

GORTANIA - Atti Museo Friul. Storia Nat.	9('87)	29-46	Udine, 31.VII.1988	ISSN: 0391-5859
--	--------	-------	--------------------	-----------------

G. MARTELLI, R. MERIGGI

DISSESTI SUPERFICIALI DELLA VAL PONTAIBA (ALPI CARNICHE) PROVOCATI DA FENOMENI DI PIPING

*COLLUVIUM LANDSLIDES IN PONTAIBA VALLEY (CARNIC ALPS)
INDUCED BY PIPING PHENOMENA*

Riassunto breve — Nel presente lavoro sono stati studiati alcuni dissesti superficiali nella zona Ligosullo-Murzalis (Alpi Carniche, Friuli-Venezia Giulia) che, per le loro caratteristiche morfologiche e geotecniche, sono imputabili a fenomeni di piping. Si è proceduto alla determinazione delle proprietà indici dei materiali colluviali originatisi durante il fenomeno ed a una verifica delle condizioni strutturali ed idrauliche di piping, esaminando le caratteristiche di autoprotezione del terreno e di velocità di flusso all'interno di esso. Inoltre, sono state fatte delle considerazioni sull'evoluzione del piping con valutazione dei valori teorici limite delle proprietà indici relativi allo stadio finale del processo erosivo.

Parole chiave: Piping, Alpi Carniche.

Abstract — *Some landslides involving colluvium, near Ligosullo-Murzalis (Carnic Alps, Friuli-Venezia Giulia), are regarded as piping phenomena effects. Laboratory tests were performed on soil samples to investigate index properties and to verify the self-filtering characteristics of soil composition and the hydraulic conditions which caused particles movement. Some predictions are made about phenomena evolution and about theoretical limit values of eroded soils properties.*

Key words: Piping, Carnic Alps.

1. Introduzione

Nel presente lavoro sono esaminati alcuni dissesti superficiali ubicati nelle località Ligosullo-Murzalis (Val Pontaiba, Alpi Carniche) allo scopo di definirne l'origine.

Le caratteristiche dei dissesti evidenziano che la loro formazione è dovuta a fenomeni di piping. Basandosi sulle ricerche messe a punto da KEZDI (1979) e

KOVACS (1984), si è intentata una caratterizzazione geomorfologica (LA FLEUR, 1984) e meccanico-evolutiva del fenomeno, con la individuazione dei parametri più significativi che ne condizionano lo sviluppo.

2. Caratteristiche geomorfologiche e meteorologiche

Le località Ligosullo e Murzalis sono ubicate nella Val Pontaiba che si sviluppa per una lunghezza di km 9 con andamento Est-Ovest, nell'alto bacino del F. Tagliamento. Il torrente omonimo occupa un bacino idrografico di kmq 28.85 in cui la pendenza media dei versanti è pari al 50% e l'altitudine media è di m 1171. La piovosità è elevata con valori variabili tra i 1754 e 1757 mm/anno. Si rileva inoltre la presenza di eventi piovosi particolari che possono raggiungere intensità di 300 mm/ora come nel caso del nubifragio dell'11.9.83.

La Val Pontaiba appartiene al settore orientale delle Alpi Carniche che strutturalmente fanno da transizione tra la catena ercinica "Paleocarnica" a Nord ed il sistema più prettamente alpino e prealpino a Sud. Essa è caratterizzata da una successione permo-carbonifera-triassica comprendente litotipi terrigeni, evaporitici e carbonatici.

La formazione geologica interessata dai dissesti in esame è il complesso arenaceo-siltoso delle Arenarie di Val Gardena; esso è costituito da un'alternanza di arenarie, siltiti ed argilliti rosso vinate, subordinatamente grigie, con un livello basale conglomeratico quarzoso. La stratificazione è ben definita e le bancate arenacee hanno spessori variabili tra cm 10 e 50. Tale formazione appare morfologicamente caratterizzata da superfici piuttosto arrotondate, mammellonari, ricoperte da vegetazione arbustiva e prativa con coltri colluviali normalmente inferiori al metro.

3. Descrizione dei dissesti

Dissesto 1

È ubicato nei pressi del secondo tornante della strada che sale verso Ligosullo in corrispondenza di una incisione morfologica, più precisamente di un impluvio (fig. 1). È caratterizzato dall'asporto del suolo vegetale per uno spessore di cm 50-70 e dalla messa a nudo, in alcuni settori, del substrato roccioso non alterato.

La zona denudata è delimitata verso l'alto da una corona a forma di arco, che si estende su ambedue i versanti dell'incisione. La corda dell'arco ha una lunghezza di circa m 8, mentre la freccia dell'arco è lunga circa m 10. Non si osserva cumulo del materiale asportato dalla zona denudata.

Dissesto 2

È ubicato lungo la strada Ligosullo-Murzalis sul lato destro. Si estende lungo la strada per un'ampiezza di circa m 20 ed interessa il pendio sovrastante una trincea artificiale. Il suolo appare asportato per uno spessore di circa cm 20 ed il colluvio è caratterizzato da minutissime scaglie arenacee; in alcuni punti si nota l'affioramento del substrato. Sulla sinistra del dissesto si notano i sintomi di un movimento in atto,



Fig. 1 - Dissesto ubicato in corrispondenza di un'incisione morfologica. Si nota il processo erosivo in atto al di sotto della zolla erbosa.
- Landslide located in a morphologic incision. It is possible to see the erosive process under the turfs.

con leggere incisioni di forma subcircolare in corona e piccole chiazze nella copertura erbosa.

Dissesto 3

Ha una larghezza di circa m 20 con fronte perpendicolare alla massima pendenza ed altezza approssimativamente di m 3 (fig. 2). È parzialmente bonificato mediante fascinate per cui si osserva la neoformazione del suolo e la crescita di erba.

Dissesto 4

Ubicato a circa m 200 di distanza dal precedente ha forma subcircolare con diametro maggiore pari a m 5 e diametro minore pari a m 4 (fig. 3). Anche questo dissesto appare bonificato tramite fascinate. Si notano lungo la corona alcuni fori circolari con diametro di cm 0.5, che rappresentano i percorsi subcorticali dell'acqua.



Fig. 2 - Dissesto quasi completamente bonificato tramite fascinate.
- Landslide almost entirely reclaimed with fascines.

Morfologicamente i dissesti suddetti possiedono i seguenti caratteri comuni:

- 1) Distacco dei soli livelli più superficiali della coltre pedogenizzata limitato all'orizzonte che contiene gli apparati radicali della copertura erbacea ed in parte arbustiva.
- 2) La superficie dissestata ha forma subcircolare con diametro variabile tra i 5 ed i 20 metri.
- 3) La superficie denudata è all'incirca piana, con margini ben delimitati ed evidenti.
- 4) Il dissesto si verifica sempre in corrispondenza ad un cambio di pendenza ed ha inizio nel settore alto della scarpata per progredire verso il basso.
- 5) In tutti i dissesti, ed in particolare nel n. 4, appaiono forellini con diametro di cm 0.5, prodotti dall'uscita a giorno delle acque di infiltrazione.
- 6) L'inclinazione delle zone in dissesto, misurata con rilievo topografico, risulta mediamente pari a 45°-50°.



Fig. 3 - Dissesto in corso di ripascimento tramite fascinate. Si nota in corona ancora un elevato grado di dissesto.
- Landslide in accretion with fascines. In the crown the failure is still marked.

desunta sulla base della ipotesi indicata; nelle figg. 5 e 6 vengono riportati rispettivamente il diagramma della composizione di fase e l'involuppo granulometrico delle terre analizzate.

I terreni colluviali interessati dal dissesto sono caratterizzati da un'ampio spettro granulometrico, con $U = (D_{60}/D_{10})$ variabile fra 240-1000 e da una frazione pelitica ($< n. 200$ ASTM) presente in percentuali comprese fra il 16% ed il 38%.

I valori di peso specifico appaiono piuttosto dispersi mentre il contenuto d'acqua varia in un campo ristretto compreso fra il 5% ed il 7%; i valori della porosità (n) e dell'indice dei vuoti (e) variano rispettivamente fra 0.267 - 0.399 e 0.365 - 0.663. In relazione allo stato di aggregazione ed alla composizione granulometrica la permeabilità del colluvio è stata stimata con la relazione (TERZAGHI, 1955):

$$K = 200 * d_{10}^2 * e^2$$

ed i valori ottenuti (tab. I) sono caratteristici di terreni con permeabilità medio bassa.

ed i valori ottenuti (tab. I) sono caratteristici di terreni con permeabilità medio bassa.

Per valutare le caratteristiche delle componenti fini del colluvio sono stati determinati i valori del peso specifico e dei limiti di Atterberg sulle frazioni passanti al vaglio n. 40 e n. 200 della serie ASTM (tabb. II e III). I parametri di plasticità riportati nel diagramma di Casagrande di fig. 7 ricadono prevalentemente nel campo dei terreni poco plastici o privi di coesione mentre l'indice di attività colloidale, $A = I_p / \% 2\mu$, (fig. 8) ricade entro il campo delle argille non attive.

Poiché l'attività colloidale delle argille è legata al contenuto mineralogico, sono state eseguite le analisi diffrattometriche per i campioni 1, 2, 3 e 4, con esclusione del campione 2s per assenza di frazione fine.

Campione n.	Gs gr/cc	W %	D mm	U	n	e	S %	K cm/sec
1	2.91	7.1	0.008	1000	0.399	0.663	31.1	$5.6 * 10E-5$
2	2.73	5.1	0.025	240	0.337	0.508	27.2	$3.2 * 10E-4$
2s	2.74	5.0	0.700	3	0.332	0.497	27.4	$2.4 * 10E-1$
3	2.57	5.5	0.005	700	0.267	0.365	39.0	$6.6 * 10E-6$
4	2.73	5.1	0.004	250	0.335	0.504	27.6	$8.1 * 10E-6$

Tab. I - Caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dai dissesti.
- *Geotechnical properties of the soil affected by landslides.*

Campione n.	Gs gr/cc	LL %	PL %	Ip %
1	2.70	23	19	5
2	2.57	30	27	3
2s	2.61	—	—	—
3	2.67	—	—	—
4	2.62	22	18	4

Tab. II - Caratteristiche geotecniche della frazione $< n. 40$ ASTM.
- *Geotechnical properties of the component $< n. 40$ ASTM.*

Campione n.	Gs gr/cc	LL %	PL %	Ip %	$< 2\mu$ %
1	2.71	28	20	8	22.7
2	2.66	35	27	8	23.9
2s	2.59	—	—	—	—
3	2.66	24	19	5	17.6
4	2.74	30	21	9	21.7

Tab. III - Caratteristiche geotecniche della frazione $< n. 200$ ASTM.
- *Geotechnical properties of the component $< n. 200$ ASTM.*

Le analisi sono state eseguite con un diffrattometro PW 1390 PHILIPS sulla frazione pelitica di diametro minore a due micron, prelevata dal cilindro di sedimentazione tramite la pipetta di Andreasen.

La fig. 9 riporta i diffrattogrammi dai quali si deduce che il contenuto mineralogico comprende quarzo, clorite, muscovite ed ematite.

5. Descrizione del fenomeno del piping

L'effetto dell'acqua sulla stabilità di un pendio costituito da terreno incoerente si manifesta, sostanzialmente, in due diversi modi. In primo luogo il processo di filtrazione lungo il versante modifica il regime delle pressioni neutre con effetto in-

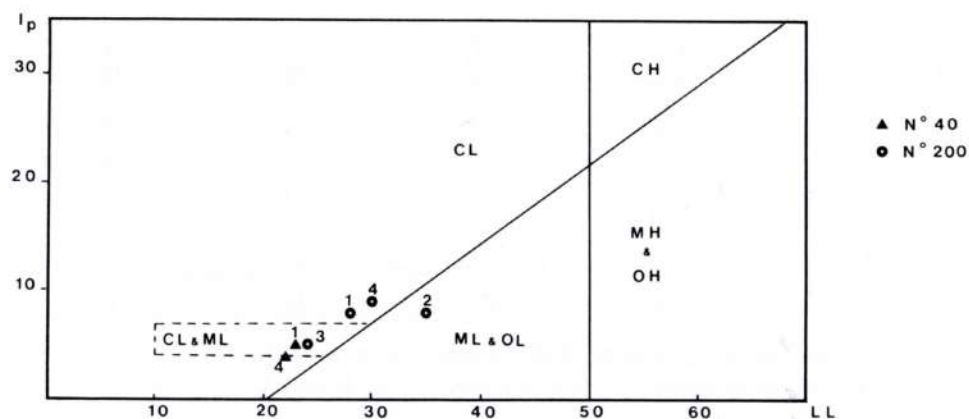


Fig. 7 - Diagramma di plasticità.
- Plasticity chart.

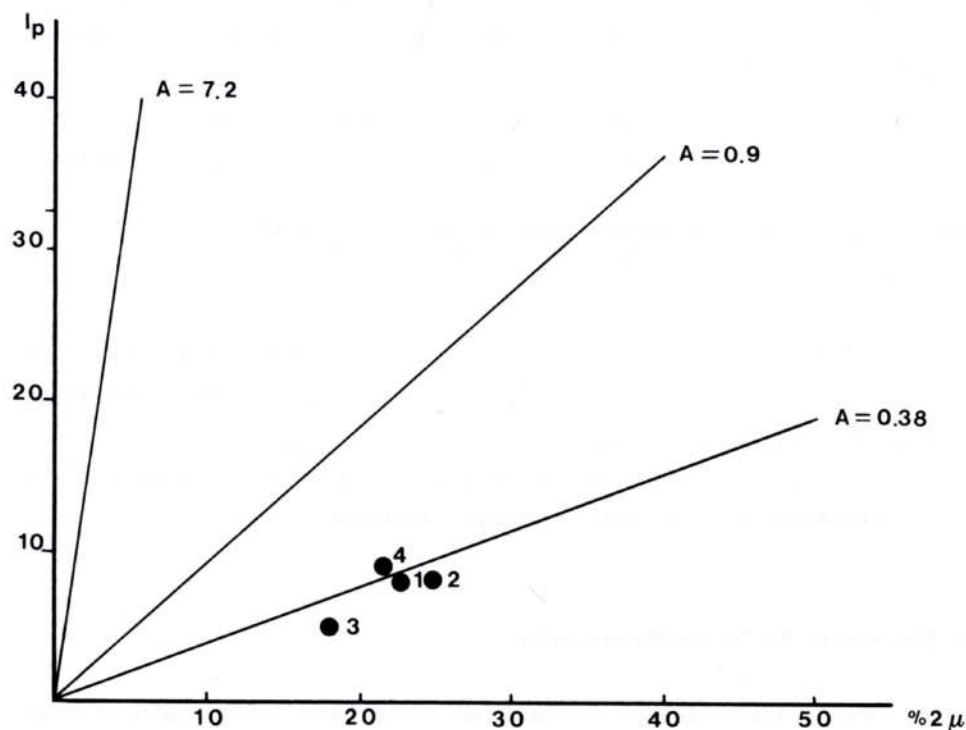


Fig. 8 - Diagramma dell'attività colloidale.
- Activity chart.

stabilizzante, sia per la conseguente diminuzione di resistenza al taglio dei terreni, sia per effetto delle forze instaurate dal moto di filtrazione stesso. In secondo luogo l'acqua per effetto del moto di filtrazione, può trasportare attraverso lo scheletro più grossolano il materiale più fine. Questo processo di asporto e trasporto delle particelle fini è denominato fenomeno di piping; esso comincia quando la velocità di filtrazione raggiunge un valore critico superato il quale la spinta idrodinamica, esercitata sulle particelle più fini, vince le forze di attrito che si sviluppano tra queste e lo scheletro più grossolano.

I granuli fini, disgiunti dalla loro posizione, possono continuare il loro moto solo se il loro diametro è più piccolo di tutti i diametri dei vuoti presenti nell'aggregato. Se questa condizione geometrica sussiste le particelle di terreno vengono trasportate fino ad una zona di accumulo, causata dalla riduzione della velocità di filtrazione per effetto di una diminuzione del gradiente idraulico, ove per l'intasamento dei vuoti si ha una diminuzione della porosità e della permeabilità. Nella zona di rimozione invece il cambiamento strutturale induce un aumento di detti parametri e quindi la concentrazione in essa dei moti di filtrazione. All'interno del terreno si vengono quindi a formare canalicoli più permeabili lungo i quali il fenomeno erosivo avviene con maggiore intensità. Nella zona di rimozione il processo erosivo può inoltre manifestarsi anche come collasso della struttura del terreno sotto il proprio peso; infatti dopo l'asporto delle particelle più fini la nuova porosità del terreno può essere maggiore di quella teorica relativa allo stato più sciolto o, più semplicemente, renderne meno stabile la struttura anche rispetto a deboli sollecitazioni idrauliche e meccaniche.

6. Natura dei dissesti esaminati

Alla luce delle considerazioni svolte per poter verificare se i dissesti esaminati possono essere imputabili a fenomeni di piping, è necessario controllare se la struttura del terreno è tale da permettere il trasporto delle particelle più fini all'interno di essa e se la velocità di filtrazione (KOVACS, 1981; KEZDI, 1979) può superare il valore critico che determina il moto della particella.

A tal fine il terreno può essere arbitrariamente diviso in due frazioni; la componente più grossolana è intesa come materiale filtro che impedisce il dilavamento della frazione più fine.

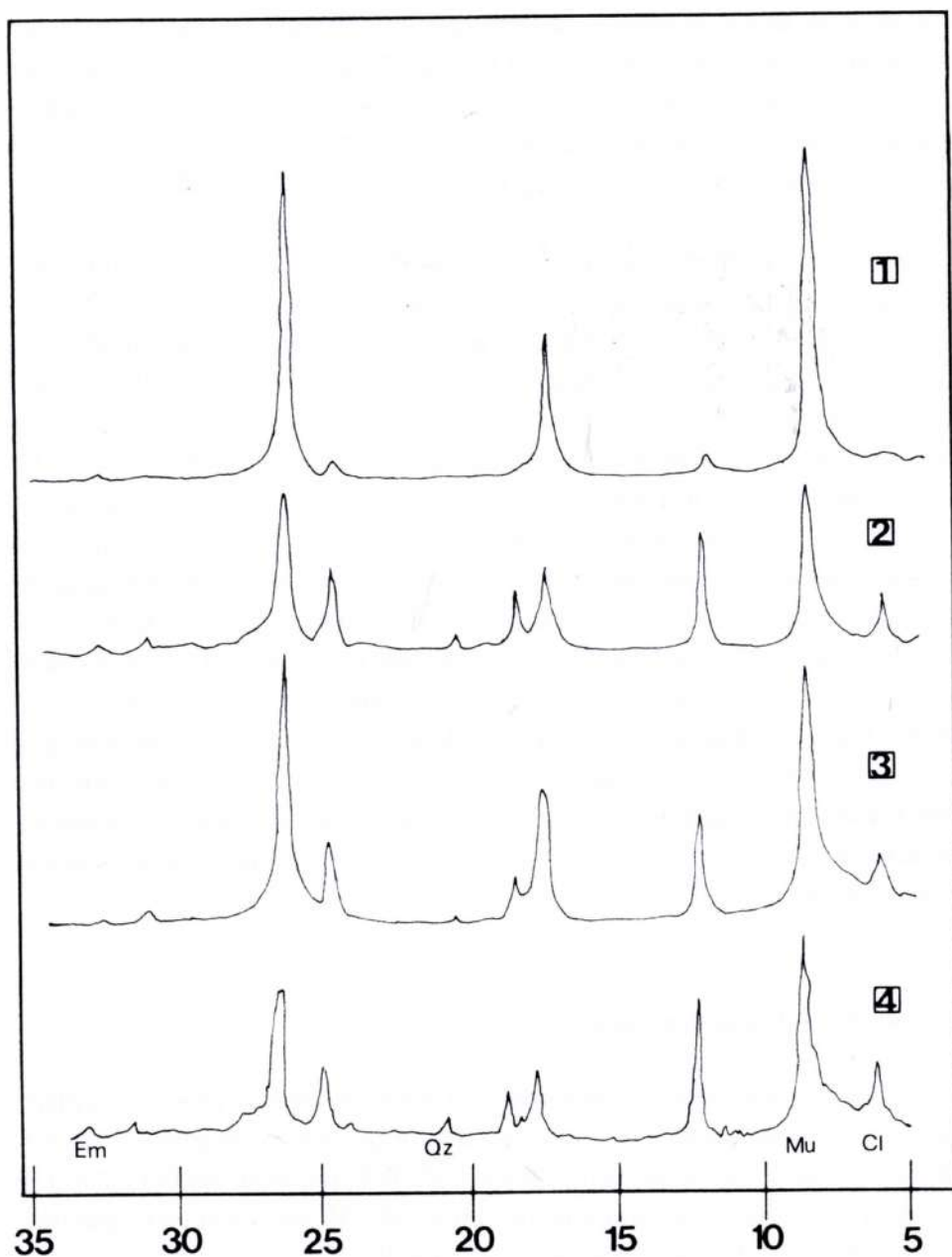


Fig. 9 - Diffrattogrammi relativi alla frazione pelitica ($< 2 \mu$) colluviale dei quattro dissesti esaminati. Cl: Clorite; Mu: Muscovite; Qz: Quarzo; Em: Ematite.
 - Crystallograms of colluvium pelitic component ($< 2 \mu$) of the four landslides. Cl: chlorite; Mu: muscovite; Qz: quartz; Em: hematite.

L'efficacia della funzione di filtro (ARULANANDAN & PERRY, 1983; KOPPULA, 1983) può essere valutata con la relazione di TERZAGHI (1948):

$$4 d_{85t} > d_{15f} > 4 d_{15t}$$

dove d_{15f} è il diametro a cui corrisponde il 15% della frazione grossolana, d_{85t} e d_{15t} i diametri a cui corrispondono l'85% ed il 15% della frazione fine.

La divisione del suolo in due o più componenti può essere effettuata applicando alla curva granulometrica del terreno il procedimento illustrato in fig. 10 in cui la curva originaria è stata spezzata in corrispondenza del diametro d_0 presente con percentuale S_0 . La distribuzione granulometrica delle due componenti viene valutata con le relazioni:

$$S_1 = \frac{(S - S_0)}{(100 - S_0)} ; \quad S_2 = \frac{S}{S_0}$$

in cui S è la percentuale relativa al diametro considerato sulla curva originaria. Se in corrispondenza del diametro delle due frazioni in cui può essere diviso il campione di terreno non soddisfano la regola del filtro tutte le particelle di diametro $d < d_0$ possono essere trasportate all'interno dello scheletro solido. Le caratteristiche di autoprotezione dei terreni colluviali interessati dai dissesti sono stati esamina-

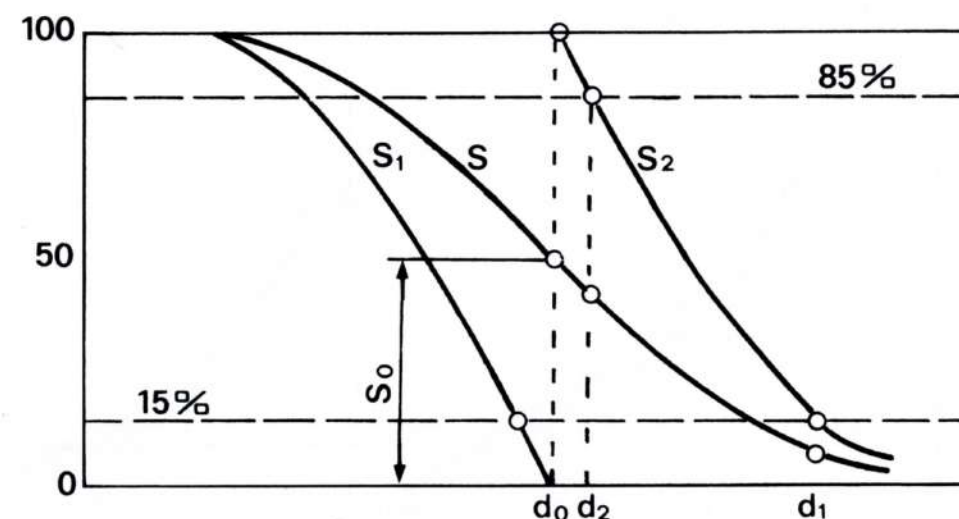


Fig. 10 - Divisione del colluvio in due frazioni (KEZDI, 1979).
 - Division of colluvium into two components (KEZDI, 1979).

ti suddividendo ciascuna curva granulometrica in due ed in tre componenti principali (figg. 11 e 12).

Dal loro esame si può vedere che la frazione pelitica non soddisfa la regola dei filtri né rispetto alla frazione ghiaioso-sabbiosa rimanente (fig. 11) né rispetto alle singole frazioni in cui quest'ultima può essere divisa (fig. 12); la frazione sabbiosa si presenta invece stabile rispetto alla frazione ghiaiosa più grossolana.

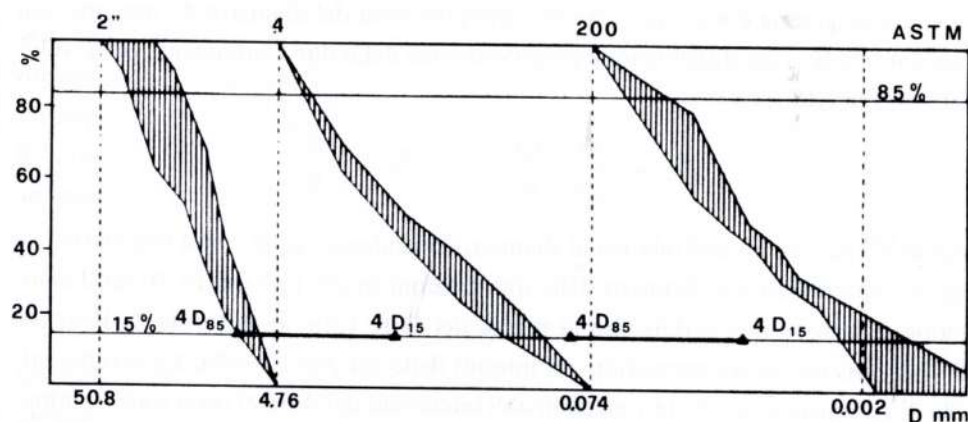


Fig. 11 - Verifica di autoprotezione fra le tre frazioni granulometriche principali.
- Investigation of self-filtering for the three principal soil components.

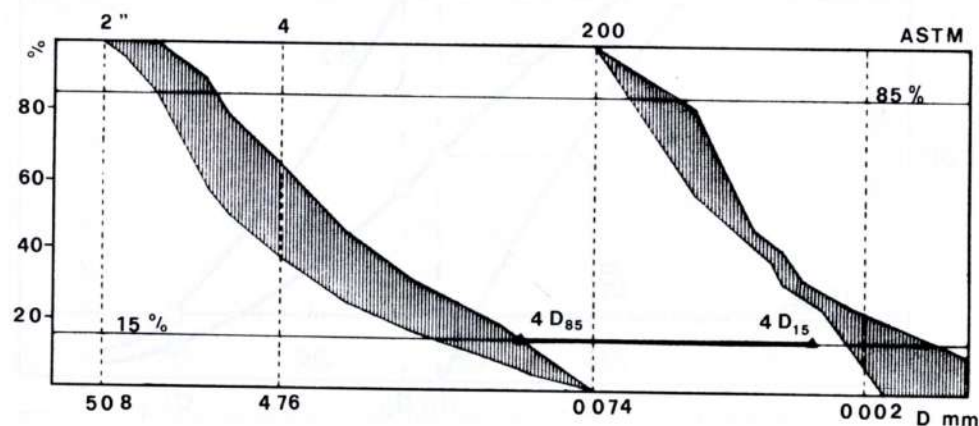


Fig. 12 - Verifica di autoprotezione della frazione pelitica.
- Investigation of self-filtering for pelitic fraction.

Esiste quindi la possibilità che tutto il materiale fine limoso argilloso presente nel colluvio venga rimosso dalla sua posizione originaria dalle forze esercitate dal moto di filtrazione dell'acqua. La velocità critica (KEZDI, 1979) che determina il moto delle particelle entro lo scheletro solido, è funzione dell'indice dei vuoti (e), della porosità (n), della permeabilità (K) del mezzo nonché dell'angolo d'attrito (ϕ) e può essere espressa dalla relazione:

$$V_{s_{crit.}} = \text{tg } \phi * \frac{K}{n} * \frac{(\gamma_s - \gamma_w)}{\gamma_w}$$

Nella tabella IV vengono riportati i valori di velocità critica relativi ai campioni esaminati calcolati facendo riferimento alle proprietà indici stimate ed utilizzando un valore medio dell'angolo d'attrito pari a 35° , valore ragionevolmente compatibile con i parametri adottati. La velocità (V) di filtrazione dell'acqua, nell'ipotesi di moto laminare, è legata all'inclinazione (β) del pendio tramite la relazione (CEDERGREN, 1977):

$$\text{sen } \beta = \frac{V}{K} * n$$

Nella tabella IV vengono riportati anche i valori dell'angolo di pendio per cui si possono sviluppare velocità di filtrazione tali da innescare il fenomeno del piping. L'ordine di grandezza dei valori teorici ottenuti ($53^\circ - 54^\circ$) è compatibile con il valore medio dell'angolo di pendio rilevato in campagna (50°).

La rimozione della frazione pelitica dallo scheletro solido del suolo ne fa variare le proprietà indici che possono essere determinate sia esaminando le curve gra-

Campione n.	n	K cm/sec	V crit cm/sec	β crit $^\circ$
1	0.399	$5.6 * 10E-5$	$1.13 * 10E-4$	53.6
2	0.337	$3.2 * 10E-4$	$7.60 * 10E-4$	53.2
2s	0.333	$2.4 * 10E-1$	$5.80 * 10E-1$	49.5
3	0.267	$6.6 * 10E-6$	$2.00 * 10E-5$	54.0
4	0.335	$8.1 * 10E-6$	$1.95 * 10E-5$	53.7

Tab. IV - Valori teorici critici di filtrazione.
- Theoretic critical values of filtering.

Campione n.	d mm	U	n	e
1	0.30	42	0.543	1.188
2	0.31	27	0.440	0.785
2s	—	—	—	—
3	0.20	40	0.500	1.000
4	0.16	24	0.583	1.395

Tab. V - Valori teorici delle proprietà indici dopo il completo dilavamento della frazione pelitica.

- *Theoretic values of index properties after complete scouring of the pelitic component.*

nulometriche della frazione stabile (fig. 11) sia valutando la nuova porosità con la relazione (KOVACS, 1981):

$$n^v = n + S_n * (1 - n)$$

dove S_n è la percentuale di frazione pelitica presente nel terreno. In tabella V vengono riportati i valori teorici limite delle proprietà indici attese per i terreni interessati dal fenomeno di piping; a seguito del fenomeno erosivo infatti i terreni sono caratterizzati da una maggiore uniformità granulometrica, $U = 24 - 42$, e da valori di permeabilità molto alti caratteristici dei terreni granulari grossolani. Lo stato di addensamento dei suoli, espresso dai valori di porosità, appare molto basso e probabilmente prossimo o superiore a quello relativo allo stato di addensamento più sciolto. Infatti per un terreno costituito da sfere di uguale diametro la massima porosità compatibile con lo stato sciolto è pari ad $n = 0.476$ mentre per terreni con ampia gradazione granulometrica questo valore è sicuramente più basso poiché i granuli più piccoli possono ancora trovare spazio all'interno dei pori.

7. Conclusioni

Il piping è un fenomeno erosivo che porta alla distruzione della struttura del suolo tramite l'asporto, da parte delle acque di filtrazione, delle particelle più fini, con formazione di canalicoli a maggior permeabilità e diminuzione dello stato di addensamento dello scheletro grossolano con possibilità di crollo dell'intera struttura.

I parametri che influenzano il piping sono inerenti alle caratteristiche fisiche dell'aggregato (distribuzione granulometrica, densità, porosità, permeabilità, resistenza interna) ed a quelle morfologiche (pendenza dei versanti) che nei dissesti studiati assumono un ruolo determinante; infatti tali dissesti sono stati per lo più osservati in concomitanza di un brusco cambiamento di pendenza fra due superfici subpianeggianti.

A causa dell'impossibilità di eseguire prove di laboratorio su campioni indisturbati nonché prove in situ, per le sfavorevoli condizioni topografiche, è stato attribuito un valore teorico al peso di volume dei colluvi, compatibile con le loro caratteristiche, che è stato poi utilizzato per il calcolo di n e S .

Il procedimento di analisi del fenomeno viene riassunto nei seguenti punti:

- ricerca della frazione granulometricamente instabile eseguita geometricamente sulle curve granulometriche dei colluvi con la metodologia utilizzata per la verifica di stabilità di un filtro;
- calcolo delle velocità teoriche critiche di flusso per le quali ha inizio il moto delle particelle fini instabili;
- confronto con le velocità reali di flusso all'interno del pendio;
- determinazione dei valori limite di permeabilità e porosità dello scheletro grossolano nell'ipotesi di un completo dilavamento della frazione fine.

Manoscritto pervenuto il 30.IV.1987.

Bibliografia

- ARULANANDAN K. & PERRY E.B., 1983 - Erosion in relation to filter design criteria in earth dams. *J. of Geot. Eng.*, 109 (5).
- BOWLES A.E., 1979 - Physical and geotechnical properties of soils. *McGraw-Hill*.
- CEDERGREN A.R., 1977 - Seepage, drainage and flow nets. *John Wiley & Sons*.
- KEZDI A., 1979 - Soil physics. *Elsevier*.
- KEZDI A., 1980 - Soil testing. *Elsevier*.
- KHILAR K.C., FOGLER H.S. & GRAY D.H., 1985 - Model for piping - plugging in earthen structures. *J. of Geot. Eng.*, 3 (7).
- KOPPULA S.D., 1983 - Pore water pressure due to overburden removal. *J. of Geot. Eng.*, 109 (38).
- KOVACS G., 1981 - Seepage hydraulics. *Elsevier*.
- LA FLEUR R.G., 1984 - Groundwater as a geomorphic agent. The Binghamton Symposia in Geomorphology: International Series, 13. *Allen and Unwin, Inc.*
- LAMBE T.W. & WHITMAN R.V., 1979 - Soil mechanics, SI Version. *John Wiley & Sons*.

Indirizzo degli Autori — Authors' address:

— Dr. Grazia MARTELLI

— Dr. Roberto MERIGGI

Istituto di Scienze della Terra

dell'Università degli Studi

V.le Ungheria 43, I-33100 UDINE