

Effetti dell'acqua sulla stabilità dei pendii*

F. ESU **

1. Premesse

La constatazione che l'acqua, ferma o in moto, influisce sulla stabilità dei pendii è stata fatta, sia pure dal punto di vista qualitativo, molto prima della nascita della Geotecnica come disciplina organica. Tuttavia solo dopo l'enunciazione del principio delle tensioni efficaci si è potuta dare un'interpretazione quantitativa dei meccanismi attraverso i quali l'acqua determina le condizioni di stabilità dei pendii naturali e dei fronti di scavo.

In quanto segue si cercherà di sintetizzare le idee sulle azioni dell'acqua con riferimento soprattutto agli scavi nelle argille sovraconsolidate e con discontinuità.

2. Richiami sulle relazioni per le verifiche di stabilità

Come è noto, la stabilità di un pendio viene verificata in condizioni di equilibrio limite, assumendo le ipotesi che nel terreno esista una superficie di rottura (piana o cilindrica) e che, all'istante della rottura incipiente, in ogni punto di questa superficie si raggiunga il valore della resistenza massima.

L'esame critico dei concetti ispiratori di metodi correntemente impiegati per le verifiche di stabilità è al di fuori del tema proposto e, d'altra parte, lo studio degli effetti dell'acqua può essere impostato, e conserva la sua validità, quale che sia il metodo che si utilizza per analizzare le condizioni di stabilità di un pendio.

E' noto che nelle relazioni che danno il coefficiente di sicurezza di un pendio (ad es. la relazione di BISHOP, fig. 1) compare un termine che tiene conto del valore della pressione neutra nel terreno lungo la superficie di rottura.

E' altresì noto che nel verificare la stabilità di un pendio si fa riferimento a due condizioni:

1. - il valore della pressione neutra è funzione solo della posizione del punto considerato rispetto alla superficie di pelo libero dell'acqua del sottosuolo, ferma o in moto permanente;

2. - il valore della pressione neutra è funzione delle variazioni delle pressioni totali, generate nel terreno dall'esecuzione dello scavo.

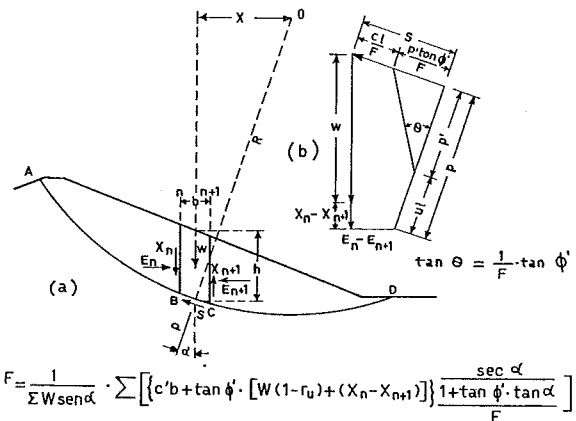


Fig. 1. - Schema dell'analisi di stabilità in condizioni di equilibrio limite secondo Bishop [BISHOP, 1954].

La prima condizione si ha nei pendii naturali o nei fronti di scavo nei quali esista, o si sia stabilito, un regime di moto permanente dell'acqua che filtra attraverso il terreno (condizione a lungo termine).

La seconda condizione si ha nel terreno a monte dei fronti di scavo, immediatamente dopo la fine della costruzione (condizione a breve termine). Il valore della pressione neutra è:

$$u = u_0 + \Delta u$$

ove u_0 è il valore iniziale della pressione neutra e Δu è l'incremento della stessa pressione, funzione della variazione delle tensioni principali totali. Nell'ipotesi che il terreno sia saturo e che sia trascurabile l'influenza della rotazione delle direzioni principali

$$\Delta u = \frac{\Delta \sigma_1 + \Delta \sigma_3}{2} + \left(A - \frac{1}{2} \right) (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)$$

in cui A è il coefficiente di pressione neutra (SKEMPTON, 1954) e $\Delta \sigma_1$ e $\Delta \sigma_3$ sono le variazioni delle tensioni totali principali massima e minima, rispettivamente.

Dato che per effetto dello scavo si ha una diminuzione delle tensioni totali e dati i valori di A

* Contributo al « panel » sul tema: « Effetti meccanici del moto dell'acqua nelle rocce sciolte e lapidee » all'XI Convegno di Geotecnica, Milano, marzo 1973.

** Prof. ing. Franco Esu, incaricato di Geotecnica nella Università de l'Aquila.

delle argille sovraconsolidate, Δu è di regola negativo (fig. 2).

Dopo un intervallo di tempo, più o meno lungo in funzione del coefficiente di permeabilità del terreno, Δu tende a zero e la pressione neutra u , tende ad un valore finale compatibile con le condizioni di drenaggio che si sono stabilite per effetto dello scavo. La fase transitoria del moto dell'acqua è accompagnata da una diminuzione del coefficiente di sicurezza.

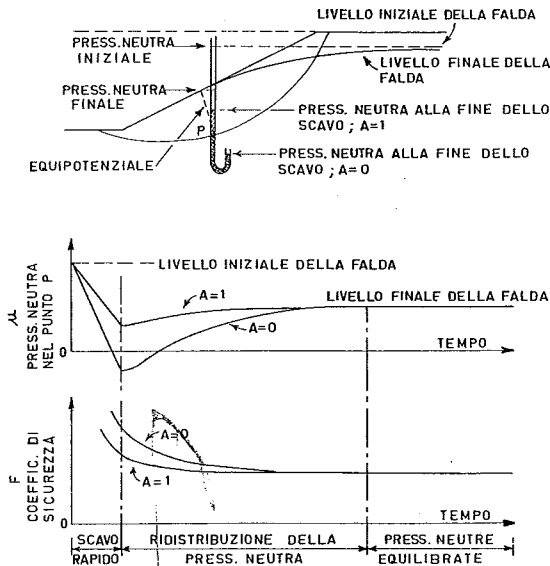


Fig. 2. - Variazioni della pressione neutra e del coefficiente di sicurezza di un pendio di scavo in funzione del tempo trascorso dalla fine dei lavori [BISHOP e BJERRUM, 1960].

3. Effetti dell'acqua sulla stabilità

Dalle relazioni d'equilibrio espresse in funzione delle tensioni efficaci risulta immediato quale sia l'effetto dell'acqua sulla stabilità dei pendii.

A parità di ogni altra condizione, una variazione della pressione neutra determina una variazione della componente della resistenza che dipende dalle tensioni efficaci normali alla superficie di scorrimento e, di conseguenza, determina una variazione del coefficiente di sicurezza.

La dipendenza del coefficiente di sicurezza dal valore delle tensioni efficaci normali alla superficie di scorrimento spiega e giustifica la stretta correlazione tra eventi meteorici e frane (fig. 3). Un aumento del livello della falda idrica, conseguente a precipitazioni intense e prolungate corrisponde infatti ad un aumento della pressione neutra sulla potenziale superficie di rottura.

Tutte le frane di pendii naturali o di fronti di scavo forniscono una conferma sperimentale dell'effetto della pressione neutra sulla stabilità. Ad

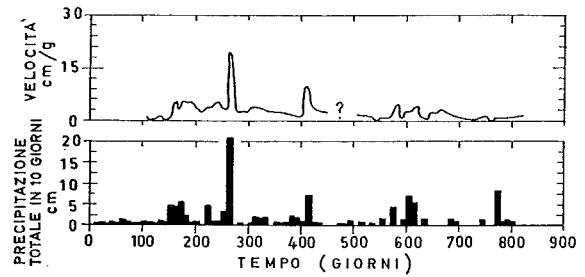


Fig. 3. - Variazione della velocità di spostamento di una frana in funzione dell'entità delle precipitazioni [PECK, 1967].

esempio, nel caso della frana di Selsset [SKEMPTON e BROWN, 1961] i valori delle pressioni neutre misurate erano molto elevati e sarebbe stata sufficiente una loro riduzione, anche molto limitata, per aumentare il coefficiente di sicurezza del pendio fino a valori compatibili con la stabilità (fig. 4).

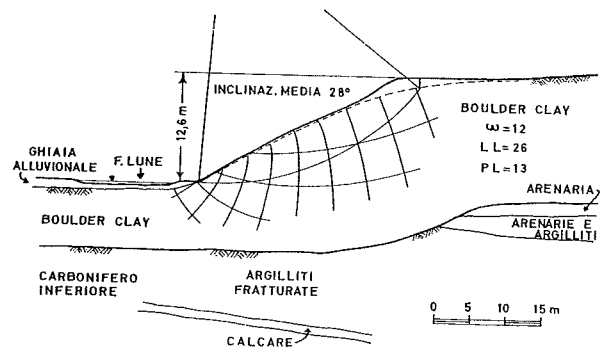


Fig. 4. - Frana di Selsset (Gran Bretagna). Distribuzione delle pressioni neutre al momento della frana.

Nel caso delle frane dei terreni sabbio-limosi a letto del banco principale di lignite del giacimento di S. Barbara (fig. 5) fu riconosciuta la presenza nel sottosuolo di acqua in pressione alimentata da bacini lontani ed ampi [ESU e D'ELIA, 1969]. La diminuzione della pressione neutra ottenuta con una serie di pozzi di drenaggio trivellati a monte delle zone di distacco, contribuì efficacemente a limitare gli effetti delle frane e infine a stabilizzare i versanti.

In condizioni di pressioni neutre elevate, la causa motrice del franamento può anche essere molto modesta. PECK [1967] descrive una frana in cui la causa motrice occasionale fu lo scavo di un canaletto largo circa 1 m e profondo circa 1 m. Nel caso descritto da CALABRESI [1967], la costruzione di un muretto alto circa 1 m al piede della scarpata di una trincea stradale causò il rialzamento del livello della falda idrica a monte del muretto stesso, provocando una frana di dimensioni non trascurabili nel pendio a monte.

Nelle argille fortemente sovraconsolidate con

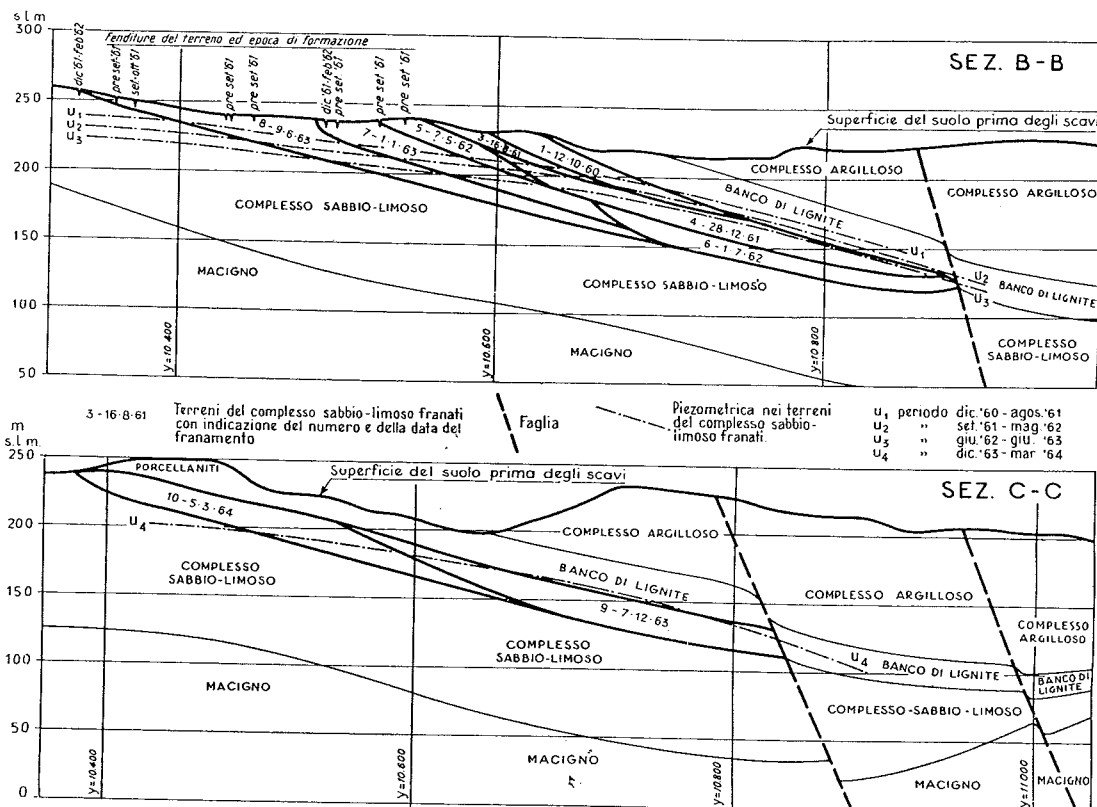


Fig. 5. - Frane nei terreni a letto del banco principale di lignite - Bacino del Valdarno - Livelli di falda nel periodo in cui sono avvenuti i franamenti [ESU e D'ELIA, 1969].

fessure o giunti, la stabilità è determinata dalla pressione dell'acqua contenuta nelle discontinuità. Sono esempi di questo comportamento le frane nelle argille lacustri del Valdarno [ESU, 1966; ESU e CALABRESI, 1969], una piccola frana nelle argille plioceniche di Ancona (fig. 6) e la frana di Bradwell [SKEMPTON e LA ROCHELLE, 1965] (fig. 7).

In tutti i casi ricordati l'acqua esercitò un'azione puramente fisica diretta e logica conseguenza del principio delle tensioni efficaci e non influì in alcun modo sulle proprietà intrinseche del terreno.



Fig. 6. - Piccola frana per slittamento di un blocco nelle argille marine plioceniche. A destra della foto è visibile il livello acquifero causa dello slittamento.

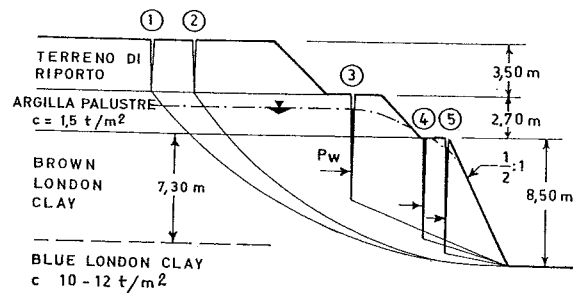


Fig. 7. - Frana di Bradwell nelle argille di Londra. P_w spinta dell'acqua nelle fratture verticali [SKEMPTON e LA ROCHELLE, 1965].

Tra gli effetti fisici vanno richiamati brevemente i processi di erosione e scalzamento, per asportazione di granuli solidi, in corrispondenza dei punti di sgorgo delle acque sotterranee. Il meccanismo di questi fenomeni nei mezzi stratificati costituiti da alternanze di terreni diversamente permeabili è stato analizzato da un punto di vista quantitativo da HENKEL [1967].

4. Effetti dell'acqua sulla stabilità nel tempo

Come si è accennato al par. 2, nelle condizioni a lungo termine il valore del coefficiente di sicurezza di uno scavo, correttamente progettato per

le condizioni a breve termine, è minore di quello che si ha alla fine della costruzione. Ciò per il solo fatto che nel tempo la pressione neutra si stabilizza su valori, funzione della configurazione della rete di flusso per il moto permanente della falda idrica, che di regola sono più elevati di quelli a fine scavo.

Questo aumento nel tempo della pressione neutra non è però sufficiente per spiegare molti franamenti che avvengono molto tempo dopo la fine dei lavori e senza cause apparenti.

Le teorie e le ipotesi sul comportamento nel tempo dei pendii naturali ed artificiali riguardano i fenomeni di *softening* e la *rottura progressiva* [BISHOP, 1967; BJERRUM, 1966; HAEFELI, 1953 e 1965; LO, 1972; PECK, 1967; SKEMPTON, 1948, 1961, 1964, 1969 e 1970; SUKLJE, 1967 e 1970; TERZAGHI, 1936 e 1950].

Il *softening* [TERZAGHI, 1936] è un processo di degradazione progressiva nel tempo delle proprietà meccaniche che avviene nelle argille sovraconsolidate di elevata resistenza e con discontinuità. Per effetto dello scarico di tensioni conseguente ad uno scavo o alla erosione, le discontinuità dell'argilla si aprono consentendo la circolazione dell'acqua in profondità. In corrispondenza delle superfici delle discontinuità (dove le tensioni efficaci sono nulle) l'argilla assorbe acque ed aumenta di volume. Si aprono così nuove fratture ed il processo continua ad interessare tutta la massa di terreno, la resistenza del quale diminuisce fino a valori bassi (che sarebbero eguali a quelli dello stesso materiale nello stato normalmente consolidato) non più compatibili con la stabilità del pendio.

La *rottura progressiva* è un processo che comporta la rottura in successione spaziale e temporale di elementi individuali di terreno in una massa di terreno.

Perché in un pendio possa aversi un franamento per rottura progressiva devono coesistere certe condizioni per quanto riguarda le proprietà intrinseche del terreno, lo stato di tensione e la situazione al contorno.

In primo luogo la legge costitutiva del terreno deve presentare un ramo instabile per scorrimenti che superino un certo valore e nello scheletro solido del terreno deve essere accumulata dell'energia di deformazione [BJERRUM, 1966; LO, 1972]. Tali proprietà sono caratteristiche delle argille sovraconsolidate e degli « argilloscisti ».

In secondo luogo perché possa verificarsi la rottura progressiva, nel terreno a monte del pendio deve aversi una disuniforme distribuzione delle tensioni e delle deformazioni. Le analisi

dello stato di tensione di un pendio, in campo elastico e in campo elasto-plastico, mostrano che le tensioni non sono uniformi. In alcune zone di concentrazione gli sforzi possono essere maggiori del valore massimo della resistenza. In queste zone inizia la rottura e le deformazioni, dovute alle variazioni dello stato di tensione ed alla liberazione dell'energia accumulata nello scheletro solido, possono essere sufficienti per portare la resistenza del terreno fino al valore residuo. Si ha una redistribuzione degli sforzi con aumento delle tensioni nelle zone inizialmente poco sollecitate. Il processo di rottura si propaga così fino al formarsi di una superficie continua lungo la quale la resistenza del terreno è ridotta al valore residuo e lungo la quale infine avviene la frana.

Il *softening* e la *rottura progressiva* sono possibili solo se nella massa o nelle zone di rottura si ha un aumento del contenuto d'acqua [fig. 8, SKEMPTON, 1964] e perciò nel terreno deve aversi un moto dell'acqua.

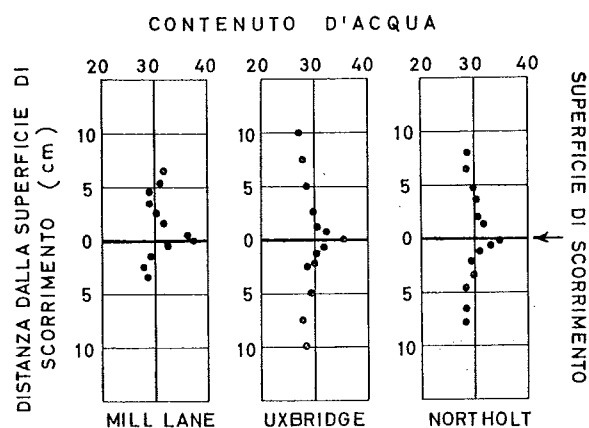


Fig. 8. - Distribuzione del contenuto d'acqua negli interni delle superfici di slittamento di frane avvenute nell'argilla di Londra [SKEMPTON, 1964].

Questi processi si svilupperebbero in tempi che possono essere dello stesso ordine di grandezza di quelli della vita economica di un'opera di ingegneria. La letteratura riporta infatti esempi di frane, attribuite a *softening* od a rottura progressiva avvenute dopo tempi compresi tra circa 10 anni e circa 80 anni dalla fine dei lavori [vedi ad es. SKEMPTON, 1948].

Anche nel caso di franamenti differiti nel tempo, il valore della pressione neutra è determinante ai fini del verificarsi della frana.

In fig. 9 [Lo, 1972] si vede come il tempo al quale avviene una frana per rottura progressiva dipenda dal valore della pressione neutra.

Tra gli effetti che l'acqua esercita sulla stabilità nel tempo devono essere ricordati quelli chi-

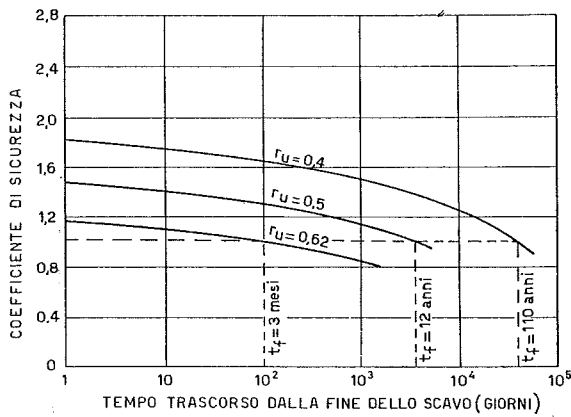


Fig. 9. - Dipendenza del tempo, trascorso tra la fine dello scavo e il verificarsi della frana, dal valore della pressione neutra in un caso di frana per rottura progressiva [Lo, 1972].

mici e chimico-fisici che si manifestano nei fenomeni di alterazione esterna dei terreni. L'alterazione chimica, che di regola porta alla formazione di minerali con volume specifico maggiore di quello dei minerali non alterati, modifica profondamente la composizione chimico-mineralogica, facilita la rottura dei legami tra i granuli costituenti e determina la liberazione dell'energia accumulata nello scheletro solido. Nella zona di alterazione l'argilla rigonfia, aumenta il suo contenuto d'acqua e si trasforma in un materiale con proprietà meccaniche molto più scadenti di quelle del terreno originale.

5. Esperienze relative ai terreni italiani

Per quanto concerne la risposta dei terreni italiani alle azioni fisiche dell'acqua niente vi è da aggiungere a quanto detto nella prima parte della discussione.

Non risulta che esistano studi sul comportamento nel tempo dei nostri terreni e in particolare sui processi di *softening*.

Limitatamente alle argille sovraconsolidate e con riferimento a tempi molto lunghi (d'ordine geologico), gli effetti del *softening*, sempre accompagnato dall'alterazione chimica, sono molto pronunziati ed evidenti. I dati sperimentali indicano infatti che i livelli superficiali delle argille sovraconsolidate plio-pleistoceniche marine hanno proprietà meccaniche molto più scadenti del terreno in profondità [ESU e MARTINETTI, 1965].

Altri dati significativi sugli effetti del *softening* in tempi molto lunghi si ricavano dai risultati di prove eseguite su campioni di marne della formazione marnoso-arenacea della valle del F. Vomano [D'ELIA, 1973]. In fig. 10 sono riportati

i risultati delle prove di compressione in funzione del contenuto d'acqua; al terreno superficiale competono valori di queste caratteristiche significativamente diversi da quelli del materiale intatto.

E' però dubbio che il *softening* e l'alterazione, l'importanza dei quali nei riguardi della stabilità dei pendii naturali è fuori discussione, abbiano un effetto determinante sul comportamento delle nostre argille in tempi dell'ordine di grandezza di quelli corrispondenti alla vita economica delle opere di ingegneria.

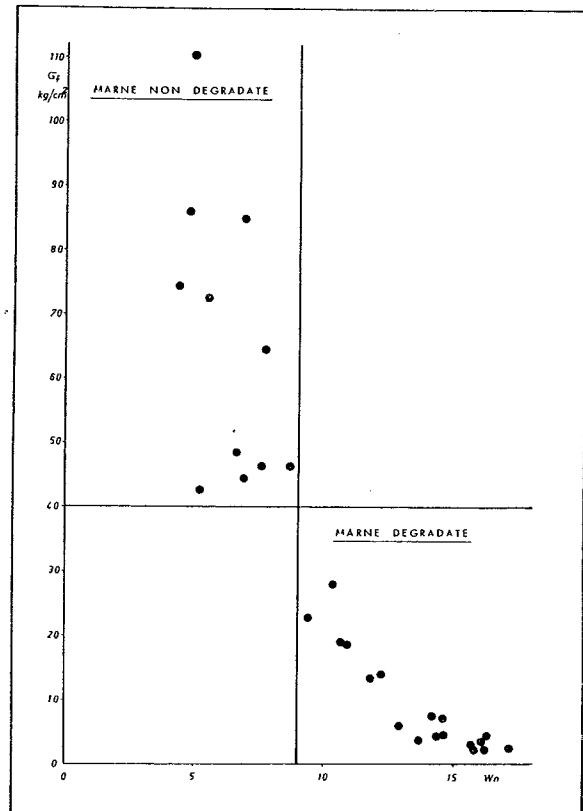


Fig. 10. - Relazioni tra contenuto d'acqua e resistenza alla compressione nei terreni degradati e nelle marne non degradate.

A Roma, sui fronti delle cave di argilla pliocenica marina abbandonati da circa 20 anni, i fenomeni di instabilità sono finora limitati al distacco di blocchi e croste, e non sembra che si abbiano processi di *softening* di massa (fig. 11).

Analoghe osservazioni sono state fatte ad Ancona in un fronte di scavo in argille litologicamente e geologicamente simili a quelle romane. In un periodo di circa 10 anni dal termine degli scavi, i processi di *softening* sono limitati al terreno superficiale, prossimo alle superfici libere (fig. 12).

Nelle argille lacustri sovraconsolidate del Valdarno, gli effetti della variazione del regime delle

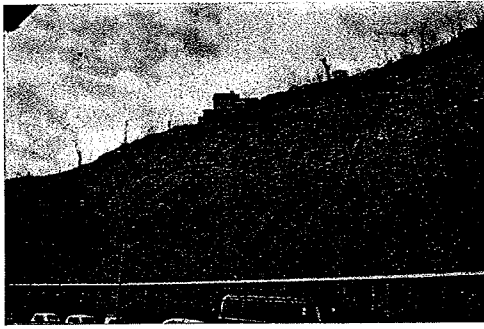


Fig. 11. - Stato di fronti di vecchie cave abbandonate nell'argilla pliocenica marina.



Fig. 12. - Processi di *softening* superficiale nelle argille plioceniche marine.

tensioni dovuta all'esecuzione degli scavi sono di regola molto appariscenti e rapidi. Nei giorni immediatamente successivi al passaggio dell'escavatore, sui fronti di scavo si osservano l'aprirsi graduale delle discontinuità ed il verificarsi di scorrimenti e spostamenti lungo queste discontinuità.

Il processo è, come s'è detto, molto rapido. Misure della velocità di propagazione delle onde elastiche, eseguite su un fronte di scavo circa un mese dopo il termine dei lavori, hanno indicato che nell'argilla adiacente al fronte e per profondità comprese tra circa 3 m e circa 10 m,

la velocità sismica era del 20-30 % minore di quella dell'argilla in zone non disturbate dai lavori (1.5 km/sec).

Le osservazioni e le misure effettuate su fronti rimasti aperti per tempi dell'ordine di almeno 5 anni consentono di dire che la circolazione dell'acqua nelle discontinuità è attiva e che lungo i labbri di tali discontinuità si hanno processi di ossidazione segnalati da una variazione di colore dell'argilla. Non si è invece constatato che il contenuto d'acqua dell'argilla prossima alle discontinuità sia apprezzabilmente maggiore di quello dell'argilla a distanza dalle discontinuità.

Nei fronti di scavo aperti da lungo tempo, i franamenti avvengono lungo discontinuità strutturali (faglie e giunti) con caratteristiche geometriche e cinematiche del tutto analoghe a quelle delle frane immediatamente successive al termine dei lavori. Si hanno cioè frane per scivolamento di blocchi o di cunei d'argilla su superfici di discontinuità preesistenti nella massa del terreno (fig. 13).

Processi di *softening* si osservano invece nel materiale franato; in tempo breve i blocchi d'argilla staccati dalla loro sede si trasformano in una massa di argilla molle. Se però il materiale si trova sotto carichi anche relativamente modesti, questo fenomeno è molto meno marcato.

Il comportamento nel tempo delle argille sovraconsolidate italiane va attribuito all'esistenza di legami molto forti tra i granuli (dovuti in parte a cementazione) ed alla plasticità non elevatissima, oltre che alle caratteristiche climatiche delle nostre regioni.

Il comportamento dei terreni argillo-scistosi (argille varicolori, argille scagliose, etc.) è molto diverso. Purtroppo non si dispone di dati quantitativi sufficienti per schematizzare dal punto di

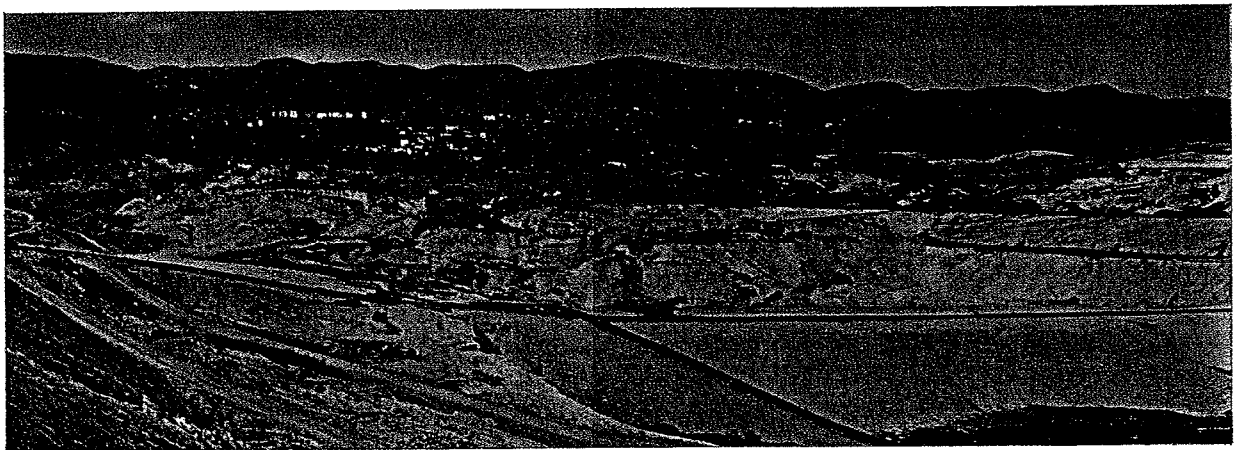


Fig. 13. - Stato dei fronti di scavo permanenti nelle argille del Valdarno della miniera di lignite di S. Barbara (Arezzo).

vista geotecnico il comportamento di questi terreni che sono spesso difficili da campionare e da esaminare in laboratorio.

In base a considerazioni geomorfologiche, relative all'inclinazione dei versanti naturali, può dirsi che la resistenza in massa è pari al valore residuo, caratterizzato da coesione molto bassa o nulla e angoli d'attrito bassi.

Il comportamento di questi terreni su fronti di scavo ed in gallerie induce a ritenere che il *softening* possa avvenire anche molto rapidamente, ciò per il fatto che l'energia di deformazione accumulata nello scheletro solido è molto elevata e per il fatto che i legami diagenetici sono già stati in buona parte distrutti dalla alterazione e dalle deformazioni subite nel corso della loro storia geologica.

6. Conclusioni

In definitiva gli effetti dell'acqua sulle condizioni di stabilità dei pendii possono essere divisi in:

effetti fisici — diretta e logica conseguenza del principio delle tensioni efficaci e che non comportano variazioni apprezzabili delle proprietà del terreno;

effetti chimici e chimico-fisici — in questa categoria rientrano tutti quei processi (alterazione, *softening*, rottura progressiva) che comportano una modifica più o meno marcata delle proprietà o della costituzione del terreno.

Gli effetti fisici, determinati da variazioni delle pressioni neutre possono considerarsi chiariti dal punto di vista teorico e confermati dal punto di vista sperimentale.

Non altrettanto può dirsi a proposito delle azioni chimiche e chimico-fisiche, i cui effetti si risentono in tempi lunghi o molto lunghi.

BIBLIOGRAFIA

- BISHOP A. W. (1954) — *The Use of Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes*. Géotechnique, 5, 7-17.
- BISHOP A. W. (1967) — *Progressive Failure, with Special Reference to the Mechanism Causing It*. Proc. Geotech. Conf. Oslo, 2, 142-150.
- BISHOP A. W., BJERRUM L. (1960) — *The Relevance of the Triaxial Test to the Solution of Stability Problems*. Proc. Research Conf. Shear Strength of Cohesive Soils, Boulder (Colorado), 437-501.
- BJERRUM L. (1966) — *Progressive Failure in Slopes in Over-consolidated Plastic Clay and Clay Shale*. Journ. Soil Mech. and Found. Div. A.S.C.E., 93, SM 5, 3-49.
- CALABRESI G. (1967) — *Una caratteristica frana di scivolamento in Irpinia*. Le Strade.
- D'ELIA B. (1973) — *Comunicazione personale*.
- ESU F. (1966) — *Short-term Stability of Slopes in Unweathered Jointed Clays*. Géotechnique, 16, 321-328.
- ESU F., CALABRESI G. (1969) — *Slope Stability in an Over-consolidated Clay*. Proc. 7th. Conf. Soil Mech., Mexico, 3, 555-563.
- ESU F., D'ELIA B. (1969) — *Frammenti di alti fronti di scavo. Confronto tra previsioni e comportamento reale*. Riv. Ital. di Geotec., 3, 143-158.
- ESU F., MARTINETTI S. (1965) — *Considerazioni sulle caratteristiche delle argille plio-pleistoceniche della fascia costiera adriatica tra Rimini e Fano*. Geotecnica, 12, 164-185.
- HAEFELI R. (1953) — *Creep Problems in Soils, Snow and Ice*. Proc. 3rd. Int. Conf. Soil Mech., Zurich, 3, 238-251.
- HAEFELI R. (1965) — *Creep and Progressive Failure in Snow, Soil, Rock and Ice*. Proc. 6th Int. Conf. Soil Mech., Montreal, 3, 134-148.
- HENKEL D. J. (1967) — *Local Geology and the Stability of Natural Slopes*. Journ. Soil Mech. and Found. Div. A.S.C.E., 93, SM 4, 437-446.
- LO K. Y. (1972) — *An approach to the problem of progressive failure*. Can. Geotech. Journ., 9, 407-428.
- PECK R. B. (1967) — *Stability of Natural Slopes*. Journ. Soil Mech. and Found. Div. A.S.C.E., 93, SM 4, 403-417.
- SKEMPTON A. W. (1948) — *The Rate of Softening in Stiff Fissured Clays, with Special Reference to London Clay*. Proc. 2nd Int. Conf. Soil Mech., Rotterdam, 2, 50-53.
- SKEMPTON A. W. (1954) — *The Pore Pressure Coefficients A and B*. Géotechnique 4, 143-147.
- SKEMPTON A. W. (1961) — *Discussion on Earth Dams, Slopes and Open Excavations*. Proc. 5th Int. Conf. Soil Mech., Paris, 3, 349-350.
- SKEMPTON A. W. (1964) — *Long-term Stability of Clay Slopes*. Géotechnique, 14, 77-101.
- SKEMPTON A. W. (1970) — *First-time Slides in Over-consolidated Clays*. Géotechnique, 20, 320-324.
- SKEMPTON A. W., BROWN J. D. (1961) — *A Landslide in Boulder Clay at Selsset, Yorkshire*. Géotechnique, 11, 280-293.
- SKEMPTON A. W., HUTCHINSON J. N. (1969) — *Stability of Natural Slopes*. Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech., Mexico, 4, 291-340.
- SKEMPTON A. W., LA ROCHELLE P. (1965) — *The Bradwell Slip, a Short Term Failure in London Clay*. Géotechnique, 15, 221-242.
- SUKLJE L. (1967) — *Progressive Failure, with Special Reference to Rate Effects*. Proc. Geotech. Conf. Oslo, 2, 150-153.
- SUKLJE L. (1970) — *Creep e rottura progressiva nei pendii naturali*. Riv. It. di Geotec., 4, 179-199.
- TERZAGHI K. (1936) — *Stability of Slopes of Natural Clay*. Proc. 1st Int. Conf. Soil Mech., Harvard, 1, 161-165.
- TERZAGHI K. (1950) — *Mechanism of landslides*. In « Application of Geology to Engineering Practice » (Berkey Volume), 82-123, New York, Geol. Soc. of America.

SUMMARY

The effects of water on slope stability

The paper represents a contribution to the panel discussion on the theme: « Mechanical effects of water movements in soils and rocks » at the XI Italian Geo-

technical Conference, Milano, march 1973.

Slope stability in some Italian overconsolidated clays is considered with particular reference to the softening processes and to the relationships stability vs. time.