984; Wilson & Keefer, 1985); rispetto ai casi studiati da tali autori, in occasione del terremoto del 1920 furono invece documentati pochi movimenti franosi, fra i quali quello presso Caprignana, nel territorio comunale di S. Romano (D'Amato Avanzi & alii, 1995b). Probabilmente l'attenzione fu volta soprattutto ai danni manifesti sugli edifici, parte dei quali potevano derivare da frane; non sono però note la distribuzione e la localizzazione precisa di tali danni, in modo da verificarne la posizione rispetto ai corpi di frana accertati. Inoltre il sisma si verificò al termine della stagione estiva, quando le falde idriche sono ai livelli più bassi e le condizioni di stabilità sono più favorevoli.

EVOLUZIONE DEL VERSANTE

Per meglio comprendere la struttura geologica e geomorfologica e la genesi dei movimenti di massa nell'area in oggetto, è opportuno ricapitolare le principali tappe evolutive del versante, che, a partire dal Villafranchiano inferiore, possono essere riferite a due periodi principali:

– *Villafranchiano inferiore* - *Villafranchiano superiore*. In Garfagnana si individuano gli elementi strutturali che condizionano gli sviluppi geomorfologici dell'area: le faglie dirette con direzione «appenninica» delimitano la depressione garfagnina; nella zona mediana della depressione si hanno le condizioni per la sedimentazione di potenti successioni continentali (bacini lacustri di Barga e di Castelnuovo di Garfagnana); ai lati, gli alti strutturali corrispondono alle aree morfologicamente rilevate, che fungono a loro volta da spartiacque del bacino idrografico; sul lato orientale della depressione tettonica, nella parte rialzata delle faglie, le rocce sono essenzialmente arenacee (Macigno), in quella ribassata sono presenti prevalentemente rocce argillitriche, riferibili ai domini Subligure e Ligure.

– *Pleistocene medio/superiore* - *Olocene*. La valle del Serchio, come in generale l'Appennino settentrionale, è interessata da fasi di sollevamento. Verosimilmente il versante studiato (M. Pisone-Carescioletto-F. Serchio) risponde a queste sollecitazioni in maniera differenziata, per la presenza di una faglia diretta. In corrispondenza del lembo rialzato della faglia, si ha un sollevamento più pronunciato, con un incremento dell'altezza e dell'acclività del versante, modellato in litotipi coerenti (Macigno). Sul lembo ribassato dovrebbe verificarsi una riduzione parziale dell'acclività, in seguito allo sprofondamento; tale tendenza viene però compensata e sovrastata dall'approfondimento del reticolo idrografico, in risposta al sollevamento regionale e alla variazione del livello di base per lo svuotamento dei bacini lacustri di Barga e Castelnuovo di G.; anche nella porzione

inferiore del versante si ha quindi un aumento di acclività. A questo mutamento di condizioni morfo-strutturali, il versante risponde con adattamenti gravitativi: a monte della faglia si ha soprattutto lo sviluppo di vasti movimenti franosi di scorrimento traslativo, che coinvolgono le arenarie; a valle di essa, le rocce argillitiche sono interessate da movimenti franosi, prevalentemente di scorrimento rotazionale e colamento.

Ai fattori destabilizzanti geologico-strutturali e neotettonici si aggiungevano verosimilmente le sollecitazioni sismiche, che durante i sollevamenti dovevano verificarsi con maggiore intensità e frequenza; un ruolo certamente significativo derivava anche dalle variazioni climatiche quaternarie, che hanno concorso allo sviluppo delle glaciazioni e determinato significativi incrementi delle precipitazioni durante i periodi glaciali. Le abbondanti precipitazioni causavano una saturazione pressoché completa e quindi un aumento della pressione interstiziale, non solo nei mezzi porosi (arenarie tettonizzate del Macigno, depositi superficiali), ma anche nella parte più superficiale delle argilliti, che, a causa della forte tettonizzazione e dell'alterazione, diventava sede di un acquifero, alimentato, oltre che dalle piogge, anche dalle sorgenti in corrispondenza del contatto per faglia tra Macigno e Argille e calcari.

I MOVIMENTI DI MASSA

Il versante sul quale giace S. Romano è caratterizzato dalla presenza di un grande numero di fenomeni franosi (fig. 2), che si differenziano notevolmente sia come tipologia, sia per lo stato di attività.

Come già accennato, la porzione superiore del versante sud-ovest del M. Pisone-Carescialetto è modellata nel Macigno e corrisponde al lembo rialzato di una faglia diretta; su questo pendio si riconoscono estesi movimenti di massa, riconducibili per la maggior parte a scorrimenti traslativi di roccia in blocco. Essi si impostano in genere lungo i piani di strato del Macigno, disposti a franapoggio con inclinazione di circa 35°, sostanzialmente corrispondente a quella media del versante; il distacco avviene a quota prossima a quella della sommità del rilievo (880 m). Gli accumuli, che raggiungono un'estensione complessiva di circa 0.6 km² e uno spessore di circa 40 m, nella zona di piede poggiano

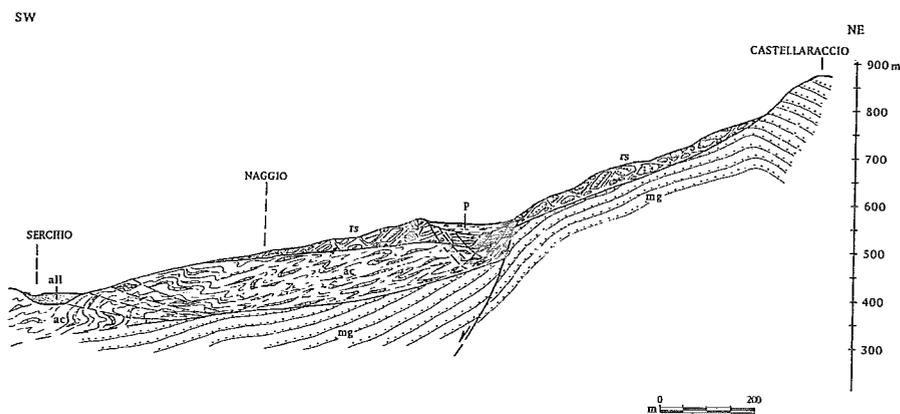
anche sulla formazione delle Argille e calcari (figg. 2, 4). Questi corpi di frana non mostrano globalmente indizi significativi di instabilità; non sono testimoniate neanche riattivazioni storiche, come in parte conferma la presenza di un fitto bosco di alto fusto. Si notano però riattivazioni parziali al piede degli accumuli, in parte connesse con interventi antropici.

Più a valle le condizioni geologiche variano sostanzialmente, essendo il versante impostato prevalentemente in rocce argillitiche. I movimenti franosi sono rappresentati soprattutto da scorrimenti rotazionali, ai quali spesso si associano fenomeni di colamento. Frequentemente i corpi di frana, che hanno dimensioni notevolmente variabili, sono tra loro coalescenti, o difficilmente discriminabili. Lo stato di attività è notevolmente variabile; risultano attivi soprattutto i fenomeni che subiscono erosione fluvio-torrentizia al piede, come alcuni posti lungo la Covezza di S. Romano o prospicienti il fondovalle del Serchio. Molte di queste frane sono caratterizzate da movimenti lenti e continui, con accelerazioni nelle stagioni piovose; questi dissesti coinvolgono prevalentemente la viabilità, mentre gli edifici sono interessati più raramente. Una delle zone a più alta densità di frane è quella a sud-ovest di S. Romano, dove un vasto impluvio è occupato da estesi corpi di frana di scorrimento e colamento, alcuni dei quali appaiono in progressivo smantellamento; in quest'area si hanno indizi di periodiche riprese di movimento, i cui effetti si sono risentiti soprattutto nelle zone di testata (Chiesa di S. Antonio e dintorni, ca. 200 m a nord-ovest di S. Romano).

Il versante è quindi vistosamente interessato da movimenti franosi, alcuni dei quali raggiungono dimensioni considerevoli (lunghezza complessiva superiore a 1 km, larghezza massima fino a circa 250 m; fig. 2), pur essendo relativamente superficiali; lo spessore massimo sembra non superare 20-25 m. Occorre però considerare con maggiore attenzione la presenza delle due depressioni precedentemente descritte, localizzate a nord-ovest di S. Romano e a nord di Naggio (fig. 2), con un'orientazione simile a quella della faglia prima citata. Si ritiene che queste depressioni, che interrompono la continuità del versante (fig. 5), costituiscano indizi significativi dell'esistenza in quest'area di movimenti di massa più profondi, che potrebbero rientrare nel novero dei fenomeni di deformazione gravitativa profonda di versante (Dgpv).

FIG. 4 - Sezione geologica lungo la traccia di fig. 1: mg) Macigno; ac) Argille e calcari; p) depositi palustri e colluviali; all) depositi alluvionali recenti e attuali; rs) corpo di frana di scorrimento di roccia in blocco.

FIG. 4 - Geological cross-section (section line in fig. 1): mg) Macigno sandstone; ac) Argille e calcari Fm.; p) marshy and colluvial deposits; all) recent and present alluvial deposits; rs) landslide body (rock-block slide).



I fenomeni di Dgpv sono oggetto di studi ormai da vari decenni (si ricordano i lavori di Jahn, 1964; Zischinsky, 1969; Melidoro & Guerricchio, 1969; Nemcok, 1972; Radbruch-Hall & *alii*, 1976; Ter-Stepanian, 1977; Dramis & *alii*, 1987); fra i caratteri che li contraddistinguono vengono comunemente considerati, fra gli altri: grandi dimensioni delle masse coinvolte; meccanismi di rottura tipo *creep*; mancanza di una superficie di taglio netta, delimitante la massa interessata; movimento frequentemente controllato dall'assetto geologico-strutturale, piuttosto che dalla morfologia locale; evoluzione molto lenta, con lunghi periodi di inattività o di attività estremamente ridotta, intervallata a brevi periodi di attivazione improvvisa, spesso in occasione di terremoti o eventi meteorici estremi. A questi fenomeni sono spesso associate forme dovute al rilassamento delle masse rocciose, localizzate nelle zone in cui la pressione confinata è minore (presso la sommità e alla base dei versanti). Pertanto, nella parte alta dei versanti interessati da Dgpv, sono relativamente comuni le depressioni allungate trasversalmente alla direzione di massima pendenza, note anche come «trincee»; al piede sono talvolta riconoscibili superfici di taglio e deformazioni di tipo duttile/fragile.

Si ritiene quindi che le due depressioni individuate nei dintorni di S. Romano e Naggio rappresentino delle «trincee», espressione superficiale di fenomeni di Dgpv, che coinvolgono le Argille e calcari (a valle quindi della faglia che mette questa formazione a contatto con il Macigno), una formazione sostanzialmente duttile. Come già accennato, queste trincee sono attualmente quasi colmate da depositi di varia natura (palustri, detritici, di frana, colluviali, antropici), mentre i bordi e le scarpate che limitano queste trincee sono piuttosto smussati (fig. 6); ciò può derivare da una prolungata inattività del fenomeno di Dgpv che ne è all'origine; tale inattività è indirettamente confermata, almeno per gli ultimi decenni, dall'assenza di lesioni significative negli edifici presenti all'interno delle trincee suddette.

La configurazione morfologica di questo movimento gravitativo profondo e le caratteristiche litologiche delle rocce interessate, intensamente deformate e notevolmente duttili, sono compatibili con un colamento di roccia (Var-



FIG. 5 - Vista del versante di S. Romano in Garfagnana; sono riconoscibili le trincee (T) e alcuni vasti movimenti di massa.

FIG. 5 - A view of the S. Romano in Garfagnana slope; trenches (T) and some large mass movements are recognizable.

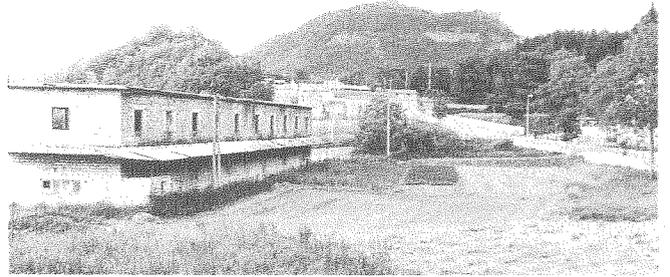


FIG. 6 - Vista della trincea a nord-ovest del paese di S. Romano in Garfagnana.

FIG. 6 - A view of the trench north-west of S. Romano in Garfagnana.

nes, 1978; Carrara & *alii*, 1987), con una certa analogia con i fenomeni tipo *Sackung* (Zischinsky, 1969). Questo movimento si imposterebbe, nella zona di testata, in corrispondenza della faglia (fig. 4) e sarebbe limitato inferiormente dalla superficie di contatto tettonico tra il Macigno e le Argille e calcari; lo spessore interessato sarebbe superiore a 100 m.

L'esame della stessa fig. 4 suggerisce una possibile interpretazione dei potenti accumuli di materiale arenaceo, affioranti nella zona intermedia del pendio, tra S. Romano e Naggio; come già accennato, essi potrebbero costituire il piede delle frane di scorrimento che coinvolgono la porzione superiore del versante. Tali frane avrebbero raggiunto il fondovalle, all'epoca verosimilmente impostato in corrispondenza del lembo ribassato della faglia, accumulandosi in parte sopra le Argille e calcari. Successivamente, i sollevamenti locali e l'approfondimento del *Talweg* del Serchio avrebbero progressivamente destabilizzato la porzione inferiore del pendio, determinando l'instaurarsi dei movimenti profondi nelle Argille e calcari; nella zona di testata, tali movimenti avrebbero interessato il piede degli accumuli delle frane di scorrimento, separandoli dal resto dei corpi di frana, determinandone la parziale rotazione e formando le depressioni in contropendenza, con il ristagno delle acque ruscellanti.

Durante il Pleistocene medio/superiore-Olocene (cfr. la sintesi evolutiva del versante), si sarebbero verificate prima le frane nella porzione superiore del pendio e successivamente i movimenti gravitativi della parte più a valle. Le frane nel Macigno, temporalmente non collocabili con maggior precisione e forse determinate da condizioni climatiche diverse dalle attuali, potrebbero quindi non aver esaurito le loro potenzialità di movimento; infatti, la destabilizzazione delle zone a valle può determinare nel tempo, attraverso i movimenti gravitativi profondi, una progressiva mancanza di appoggio del piede delle frane suddette, favorendone la riattivazione. L'esistenza di un'instabilità protrattasi a lungo nella zona delle trincee, pur senza manifestazioni parossistiche, potrebbe trovare conferma nella

manca di nuclei abitati in tale area; l'ambiente antropico avrebbe conservato una sorta di memoria storica, che avrebbe portato a evitare o limitare l'utilizzo di queste aree instabili, caratterizzate anche da condizioni ambientali sfavorevoli per il ristagno delle acque.

LA PERICOLOSITÀ DI FRANA

Il versante di S. Romano è quasi totalmente interessato da movimenti franosi, molti dei quali interferiscono con nuclei abitati, infrastrutture e viabilità; siamo pertanto in presenza di una grave situazione di rischio. In seguito a dissesti avvenuti in passato, anche recentemente, il paese rientra fra i centri abitati da consolidare o trasferire con i contributi dello Stato (Legge n. 445/1908); inoltre è stato oggetto di sopralluoghi disposti dal Dipartimento della Protezione Civile (Legge n. 120/1987), per far fronte a situazioni di pericolo incombente. Il patrimonio edilizio presenta lesioni e consolidamenti strutturali, le cui caratteristiche e distribuzione spesso non sono facilmente riconducibili a movimenti definiti; le lesioni sono comunque più diffuse nelle zone in cui sono meglio riconoscibili movimenti di massa.

In una situazione così complessa si è ritenuto opportuno tentare una valutazione sperimentale della pericolosità dei movimenti franosi. La pericolosità può essere considerata uno dei parametri più significativi nell'analisi del rischio di frana ed è intesa come probabilità di accadimento di un evento franoso, esprimibile anche come tempo di ritorno dell'evento (Varnes & Jaeg, 1984); la determinazione di tale parametro è tuttavia notevolmente difficoltosa.

La valutazione della pericolosità di frana si è basata preliminarmente sul rilevamento delle forme e dei processi principali connessi con l'instabilità dei versanti e sulla verifica del loro stato di attività (cfr. fig. 2). Il tentativo di individuazione dei tempi di ritorno ha avuto come passo fondamentale quello dell'analisi storica: allo scopo di ottenere ogni tipo di informazione riguardante i dissesti, sono stati consultati archivi del Comune e di istituzioni culturali e religiose, biblioteche, uffici tecnici, parrocchie e periodici; altri dati sono stati raccolti in loco, direttamente dagli abitanti della zona. Con questi dati, in vari casi è stato possibile definire la continuità o l'intermittenza di un movimento franoso, metterlo in relazione con le cause e valutare gli effetti di eventuali interventi di bonifica.

Maggiori informazioni sono state ottenute sui fenomeni caratterizzati da movimento continuo o stagionale e su quelli che hanno manifestato attivazioni negli ultimi anni o decenni. Viceversa, per i fenomeni meno recenti, le informazioni sono scarse, imprecise e meno attendibili per la localizzazione spazio-temporale; questa carenza di informazioni è verosimilmente legata anche ad una deplorabile disattenzione verso il territorio da parte degli enti preposti. Non è stato pertanto possibile, in questa fase, discriminare la pericolosità dovuta ai sismi e agli interventi antropici da quella connessa agli eventi meteorologici, certamente preponderante; ad esempio, per quanto riguarda il sisma del 1920, precedentemente citato, Patacca & alii (1986) riportano cadute di massi e franamenti, dei quali non è nota però la localizzazione precisa.

Ne è scaturito un quadro di movimenti franosi che in genere costituiscono riattivazioni lente di frane preesistenti e che sono caratterizzati da movimenti lenti e continui o stagionali, oppure da movimenti intermittenti periodici, con fasi parossistiche, nelle quali la velocità è stata comunque moderata. Le frane sono state suddivise in classi di pericolosità di frana (fig. 2), seguendo fondamentalmente la metodologia proposta da Del Prete & alii (1992); la suddivisione è stata effettuata in base al tempo di ritorno stimato (Tr , in anni), secondo lo schema seguente:

Classe I	(Pericolosità bassa)	$Tr > 50$	Frane intermittenti
Classe II	(Pericolosità media)	$10 < Tr < 50$	Frane intermittenti
Classe III	(Pericolosità elevata)	$2 < Tr < 10$	Frane intermittenti
Classe IV	(Pericolosità molto elevata)	$Tr < 2$	Frane continue e stagionali

Come accennato, le informazioni raccolte sono complete solo per una parte dei movimenti franosi dell'area studiata, in particolare per quelle che coinvolgono edifici o infrastrutture; con l'obiettivo di sperimentare una carta della pericolosità di frana per tutta la zona di S. Romano, i dati raccolti sono stati utilizzati anche per le frane che si trovano in situazioni geologiche e geomorfologiche analoghe a quelle delle frane più documentate.

Gli studi storici e le testimonianze attuali hanno permesso di riconoscere varie situazioni di rischio, la cui entità va rapportata al valore degli insediamenti presenti e ai tempi di ritorno dei vari fenomeni di instabilità. Varie zone sono interessate da movimenti continui o intermittenti, a periodicità stagionale o biennale, che coinvolgono soprattutto la rete stradale; l'abitato risulta esposto soprattutto a riattivazioni lente con tempi di ritorno pluriennali (da alcuni anni fino a dieci), in particolare nelle zone perimetrali (presso la scuola elementare, nella zona della chiesa di S. Antonio, presso il municipio). Tempi di ritorno più lunghi sono stati stimati soprattutto per le frane più vaste, per le quali non si hanno valide testimonianze; i vasti corpi di frana nelle rocce argillitiche, per i quali non si ricordano riattivazioni, risultano infatti notevolmente rimodellati dagli agenti esogeni e dalle attività antropiche. Anche gli estesi accumuli di arenaria Macigno appaiono notevolmente stabilizzati, come testimonia anche la fitta copertura boschiva di alto fusto.

Per quanto riguarda la Dgpv che coinvolge la porzione media e inferiore del versante, modellata nelle Argille e calcari, è verosimile che la sua attività sia caratterizzata da lunghi periodi di quiescenza o di lenta deformazione, con brusche accelerazioni scatenate da sismi o eventi meteorici estremi. Tale movimento gravitativo si sarebbe sviluppato soprattutto nel Pleistocene superiore-Olocene, raggiungendo poi una fase di quiescenza, che verosimilmente dura da lungo tempo; in mancanza di altri dati, si ritiene piuttosto aleatoria una stima della sua pericolosità, ipoteticamente indicata con $Tr > 50$ (I classe).

CONCLUSIONI

Lo studio geologico e geomorfologico della zona di S. Romano in Garfagnana ha messo in evidenza le connessioni tra i movimenti di massa (frane, deformazioni gravitative

profonde di versante), le caratteristiche geologico-strutturali e l'evoluzione morfoneotettonica. L'analisi mesostrutturale, compiuta sulle deformazioni fragili, ha confermato che i movimenti di massa e i loro caratteri distintivi (aree di distacco, superfici di scorrimento, trincee) sono spesso condizionati dalla distribuzione e orientazione degli elementi strutturali (faglie, diaclasi); non sono state invece riconosciute, ma potrebbero essere mascherate dalle frane più recenti, strutture deformative duttili o fragili prodotte dai movimenti gravitativi profondi.

Da questi studi e dalle ricerche storico-archivistiche è scaturito un quadro di pericolosità di frana notevolmente complesso. La zonazione sperimentale della pericolosità ha messo in evidenza zone caratterizzate da movimenti continui o intermittenti a periodicità stagionale o annuale, che coinvolgono soprattutto la rete di collegamento stradale; il paese di S. Romano risulta esposto prevalentemente a riattivazioni periodiche, con tempo di ritorno pluriennale; si manifestano quindi varie situazioni di rischio, la cui entità è connessa, oltre che alla succitata pericolosità, al valore degli insediamenti presenti.

L'attuale pericolosità di frana, che si riscontra nell'area studiata, sembra dipendere prevalentemente dall'evoluzione continua o dalla riattivazione frequente di un numero cospicuo di fenomeni franosi superficiali, caratterizzati generalmente da movimenti lenti. La tendenza alla destabilizzazione della porzione inferiore e media, connessa allo sviluppo di fenomeni di Dgpv, potrebbe nel tempo estendere nuovamente l'instabilità a gran parte del versante.

BIBLIOGRAFIA

- BALDACCIO F., CECCHINI S., LOPANE G. & RAGGI G. (1993) - *Le risorse idriche del bacino del Fiume Serchio ed il loro contributo all'alimentazione dei bacini idrografici adiacenti*. Mem. Soc. Geol. It., 49, 365-391.
- BARTOLINI C., BERNINI M., CARLONI G.C., CASTALDINI D., COSTANTINI A., FEDERICI P.R., FRANCAVILLA F., GASPERI G., LAZZAROTTO A., MARCHETTI G., MAZZANTI R., PAPANI G., PRANZINI G., RAU A., SANDRELLI F. & VERCESI P.L. (1983) - *Carta neotettonica dell'Appennino Settentrionale - Note illustrative*. Boll. Soc. Geol. It., 101 (1982), 523-549.
- BOCCALETTI M., COLI M., DECANDIA F.A., GIANNINI E. & LAZZAROTTO A. (1981) - *Evoluzione dell'Appennino settentrionale secondo un nuovo modello strutturale*. Mem. Soc. Geol. It., 21 (1980), 359-373.
- BOSCHI E. (1987) - *I terremoti: aspetti generali della previsione con riferimento alla situazione sismica della Garfagnana e della Val di Lima*. Atti Tav. Rot. «Rischi idrogeologici, chimico-industriali e sismici della Provincia di Lucca e dell'Appennino Pistoiese». Lions Club, Lucca, 12-12-1987, 23-38.
- BOSCHI E., FERRARI G., GASPERINI P., GUIDOBONI E., SMRIGLIO G. & VALENSISE G. (1995) - *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. Ist. Naz. di Geofisica - SGA, 973 pp.
- CARRARA A., D'ELIA B. & SEMENZA E. (1987) - *Classificazione e nomenclatura dei fenomeni franosi*. Geol. Appl. Idrogeol., 20 (2), 1985, 223-243.
- CATTANEO M., EVA C., GIGLIA G. & MERLANTI F. (1986) - *Pericolosità sismica della Garfagnana*. In: «Progetto terremoto in Garfagnana e Lunigiana», CNR-GNDT e Regione Toscana, 56-64.
- D'AMATO AVANZI G., MAZZANTI G. & PUCCINELLI A. (1995a) - *Fenomeni di deformazione gravitativa profonda nell'area a nord-ovest di Bagnone (Massa Carrara)*. Atti «IV Seminario del Gruppo Dgpv», Chiusi della Verna (AR), 24-28 Maggio 1993. Mem. Soc. Geol. It., 50, 109-12.
- D'AMATO AVANZI G., PIERONI A. & PUCCINELLI A. (1995b) - *La pericolosità da frana nell'area compresa tra San Romano e Pontecosì*. Atti 1° Conv. Gruppo Naz. Geol. Appl. «La città fragile in Italia», Giardini Naxos (ME), 11-15 Giugno 1995. Geol. Appl. e Idrogeol., 30 (I), 225-240.
- DALLAN L. & NARDI R. (1974) - *Schema stratigrafico e strutturale dell'Appennino settentrionale*. Mem. Accad. Lunig. Sc. «G. Capellini», 42 (1972), 1-212.
- DEL PRETE M., GIACCARI E. & TRISORIO-LIUZZI G. (1992) - *Rischio da frane intermittenti a cinematica lenta nelle aree montuose e collinari urbanizzate della Basilicata*. Cnr-Gndci, pubbl. n. 841, 84 pp.
- DRAMIS F., MAIFREDI P. & SORRISO-VALVO M. (1987) - *Deformazioni gravitative profonde di versante. Aspetti geomorfologici e loro diffusione in Italia*. Geol. Appl. Idrogeol. 20 (2), 1985, 377-390.
- ELTER P. (1960) - *I lineamenti tettonici dell'Appennino a Nord Ovest delle Apuane*. Boll. Soc. Geol. It., 79 (2), 273-312.
- ELTER P. (1973) - *Lineamenti tettonici ed evolutivi dell'Appennino settentrionale*. Quad. Acc. Naz. Lincei, 183, 97-109.
- ELTER P., GIGLIA G., TONGIORGI M. & TREVISAN L. (1975) - *Tensional and compressional areas in the recent (Tortonian to present) evolution of the northern Apennines*. Boll. Geofis. Teor. Appl., 17, 3-18.
- FEDERICI P.R. & RAU A. (1980) - *Note illustrative della neotettonica del foglio 96-Massa*. In: Contrib. Prelim. Realizz. Carta Neotett. d'It., Prog. Fin. Geodin. Cnr, pubbl. n. 356, 1365-1382.
- FERRARI G., PATACCA E., PETRINI V. & SCANDONE P. (1985) - *The Garfagnana earthquake of September 7, 1920*. In: «Atlas of Isoeismal Maps of Italian Earthquakes». Cnr-Prog. Fin. Geodin., Quad. «La Ricerca Scientifica», n. 114 (2A), 130-133.
- JAHN A. (1964) - *Slope morphological features resulting from gravitatio*. Zeit. Geomorph., Suppl. B. 5, 59-72.
- KEEFER D.K. (1984) - *Landslides caused by earthquakes*. Geol. Soc. America Bull., 95, 406-421.
- MELIDORO G. & GUERRICCHIO A. (1969) - *Geologia, fenomeni franosi e problemi di difesa del suolo nel Vallone Colella (Aspromonte)*. Geol. Appl. e Idrogeol., 63-84.
- NARDI R., PUCCINELLI A. & TRIVELLINI M. (1989) - *Carta geologica e carta della franosità della Garfagnana e della Media Valle del Serchio (Lucca): elemento «Vibbian» (scala 1:10.000)*. Tip. Selca, Firenze.
- NARDI R., PUCCINELLI A., CAREDDIO F. & DE LUCIA P.L. (1992) - *Carta geologica e carta della franosità della Garfagnana e della Media Valle del Serchio (Lucca): elemento «Camporgiano» (scala 1:10.000)*. Tip. Selca, Firenze.
- NEMCOK A. (1972) - *Gravitational slope deformations in high mountains*. Proc. 24th Int. Geol. Congr., Montreal, Sect. 13, 132-141.
- PATACCA E., SCANDONE P., PETRINI V., FRANCHI F., SARGENTINI M. & VITALI A. (1986) - *Revisione storica*. In: «Progetto terremoto in Garfagnana e Lunigiana», Cnr-Gndt e Regione Toscana, Ed. La Mandragora, Firenze, 46-60.
- POSTPISCHL D., Ed. (1985) - *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. Cnr-Prog. Fin. Geodin., Quad. «La ricerca scientifica», 114 (2), Bologna, 239 pp.
- RADBRUCH-HALL D.H., VARNES D.J. & SAVAGE W.Z. (1976) - *Gravitational spreading of steep-sided ridges («Sackung») in Western United States*. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., 14, 23-35.
- TER-STEPANIAN G. (1977) - *Deep-reaching gravitational deformation of mountain slopes*. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., 16, 87-94.
- TREVISAN L. (1947) - *Sui rapporti fra precipitazione e rilievo nella regione Apuana*. Atti XIV Congr. Geogr. It. Bologna, 8-12 Aprile 1947, 340-342.
- VARNES D.J. (1978) - *Slope movement types and processes*. In: Schuster R.L. & Krizek R.J. (ed.), *Landslides analysis and control*. Transp. Research Board, Special Rept. 176, Nat. Acad. of Sciences, 11-33.
- VARNES D.J. & IAEG Commission on landslides (1984) - *Landslide Hazard Zonation - A Review of the Principles and Practice*. Unesco, Natural Hazards Series, 3, 63 pp.
- WILSON R.C. & KEEFER D.K. (1985) - *Predicting areal limits of earthquake-induced landsliding*. In: Ziony J.I., (ed.), *Evaluating hazards in the Los Angeles region*. U.S. Geol. Surv., Prof. Paper 1360, 317-345.
- ZISCHINSKY U. (1969) - *Über Sackungen*. Rock Mechanics, 1 (1), 30-52.