

DAVIDE BERNARDINELLO (*), FEDERICA FIORANI (*) & MARIA CHIARA TURRINI (*)

IL MOVIMENTO GRAVITATIVO LENTO DEL SASS DEL CAMIN (AGORDO, BELLUNO)

ABSTRACT: BERNARDINELLO D., FIORANI F. & TURRINI M.C., *The slow gravitational movement of the Sass del Camin (Agordo, Belluno, Italy)*. (IT ISSN 0391-9838, 1997).

Aim of this research is the study of the head areas of Missiaga and Bordina torrents, which are left tributaries of T. Cordevole near Agordo (BL). From a geological point of view, this area is characterised by the Triassic formations outcrop, that constitute a rigid-plastic contact system. In fact, the terrigenous formation of La Valle, San Cassiano and Raibl, which have a total thickness of 350-400 m, underlie the formation of Dolomia Principale, about 800 m thick in the Missiaga valley and 300 m thick in the Bordina one. Moreover, the intense Alpine tectonic activity has provided a dense network of discontinuities. The contrast of the shear strength between the formations and the disjunction of the dolomitic mass have originated different typologies of large landslides (millions of cubic meters): the Missiaga valley is characterised by some back-tiltings, whereas the watershed zone between the two valleys is affected by a slump that originated in the terrigenous formations, consequently inducing the translation of a huge dolomitic block along a pre-existing joint. The study concerns this latter movement that, due to its largeness and low velocity, has been analysed using classic methodologies including geological, geomorphologic surveys and photo interpretation. The associated smaller landslides were investigated by more specific methods: geomechanical survey of the rock mass at the face behind and geotechnical studies with stability analysis of terrigenous slope.

KEY WORDS: Gravitational movements, Geomorphological evolution, Eastern Dolomites (Italy).

RIASSUNTO: BERNARDINELLO D., FIORANI F. & TURRINI M.C., *Il movimento gravitativo lento del Sass del Camin (Agordo, Belluno)*. (IT ISSN 0391-9838, 1997).

In questo lavoro viene presentato lo studio condotto nelle zone di testata dei torrenti Missiaga e Bordina, affluenti di sinistra del T. Cordevole presso Agordo (BL). Quest'area, dal punto di vista geologico, è caratterizzata dalla presenza di formazioni triassiche che costituiscono un sistema placca lapidea-substrato: si tratta infatti delle formazioni terrigene di La Valle, San Cassiano e Raibl, per una potenza totale di circa 350-400 m, a cui è sovrapposta la Dolomia Principale, con spessore variabile da 800 m circa nella valle del T. Missiaga a 300 m in quella del T. Bordina. L'ammasso roccioso inoltre si presenta fittamente fratturato a causa della tettonica alpina molto spinta che l'ha variamente smembrato e dislocato. Il contrasto di competenza esistente tra i due litotipi e la fratturazione della

massa dolomitica hanno dato origine a movimenti di blocchi dell'ordine di milioni di mc, con tipologie diverse: mentre nella valle del T. Missiaga si hanno prevalentemente basculamenti interni, nella zona di confine tra le due valli si è impostato uno scivolamento rotazionale nelle formazioni terrigene con conseguente traslazione di un grande blocco di Dolomia Principale lungo un giunto preesistente. Lo studio è stato concentrato su quest'ultimo movimento che, date le dimensioni e la bassissima velocità, è stato analizzato con una metodologia classica di rilevamento geologico, geomorfologico e studio foto interpretativo. I dissesti a piccola scala ad esso collegati sono invece stati studiati utilizzando anche metodi più specifici: uno studio geomeccanico dell'ammasso roccioso nelle pareti retrostanti e analisi geotecniche con calcolo della stabilità per il dissesto impostato nelle formazioni terrigene.

TERMINI CHIAVE: Movimenti gravitativi, Evoluzione geomorfologica, Dolomiti Orientali (Italia).

INTRODUZIONE

Il contrasto di competenza esistente tra una placca lapidea, fratturata e scompagnata da eventi tettonici intensivi, sovrapposta a formazioni terrigene a comportamento plastico, porta spesso a movimenti gravitativi di grandi dimensioni e molto lenti nel tempo.

La generale situazione di dissesto presente alle testate dei torrenti Missiaga e Bordina, affluenti di sinistra del T. Cordevole, sembra possa essere imputabile ad un fenomeno di questo tipo.

Sullo spartiacque che separa i torrenti, inoltre, si trova l'accumulo di una grande frana in massa di Dolomia Principale (circa 10 milioni di m³), completamente isolato dalle pareti retrostanti. Tale accumulo forma un colle, il Sass del Camin, che destabilizza col suo peso le formazioni terrigene sottostanti, inducendo in queste dei meccanismi di movimento complessi (scivolamenti rotazionali-colate di terra) (Varnes, 1978), attualmente attivi nel bacino del T. Bordina e quiescenti in quello del T. Missiaga.

Date le dimensioni e l'estensione generalizzata del dissesto, lo studio è stato affrontato con un approccio classico di tipo geologico e geomorfologico, mentre per l'analisi dei meccanismi di instabilità localizzati e superficiali è stata

(*) Dipartimento di Scienze Geologiche e Paleontologiche, Università di Ferrara, corso Ercole I D'Este 32 - 44100 Ferrara.

svolta un'indagine geomeccanica delle pareti lapidee retrostanti il Sass del Camin e una caratterizzazione geotecnica delle formazioni terrigene coinvolte nel dissesto attuale, con calcolo del fattore di sicurezza.

Benché la situazione studiata non abbia, dal punto di vista scientifico, una rilevanza particolare, essa suscita però notevole interesse e preoccupazione per il rischio a cui è soggetto il paese di La Valle Agordina, costruito sull'apice del cono di deiezione formato dai due torrenti e dichiarato da trasferire con R.D. del 1908 a seguito di una serie di eventi franosi. Per la sua ubicazione infatti l'abitato è sottoposto al pericolo proveniente dallo sviluppo dei dissesti presenti nelle due valli; più volte, nel passato, esso è stato danneggiato o distrutto dai detriti che hanno invaso gli alvei e sono stati trasportati rovinosamente a valle dalle acque dei torrenti (Da Roit, 1982).

ASPETTI GEOGRAFICI E CLIMATICI DEL BACINO MISSIAGA - BORDINA

L'area in esame, come detto, è costituita dai bacini idrografici dei torrenti Missiaga e Bordina, che per lungo tratto scorrono separati da uno spartiacque, con direzione circa Est-Ovest (fig. 1). Nella loro parte terminale, invece, essi scorrono paralleli, formando un unico grande cono di deiezione che circa 5000 anni fa ha ostruito il T. Cordevole, all'altezza dell'abitato di Agordo, con conseguente formazione di un lago poi colmato dalle alluvioni sia del T. Cordevole che dei due affluenti stessi (Friz & Villi, 1991; Friz & alii, 1995).

Le pareti che delimitano a Nord e ad Est l'area in esame sono costituite dalle pendici meridionali del Gruppo di S. Sebastiano, con quote che arrivano intorno ai 2500 m circa dei monti Tamer e Castello di Moschesin, mentre il

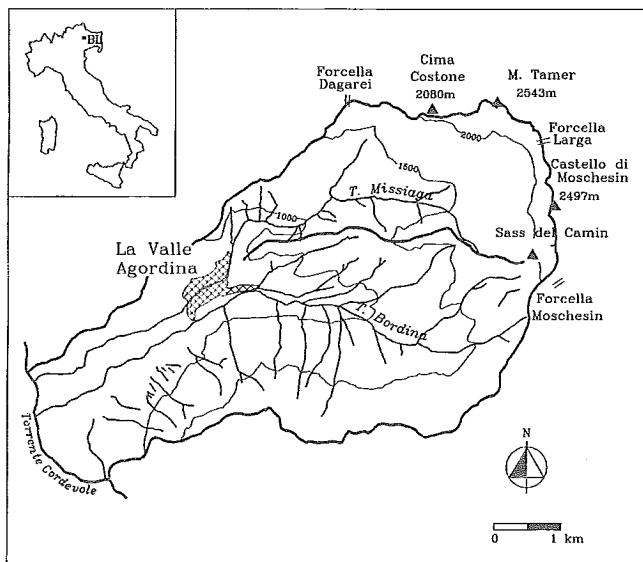


FIG. 1 - Carta topografica.
FIG. 1 - Topographic map.

Sass del Camin, situato a Sud-Ovest di quest'ultimo, supera di poco i 2000 m.

Questa conformazione morfologica, ostacolando le masse d'aria umida che giungono da Sud, determina abbondanti precipitazioni. Il clima, infatti, è di tipo temperato - freddo continentale, con un massimo di precipitazioni in autunno ed una piovosità media annuale di circa 1400 mm (Friz & alii, 1983).

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le formazioni affioranti rappresentano la classica successione stratigrafica delle Dolomiti Sud-Orientali e comprendono unità litostratigrafiche del Triassico (Siorpaes & Gianolla, 1991) (fig. 2). In particolare il dissesto coinvolge le formazioni terrigene di La Valle, San Cassiano, Raibl e la Dolomia Principale.

Mentre le Formazioni di La Valle e San Cassiano sono costituite da alternanze di argilliti prevalenti e arenarie, la Formazione di Raibl è caratterizzata da una litologia diversa: nell'area di Cima del Costone e del M. Tamer presenta una facies conglomeratico-arenacea piuttosto compatta in banchi, mentre nell'area del Castello di Moschesin ha una facies marnoso-argillosa, fittamente stratificata. La Dolomia Principale, infine, è costituita da una potente successione di dolomie organizzate in cicli tidali caratterizzati da

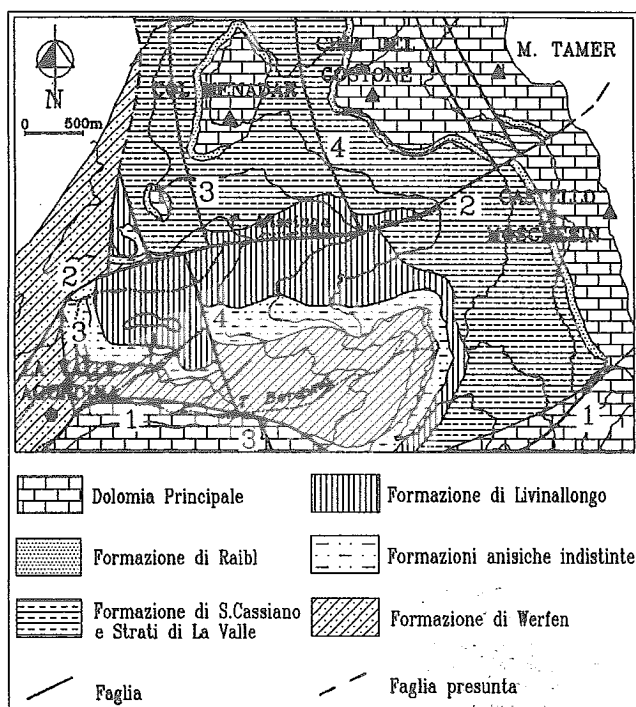


FIG. 2 - Carta geologica schematica (Friz & alii, 1993; modificata). 1) Linea della Valsugana; 2) Linea del Missiaga; 3) Linea di Forcella Follega; 4) Linea del Civetta.

FIG. 2 - Schematic geological map (Friz & alii, 1993; modified). 1) Valsugana Line; 2) Missiaga Line; 3) Forcella Follega Line; 4) Civetta Line.

bancate omogenee e massicce di spessore metrico che si alternano con livelli fittamente stratificati.

Dal punto di vista tettonico l'area si localizza nella fascia della Linea della Valsugana, costituita da una serie di faglie vicarianti, a carattere transpressivo, orientate circa Est-Ovest. L'assetto strutturale è ulteriormente complicato da un sistema di faglie con direzione circa Nord-Sud (Linea della Civetta, Linea di Forcella Follega) che nella zona più meridionale dell'area risultano dislocate dalla Linea della Valsugana. I due sistemi di fratturazione sono riferibili rispettivamente alla fase tettonica Nealpina (Miocene sup.), che ha prodotto pieghe ed accavallamenti Sud-vergenti, e a quella Mesoalpina (Eocene-Oligocene) che ha generato sovrascorrimenti Ovest-vergenti (Bosellini, 1989). Un terzo sistema con direzione intermedia tra quella valsu-

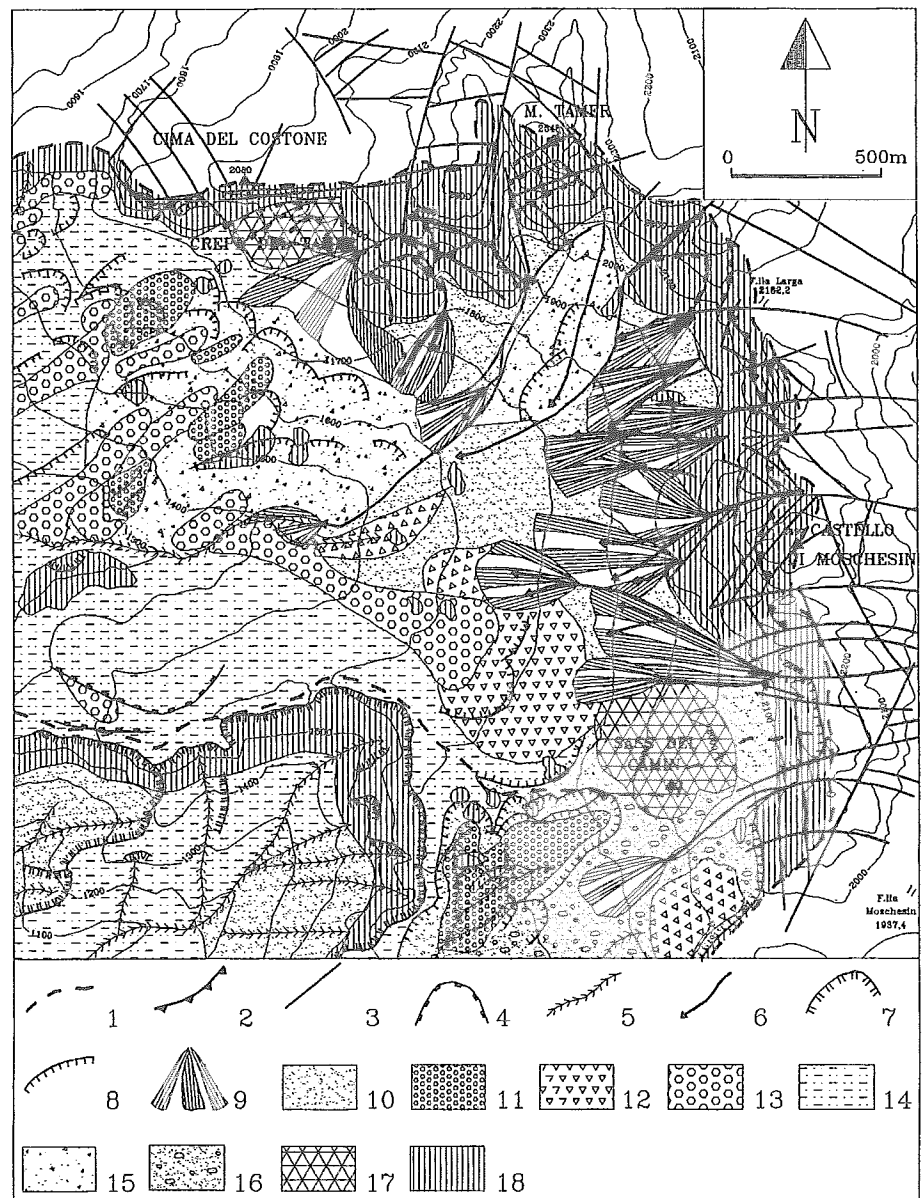
ganese e quella della Linea della Civetta ha dislocato l'area che comprende il gruppo del M. Tamer. Esso risulta sollevato rispetto ai massicci adiacenti e forma un cuneo composto (Bianchin & Semenza, 1965).

EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA

Come si può vedere dalla figura 3, in cui vengono rappresentate, con particolare riferimento ai dissesti presenti, la testata del T. Missiaga e parte di quella del T. Bordina, le due aree sono caratterizzate, dal punto di vista geomorfologico, da situazioni diverse: mentre nell'alta valle del T. Missiaga la copertura detritica, proveniente dalle pareti dolomitiche retrostanti, è molto estesa ed abbon-

FIG. 3 - Carta geomorfologica: 1) Spartiacque; 2) Sovrascorrimento; 3) Faglia o frattura; 4) Giunto di trazione; 5) Erosione torrentizia; 6) Debris torrent; 7) Orlo di scarpata di erosione retrogressiva; 8) Orlo di scarpata di frana; 9) Cono di detrito; 10) Detrito di versante; 11) Accumulo di frana attiva; 12) Accumulo di blocchi stabilizzato; 13) Accumulo di frana stabilizzato; 14) Detrito eluvio-colluviale; 15) Detrito rimaneggiato dal rock glacier; 16) Deposito morenico; 17) Frana in massa; 18) Affioramento roccioso indistinto.

FIG. 3 - Geomorphological map: 1) Watershed; 2) Over thrust; 3) Fault or fracture; 4) Tension crack; 5) Stream erosion; 6) Debris torrent; 7) Backward erosion scarp; 8) Landslide scarp; 9) Talus cone; 10) Talus debris; 11) Active landslide heap; 12) Dormant block heap; 13) Dormant landslide heap; 14) Eluvial and colluvial debris; 15) Rock glacier remoulded debris; 16) Morainic deposit; 17) Large rock landslide; 18) Outcrop.



dante, con spessori, stimati con sondaggi elettrici verticali, fino a 50 metri (Rigolin, 1996), nell'alta valle del T. Bordina una simile copertura è praticamente assente, mentre spicca l'area in frana attiva che si trova ai piedi del Sass del Camin.

Questa diversità è stata spiegata dagli Autori che si sono occupati dell'area (Friz & Villi, 1991; Friz & *alii*, 1995), oltre che con i diversi rapporti geometrici tra le formazioni litostratigrafiche presenti, anche con un diverso stadio evolutivo delle valli; infatti la valle del T. Missiaga sarebbe ad un livello più maturo ed i grandi fenomeni franosi alla testata sarebbero in via di stabilizzazione. Nella valle del T. Bordina questa fase sarebbe invece in atto attualmente; la sua evoluzione sarebbe infatti ricominciata quando il grande conoide del T. Missiaga che la sbarrava è stato tagliato dalle acque del T. Bordina, che in questo modo ha ricominciato ad incidere il proprio alveo per adeguarsi al suo nuovo livello di base. Di questo antico corpo resta un lembo relitto allo sbocco della valle del T. Missiaga all'apice del cono di deiezione formato dai due torrenti.

I DISSESTI PRESENTI ALLA TESTATA DEL TORRENTE MISSIAGA

In questa parte dell'area in esame la Dolomia Principale forma pareti alte fino a 500-600 m, la cui disposizione a semicerchio ha favorito in passato la presenza di un ghiacciaio prima e di un *rock glacier* poi (Friz & Villi, 1991; Friz & *alii*, 1995). Di quest'ultima presenza resta traccia nelle particolari strutture e forme riconoscibili ancora in alcuni punti della potente coltre detritica che si trova ai piedi delle pareti stesse e di cui si è detto in precedenza.

Come si vede dalla figura 3, attualmente tale coltre è rimaneggiata da colate di detrito e scivolamenti rotazionali, sia attivi che quiescenti, di dimensioni diverse e parzialmente sovrapposti, tanto che difficilmente si riescono a distinguere i singoli eventi. Inoltre, in prossimità delle zone di intersezione dei cono detritici coalescenti, alimentati dal detrito proveniente dalle grandi fratture che dislocano la Dolomia Principale, si impostano i canali dei *debris torrents* (Vandine, 1995) con la formazione verso valle dei caratteristici campi lobati (Rigolin, 1996).

Nella placca lapidea è presente un'ampia tipologia di frane: in particolare si osservano crolli e scivolamenti di cunei, concentrati soprattutto nelle cosiddette Crepe del Tamer che sono gli accumuli di frane in massa di grandi dimensioni (qualche milione di mc), scese con meccanismo di basculamento interno (*back-tilting*) (Poisel & Eppensteiner, 1988) e svincolate dalle pareti retrostanti da ampi giunti di trazione attivi.

Le formazioni terrigene sottostanti la Dolomia Principale sono state interessate da fenomeni di dissesto solo ai piedi del Sass del Camin; questi movimenti franosi, che nel passato provocarono eventi catastrofici per il paese di La Valle Agordina, appaiono attualmente cicatrizzati e stabilizzati dalla vegetazione.

I DISSESTI PRESENTI ALLA TESTATA DEL TORRENTE BORDINA

L'unico motivo di una certa importanza che caratterizza questa parte del territorio è il dissesto che si trova ai piedi del Sass del Camin e che coinvolge le formazioni terrigene per un'area di circa 120 ettari. L'evoluzione di questa frana, attiva da oltre un secolo (Da Roit, 1982), avviene per piccoli scivolamenti rotazionali e colate con fasi parossistiche in concomitanza di lunghi periodi piovosi, alternate a prolungati momenti di stasi. Con la fotointerpretazione, che è stata fatta su fotogrammi del 1956 e del 1993, è stato possibile evidenziare la presenza di piccoli corpi di frana e scarpate all'interno dell'area in dissesto in cui i movimenti più recenti hanno parzialmente riattivato forme già stabilizzate (fig. 4). L'ultimo evento d'importanza rilevante risale al 1987, quando uno scivolamento rototraslativo ha mobilizzato una porzione di circa 8000 mc di versante mettendo in allarme l'abitato di La Valle Agordina (Fiorani, 1995; Turrini & *alii*, 1996).

IL MOVIMENTO GRAVITATIVO LENTO DEL SASS DEL CAMIN

La nicchia da cui si è staccato il grande corpo di frana dolomitica che attualmente forma il colle del Sass del Camin è costituita da tre piani strutturali ben visibili in foto aerea; due di essi sono paralleli, subverticali, orientati circa Est-Ovest e hanno avuto la funzione di binari per la direzione dello scivolamento, mentre il terzo, orientato circa Nord-Sud con una inclinazione verso Ovest attorno ai 50°, è il piano su cui è avvenuto il movimento. La superficie di

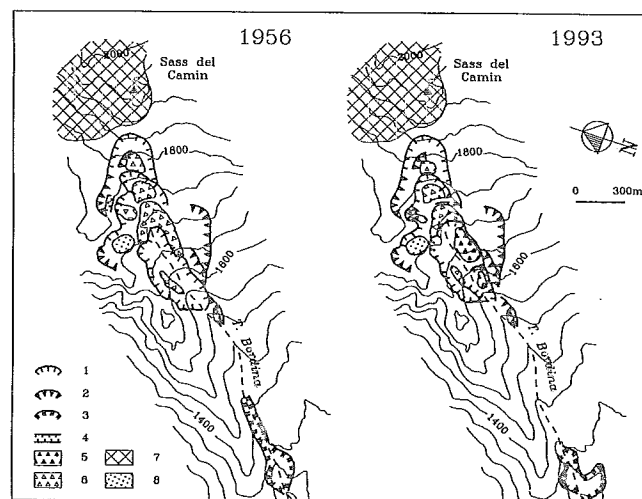


FIG. 4 - Carta del dissesto dell'alta valle del T. Bordina, derivante dalla fotointerpretazione: 1) Orlo di scarpata di frana attiva; 2) Orlo di scarpata di frana stabilizzata; 3) Erosione torrentizia; 4) Trincea; 5) Accumulo di frana attiva; 6) Accumulo di frana quiescente; 7) Frana in massa; 8) Deposito torboso.

FIG. 4 - Photo interpretation of the T. Bordina landslide: 1) Landslide active scarp; 2) Landslide stabilised scarp; 3) Stream erosion; 4) Trench; 5) Active landslide heap; 6) Dormant landslide heap; 7) Large rock landslide; 8) Peat soil.

scivolamento che nella Dolomia Principale si è imposta lungo questo piano di origine tettonica, nel substrato terrigeno potrebbe essere invece di neoformazione, secondo un meccanismo classico riscontrabile molto frequentemente in situazioni stratigrafiche simili. Questo movimento è stato probabilmente favorito anche dalla decompressione derivata dallo scioglimento del ghiacciaio locale. La posizione attuale del Sass del Camin sullo spartiacque che separa i due bacini fa sì che la deformazione dei terreni plastici, non confinati lateralmente ad Ovest, ne causi il loro rifluimento innescando scivolamenti e colate che si incanalano nelle valli sottostanti.

I movimenti relativi allo smembramento del Sass del Camin non sono quantificabili in tempi brevi; la presenza però di trincee attive che separano i blocchi e i torrioni che lo contraddistinguono sono un evidente indizio della loro esistenza.

INDAGINI TECNICHE

Lo studio prettamente tecnico del dissesto nell'area del Sass del Camin è stato condotto sia sulle pareti della nicchia di distacco che sulla frana attiva del T. Bordina al fine di valutare la stabilità complessiva del sistema a breve e medio termine. Mentre per la placca lapidea è stata fatta un'analisi grafica delle possibilità cinematiche (Bernardinello, 1996), lo studio dell'instabilità delle formazioni terrigene è stato concentrato sul versante interessato dal movimento avvenuto nel 1987 (Fiorani, 1995; Turrini & alii, 1996).

STABILITÀ DELLA PLACCA LAPIDEA

Le possibilità cinematiche della placca lapidea sono state verificate attraverso un metodo grafico (Matheson, 1983, 1989; Hudson & Harrison, in stampa) che analizza quattro tipi di movimento: scivolamento planare, scivolamento di cunei, ribaltamento flessurale e ribaltamento di blocchi. Questo metodo valuta le condizioni che possono determinare il movimento di blocchi delimitati da discontinuità piane ed infinitamente persistenti, senza tener conto delle forze che lo producono. I cinematismi dei blocchi sono individuati in base al rapporto geometrico tra la giacitura delle famiglie di discontinuità e l'orientazione del versante, considerando l'angolo d'attrito dei giunti.

Lo studio si è avvalso di un rilevamento geomeccanico di dettaglio eseguito con numerosi stendimenti orizzontali (*scanlines*), con il quale sono stati misurati ed elaborati statisticamente (Priest, 1995) i consueti parametri secondo le Norme ISRM (1978). Per l'individuazione dei domini strutturalmente omogenei, si è tenuto conto anche delle lineazioni ottenute dalla fotointerpretazione (fig. 5), ovviamente così al limite indotto dall'aver potuto fare il rilevamento geomeccanico solo ai piedi delle pareti.

In figura 5 compare anche il diagramma a rosa della lunghezza percentuale delle lineazioni (quadranti Ovest) e della loro frequenza (quadranti Est), per settori di ampiezza 10°; come si vede, le linee più persistenti sono quelle ad andamento circa Est-Ovest (Linea della Valsugana), men-

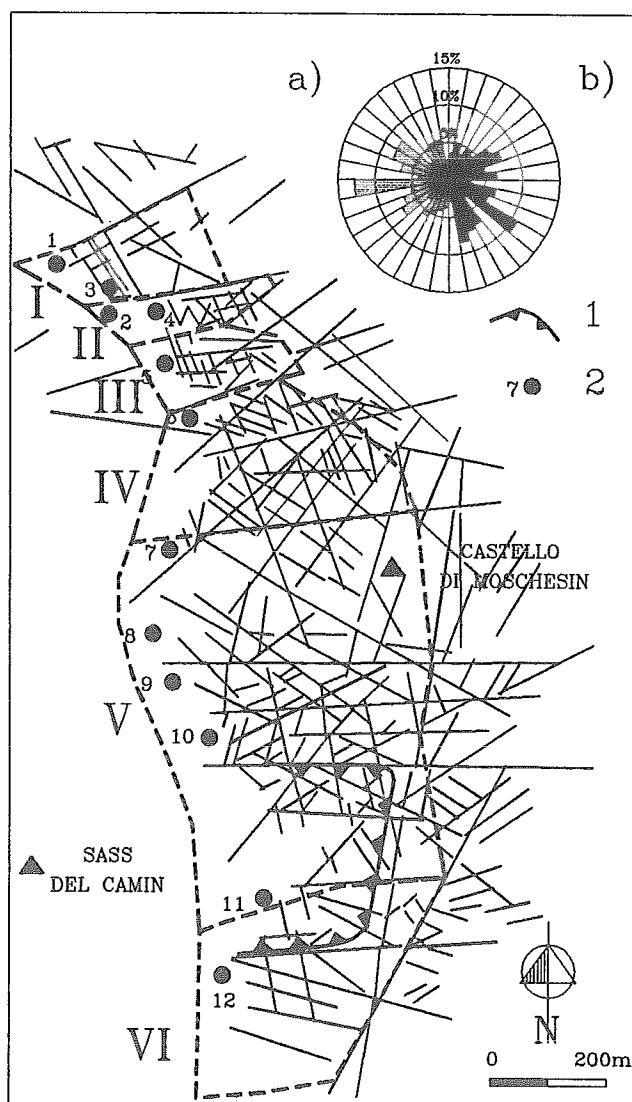


FIG. 5 - Carta del campo totale delle lineazioni e relativo diagramma a rosetta: 1) Orlo di scarpata di frana; 2) Stazione geomeccanica; a) Lunghezza percentuale delle lineazioni; b) Frequenza percentuale delle lineazioni. Le aree contrassegnate da numeri romani rappresentano i domini strutturali.

FIG. 5 - Lineaments pattern map and their rose diagram: 1) Landslide scarp; 2) Geomechanical station; a) Lineaments length percentage; b) Lineaments frequency percentage. The areas identified by roman numbers are the structural domains.

tre i massimi di frequenza si hanno circa in corrispondenza dei grandi sistemi tettonici di cui si è detto nel paragrafo della geologia.

La figura 6 mostra le isodense dei poli dei piani rilevati nelle stazioni di misura appartenenti ai domini V e VI, in cui si trova la nicchia del Sass del Camin (a), e le ciclografiche dei piani rappresentativi delle famiglie di discontinuità principali (b). L'orientazione di queste e alcuni dei parametri geomeccanici, misurati o calcolati per i due domini di interesse, sono sintetizzati nelle tabelle 1 e 2.

Da queste tabelle si vede che la classificazione geomecanica SMR (*Slope Mass Rating*) (Romana, 1993) dell'ammasso roccioso ha fornito valori di 53 e 39 (classi III e IV) indicando un grado di stabilità da discreto a cattivo dei versanti nell'intorno della nicchia.

TABELLA 1 - Orientazione delle famiglie principali, parametri geomecanici e classificazione SMR dei domini strutturali in cui si trova la nicchia del Sass del Camin

TABLE 1 - Sets orientations, geomechanical parameters and SMR classification of the structural domains in which the scarp of the Sass del Camin is found

	V	VI
Famiglie principali	N200/65; N300/85; N165/90; N270/85; N170/70; N10/90; N40/75; N220/65; N65/30	N10/85; N40/70; N65/65; N215/40; N290/30; N315/90; N45/40
Orientazione del versante (imm.°/incl.°)	N250/80	N275/60
Coesione (kPa)*	232,5	265,0
Angolo di attrito (°)*	28,2	31,5
Angolo di attrito residuo (°)**	23,5	24,0
SMR	53	39
Classe	III	IV
Caratteristiche geomecaniche	Discrete	Cattive
Grado di stabilità	Parziale	Instabile

* Bieniawski (1989)

** Barton & Choubey (1977)

TABELLA 2 - Famiglie di discontinuità che concorrono ai diversi movimenti nei rispettivi domini

TABLE 2 - Discontinuity sets contributing to the different mass movements in the domains

	V	VI
Scivolamento traslativo	-	N290/30
Scivolamento di cunei	N10/90; N220/65; N300/85; N270/85; N200/65; N170/70	N290/30; N40/70; N10/85; N215/40; N315/90
Ribaltamento di blocchi	-	N10/85; N45/40; N40/70; N65/65; N315/90; N290/30
Ribaltamento flessurale	-	-

Per quanto riguarda l'analisi grafica delle possibilità cinematiche, questa viene mostrata in figura 6c. Ricordando che si ha scivolamento traslativo e ribaltamento flessurale quando i poli dei piani ricadono nelle rispettive aree del diagramma, si ha scivolamento di cuneo quando l'intersezione di due piani ricade nell'area relativa e si ha ribaltamento diretto o di blocchi quando nell'area relativa ricadono almeno un polo e un'intersezione, lo studio ha messo in evidenza che il movimento presente in tutto l'ammasso roccioso è lo scivolamento di cunei, mentre lo scivolamento traslativo ed il ribaltamento di blocchi sono presenti solo nel dominio VI.

STABILITÀ DEL SUBSTRATO TERRIGENO

Le indagini svolte sul versante attualmente in frana sono consistite in un rilevamento topografico di dettaglio,

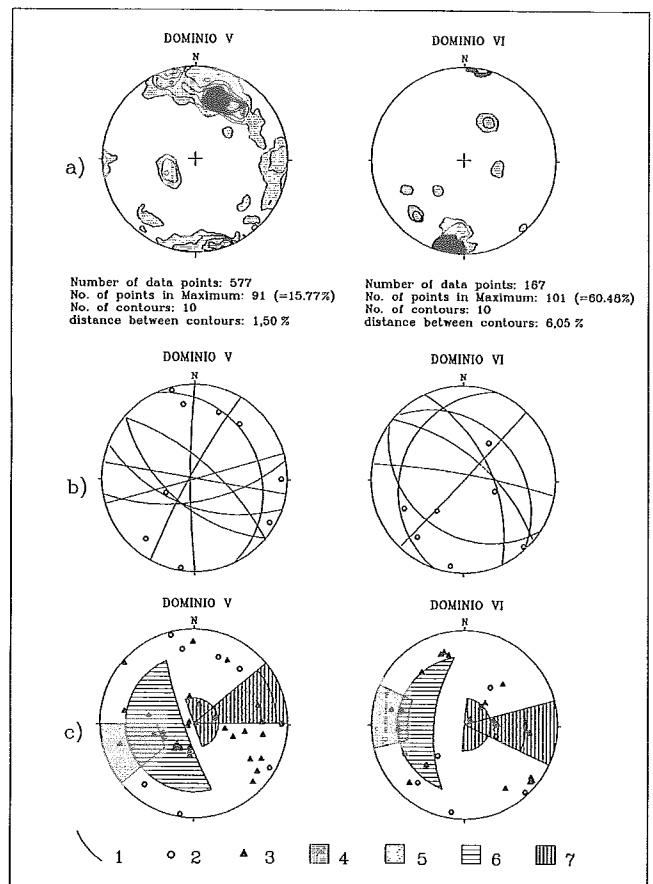


FIG. 6 - Isodense dei poli delle discontinuità (a). Ciclografiche dei piani rappresentativi delle famiglie principali (b). Analisi cinematica dei meccanismi di instabilità (c): 1) Ciclografica; 2) Polo; 3) Intersezione di due piani; 4) Ribaltamento flessurale; 5) Scivolamento traslativo; 6) Scivolamento di cuneo; 7) Ribaltamento di blocchi.

FIG. 6 - Contouring pole plots (a). Planes great circles (b). Kinematic analysis of slope instability mechanisms (c): 1) Great circle; 2) Pole; 3) Two planes intersection; 4) Flexural toppling; 5) Translational slide; 6) Wedge slide; 7) Direct toppling.

necessario per la modellazione a computer del versante, un rilevamento geologico-geomorfologico e una serie di sondaggi elettrici verticali per ricostruire la forma del corpo di frana e stimarne il volume. Le proprietà fisiche dei terreni coinvolti nel dissesto, ricavate in laboratorio con le consuete analisi di caratterizzazione delle terre, vengono mostrate in tabella 3. Il contenuto in CaCO₃ è circa del 10%.

TABELLA 3 - Valori minimi e massimi delle proprietà fisiche dei terreni

TABLE 3 - Minimum and maximum values of physical properties

G	c (kPa)	Ø (°)	LL (%)	IP (%)	w _n (%)
25.86	0	26	17.5	5	9.78
26.86	0	31	34.5	15	28.43

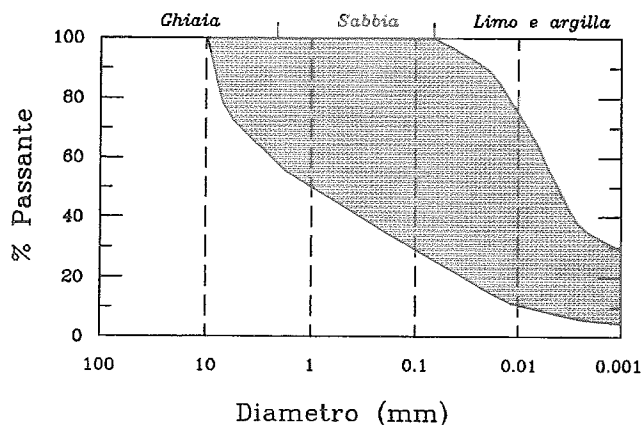


FIG. 7 - Fuso granulometrico.

FIG. 7 - Grain size distributions.

Dall'analisi granulometrica i campioni analizzati sono risultati costituiti prevalentemente da silt (fino al 70%), con percentuali variabili di argilla, sabbia e ghiaia (fig. 7).

Sono state inoltre condotte prove di taglio diretto di tipo consolidato-drenato su materiale rimaneggiato che hanno dato valori di angolo di attrito residuo compresi fra i 26° e i 31°. Poiché questi valori non sono risultati rappresentativi delle reali condizioni dei terreni in sito, in quanto non tengono conto né della struttura del terreno, né della resistenza al taglio degli strati più litici presenti nelle formazioni coinvolte dal dissesto, l'analisi di stabilità del versante attuale è stata condotta con l'ausilio della back-analysis sul versante prefrana per mezzo di un codice di calcolo ad elementi finiti (Z-Soil - Zace Service, 1993).

Il fattore di sicurezza ottenuto con falda subaffiorante è di poco superiore all'unità mentre, abbassando la piezometrica, aumenta notevolmente fino a raggiungere il valore di 1.73 in assenza di falda. Poiché l'azione destabilizzante del Sass del Camin non può essere contrastata in alcun modo, a meno di non consolidare in maniera massiccia e molto costosa i terreni coinvolti dal dissesto, con risultati quantomeno incerti, l'unica possibilità di portare in sicurezza il versante sembra quella di mantenerlo drenato il più possibile.

CONCLUSIONI

Lo studio condotto nell'area più orientale del bacino composto Missiaga - Bordina ha messo in evidenza ancora una volta la pericolosità dovuta ad una situazione stratigrafica in cui formazioni plastiche con caratteristiche meccaniche scadenti sottostanno ad una placca lapidea, in questo caso dolomitica, profondamente fratturata e smembrata dalla tettonica.

I grandi dissesti che coinvolgono le pareti meridionali della Cima del Costone e del M. Tamer e quelle occidentali del Castello di Moschesin sono in gran parte imputabili al contrasto di competenza. I movimenti avvenuti nell'area più settentrionale sono spiegabili con semplici bascula-

menti delle parti di versante isolate da discontinuità preesistenti, orientate circa Est-Ovest, ulteriormente aperte dal movimento in atto.

Sulle pendici meridionali del Castello di Moschesin si è invece impostato un movimento più complesso che ha allontanato dalle pareti retrostanti un grande blocco di Dolomia Principale, il Sass del Camin, abbassandolo di circa 200 metri. La conseguenza attualmente più evidente è il fenomeno franoso attivo nella Val Bordina, causato dal rigonfiamento con conseguente rifluimento dei terreni plastici sottostanti; un'ampia area risulta interessata da scivolamenti rotazionali e colate di piccole proporzioni che saltuariamente mettono in allarme il paese di La Valle Agordina, situato sull'apice del conoide formato dai torrenti Missiaga e Bordina. L'ultimo movimento evidente è avvenuto nel 1987, mentre attualmente il versante si sta muovendo più lentamente, anche se in modo continuo, nonostante il taglio del bosco sul corpo di frana e la costruzione di alcune briglie sul torrente, tendenti a diminuirne la capacità erosiva in corrispondenza del corpo stesso. L'analisi di stabilità condotta con un codice di calcolo ad elementi finiti ha messo in evidenza come il modo più semplice e relativamente più economico per rallentare il movimento della frana sia il drenaggio del versante e del corpo di frana stesso.

Lo studio delle possibilità cinematiche condotto nell'intorno della nicchia del Sass del Camin ha mostrato che le pareti sono attualmente instabili per scivolamenti di cunei, traslativi e ribaltamenti di blocchi, le cui dimensioni dipendono dalla persistenza dei piani delle discontinuità. Con il rilevamento geomeccanico e lo studio delle linee di giunti si è visto che le famiglie principali sono caratterizzate dalla presenza di giunti estesi anche molte decine di metri ed aperti in alcune parti fino a qualche decina di centimetri, testimoniando la potenziale pericolosità della situazione.

BIBLIOGRAFIA

- BERNARDINELLO D. (1996) - *Caratterizzazione geomeccanica delle pareti dolomitiche del Gruppo M. Tamer - C. di Moschesin (La Valle Agordina)*. Tesi inedita, Università di Ferrara.
- BARTON N.R. & CHUBBY V. (1977) - *The shear strength of rock joint in theory and practice*. Rock Mechanics, 10, 1-54.
- BIENIAWSKI Z.T. (1989) - *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York, 251 pp.
- BOSELLINI A. (1989) - *La storia geologica delle Dolomiti*. Ed. Dolomiti, Belluno, 148 pp.
- DA ROIT C. (1982) - *Malore a La Val. Cronache e testimonianze di gravi fatti accaduti a La Valle Agordina*. Tipografica Scorsè, Venezia, 10-28.
- FIORANI F. (1995) - *Aspetti geologico-applicativi della frana del Torrente Bordina*. Tesi inedita, Università di Ferrara.
- FRIZ C. & VILLI V. (1991) - *I grandi fenomeni di dissesto nella valle Missiaga-Bordina e loro influenza sull'evoluzione morfologica della conca di Agordo*. Mem. Sc. Geol., 36, 1-16.
- FRIZ C., VILLI V. & TURRINI M.C. (1995) - *The holocene evolution of a stretch of an eastern italian alpine valley*. Earth Surf. Proc. Landf., 20, 747-757.

- HUDSON J.A. & HARRISON J.P. (1993) - *Principles of Engineering Rock Mechanics*. Draft copy Imperial College, Londra. In stampa.
- ISRM, COMMISSION ON THE STANDARDISATION OF LABORATORY AND FIELD TESTS (1978) - *Suggested Method for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. Int. Journ. Rock Mech. Min. Sc. Geomech. Abstr., 15.(6), 319-368.
- MATHESON G.D. (1983) - *Rock stability assessment in preliminary site investigations. Graphical Methods*. Transp. Road Res. Laboratory Report 1039.
- MATHESON G.D. (1989) - *The collection and use of field discontinuity data in rock slope design*. Quat. Journ. Eng. Geol., 22, 19-30.
- POISEL R. & EPPENSTEINER W. (1988) - *A contribution to the systematics of rock mass movements*. 5th Int. Symp. on Landslides, Losanna, 1353-1357.
- PRIEST S.D. (1995) - *Discontinuity Analysis for Rock Engineering*. Chapman & Hall, Londra, 473 pp.
- RIGOLIN S. (1996) - *Studio di alcuni debris flow nell'alta valle del Torrente Missiaga*. Tesi inedita, Fac. Sc. M.F.N., Università di Ferrara.
- ROMANA M. (1991) - *SMR Classification*. Int. Symp. of Rock Mechanics, Aachen, 955-960.
- TURRINI M.C., FIORANI F. & GALVANI M. (1996) - *Analysis of a landslide in a complex formation*. 7th Int. Symp. on Landslides, Trondheim, 913-918.
- VANDINE D.F. (1985) - *Debris flows and debris torrents in the Southern Canadian Cordillera*. Can. Geotech. Journ., 22, 44-67.
- VARNES D.J. (1978) - *Slope Movements Types and Processes*. In: Schuster R.L. & Krizek R.J. (eds), *Landslides: Analysis and Control*. Transp. Res. Board. Special Publication 176, Nat. Acad. Sc., 11-33.
- ZACE SERVICE (1993) - *Z-Soil PC2 - User Manual*. Losanna.