

# Osservazioni su di una colata nell'alta valle dell'Esaro

G. ALLEVATO \*, G. DENTE \*\*, L. ESPOSITO \*\*

**SOMMARIO:** Si riportano i primi risultati che scaturiscono dalla osservazione di una frana tipo colata in una formazione di argille marnose nell'alta valle dell'Esaro.

Sono state eseguite sia indagini e misure in situ che di laboratorio allo scopo di conoscere il possibile meccanismo del fenomeno franoso in atto.

Gli spostamenti rilevati in superficie sono risultati di circa 6 metri nella zona di alimentazione, relativamente ad un periodo di osservazione di un anno, e vanno attenuandosi lungo il canale di frana fino a ridursi a qualche decimetro in prossimità della zona di accumulo.

L'adozione di semplici dispositivi di misura ha inoltre consentito di determinare la profondità della superficie di scorrimento in un certo numero di punti lungo l'asse della colata.

Sulla base di prove di taglio di laboratorio si è determinato il valore della resistenza residua, che, introdotto nell'espressione del coefficiente di sicurezza ricavato nell'ipotesi di pendio indefinito, ha permesso di effettuare una back analysis con riferimento ad un tronco di colata.

I risultati dell'analisi così condotta autorizzano a ritenere che il meccanismo di colata avviene per raggiungimento della resistenza residua sulla superficie di base.

La costruzione del dominio di creep avvalorata tale ipotesi.

## 1. Introduzione

Con il termine di « colata » vengono definiti dei tipi di frana caratterizzate da lento movimento, lungo superfici di scorrimento, ben definite, di detriti argillosi, più o meno rammolliti, originati per effetto di altre frane o prodottisi per erosione intensa.

Pur ponendo gravi problemi per la conservazione del suolo, i meccanismi che regolano questo tipo di dissesto, sono allo stato attuale delle conoscenze poco noti e non consentono di poter affrontare con sicurezza la complessa problematica che ne deriva.

Importanti contributi concernenti gli aspetti cinematici delle colate sono stati forniti da HUTCHINSON [1970], HUTCHINSON e BHANDARI [1971] e D'ELIA [1975], tuttavia i risultati di queste ricerche non possono essere ritenuti di validità generale presentando ciascuna frana caratteristiche che le sono proprie.

In maggiore approfondimento non può che discendere dall'osservazione di numerosi casi ben documentati.

Con queste finalità nel marzo del 1978 si è iniziato lo studio di una colata che interessa la zona periferica dell'abitato di S. Agata di Esaro nella provincia di Cosenza.

## 2. Cenni morfologici e caratteri geologici generali

L'abitato di S. Agata di Esaro (CS) sorge sul residuo di un terrazzo alluvionale costituito da una puddinga abbastanza ben cementata.

\* Dr. Ing. Giovanni ALLEVATO - Genio Civile di Cosenza.

\*\* Dr. Ingg. Giovanni DENTE, Luigi ESPOSITO, Dipartimento di Difesa del Suolo dell'Università della Calabria.

Il fiume Esaro che scorre a circa 100 m più in basso, portandosi nella posizione attuale, ha eroso la parte sud del terrazzo modellando le pendici in forme aspre ed acclivi che contrastano con quelle più dolci della parte opposta della valle.

Le pendenze dei versanti, unitamente alla presenza di una vasta formazione di argille marnose, sono state concause di numerosi fenomeni franosi che si sono succeduti nel corso degli anni.

Per quanto riguarda la geologia della zona essa è riportata nella planimetria di figura 1.

Le formazioni affioranti sono costituite dalla puddinga calcarea, su cui poggia l'abitato, con spessori variabili fra i 2 e i 20 m, procedendo da Nord a Sud; sul versante ad Est dell'abitato, è presente una fascia detritica derivante dall'alterazione della puddinga sovrastante; più a valle affiora un banco di grande potenza costituito da argille marnose di colore grigio azzurre con stratificazioni di sabbie fini ed arenarie.

## 3. Caratteristiche geometriche della colata

La colata si sviluppa sulla pendice Est dell'abitato; ha forma allungata e misura circa 368 m per una larghezza media di 45, con una inclinazione di circa 9°.

La zona di coronamento presenta sul lato destro, guardando valle, una parete quasi verticale di altezza variabile tra gli 8 e i 12 m, da cui si staccano periodicamente grossi blocchi di argilla che vanno ad alimentare la colata (si

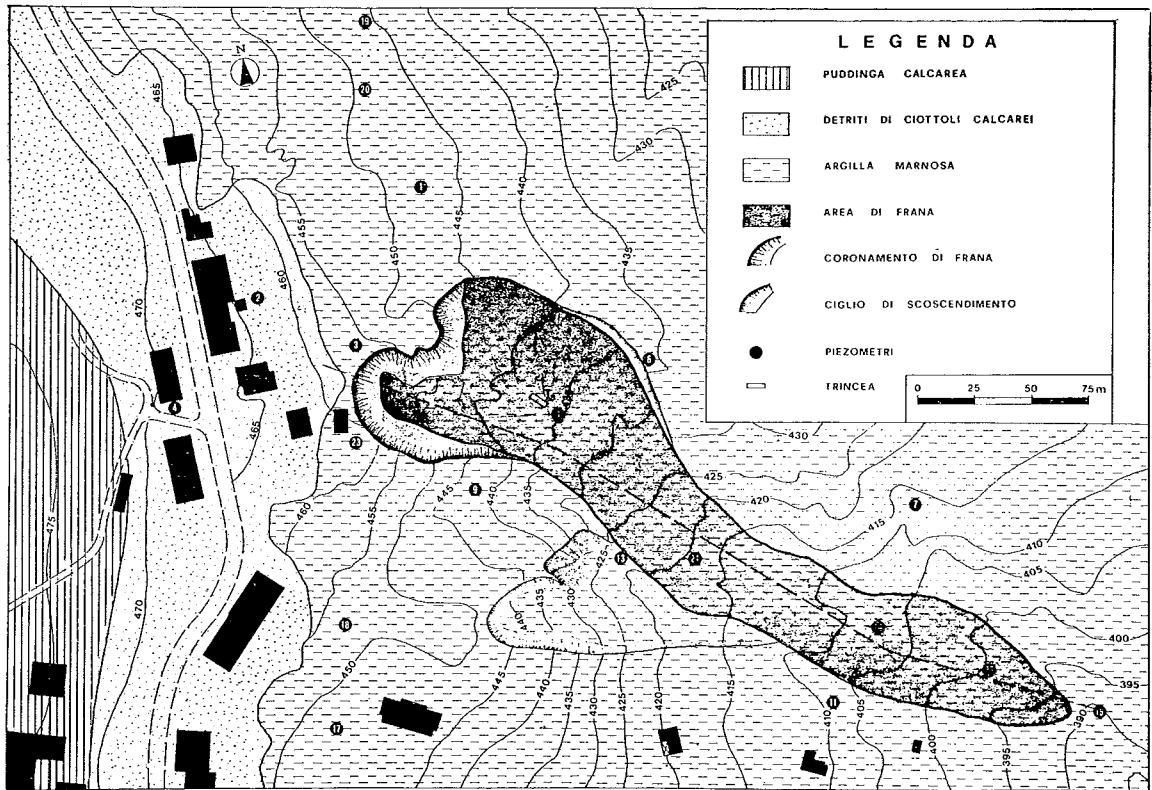


Fig. 1. - Carta geologica.

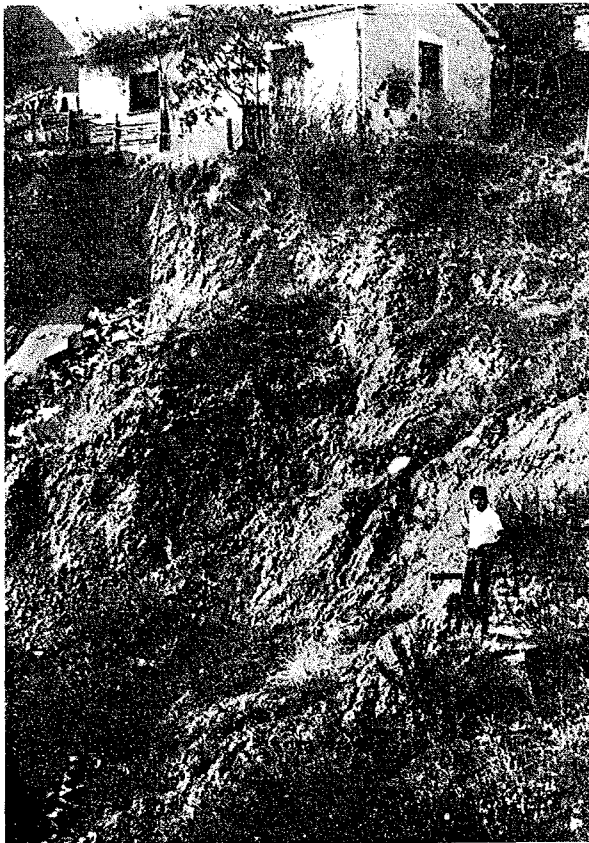


Fig. 2. - Coronamento frana: parte destra.

vedano le foto delle figure 2 e 3). Il lato sinistro si presenta con scarpate molto più dolci e che mostrano intercalazioni o addirittura ricoprimenti di sottili strati di arenaria.

Questa zona, a differenza di quella precedente, dà apporti solidi molto più modesti e limitati a fenomeni di erosione superficiale. Il canale di frana ha larghezza quasi costante e andamento quasi rettilineo.

La zona di accumulo, infine, mostra forma



Fig. 3. - Coronamento frana: parte sinistra.

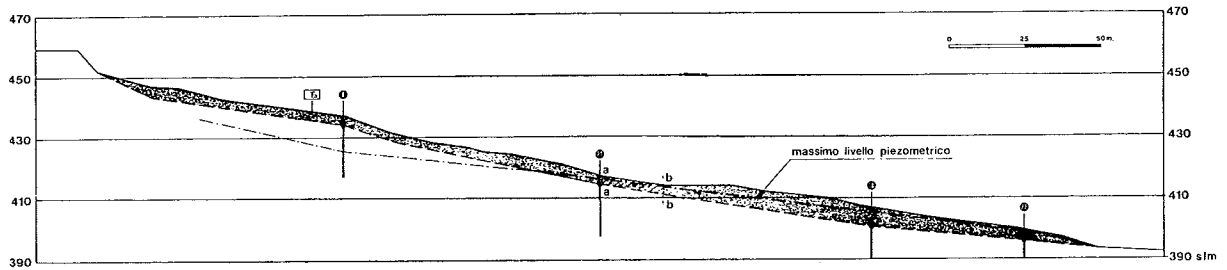


Fig. 4. - Sezione longitudinale della frana.

lobata e si raccorda con pendenze molto dolci al terreno circostante (figura 4).

#### 4. Indagini e misure in sito

Nel marzo 1978 si è dato avvio ad una campagna di sondaggi, l'ubicazione dei quali è riportata nella planimetria di figura 1 e nella sezione di figura 4.

Dai fori eseguiti sono stati estratti campioni indisturbati a varie profondità.

Nel corpo frana sono stati eseguiti solo 4 sondaggi spinti tutti a grande profondità non essendo nota a priori la posizione della superficie di scorrimento.

Nell'ottobre 1979 è stato effettuato lo scavo della trincea « Ta » che ha permesso il prelievo di ulteriori campioni sia in blocchi che con fustelle metalliche.

Non è risultato possibile estendere l'indagine alla parte alta della frana date le gravi difficoltà di accesso dell'attrezzatura di perforazione.

Tutti i fori eseguiti sono stati strumentati con i piezometri tipo Casagrande a doppio tubo, tranne che per il corpo frana, dove si sono usati piezometri a tubo aperto da 2 pollici, che hanno consentito l'installazione di semplici dispositivi per la misura della profondità della superficie di scorrimento.

Questi sono costituiti da un'asta metallica della lunghezza di circa 1 m disposta al fondo della canna piezometrica e collegata alla superficie da una cordina metallica metrata.

La deformazione della canna per effetto dei movimenti della frana impedisce all'asta di risalire.

Calando dall'alto un analogo dispositivo si

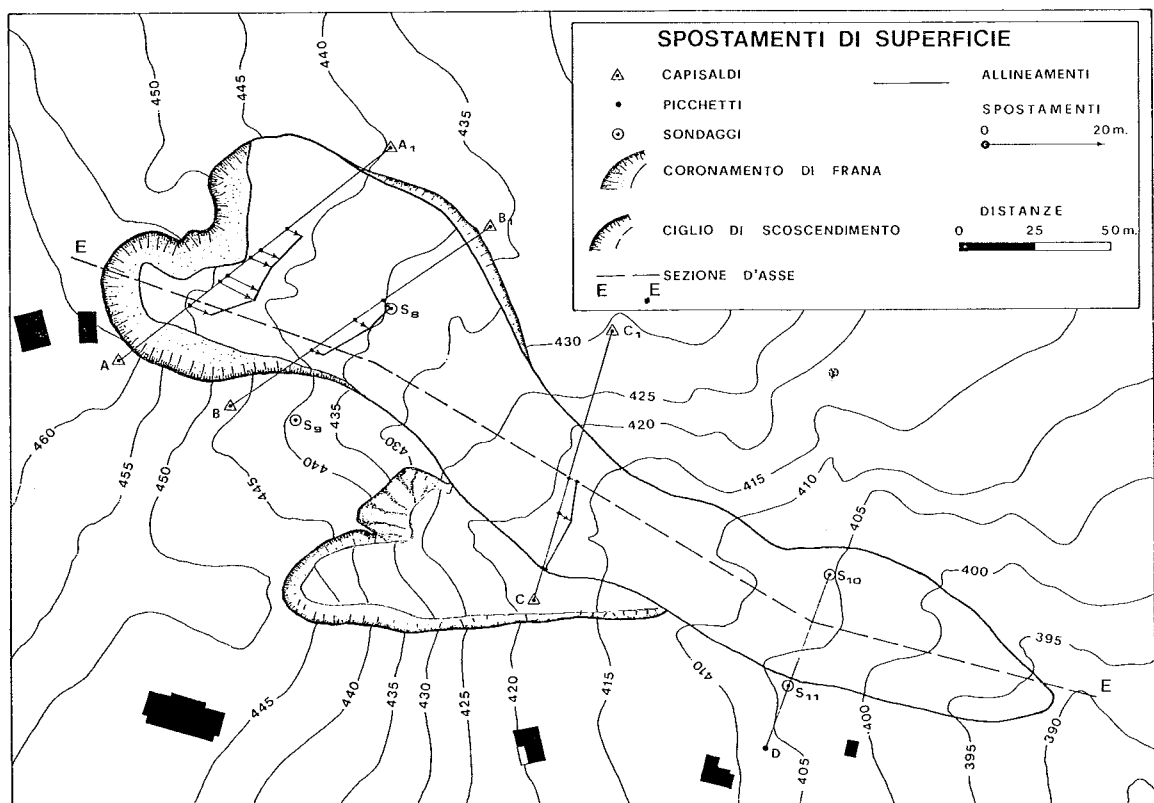


Fig. 5. - Planimetria della colata.

riesce a conoscere con buona approssimazione la profondità della superficie di scorrimento.

Allo scopo di rilevare gli spostamenti di superficie si sono realizzati gli allineamenti trasversali di cui alla planimetria di figura 5.

### 5. Indagini di laboratorio

Sui campioni prelevati in sito sono state eseguite prove di laboratorio volte ad accertare le caratteristiche sia fisiche che meccaniche dei terreni.

Per quanto riguarda l'identificazione, nei diagrammi delle figure 6, 7 e 8 sono riportati rispettivamente il fuso granulometrico, la carta di plasticità ed il diagramma di attività.

Da questi si deduce che i terreni in questione possono classificarsi come limi con argilla debolmente sabbiosi di alta plasticità, con attività da media ad alta.

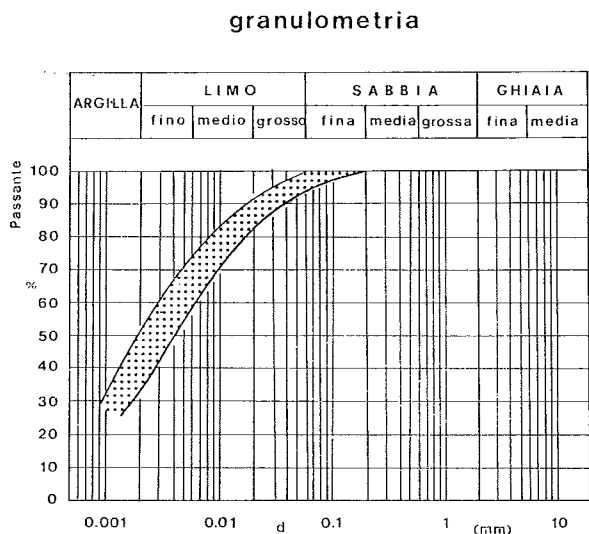


Fig. 6. - Fuso granulometrico.

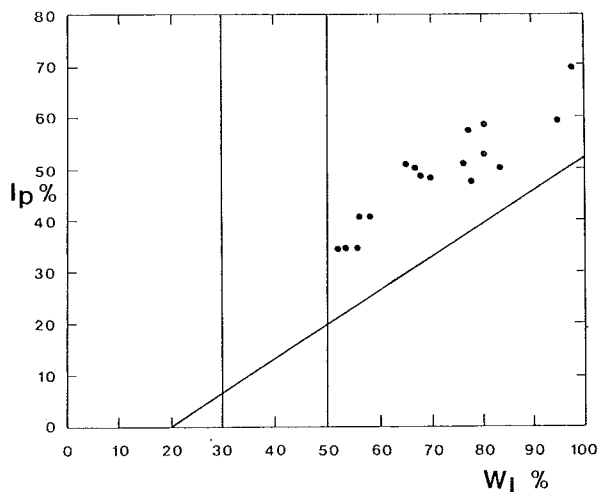


Fig. 7. - Carta di plasticità.

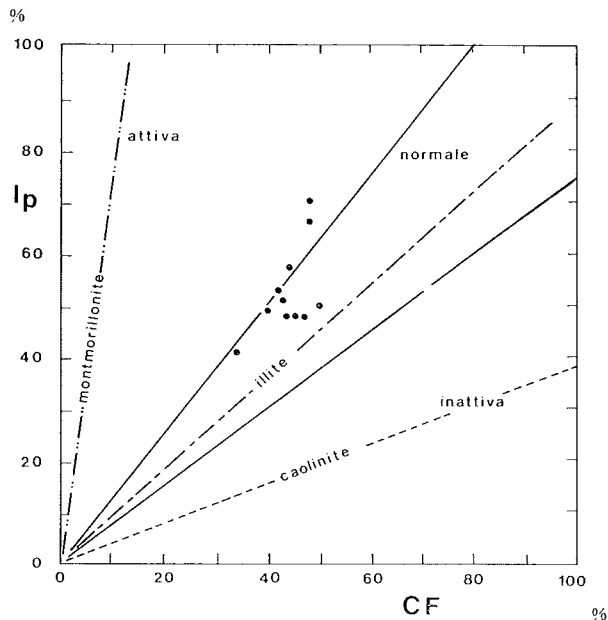


Fig. 8. - Diagramma di attività.

In figura 9 è riportata la variazione del contenuto d'acqua con la profondità per campioni prelevati da verticali sia in frana che fuori frana; come si può notare il materiale proveniente dal corpo della colata presenta contenuti di acqua più elevati, con variazioni talvolta anche del 100%.

La resistenza a rottura è stata determinata mediante prove di taglio diretto con determinazione del residuo.

La scelta del tipo di prova è stata dettata dalla natura del terreno che presenta numerosi piani di discontinuità variamente inclinati.

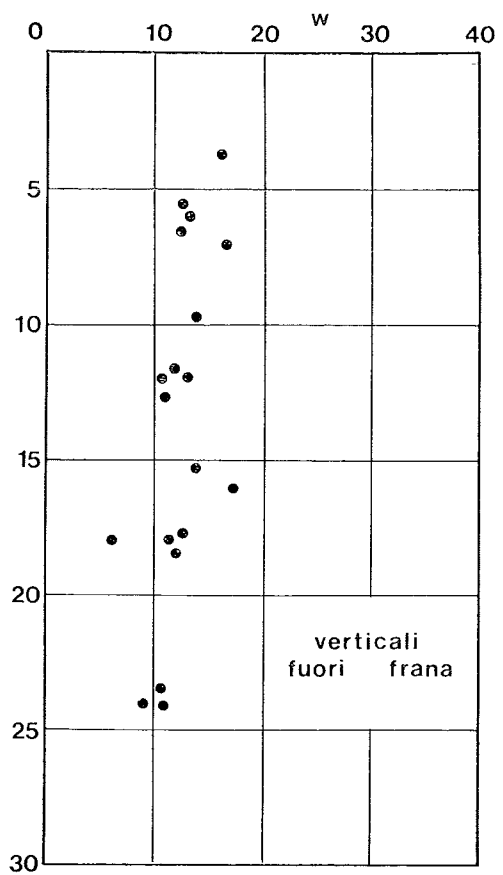
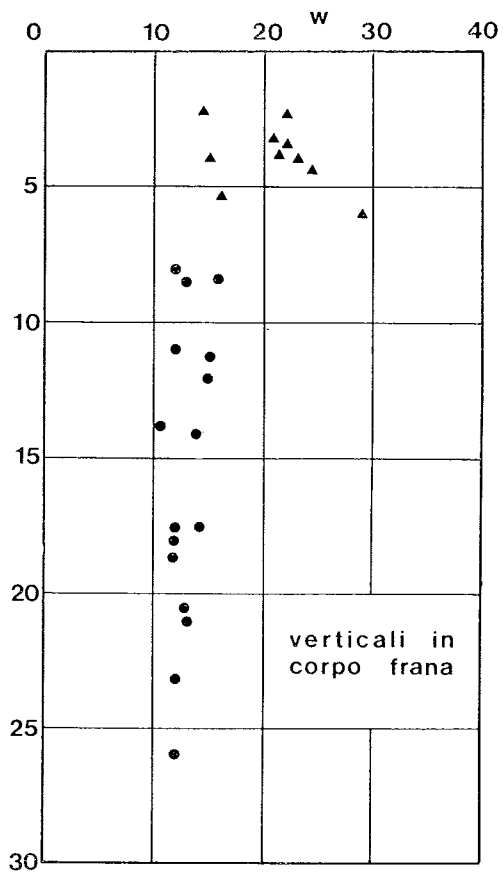
La velocità di deformazione è stata fissata in 0,00244 mm/min in base al criterio di approssimare il più possibile quella, misurata in sito, della colata.

Al fine di controllare le condizioni di drenaggio dei provini durante la fase di rottura si è calcolato, in base alla formula di GIBSON ed HENKEL [1954], il grado di consolidazione corrispondente al tempo di prova imposto; sulla base delle prove edometriche eseguite si è assunto un valore medio del coefficiente di consolidazione pari a  $8 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/sec ricavando un valore del grado di consolidazione del 95%.

Ciò autorizza a ritenere che le prove sono state condotte in condizioni drenate.

La resistenza residua è stata determinata attraverso due vie: operando cicli alterni di deformazione e ricorrendo al pretaglio.

Come si può vedere dall'esame delle figure 10, 11 e 12 le due tecniche hanno fornito risultati in buono accordo tra loro.



▲ campioni prelevati dalla colata      ● campioni prelevati da fuori colata

Fig. 9. - Variazione del contenuto d'acqua con la profondità.

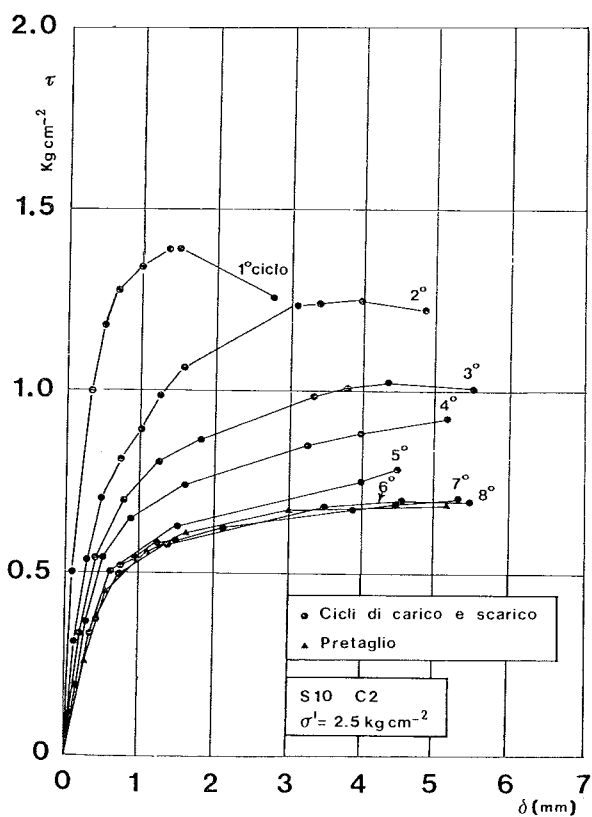


Fig. 10

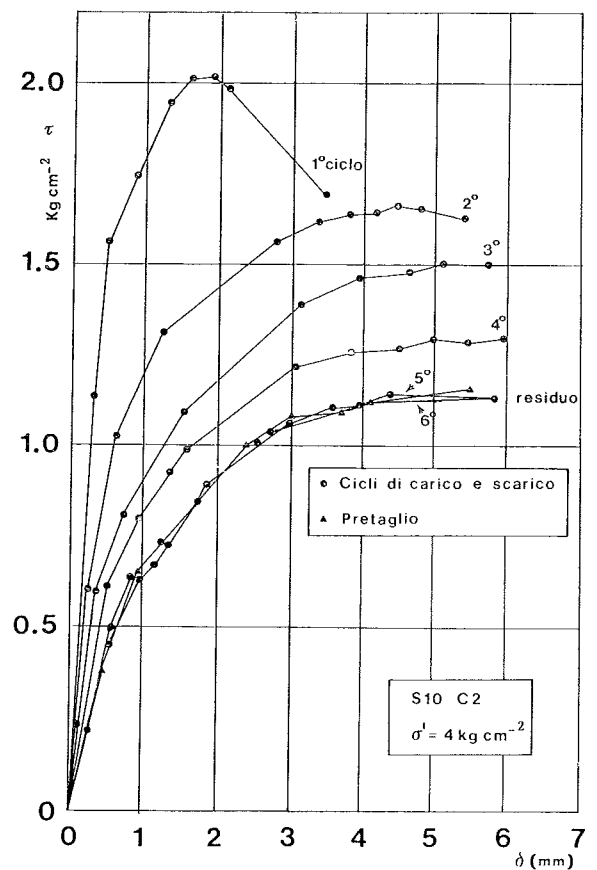


Fig. 11

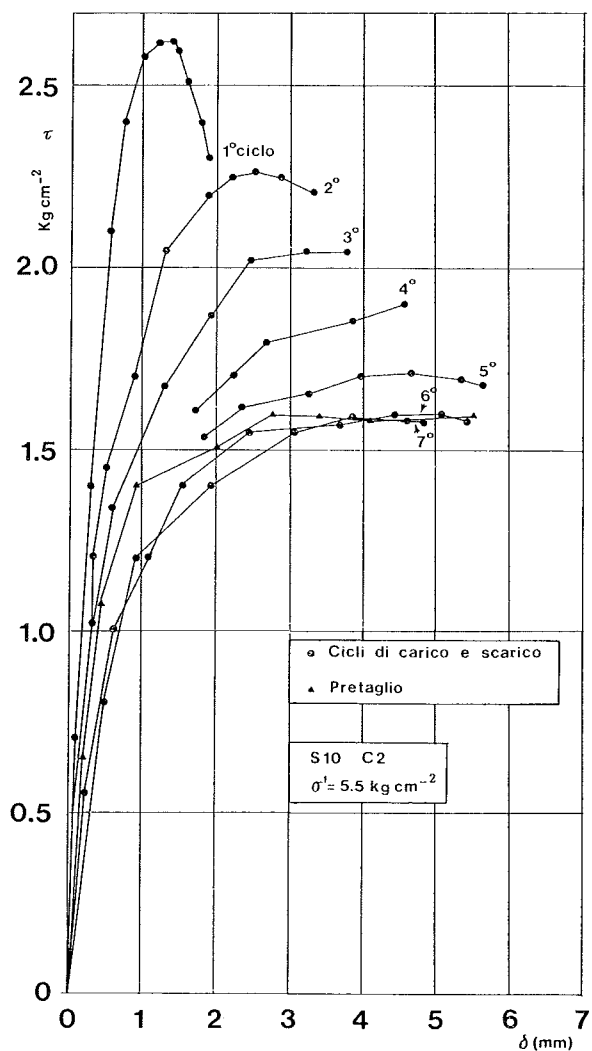


Fig. 12

Gli involucri di rottura in termini di resistenza di picco e residua sono riportati nelle figure 13 e 14.

Si rileva che i campioni provenienti dalla colata presentano una resistenza compresa tra il valore di picco e quello residuo.

Il decadimento di resistenza, rispetto a quella di picco, è più o meno accentuato a seconda del grado di rimaneggiamento subito dal materiale da cui è stato effettuato il prelievo.

## 6. Dati acquisiti ed analisi di stabilità

Come tutti i fenomeni naturali, lo studio di questa colata presenta grosse difficoltà, per cui è gioco forza ricorrere a schematizzazioni della realtà allo scopo di interpretarne i possibili meccanismi che la governano.

Le schematizzazioni adottabili risultano più aderenti alla realtà, se si basano su un gran numero di dati sperimentali che scaturiscono

da indagini e misure sia in sito che in laboratorio.

In questa prima fase non è stato possibile strumentare in maniera adeguata la zona interessata dalla frana.

Tuttavia, i dispositivi di misura a disposizione hanno consentito l'acquisizione di utili indicazioni che riguardano l'individuazione della superficie di scorrimento, le caratteristiche dei movimenti superficiali e le oscillazioni del livello di falda.

La profondità della superficie di scorrimento è stata accertata in corrispondenza della trincea « Ta » e dei piezometri 8, 10, 21 e 22; sulla base delle misure ottenute è stato costruito il profilo di figura 4.

Gli spostamenti di superficie sono stati misurati in corrispondenza delle sezioni trasversali riportate in figura 5; purtroppo un gran numero di picchetti sono andati persi.

Tuttavia, quelli esistenti hanno evidenziato spostamenti massimi annuali di 6,50 m nella zona di alimentazione, che vanno attenuandosi lungo il canale di frana.

Per quanto concerne il rilievo dei livelli di falda nel periodo di osservazione che va dall'aprile '78 all'ottobre '79 (figure 15 e 16) si è riscontrata un'accentuata variabilità per i piezometri fuori frana rispetto a quelli in frana.

Ciò è forse da addebitare al fatto che il movimento franoso ha interrotto le intercalazioni arenacee che contribuiscono ad aumentare la permeabilità delle formazioni interessate.

Sulla scorta dei dati acquisiti si è proceduto ad effettuare una back analysis adottando il semplice modello di pendio indefinito.

Con riferimento al tronco a - a; b - b dove la superficie di scorrimento appare sensibilmente parallela al piano di campagna può scriversi:

$$F = \frac{c' + [\gamma'z + \gamma'(h - z)] \cdot \operatorname{tg} \phi'}{[\gamma_{\text{sat}} \cdot z + \gamma'(h - z)] \operatorname{tg} \beta}$$

in cui:

F = coefficiente di sicurezza

$\gamma'$  = peso unità di volume alleggerito

$\beta$  = angolo di inclinazione del pendio

h = spessore della colata

z = altezza della falda rispetto alla superficie di scorrimento

$c'$  e  $\phi'$  = parametri di resistenza residua.

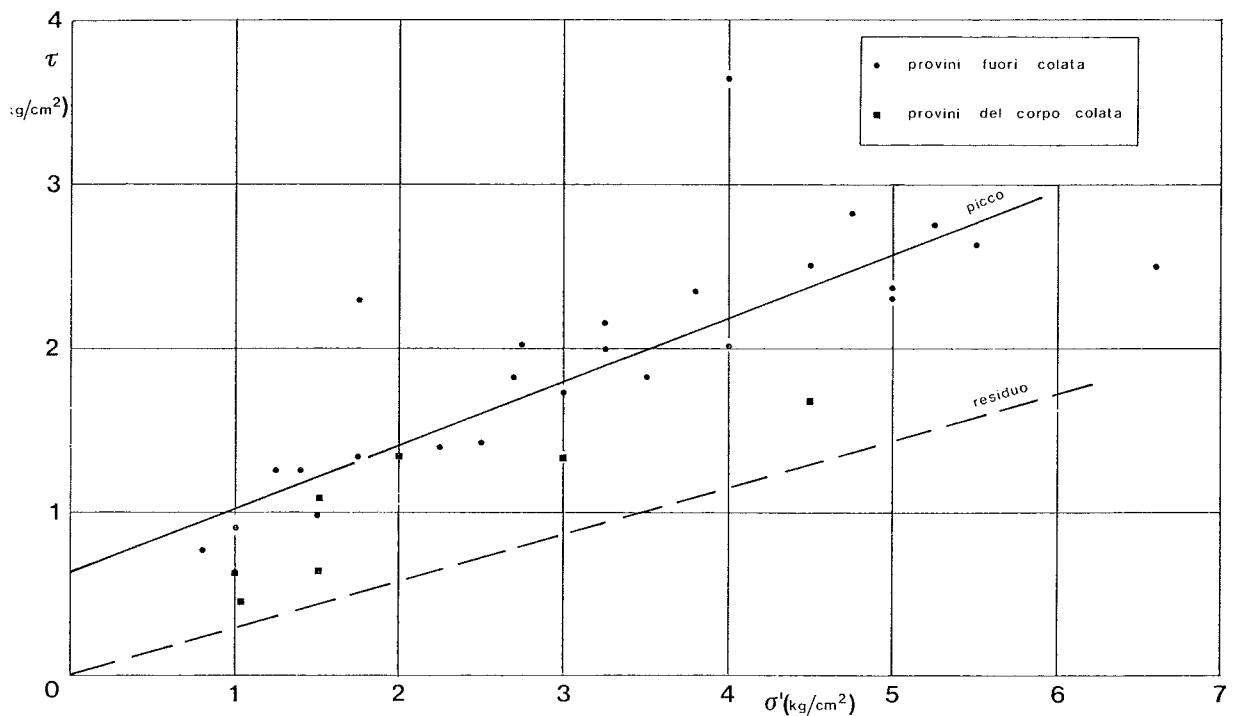


Fig. 13. - Involuppo di resistenza di picco.

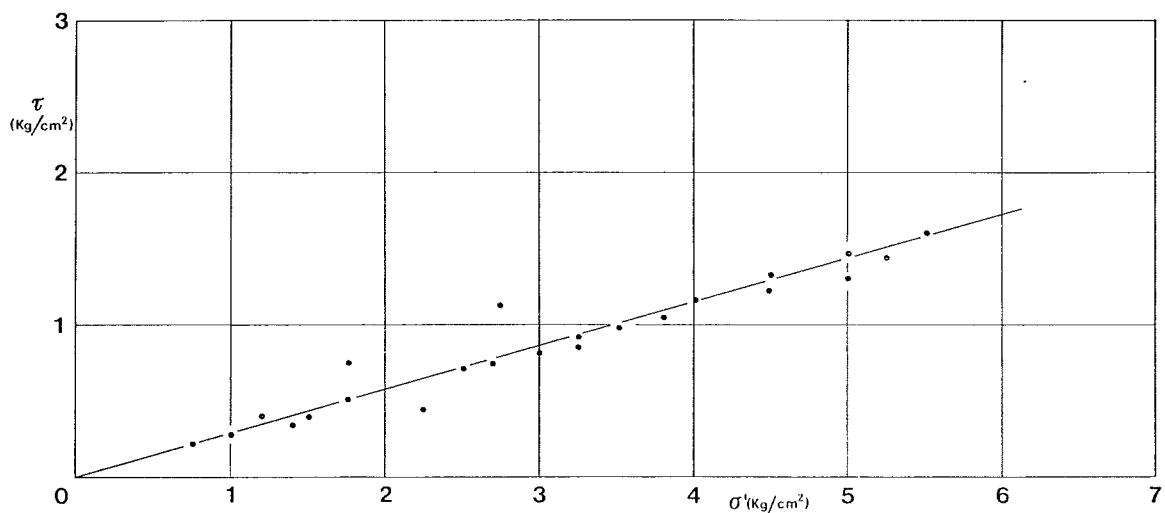


Fig. 14. - Involuppo di resistenza residua.

Assunti:

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,9 \text{ t/m}^3; \quad \gamma' = 0,9 \text{ t/m}^3; \quad h = 3 \text{ m}; \quad z = 2,5 \text{ m}; \\ c' = 0; \quad \varphi' = 16^\circ \text{ e } \beta = 9^\circ$$

risulta:  $F = 0,988$ .

Quindi, pur nei limiti connessi con il modello applicato, può dirsi che i parametri di resistenza residua introdotti nella espressione precedente, determinati sperimentalmente, sono quelli effettivamente mobilitati lungo la superficie di scorrimento del tronco in esame.

È stata avanzata da alcuni Autori l'ipotesi che lo scorrimento avvenga non per raggiungimento della resistenza residua ma per fenomeni di creep intenso.

Nel caso in esame si è voluto indagare la possibilità che ciò accada e, secondo quanto proposto dal D'ELIA [1975], si è costruito il dominio di creep relativo alla sezione del piezometro 8.

È evidente, in base alla costruzione eseguita (vedi figura 17), che lo stato tensionale rappre-

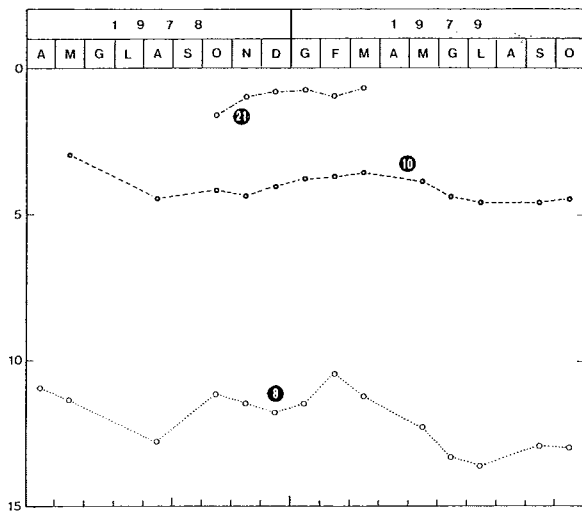


Fig. 15. - Andamento dei livelli di falda in corpo frana.

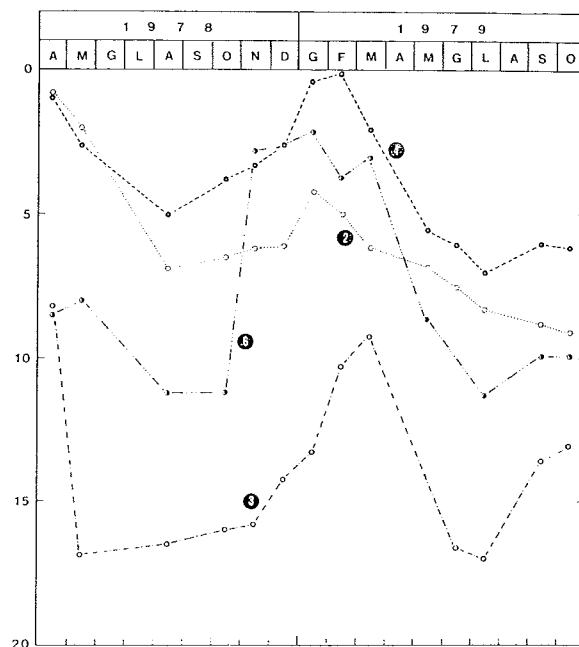


Fig. 16. - Andamento dei livelli di falda fuori frana.

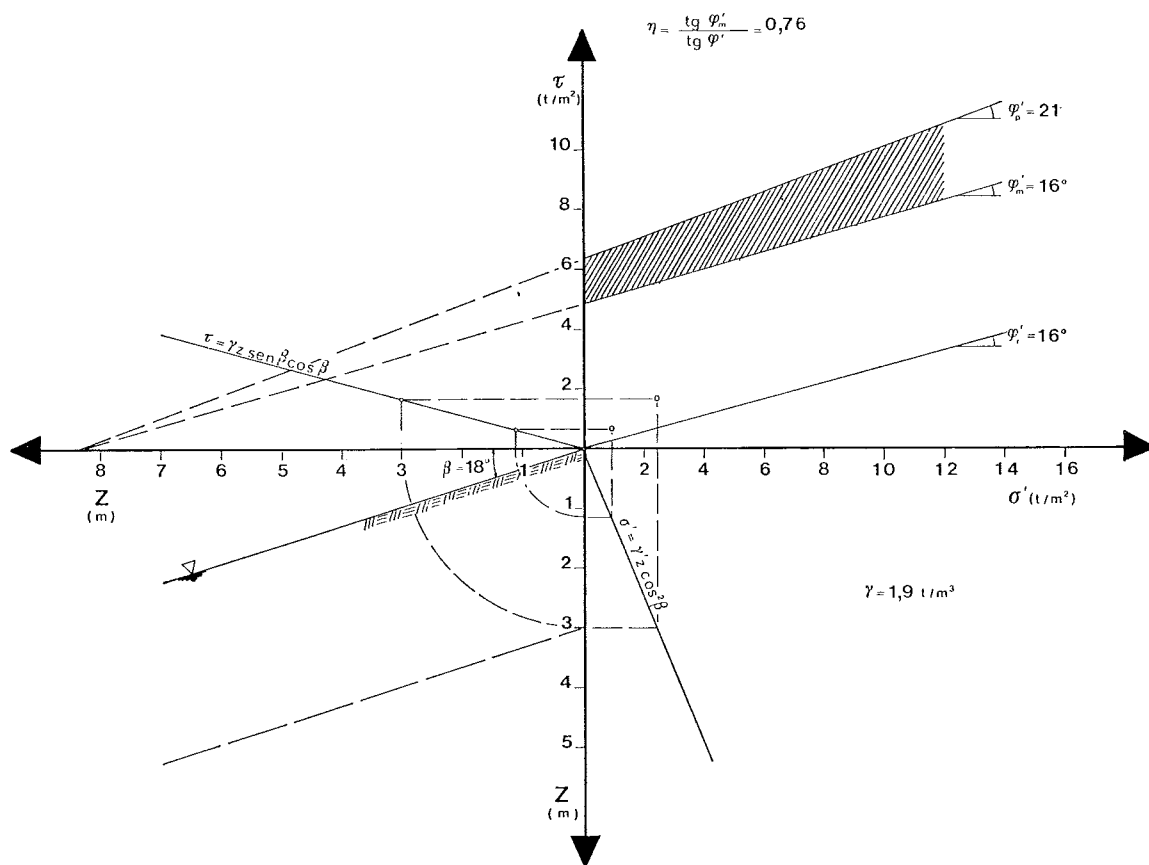


Fig. 17. - Costruzione del dominio di creep.

sentativo ricade al di fuori della zona di creep intenso.

Pertanto, appare più accreditata l'ipotesi di rottura per raggiungimento del valore residuo della resistenza.

### 7. Considerazioni conclusive

Lo studio della colata di S. Agata d'Esaro, ha permesso di cogliere alcuni aspetti salienti dei meccanismi del fenomeno.



Infatti la costruzione del dominio di creep ha mostrato chiaramente l'assenza di creep con velocità crescente nel tempo; ciò era intuibile perché essendo la resistenza del materiale del corpo colata maggiore di quella residua, al di sopra della superficie di scorrimento il livello delle tensioni è basso.

L'assenza di fenomeni di creep e l'entità degli spostamenti di superficie portano a concludere che la frana muove come un corpo rigido lungo una superficie di scorrimento ben definita.

Questa ipotesi potrà in ogni caso, essere confermata dalle misure inclinometriche che saranno eseguite tra breve.

#### RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano l'Ingegnere Capo del Genio Civile di Cosenza per aver reso possibile l'esecuzione delle indagini in sito ed il dr. ing. Venanzio Greco per la preziosa collaborazione prestata per la sperimentazione di laboratorio.

#### BIBLIOGRAFIA

- BISHOP A. W. (1966) - *The strength of soils as engineering materials*. Géotechnique, XVI, pp. 91-128.
- BISHOP A. W. (1967) - *Progressive failure, with special reference to the mechanism causing it*. Proc. Géotechnical Conf. (Oslo). Vol. II, pp. 142-150.
- BISHOP A. W. (1971a) - *Shear strength parameter for undisturbed and remolded soil specimens*. Roscoe, Mem. Simp., pp. 3-58.
- BISHOP A. W. (1971) - *The influence of progressive failure on the choice of the method of stability analysis*. Géotechnique, XXI, pp. 168-172.
- BISHOP A. W., HENKEL D. J. (1964) - *The measurement of soil properties in the triaxial tests*. Arnold, London.
- CHANDLER R. J. (1977) - *Back analysis techniques for slope stabilization works*. Géotechnique, XXVII, pp. 479-495.
- CHEN W. F., SNITBHAN N., FANG H. Y. (1975) - *Stability slopes in anisotropic nonhomogeneous soils*. Canadian géotechnical journal, XII, pp. 147-152.
- D'ELIA B. (1975) - *Aspetti meccanici delle frane tipo colata*. Rivista Italiana di Geotecnica, Vol. IX, pp. 32-41.
- DE BEER E. (1967) - *Shear strength characteristics of the « Boom clay »*. Géotechnical conf. Oslo, Vol. I, pp. 83-96.
- ESU F. (1973) - *Effetti dell'acqua sulla stabilità dei pendii*. Atti XI Conv. Géot. Milano, Tema II, pp. 32-47.
- GRECO VENANZIO (1979) - *Studio teorico sperimentale di una frana tipo colata*. Tesi non pubblicata.
- HUTCHINSON J. N. (1970) - *A coastal mudflow on the London clay cliffs at Beltinge, North Kent*. Géotech., XX, pp. 412-438.
- HUTCHINSON J. N., BHANDARI R. N. (1971) - *Undrained loading, a fundamental mechanism of mudflow*. Géotechnique, XXI, pp. 353-358.
- ISLEY A. E., CHATTERJI P. K., SMITH L. B. (1977) - *Use of residual strength for stability analysis of embankment foundations containing preexisting failure surfaces*. Can. Géot. Journ., XIV, pp. 408-428.

- KANJI M. A. (1974) - *The relationship between drained friction angles and Atterberg limits of natural soil*. Géotechnique, XXIV, pp. 671-674.
- KENNEY T. C. (1967) - *The influence of mineral composition on the residual strength of natural soil*. Géotechnical conf. Oslo, Vol. I, pp. 123-129.
- LO K. Y. (1972) - *An approach to the problem of progressive failure*. Can. Geot. Journal, IX, pp. 407-429.
- LO K. Y., MORIN J. P. (1973) - *Strength anisotropy and time effect of two sensitive clays*. Can. Géot. Journal, IX, pp. 261-277.
- MADEJ J. (1971) - *On the accuracy of simplified methods for the slopes stability analysis*. Arc. Hydrotecn.
- POSKITT T. J. (1974) - *Pore pressure change and the delayed failure of cutting slopes in overconsolidated clay*. Géotechnique, XXIV, pp. 265-266.
- SKEMPTON A. W. (1964) - *Long-term stability of clay slopes*. Géotechnique, XIV, pp. 77-101.
- SKEMPTON A. W., BROWN J. D. (1961) - *A landslide in boulder clay at Selsset, Yorkshire*. Géotechnique, XI, pp. 280-293.
- SKEMPTON A. W., HUTCHINSON J. N. (1969) - *Stability of natural slopes and embankment foundations*. 7th int. Conf. of Soil Mech. Found. Engin., Vol. State of the art, pp. 291-340.
- SING A., MITCHELL J. K. (1968) - *General stress-strain in time function for soil*. ASCE, S.M. 1, pp. 21-46.
- SRIDHARAN A., NARASIMHA RAO S. (1973) - *The relationship between undrained strength and plasticity index*. Géotechnical Engineering, pp. 41-53.
- SUKLIE L. (1969) - *Rheological aspects of soil mechanics*. Wiley, London.
- TER-STEPANIAN G. (1975) - *Creep of a clay during shear and its rheological model*. Géotechnique, XXV, pp. 299-320.
- VOIGTH B. (1973) - *Correlation between Atterberg plasticity limits and residual shear strength of natural soil*. Géotechnique, XXIII, pp. 265-267.
- WRIGHT S. G., KULHAWI F. H., DUNCAN J. M. (1973) - *Accuracy of equilibrium slope stability analysis*. Journal Soil Mech. Found. Eng. ASCE, S.M. 10, pp. 783-791.

#### SUMMARY

##### Some observations on a flow slide in the upper Valley of Esaro

The first results obtained from the observation of a flow type landslide in a marl-clay formation in the upper Valley of the Esaro are reported here.

Research and measurement were carried out both on site and in the laboratory in order to understand the possible mechanism of the landslide phenomenon in course.

The displacements surveyed on the surface are about 6 meters in the feeding zone, based on an observation period of one year and decrease along the landslide flowchannel until they are reduced to a few decimeters near accumulation zone.

The use of simple measuring instruments, moreover, allowed us to determine the depth of the sliding surface in certain points along the axis of the flow.

Based on laboratory shear tests the value of residual strength was determined, which, when introduced in the security coefficient equation, drawn from the hypothesis of indefinite slope, allowed us to make a back analysis with reference to a trunk of the flow.

The results of the analysis conducted in this way allow us to hold that the mechanism of the flow takes place due to the reaching of the residual strength on the surface of the base.

The construction of creep domain confirms such a hypothesis.