

Valutazione del grado di franosità dei versanti rocciosi nella Valle Isarco ***

D. RUZZIER *, S. SILVANO **

SOMMARIO: Dagli studi e ricerche sulla franosità dei versanti rocciosi nella Valle Isarco è emerso che i fattori determinanti le condizioni di instabilità sono: *a)* giacitura delle principali serie di discontinuità in rapporto all'orientazione del versante; *b)* frequenza delle principali serie di discontinuità; *c)* estensione delle discontinuità stesse. Viene quindi proposto un metodo grafico e matematico, basato sui suddetti tre parametri, che permette di quantificare il grado di franosità dei versanti rocciosi in esame. Esso consiste nelle seguenti operazioni: *a)* analisi statistico-strutturale dei piani di discontinuità; *b)* costruzione grafica del modello strutturale del versante; *c)* definizione delle libertà di movimento e determinazione dei relativi fattori di sicurezza; *d)* applicazione della relazione matematica proposta. Viene proposta inoltre una scala della franosità formata da cinque classi alla quale riferire il risultato numerico ottenuto dall'applicazione del metodo.

1. Premessa

Nell'ambito del Progetto Finalizzato « Conservazione del Suolo » subprogetto « Fenomeni Franosi », sono in corso da tempo nella Valle Isarco indagini e ricerche sul terreno, da parte delle Unità Operative del Laboratorio di Geologia Applicata del C.N.R. di Padova e dell'Istituto di Geologia dell'Università di Trieste, che hanno come scopo principale l'elaborazione di una carta tematica sulla franosità potenziale della zona. I risultati di tali ricerche hanno portato gli autori ad elaborare un metodo per valutare il grado di franosità dei pendii rocciosi basato essenzialmente sulle caratteristiche di fessurazione della massa rocciosa. Il metodo seguito, rivelatosi efficiente nella zona studiata, potrebbe essere applicabile, con eventuali opportune modifiche, per la previsione del grado di franosità di pendii in roccia in generale.

2. Descrizione dell'area campione

Come area campione è stata scelta la bassa Valle Isarco nel tratto compreso tra Bolzano e Ponte Gardena, caratterizzata da una notevole omogeneità litologica; il substrato roccioso è

* Dott. D. RUZZIER, Istituto di Geologia dell'Università, Trieste.

** Dott. S. SILVANO, Laboratorio di Geologia Applicata del C.N.R., Padova.

*** Lavoro eseguito nell'ambito del P.F. « Conservazione del Suolo », subprogetto « Fenomeni Franosi ». Pubblicazione n. 62.

Il lavoro è frutto della costante collaborazione nelle ricerche dei due autori, fatta eccezione per la parte matematica del metodo elaborata da D. Ruzzier.

Gli autori ringraziano i Proff. G.A. Venzo e S. Olivero per i consigli e la revisione critica del testo.

infatti costituito prevalentemente da rocce effusive permiane del complesso vulcanico atesino comunemente suddiviso nei seguenti tre gruppi: latit-andesitico, riocacitico, riolitico [BRONDI *et al.*, 1966].

I litotipi di questi gruppi, costituiti prevalentemente da ignimbriti associate a lave, tufi e conglomerati variamente intercalati, si differenziano per un diverso chimismo, ma hanno un tipo comune di fessurazione che è prevalentemente subverticale, spesso tanto fitta da rendere la massa rocciosa suddivisa in sottili lastre.

3. Scala della franosità

Sin dall'inizio delle ricerche è apparsa l'esigenza di una scala alla quale riferire la franosità dei versanti in esame, che è stata così definita (1):

- <2 crolli e scivolamenti molto rari;
- 2-4 crolli e scivolamenti da rari a saltuari;
- 4-6 crolli e scivolamenti da saltuari a frequenti;
- 6-8 crolli e scivolamenti da frequenti a frequentissimi diffusi su tutto il versante;
- >8 movimenti franosi di vario tipo estesi a tutto il vers. (rock topple, mass creep).

L'indicazione numerica riportata sulla colonna di sinistra è stata introdotta allo scopo di permettere un confronto fra aree diverse.

(1) Le nomenclature adottate sono quelle proposte da G.A. VENZO [1976] e da D.J. VARNES [1978].

4. Modalità operative

Lungo il tratto di valle esaminato sono state scelte trenta aree ubicate su entrambi i versanti vallivi ad una distanza di circa cinquecento metri l'una dall'altra in modo da avere una casistica il più possibile rappresentativa della situazione generale. Ogni area è stata attentamente studiata valutando nell'insieme sia i fattori che intervengono direttamente sulla franosità sia gli effetti della franosità stessa. Le osservazioni sugli effetti sono state utilizzate per dare una valutazione numerica del grado di franosità, riferibile alla scala del paragrafo precedente; in particolare sono stati presi in considerazione: la presenza di fenomeni franosi attivi, le caratteristiche morfologiche, la quantità di detrito alla base della parete e il suo grado di freschezza, la presenza e le condizioni della vegetazione ed eventuali altre testimonianze sulla frequenza dei fenomeni franosi recenti.

Allo stesso risultato numerico si è giunti applicando il metodo grafico e matematico del paragrafo 5 dove invece degli effetti vengono considerate alcune caratteristiche proprie della massa rocciosa che sono anche fattori predisponenti alla franosità di versanti in rocce litoidi interessate da uno o più sistemi di discontinuità e cioè: a) giacitura dei piani di discontinuità in rapporto all'orientazione del versante; b) frequenza delle serie di fessure; c) estensione media delle serie di fessure [BROILI, 1970].

Per ogni area sono state quindi misurate con criteri statistici le giaciture di cento piani di discontinuità e sono state valutate la frequenza e l'estensione lineare media delle serie di fessure.

5. Il metodo proposto

5.1. Analisi statistico-strutturale

Questa prima fase consiste nell'eseguire una analisi statistico-strutturale per individuare le orientazioni preferenziali delle discontinuità; l'operazione viene effettuata proiettando su reticolo i poli dei piani misurati e delimitando le aree di maggior densità ⁽²⁾.

5.2. Modello strutturale

Questa seconda fase consiste nella costruzione del modello strutturale del versante secondo

⁽²⁾ Nel presente lavoro in ogni fase viene usata la rete ottenuta con la proiezione equivalente di Lambert (rete di Schmidt).

il metodo proposto da JOHN [1968] per evidenziare e visualizzare tutte le possibilità cinematiche legate alla presenza di coppie di serie di discontinuità ⁽³⁾. I tipi di movimenti (a cuneo e a blocco) presi in esame sono schematizzati in figura 1 sia per mezzo di proiezioni su reticolo sia per mezzo di block-diagram.

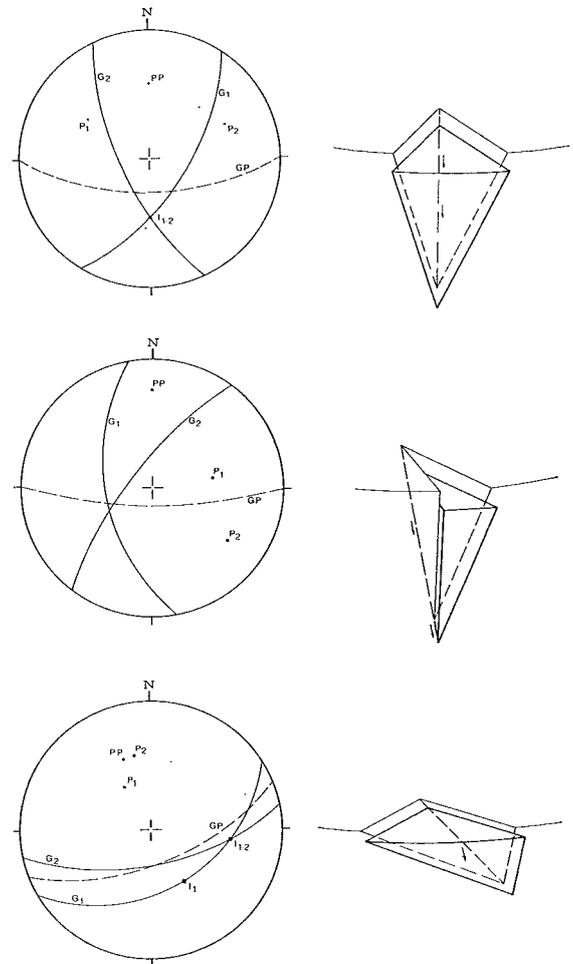


Fig. 1. - Schematizzazione grafica dei movimenti considerati.

5.3. Grado di franosità (G.F.)

Definite le libertà di movimento, condizioni indispensabili per l'instaurarsi dei fenomeni di crollo e di scivolamento trattati, il problema immediatamente seguente è quello di definire quantitativamente l'incidenza di ognuna di queste possibilità di movimento sulla franosità to-

⁽³⁾ Molto spesso i movimenti franosi in rocce lapidee fessurate sono dovuti all'azione concomitante di più di due discontinuità variamente orientate, ma nel metodo qui proposto viene introdotta la semplificazione di individuare solamente le libertà di movimento determinate da coppie di serie di discontinuità considerando separatamente i casi dei diversi accoppiamenti possibili quando su un versante siano presenti più di due serie. Per esempio con tre serie di discontinuità si considerano le tre possibili coppie e non la terna.

tale del versante. A questo scopo viene proposta la seguente funzione:

$$\text{grado di franosità (G.F.)} = \sum_1^m \left[\frac{A}{(F_s) \cdot 10 \left[b \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{d_1}{e_2} + \frac{d_2}{e_1} \right) \right]} \right] \quad (1)$$

dove:

m = numero di coppie di serie di discontinuità presenti nel versante che danno luogo a libertà di movimento. Ogni termine i rappresenta il contributo al grado di franosità del versante dato da ogni singola coppia;

(F_s) = fattore di sicurezza, determinato secondo il metodo proposto da JOHN [1968] nei casi di scivolamento a cuneo o per mezzo di una semplice analisi bidimensionale della stabilità nei casi di scivolamento a blocco. Tutte le superfici di discontinuità vengono in via teorica considerate infinitamente estese; le forze considerate agenti sul cuneo o blocco sono l'attrito sulle superfici di discontinuità, il peso ed una forza sismica orizzontale pari al 20% del peso. Per un esame di confronto come quello che qui si vuole tentare si è assunto in ogni caso un angolo d'attrito $\varphi = 40^\circ$ senza tener conto dell'effettivo valore presente lungo le superfici di discontinuità della roccia. Tale semplificazione è inoltre giustificata dal fatto che la compagine rocciosa può essere considerata litologicamente omogenea in tutta l'area in esame. Si è assunto inoltre che le fessure fossero asciutte;

d_1, d_2 = distanza media fra le discontinuità delle serie 1 e 2 che danno luogo alla libertà di movimento;

e_1, e_2 = estensione lineare media delle discontinuità delle serie 1 e 2. È stato scelto il concetto di « estensione lineare » in luogo di quello areale di « indice di continuità » [BROILI, 1970] in quanto più facilmente quantificabile in campagna e più adatto agli scopi del presente lavoro.

La forma della espressione (1) è stata scelta per esplicitare correttamente l'influenza reciproca della distanza media fra le discontinuità

di una serie sulla estensione delle discontinuità della serie accoppiata e viceversa. Si può inoltre rilevare che il secondo fattore al denominatore, indirettamente tiene conto dell'intervento di resistenze di tipo coesivo connesse con la non continuità delle fessure in quanto il termine influenza positivamente il F_s secondo una funzione di tipo esponenziale con variabile $\frac{1}{2} (d_1/e_2 + d_2/e_1)$.

Confrontando le classificazioni della franosità dei versanti stabilite sulla base degli effetti (parag. 3) con i risultati ottenuti dall'applicazione dell'espressione matematica suddetta si ottiene un'ottima corrispondenza per i valori di $A = 3,7$ e $b = 1,5$. A tali valori corrisponde uno scarto quadratico medio rispetto alle corrispondenti valutazioni sintetiche sulla base degli effetti pari a 0,76.

6. Esempi pratici

Sono stati scelti tre esempi di pareti rocciose che presentano caratteristiche di stabilità molto diverse.

La stazione di misura S7 è ubicata su un versante completamente instabile, soggetto a fenomeni di scivolamento, crollo e rock topple diffusi su tutto il versante. L'evidenza della mas-



Fig. 2. - Valle Isarco. Versante destro. Veduta generale dell'area molto franosa corrispondente alla stazione 7. Sono visibili numerosi movimenti franosi di vario tipo: scivolamenti e crolli con fluimenti di materiale franato al centro e fenomeni di rock topple molto spinti ai margini.



Fig. 3. - valle Isarco. Versante destro. Particolare della figura 2. È visibile sul margine destro la serie di discontinuità molto inclinate, principale causa dei vistosi fenomeni di scivolamento.

sima instabilità lo fa classificare come soggetto a « Movimenti franosi di vario tipo estesi a tutto il versante », classe >8 (Figg. 2-3).

L'analisi statistico-strutturale A7 (Fig. 4) ha messo in evidenza la presenza di 4 serie principali di discontinuità le cui caratteristiche sono:

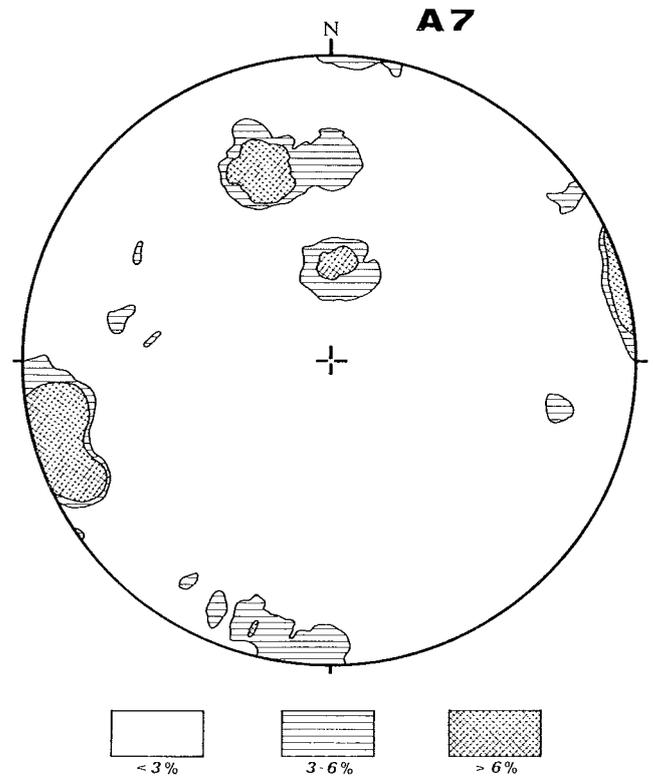


Fig. 4. - Situazione strutturale della stazione 7.

	Direzione	Incl. ed imm.	d (m)	e (m)
serie 1	N74°W	80°NE	0,2	3
» 2	N15°W	subverticale	0,03	2
» 3	N70°E	55°SE	0,14	8
» 4	E-W	26°S	0,17	0,4

Il modello strutturale M7 (Fig. 5) ha messo in evidenza le seguenti possibilità di movimento:

1) Scivolamento a blocco lungo la direzione I_3 con distacco da G_2 :

$$i = 1 \quad F_s = 0,58 \quad d_1 = 0,14 \quad d_2 = 0,03 \quad e_1 = 8 \quad e_2 = 2$$

2) Scivolamento a cuneo lungo la direzione I_{2-4} :

$$i = 2 \quad F_s = 1,15 \quad d_1 = 0,03 \quad d_2 = 0,17 \quad e_1 = 2 \quad e_2 = 0,4$$

3) Scivolamento a cuneo lungo la direzione I_{1-3} :

$$i = 3 \quad F_s = 1,8 \quad d_1 = 0,2 \quad d_2 = 0,14 \quad e_1 = 3 \quad e_2 = 8$$

4) Scivolamento a cuneo lungo la direzione I_{1-4} :

$$i = 4 \quad F_s = 3,36 \quad d_1 = 0,2 \quad d_2 = 0,17 \quad e_1 = 3 \quad e_2 = 0,4$$

Applicando la seguente formula: $(G.F.) = \sum_1^m \left[\frac{3,7}{(F_s) \cdot 10 \left[\frac{d_1}{e_2} + \frac{d_2}{e_1} \right]} \right]_i$ (2)

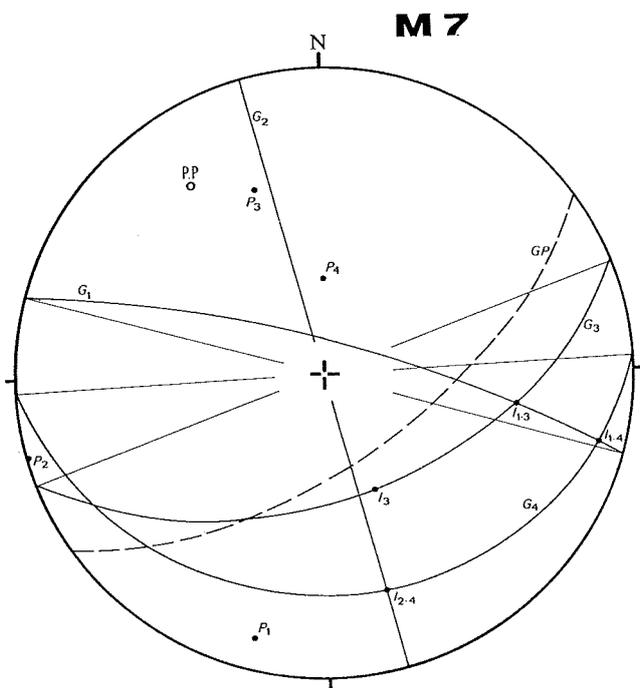


Fig. 5. - Modello strutturale della stazione 7. P_1, P_2, \dots poli delle serie di piani di discontinuità; G_1, G_2, \dots grandi cerchi delle serie di piani di discontinuità; P.P. polo del piano pendio; G.P. grande cerchio del piano pendio; I_1, I_{2-4}, \dots direzioni di scivolamento.

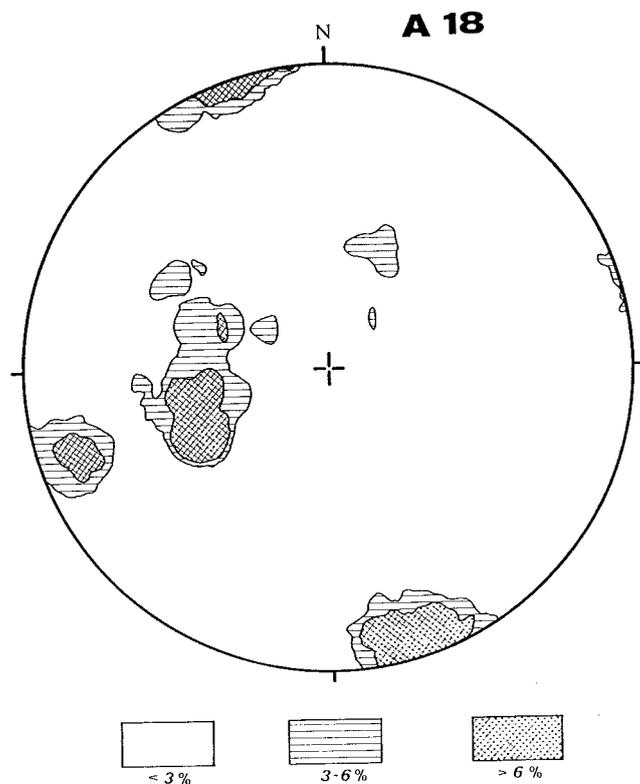


Fig. 7. - Situazione strutturale della stazione 18.



Fig. 6. - Valle Isarco. Versante destro. Veduta della parete corrispondente alla stazione 18. La parte inferiore è interessata da una serie di discontinuità molto estese e mediamente inclinate.

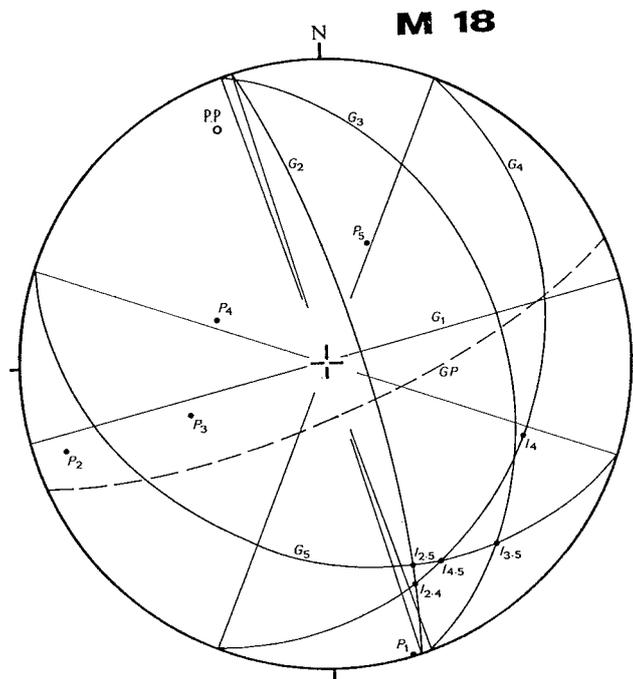


Fig. 8. - Modello strutturale della stazione 18. P_1, P_2, \dots poli delle serie di piani di discontinuità; G_1, G_2, \dots grandi cerchi delle serie di piani di discontinuità; P.P. polo del piano pendio; G.P. grande cerchio del piano pendio; I_1, I_{4-5}, \dots direzioni di scivolamento.

si ottiene $(G.F.) = 10,3$ in accordo con le osservazioni dirette.

La stazione di misura S18 è ubicata su un versante instabile soggetto a frequenti crolli e

scivolamenti (Fig. 6). Gli accumuli di detrito alla base sono molto potenti, frequentemente alimentati e non stabilizzati. La vegetazione alla base della parete presenta numerosissimi danni dovuti alle frequenti frane. In base a queste osservazioni il versante viene classificato co-

me soggetto a « Scivolamenti e crolli da saltuari a frequenti », classe 4-6.

L'analisi statistico-strutturale A18 (Fig. 7) ha messo in evidenza la presenza di cinque serie principali di discontinuità le cui caratteristiche sono:

	Direzione	Incl. ed imm.	d (m)	e (m)
serie 1	N75°E	subverticale	0,4	10
» 2	N18°W	80°NE	0,25	5
» 3	N20°W	40°NE	0,5	2,5
» 4	N22°E	32°SE	0,5	2,5
» 5	N70°W	35°SW	1,25	0,75

Il modello strutturale M18 (Fig. 8) ha messo in evidenza le seguenti possibilità di movimento:

1) Scivolamento a cuneo lungo la direzione I₄₋₅:

$$i = 1 \quad F_s = 1,2 \quad d_1 = 0,5 \quad d_2 = 1,25 \quad e_1 = 2,5 \quad e_2 = 0,75$$

2) Scivolamento a cuneo lungo la direzione I₂₋₅:

$$i = 2 \quad F_s = 1,45 \quad d_1 = 0,25 \quad d_2 = 1,25 \quad e_1 = 5 \quad e_2 = 0,75$$

3) Scivolamento a cuneo lungo la direzione I₃₋₅:

$$i = 3 \quad F_s = 1,8 \quad d_1 = 0,5 \quad d_2 = 1,25 \quad e_1 = 2,5 \quad e_2 = 0,75$$

4) Scivolamento a cuneo lungo la direzione I₂₋₄:

$$i = 4 \quad F_s = 1,9 \quad d_1 = 0,25 \quad d_2 = 0,5 \quad e_1 = 5 \quad e_2 = 2,5$$

5) Scivolamento a blocco lungo la direzione I₄ con distacco da G₁:

$$i = 5 \quad F_s = 1 \quad d_1 = 0,5 \quad d_2 = 0,4 \quad e_1 = 2,5 \quad e_2 = 10$$

L'applicazione della (2) dà:

$$(G.F.) = 5,6$$

in accordo con le osservazioni dirette.

La stazione di misura S14 è ubicata su un versante stabile (Fig. 9); infatti la parete è quasi verticale, in alcuni punti strapiombante e non esistono testimonianze di danni recenti

causati da frane al binario sottostante. In base a ciò il versante viene classificato come soggetto a « Crolli e scivolamenti molto rari », classe <2.

L'analisi statistico-strutturale A14 (Fig. 10) ha messo in evidenza la presenza di cinque serie principali di discontinuità le cui caratteristiche sono:

	Direzione	Incl. ed imm.	d (m)	e (m)
serie 1	N60°E	80°NW	0,3	5
» 2	N48°W	subverticale	2	8
» 3	N 9°E	subverticale	1	2
» 4	N20°W	10°SW	3,5	9
» 5	N75°E	16°NW	5	9

Il modello strutturale M14 (Fig. 11) ha messo in evidenza le seguenti possibilità di movimento:

1) Scivolamento a cuneo lungo la direzione I_{2-4} :

$$i = 1 \quad F_s = 2,6 \quad d_1 = 2 \quad d_2 = 3,5 \quad e_1 = 8 \quad e_2 = 9$$

2) Scivolamento a cuneo lungo la direzione I_{4-5} :

$$i = 2 \quad F_s = 2,4 \quad d_1 = 3,5 \quad d_2 = 5 \quad e_1 = 9 \quad e_2 = 9$$

3) Scivolamento a blocco lungo la direzione I_4 con distacco da G_1 :

$$i = 3 \quad F_s = 2,2 \quad d_1 = 3,5 \quad d_2 = 0,3 \quad e_1 = 9 \quad e_2 = 5$$

4) Scivolamento a cuneo lungo la direzione I_{2-5} :

$$i = 4 \quad F_s = 2,3 \quad d_1 = 2 \quad d_2 = 5 \quad e_1 = 8 \quad e_2 = 9$$

5) Scivolamento a blocco lungo la direzione I_5 con distacco da G_3 :

$$i = 5 \quad F_s = 3,1 \quad d_1 = 5 \quad d_2 = 1 \quad e_1 = 9 \quad e_2 = 2$$

L'applicazione della (2) dà:

$$(G.F.) = 1,6$$

in accordo con quanto osservato.

7. Osservazioni conclusive

a) La raccolta dei dati di base si presta a valutazioni soggettive soprattutto nella definizione delle serie più rappresentative e nella valutazione dei parametri di frequenza ed estensione caratteristici delle stesse. È possibile ridurre l'errore operando su tutto l'insieme del versante e con criterio statistico.

b) L'applicazione pratica del metodo può presentare una certa laboriosità nei casi in cui le

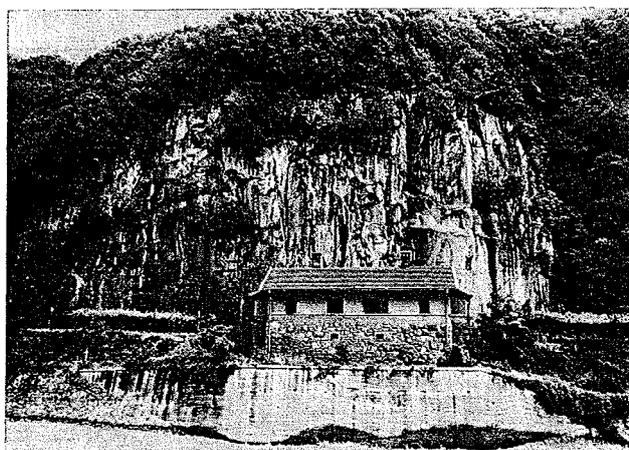


Fig. 9. - Valle Isarco. Versante sinistro. Veduta generale della parete corrispondente alla stazione 14. Le serie di discontinuità, anche molto estese, presentano giaciture favorevoli alla stabilità.

possibilità di movimento siano numerose. Le nostre recenti esperienze hanno però dimostrato che è conveniente, quando possibile, operare un raggruppamento delle serie di discontinuità che presentano piccole differenze di giacitura. Tanto più che nel computo dei parametri di frequenza ed estensione vi è difficoltà a distinguere in base ad osservazioni dirette le discontinuità appartenenti all'una o all'altra serie.

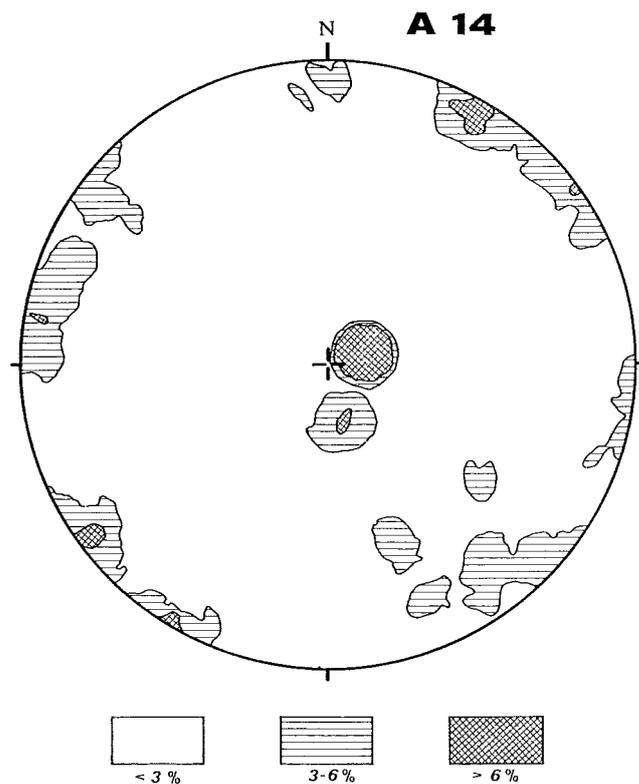


Fig. 10. - Situazione strutturale della stazione 14.

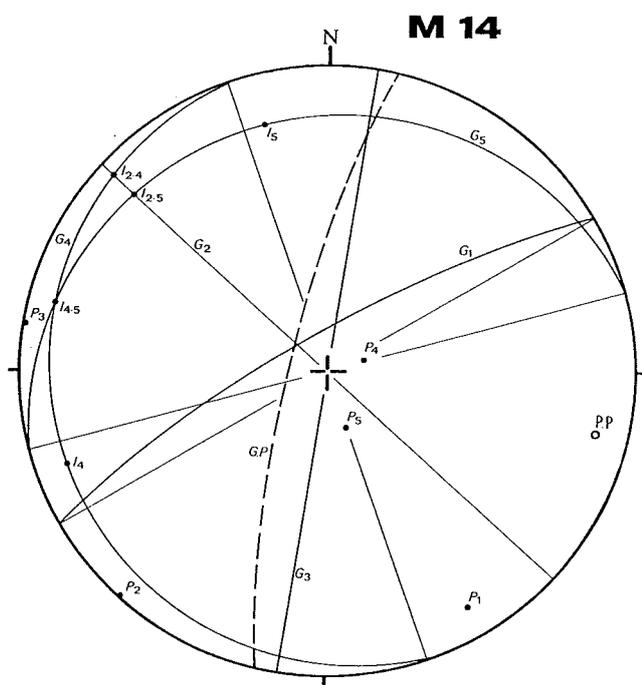


Fig. 11. - Modello strutturale della stazione 14. P_1, P_2, \dots poli delle serie di piani di discontinuità; G_1, G_2, \dots grandi cerchi delle serie di piani di discontinuità; P.P. polo del piano pendio; G.P. grande cerchio del piano pendio; $I_1, I_{2.4}, I_{2.5}, \dots$ direzioni di scivolamento.

c) La corrispondenza fra le valutazioni visive basate sugli effetti della franosità e i risultati ottenuti applicando il metodo proposto a trenta situazioni diverse è risultata superiore al 90%, considerando i limiti di precisione a cui è soggetta la valutazione dei dati di base. I pochi risultati non del tutto attendibili si riferiscono a casi che presentano tutti la particolarità di subire fortissime variazioni del grado di franosità per piccole variazioni dei dati di partenza in quanto sono caratterizzate da possibilità di movimento che presentano fattori di sicurezza molto bassi. Tuttavia anche in questi casi il massimo errore ottenuto è dato dallo spostamento in una classe di franosità immediatamente adiacente a quella valutata sul terreno.

BIBLIOGRAFIA

- BROILI L. (1970) - *Ciclo di conferenze sulla « Meccanica delle rocce »*. Consiglio Nazionale delle Ricerche. Laboratorio di Geologia Applicata allo studio delle vie di comunicazione nel settore alpino-padano, Padova.
- BRONDI A., FUGANTI A. et al. (1976) - *Commento al foglio geologico 027, Bolzano 1:50.000* (ed. 1973). Studi Trentini di Scienze Naturali, Nuova Serie, Vol. 53, N. 6A, Trento.
- JOHN K. W. (1968) - *Graphical Stability Analysis of Slopes in Jointed Rock*. J. Soil Mech. and Found. Div. Proc. ASCE Vol. 94/SM2 March.
- VARNES D. J. (1978) - *Types of Slope Movements*. Transportation Research Board Committee A2T58, U.S.A.

VENZO G. A. (1976) - *Proposta di classificazione pratica delle frane*. Studi Trentini di Scienze Naturali, Geologia, Vol. 53, Trento.

SUMMARY

An attempt of quantitative evaluation of the degree of landslipping on the rocky slopes of the Valle Isarco (Bolzano)

In connection with the Progetto Finalizzato « Conservazione Suolo », subprogetto « Fenomeni Franosi », field surveys and research have been carried out for some time in the Valle Isarco on behalf of the Unità Operative of the Laboratory of Applied Geology of the C.N.R. of Padua and the Institute of Geology of Trieste University. The lower Valle Isarco, between Bolzano and Ponte Gardena, was chosen. This sample area is characterised by a remarkable lithological homogeneity. The rocky substratum is in fact prevalently made up of effusive permian rocks from the « Complesso Porfirico Atesino ».

From the studies carried out it results that for the particular geo-structural conditions present in the Valle Isarco, those factors which principally affect landslipping on the rocky slopes are:

- the orientation of the existing sets of joints in relation to the orientations of the slope;
- the frequency of the principal sets of joints;
- the extension of the joints themselves.

A graphic and mathematical method has been proposed based on the three above mentioned parameters. It has permitted us to quantify the degree of landslipping on the rock slopes under examination and could be applied with possible suitable modifications to the forecasting of the degree of landslipping all rocky slopes in general. Three phases are entailed:

- the carrying out of a statistical structural analysis to discover the preferential orientations of the joints;
- the graphic construction of the structural model of the slope [JOHN 1968] to show up all possibilities of movement determined by pairs of joint sets;
- the application of the mathematical expression (1) in order to quantify, with a variable number between 0 and 10, the degree of landslipping on the slope under examination.

In (1):

m = the number of pairs of joint sets present on the slope which give rise to freedom of movement.

F_s = The safety factor, determined by considering the agents operating on the rocky mass under examination, attrition ($\phi = 40^\circ$), the weight force and a horizontal seismic force equal to 20% of the weight.

d_1, d_2 = The average distance between the joint sets 1 and 2 which give rise to freedom of movement.

e_1, e_2 = The average linear extension of joint sets 1 and 2.

The coefficients of (2) were chosen empirically by comparing the values obtained through application of the proposed method with the evaluations of the degree of landslipping found from direct observation on thirty different rocky slopes, (the presence of active landslide phenomena, characteristic morphologies, the quantity of detritus at the foot of the slopes and its degree of freshness, the presence and the conditions of vegetation and other possible data on the frequency of recent landslide phenomena). By comparing the classifications of landslipping on the slopes (classifications based on landslide effects) with the results

obtained through the application of above mentioned mathematical expression, one can obtain an excellent correlation for the values $A = 3.7$ and $b = 1.5$. To these values corresponds an average standard deviation of 0.76 compared to the corresponding synthetic evaluation based on the effects of landslipping.

Finally a scale of landslipping is proposed suited to this type of phenomena, to which the number obtained through the application of the method can be referred (paragr. 3).

Conclusive observations:

a) The collecting of base data can be evaluated subjectively especially when defining the most representative sets and in the evaluation of the frequency and extension parameters characteristic of them. It is possible to reduce the error working over the whole slope and using a statistical criterion.

b) The practical application of the method can be rather laborious in those cases where numerous movements are

possible. Our recent experiences have shown however, that it is convenient where possible, to group together joint sets which differ only slightly in orientation. Moreover during the calculation of the frequency and extension parameters there may be difficulty in distinguishing, through direct observation, between those joints belonging to one or another sets.

c) The correlation between the visual evaluations based on the effects of landslipping and the results obtained by applying the proposed method to thirty different situations, resulted higher than 90%, taking into account the limits of precision in the evaluation of the base data. The few unreliable results obtained, all refer to cases which undergo very strong variations in the degree of landslipping with small variations in the base data, because they are all characterised by possible movement with very low safety factors. However even in these cases the maximum error obtained was owing to their being placed in a class of landslipping adjacent to that evaluated in the field.