

# Assetto strutturale e resistenza di campioni di argilla a scaglie

C. AIRÒ FARULLA, N. NOCILLA \*

**SOMMARIO:** Si espongono i risultati di una ricerca effettuata in laboratorio con apparecchio di taglio diretto su campioni di argilla scagliettata prelevati in una località della Sicilia Orientale e rappresentativi di una formazione intensamente tettonizzata del Miocene Inferiore e Medio.

La presenza di numerose superfici di discontinuità variamente orientate suddividono il materiale in minute scaglie. Il rilievo dell'orientazione delle discontinuità, eseguito con la tecnica usualmente impiegata negli ammassi rocciosi giuntati, è risultato fattibile e significativo per la caratterizzazione della mesostruttura.

Per l'analisi dei risultati sperimentali, i provini sono stati suddivisi in tre gruppi, secondo l'orientazione delle discontinuità delle famiglie principali rispetto alla direzione degli spostamenti imposti durante la prova.

I parametri caratteristici della resistenza a taglio determinati per ciascuno dei tre gruppi si differenziano sensibilmente, riflettendo le particolari condizioni di orientazione delle discontinuità delle famiglie principali.

Nell'ambito di ciascun gruppo i punti rappresentativi della resistenza si interpretano con un inviluppo curvilineo. Questo comportamento consente di ipotizzare un meccanismo di rottura nel quale allo scorrimento fra facce contigue si sovrappongono i fenomeni della dilatanza e del tranciamento delle asperità, rappresentate, nel caso in esame, dagli spigoli e dai vertici delle scaglie.

Dai risultati consegue che l'analisi dei caratteri strutturali dei provini costituisce un valido criterio, che si ritiene opportuno introdurre ed applicare sistematicamente, per l'identificazione del materiale e per l'interpretazione dei risultati delle misure di resistenza a taglio delle argille a scaglie.

## 1. Introduzione

Lo studio delle proprietà fisiche e meccaniche delle argille consistenti intensamente fessurate e scagliettate costituisce un tema sul quale sono impegnati da diversi anni alcuni dei gruppi di ricerca operanti in Italia nel campo della Geotecnica.

Il Congresso Internazionale organizzato dalla A.G.I. nel 1977 a Capri sulla geotecnica delle formazioni a struttura complessa, la partecipazione italiana con una nota collettiva al 4° Congresso della ISRM (Montreux, 1979) e l'attività svolta nell'ambito del Progetto Finalizzato « Conservazione del Suolo - Sottoprogetto Fenomeni Franosi » del C.N.R., concluso nel 1982, hanno rappresentato significative occasioni di confronto e di analisi delle conoscenze acquisite sull'argomento, e di approfondimento degli impegni di ricerca.

Il problema della interpretazione dei risultati delle prove di taglio eseguite sulle argille scagliettate è, tuttavia, lungi dall'essere completamente risolto. Le maggiori difficoltà derivano dal fatto che l'elemento di volume, impiegato per le prove di laboratorio, è costituito da un insieme di elementi, le scaglie, consistenti o molto consistenti, di dimensioni e forma variabili, connessi in maniera complicata.

La rottura di questi materiali può prodursi

per effetto dello scorrimento relativo o del tranciamento delle scaglie, o di entrambi questi fenomeni in funzione dell'assetto strutturale (mesostruttura) del materiale, delle tensioni applicate e degli spostamenti imposti.

I tre fattori sono strettamente interagenti e non è sempre agevole trarre indicazioni univoche dai risultati sperimentali [PELLEGRINO e PICARELLI, 1982].

La complessità del meccanismo di rottura si riflette sui risultati delle misure della resistenza a taglio, che sono generalmente dispersi entro ampi intervalli.

A tale proposito, con riferimento alla sperimentazione di laboratorio, è ormai acquisito che le misure eseguite con l'apparecchio triassiale forniscono resistenze inferiori a quelle determinate con le prove di taglio diretto, e presentano gli scarti maggiori, ovvero i valori più bassi del coefficiente di correlazione,  $r^2$ , della retta interpolatrice dei punti sperimentali.

Più precisamente, ai risultati delle prove di taglio diretto competono valori piuttosto elevati (generalmente superiori a 0,9) del coefficiente  $r^2$ , anche se rimangono fortemente differenziati i valori dei parametri di resistenza misurati dai diversi sperimentatori [PELLEGRINO e PICARELLI, 1982]:

$$c' = 1 \div 3 \text{ t/m}^2; \varphi' = 22^\circ \div 29^\circ.$$

\* Dott. Ing. Camillo AIRÒ FARULLA, Dott. Ing. Nicola NOCILLA, Ricercatori presso l'Istituto di Ingegneria Geotecnica e Mineraria dell'Università di Palermo.

I valori più bassi sono di norma relativi a provini, per i quali la superficie di taglio impo-

sta è parallela alla orientazione prevalente delle scaglie o a discontinuità di elevata persistenza (principal shears) [FENELLI *et al.*, 1982].

In definitiva, le misure della resistenza dipendono in maniera marcata dalla tecnica sperimentale e dall'assetto strutturale dell'argilla. Allo stato attuale una spiegazione dei risultati è stata data essenzialmente sotto l'aspetto qualitativo, considerando possibili modalità di interazione dei due fattori.

È stato anche posto in evidenza che una più approfondita comprensione del fenomeno, oltre che dall'impiego di tecniche sperimentali più sofisticate, può derivare dal ricorso a metodi di identificazione, che consentano di caratterizzare l'assetto strutturale dei provini sulla base di parametri in qualche modo misurabili e dunque « oggettivi ».

A questo proposito, infatti, è noto che, sempre in ordine alla « complessità » del problema, la struttura delle argille scagliettate è descritta generalmente in maniera qualitativa con riferimento ad alcuni elementi di facile riconoscimento, tra i quali: forma, dimensioni e assetto delle scaglie; eventuale presenza di superfici di discontinuità di persistenza elevata; eventuali inclusioni di materiale avente composizione differente dalla matrice argillosa.

Esempi di misura delle caratteristiche della megastruttura di argille consistenti giuntate o fessurate sono noti da diversi anni [FOOKES, 1965; SKEMPTON *et al.*, 1969; ESU *et al.*, 1971; D'ELIA, 1973]. Le grandezze misurate sono: orientazione, persistenza, spaziatura delle discontinuità; altro elemento di utile acquisizione è lo stato delle superfici delle discontinuità.

Più recentemente, queste misure sono state eseguite per la caratterizzazione dell'assetto strutturale di argille e argilliti più o meno intensamente fessurate della Sicilia [NOCILLA e UMILTÀ, 1978; NOCILLA ed ERCOLI, 1979].

## 2. Oggetto della ricerca

Il presente lavoro rientra nel programma di ricerca sulla geotecnica delle formazioni a struttura complessa in corso di svolgimento presso l'Istituto di Ingegneria Geotecnica e Mineraria di Palermo, ed ha per oggetto lo studio delle caratteristiche della mesostruttura di alcuni campioni di argilla scagliettata, e dell'influenza che queste esercitano sui valori della resistenza di picco.

I campioni utilizzati per lo sviluppo del pro-

gramma sperimentale sono costituiti di argilla intensamente fessurata suddivisa in scagliette di forma variabile e di dimensioni comprese, prevalentemente, tra 1 e 15 mm circa.

Per la caratterizzazione dell'assetto strutturale è stata utilizzata una tecnica simile a quella impiegata per il rilievo delle discontinuità nelle rocce giuntate. Si è constatato che, anche nel caso di configurazioni apparentemente caotiche, è possibile raggruppare le discontinuità in famiglie isoorientate, e che i caratteri della mesostruttura sono determinati dalla orientazione relativa fra le discontinuità delle varie famiglie e dalla loro frequenza di apparizione.

Per valutare il comportamento a rottura del materiale sono state eseguite alcune prove di taglio diretto.

I risultati delle misure della resistenza di picco sono stati, quindi, interpretati in funzione dell'orientazione delle discontinuità delle famiglie principali rispetto alla direzione dello spostamento imposto nella scatola di taglio.

## 3. Tecnica sperimentale

Il rilievo per la caratterizzazione dell'assetto strutturale dell'argilla è stato eseguito su provini cilindrici di diametro 6.8 cm e altezza di circa 20 cm, misurando sistematicamente l'orientazione e la spaziatura delle superfici di discontinuità. A tale scopo si è proceduto rimuovendo progressivamente le scaglie o i gruppi di scaglie, dopo la misura degli angoli che definiscono l'orientazione delle superfici.

Poiché le superfici delle singole scaglie hanno nella maggioranza dei casi persistenza molto piccola, dell'ordine di alcuni mm, è stato necessario eseguire la misura dell'orientazione, riportando la giacitura della superficie all'esterno del provino a mezzo di un regolo rigido, avente una estremità sagomata in modo da facilitarne l'appoggio sulla superficie medesima.

La spaziatura è stata misurata con un calibro, dopo l'asportazione delle scaglie.

Le misure sono state quindi elaborate in diagrammi e istogrammi di frequenza, che si illustrano nel seguito.

Ovviamente, l'orientazione è relativa ad un riferimento convenzionale e vale ad illustrare la reciproca posizione delle scaglie.

Per la misura della resistenza a rottura sono state eseguite prove di taglio diretto su provini di sezione circolare (diametro di cm 6) e quadrata (lato di cm 6) aventi spessore di cm 2.

La velocità di deformazione applicata è stata costantemente di 0,0024 mm/min; la pressione effettiva media normale applicata sul piano del taglio è stata mantenuta nell'intervallo 3 ÷ 60 t/m<sup>2</sup>.

Tenuto conto degli scopi delle prove, particolare attenzione è stata posta nella scelta dei provini. A tal fine dopo aver rilevato le caratteristiche della mesostruttura su una porzione di campione, i provini sono stati preparati prefissando, per quanto possibile, l'orientazione delle famiglie principali rispetto alla direzione dello spostamento imposto nella scatola di taglio.

Più precisamente, si è cercato di confezionare provini in cui le discontinuità di una famiglia principale risultassero parallele o sub-parallele al piano del taglio, e provini in cui le discontinuità fossero prevalentemente normali o, comunque, molto inclinate rispetto a questo.

Poiché le caratteristiche della mesostruttura di questi materiali possono variare sensibilmente anche nello spazio di alcuni centimetri, si è ritenuto opportuno eseguire il rilievo delle caratteristiche strutturali dei provini al termine di ciascuna prova.

Per la elaborazione delle misure, la direzione del Nord è stata fatta coincidere convenzionalmente con quella dello spostamento impresso con la scatola di taglio.

I risultati delle prove di resistenza sono stati, quindi, analizzati in relazione alle caratteristiche della mesostruttura dei singoli provini, illustrate nei relativi diagrammi polari.

#### 4. Analisi dei risultati

##### 4.1. Proprietà fisiche

I campioni impiegati per le esperienze sono stati prelevati nella valle del F. Pietrarossa (località Case di Pietrarossa, Ramacca, provincia di Catania) nella Sicilia Orientale ed appartengono ad una formazione di argille intensamente tettonizzate risalenti al Miocene Inferiore e Medio.

Sotto l'aspetto granulometrico il materiale ha composizione variabile da argilla con limo a limo con argilla debolmente sabbioso (Fig. 1). La frazione argilla ( $d < 0,002$  mm) varia dal 40% a poco meno di 80%; la frazione sabbia ( $0,06 < d < 2$  mm) non supera il 10%.

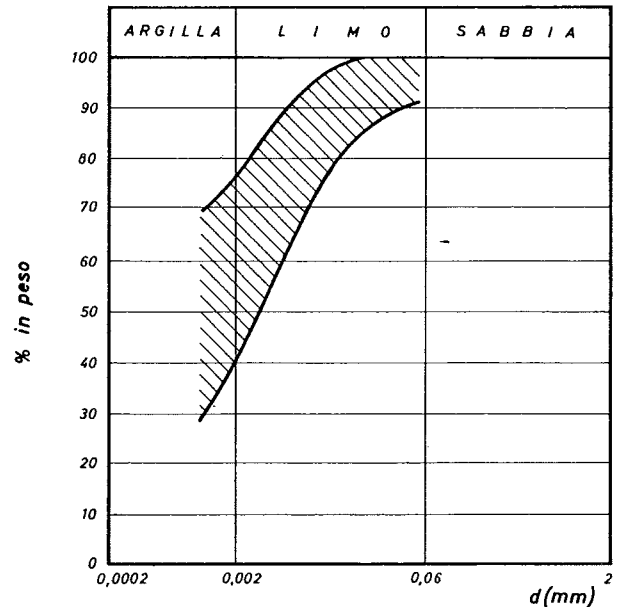
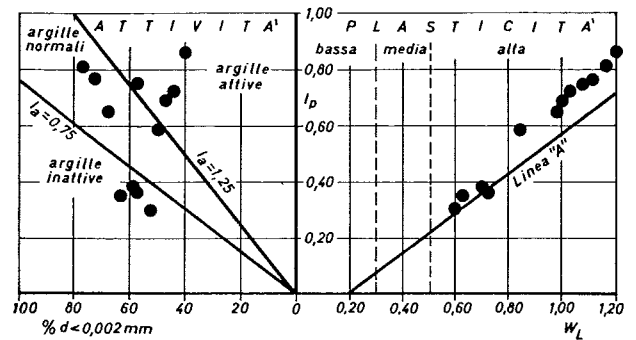


Fig. 1. - Composizione granulometrica, attività e plasticità dei campioni.

Per quanto riguarda la plasticità, il campo di appartenenza (Fig. 1) è quello delle argille inorganiche di alta plasticità; dal relativo diagramma si ricava che i punti rappresentativi dei diversi campioni, con un'unica eccezione, ricadono in due zone caratterizzate, rispettivamente, da  $W_L = 0,60 \div 0,80$  e  $W_L = 1,00 \div 1,20$ . L'attività risulta bassa (argille inattive) per i campioni del primo gruppo, media o alta (argille normali o attive) per quelli del secondo (Fig. 1).

Il contenuto naturale d'acqua e la porosità assumono valori compresi negli intervalli  $0,18 \div 0,26$  e  $0,32 \div 0,42$ , con medie, nell'ordine di 0,22 e 0,38.

Il peso dell'unità di volume varia da 1,99 a 2,12 t/m<sup>3</sup>, con valore medio di 2,02 t/m<sup>3</sup>.

##### 4.2. Caratteristiche della mesostruttura

Con riferimento alle dimensioni delle scaglie, l'argilla costituente i campioni esaminati è stata

distinta in due tipi: il primo, indicato nel seguito con la sigla AS1, è caratterizzato da scagliette minute; il secondo, indicato con AS2, da scaglie più grandi con dimensioni massime dell'ordine del centimetro [JAPPELLI *et al.* 1977; BILOTTA e UMILTÀ, 1981].

Più precisamente, l'argilla del tipo AS1 è costituita da scagliette aventi forma di lamelle o di romboedri con spessore inferiore a 1 mm, dimensione massima di qualche mm e superfici per lo più lucide.

L'argilla è interessata, talvolta, da superfici di rottura piane, lucide, di persistenza elevata (superiore al dm), inclinate di circa  $30^\circ \div 45^\circ$  rispetto all'asse del campione.

Il tipo AS2, che è caratterizzato da scaglie di volume maggiore, si presenta secondo due configurazioni distinte.

Nella prima (AS2a) le scaglie hanno forma di romboedri ovvero forme più irregolari, talvolta tozze, talaltra allungate ed appiattite, con dimensioni variabili da  $3 \div 4$  mm a poco più di un centimetro. Le superfici, generalmente opache, appaiono spesso striate e lucide nelle scaglie di forma appiattita ed allungata.

Nella seconda configurazione (AS2b) le scaglie hanno forma prismatica piuttosto regolare, e sono prevalentemente cubetti o parallelepipedi con superfici opache o, meno frequentemente, lucide.

In entrambi i tipi, sulle superfici delle scaglie, ed in particolare sulle discontinuità di maggiore persistenza, si osservano spesso tracce di ossidazione.

Le misure eseguite per il rilievo dei caratteri strutturali indicano che la mesostruttura dell'argilla del tipo AS1 è definita da tre famiglie di discontinuità principali e da una secondaria (Fig. 2, a).

Le superfici appartenenti alle famiglie n. 1 e n. 2, formanti tra loro un angolo di  $32^\circ$ , sono quelle che determinano lo spessore delle scagliette; ad esse compete spaziatura molto ridotta compresa tra 1 e 2 mm.

Dalle discontinuità della terza famiglia, caratterizzate da spaziatura in media di 4 mm, deriva la lunghezza delle scaglie.

Un assetto sostanzialmente analogo è stato osservato nei provini del tipo AS2a. Anche in questo caso, infatti, si rileva la presenza di tre famiglie di discontinuità principali, di cui le prime due (Fig. 2, b), formanti tra loro un angolo di  $36^\circ$ , determinano la configurazione a romboedri delle scaglie. Rispetto al caso pre-

cedente, la spaziatura è però sensibilmente più elevata risultando dell'ordine di 5 mm. Alle discontinuità della terza famiglia compete spaziatura di 14 mm circa.

In definitiva, con riferimento alla struttura orientata, i due tipi precedentemente descritti possono essere ricondotti ad uno solo; il diverso aspetto dei materiali è infatti dovuto alla differente spaziatura.

Nei campioni indicati come AS2b, invece, la struttura orientata è definita da tre famiglie di discontinuità principali, quasi ortogonali tra loro con angoli compresi tra  $76^\circ$  e  $93^\circ$  (Fig. 2, c). Alle discontinuità di ciascuna famiglia competono valori medi della spaziatura quasi uguali: 6,1; 7,6; 6,6 mm, rispettivamente. Da ciò deriva la regolarità della distribuzione spaziale delle scaglie, e l'aspetto ordinato e « orientato » dell'insieme.

#### 4.3. Resistenza a taglio

I provini impiegati per la misura della resistenza sono costituiti prevalentemente da scagliette molto piccole (argilla AS1).

In questa fase della sperimentazione si è cercato di orientare il materiale in modo da ottenere provini con una famiglia di discontinuità principali parallele o normali al piano di taglio.

Al termine delle prove, con il rilievo della mesostruttura, sono state riconosciute anche altre configurazioni; di conseguenza i provini sono stati suddivisi in tre gruppi, indicati con le lettere A, B e C, in funzione della orientazione delle discontinuità delle famiglie principali rispetto alla direzione dello spostamento.

Le tipiche configurazioni descritte sono state riconosciute per i provini dei gruppi A e C, mentre per quelli del gruppo B sono stati rilevati assetti diversi, intermedi fra i precedenti.

In particolare, i provini del gruppo A sono caratterizzati da una mesostruttura che produce condizioni « favorevoli » allo scorrimento o perché esiste una famiglia principale di discontinuità suborizzontali, e cioè sensibilmente parallele al piano del taglio, ovvero perché discontinuità di due famiglie principali individuano diedri con apertura angolare molto elevata,  $140^\circ \div 150^\circ$ , e con spigoli orientati nella stessa direzione del taglio. La prima condizione si verifica nei provini 29/4, 5/1 e 10/2, per i quali le discontinuità sub-orizzontali hanno inclinazione di  $2^\circ \div 8^\circ$ ; la seconda per i provini 10/4 e 26/2 (Fig. 3).

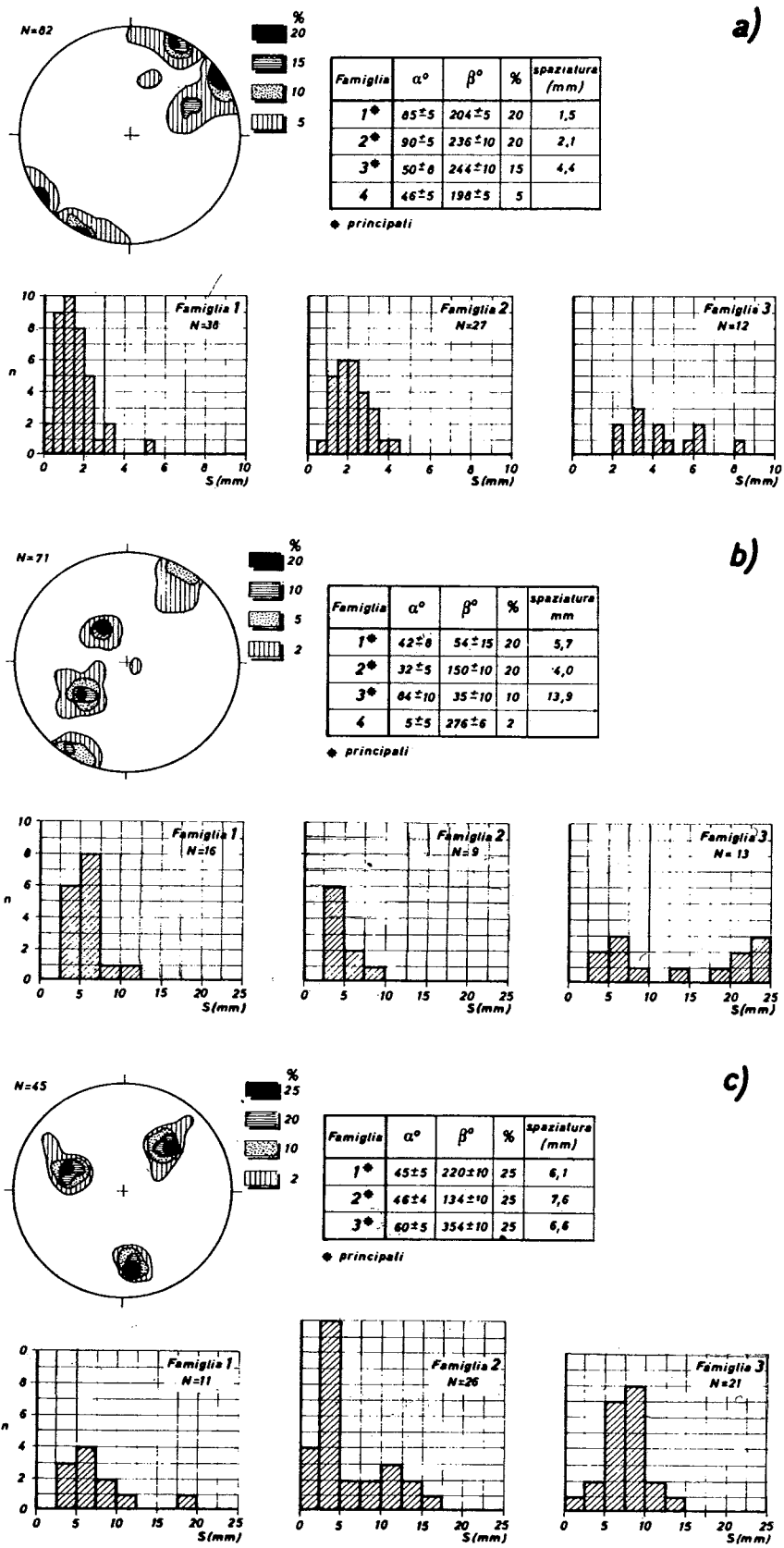


Fig. 2. - Caratteristiche della mesostruttura: a) tipo AS1; b) tipo AS2a; c) tipo AS2b.

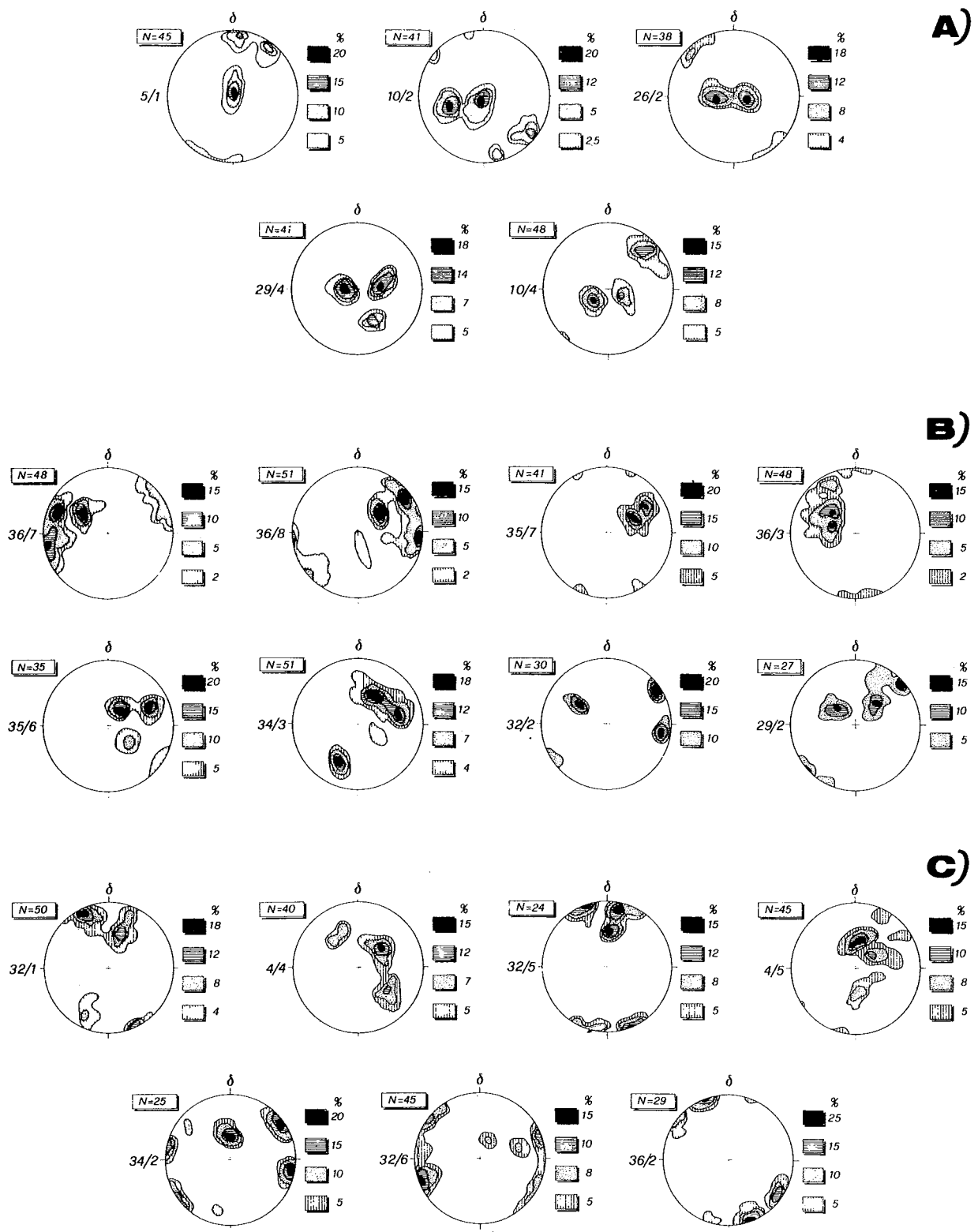


Fig. 3. - Caratteristiche della mesostruttura dei provini utilizzati per le prove di taglio.

Per i provini del gruppo C le discontinuità delle famiglie principali sono, nella maggioranza dei casi, caratterizzate da inclinazione, sul piano orizzontale, molto elevata,  $70^\circ \div 90^\circ$ , o, nel caso in cui questa è minore,  $30^\circ \div 40^\circ$ , esse hanno orientazione antagonista a quella dello spostamento. Questa condizione è rilevabile nei provini 32/1, 32/5, 32/6, 34/2 e 36/2. Nei provini 4/4 e 4/5, la struttura è determinata da discontinuità inclinate di  $30^\circ \div 45^\circ$ , che intersecandosi individuano diedri con apertura angolare intorno a  $60^\circ$  e spigolo normale alla direzione del taglio (Fig. 3).

I provini dei gruppi A e C rappresentano due configurazioni limiti, e cioè quella favorevole e quella antagonista al sistema di spostamenti imposti, i provini del gruppo B si caratterizzano per la presenza di condizioni intermedie. Queste sono piuttosto variabili e riconducibili, in prima approssimazione, ai seguenti schemi.

In un primo caso (provini 34/3, 35/6, 35/7, 36/3, 36/7 e 36/8) discontinuità appartenenti a due famiglie principali, caratterizzate da valori dell'inclinazione rispettivamente di  $30^\circ$  e  $60^\circ$  circa e valori quasi coincidenti di azimut, individuano, intersecandosi, diedri con aperture angolari modeste,  $20^\circ \div 30^\circ$ , e spigoli sub-paralleli alla direzione del taglio, con la quale formano angoli di  $10^\circ \div 20^\circ$ . Le discontinuità della terza famiglia hanno inclinazione più elevata ( $60^\circ \div 90^\circ$ ) e orientazione variabile da provino a provino (Fig. 3).

Nel caso del provino 29/2 si nota la presenza di due famiglie principali inclinate di  $30^\circ$  e  $38^\circ$ , aventi azimut formanti col verso del taglio angoli di  $+45^\circ$  e  $-45^\circ$ , rispettivamente. Tali discontinuità determinano diedri con spigoli nella stessa direzione del taglio, ed inclinati di  $20^\circ$  rispetto a questa.

Resta infine da considerare il provino 32/2, che ha una configurazione analoga a quella precedente e nel quale, tuttavia, le discontinuità considerate sono più inclinate ( $45^\circ$  e  $75^\circ$ ) e gli spigoli dei diedri sono obliqui rispetto al verso del taglio col quale formano un angolo di circa  $20^\circ$ .

La diversa orientazione delle discontinuità principali rispetto alla direzione dello spostamento imposto, modifica sensibilmente il comportamento a rottura del materiale, come può rilevarsi dall'analisi dei risultati delle prove di taglio.

Nella Fig. 4 sono riportati, per ciascuno dei tre gruppi, i diagrammi dello sforzo tangenziale  $\tau$  normalizzato rispetto alla tensione effet-

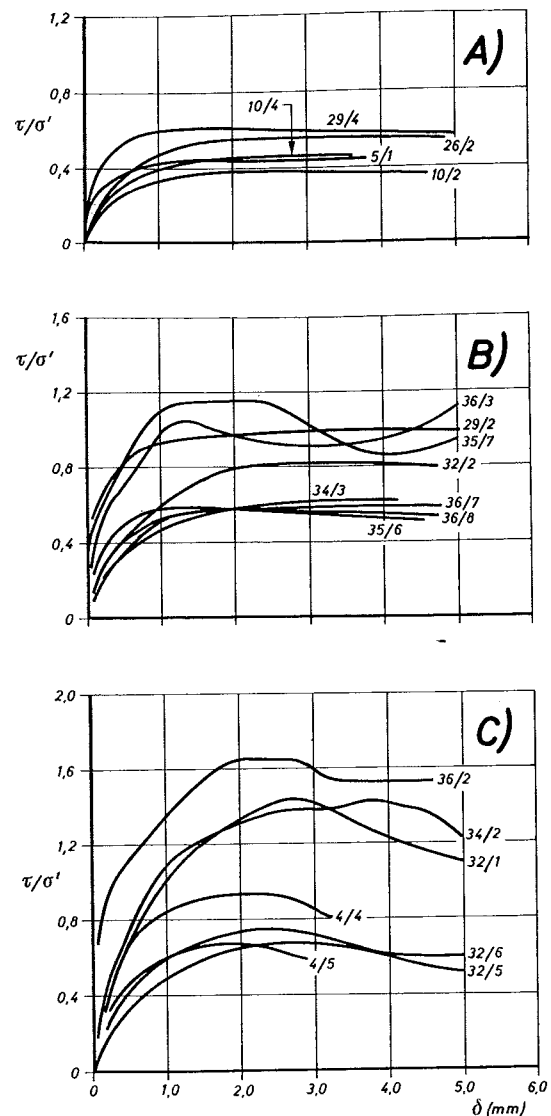


Fig. 4. - Diagrammi  $(\tau/\sigma', \delta)$ .

tiva verticale media  $\sigma'$ , in funzione dello spostamento orizzontale  $\delta$ .

I provini del gruppo A hanno un comportamento duttile e per essi il valore di rottura dello sforzo tangenziale normalizzato  $(\tau/\sigma')_f$ , è compreso tra 0,4 e 0,6.

Per i provini del gruppo C la resistenza assume un valore di picco e il rapporto  $(\tau/\sigma')_f$  risulta sensibilmente superiore a 1 quando la pressione normale media effettiva applicata è inferiore a  $10 \text{ t/m}^2$ .

I provini del gruppo B, infine, manifestano generalmente un comportamento di tipo duttile, fortemente influenzato come nel caso precedente, della intensità della pressione normale. Infatti, mentre per  $\sigma' \geq 30 \text{ t/m}^2$  le curve  $(\tau/\sigma', \delta)$  sono quasi coincidenti, alle basse pressioni,  $\sigma' \leq 10 \text{ t/m}^2$ , esse si distribuiscono in una zona piuttosto ampia  $[(\tau/\sigma')_f = 0,8 \div 1,2]$ .

Le curve  $(\frac{\Delta H}{H_0} \cdot 100, \delta)$  (Fig. 5) illustrano l'an-

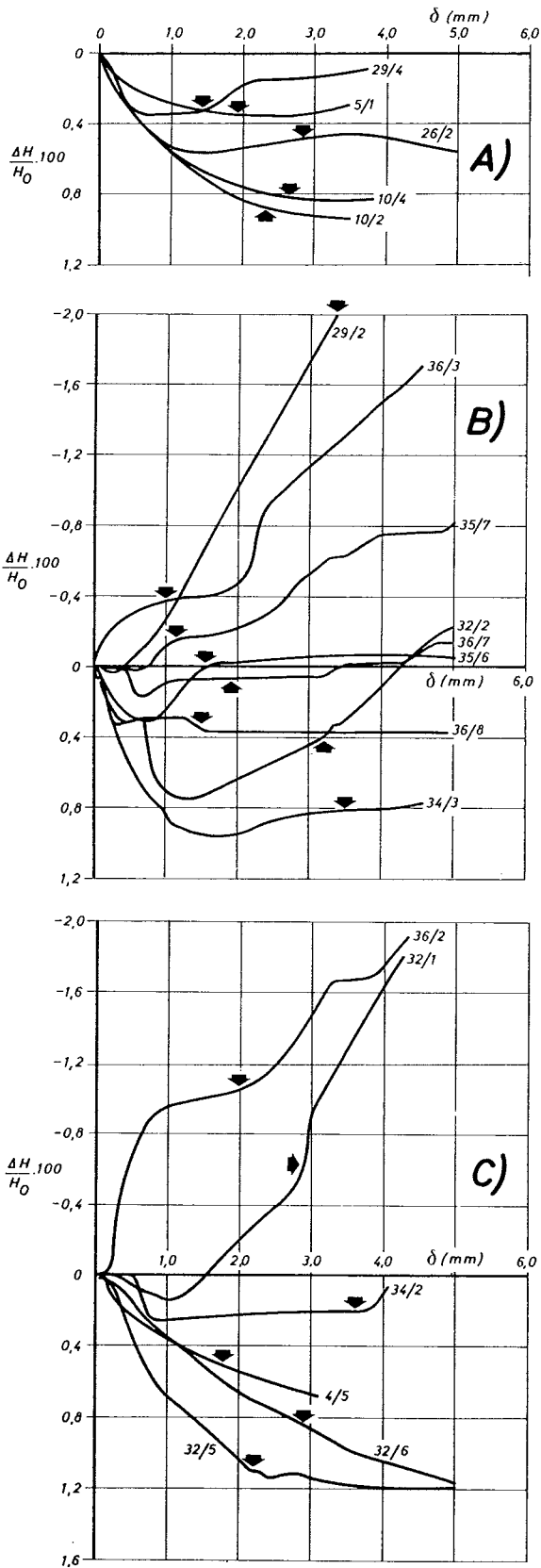


Fig. 5. - Diagrammi  $(\frac{\Delta H}{H_0} \cdot 100, \delta)$ .

damento delle deformazioni verticali in funzione dello spostamento orizzontale;  $\Delta H$  è la variazione di altezza del provino,  $H_0$  l'altezza iniziale.

Con riferimento a queste curve si osserva che il comportamento del materiale costituente i provini del gruppo A è di tipo contraente; tuttavia, i provini assoggettati alle pressioni più basse manifestano una certa tendenza a rigonfiare dopo aver raggiunto la condizione di massima resistenza.

I provini del gruppo B hanno comportamento simile a quello dei provini del terzo gruppo: per entrambi, infatti, l'argilla si dilata alle basse pressioni normali ( $\sigma' < 10$  t/m) e si contrae, più o meno marcatamente, per pressioni più elevate. Inoltre, l'andamento delle curve è spesso irregolare con brusche variazioni dell'inclinazione; in qualche caso è possibile trovare una spiegazione di questo fatto sulla base del particolare assetto strutturale del materiale.

I valori degli spostamenti orizzontali a rottura  $\delta_f$ , sono compresi negli intervalli  $1,92 \div 2,80$  mm,  $1,08 \div 3,52$  mm e  $1,68 \div 3,63$  mm nell'ordine per i gruppi A, B, C; essi inoltre non sembrano dipendere dalla pressione normale.

Nei diagrammi di Fig. 6, sono riportati gli sforzi di taglio a rottura,  $\tau_f$ , in funzione della pressione  $\sigma'$ : i punti sperimentali sono interpolati per mezzo di rette ( $\tau_f = c' + \sigma' \operatorname{tg} \phi'$ ) e di curve di potenza ( $\tau_f = a \sigma'^b$ ); i parametri  $c'$ ,  $\phi'$ ,  $a$ ,  $b$  così determinati sono riportati nella tab. 1 unitamente ai valori del coefficiente di correlazione  $r^2$ .

Dall'esame di tali risultati si ricava che i campi di resistenza definiti dagli involuipi si differenziano sensibilmente, riflettendo le particolari condizioni di orientazione delle discontinuità rispetto al verso del taglio (Fig. 7).

Inoltre, risulta molto significativa l'interpolazione dei punti rappresentativi della rottura, a mezzo di curve di potenza.

Come è noto dai criteri elaborati per l'interpretazione delle prove di taglio sulle discontinuità nelle rocce, un involucro curvilineo consente di ipotizzare un meccanismo di rottura, nel quale coesistono lo scorrimento delle facce contigue, la dilatanza ed il tranciamento delle asperità [PATTON, 1966], rappresentate nelle argille in esame dagli spigoli e dai vertici delle scaglie.

In effetti, nel caso in esame sembra possibile assumere un siffatto meccanismo per rappresentare il comportamento a rottura dei provini.



TABELLA 1  
PARAMETRI CARATTERISTICI DELLA RESISTENZA A TAGLIO

Gruppo	$\tau_f = c' + \sigma' \operatorname{tg} \varphi'$			$\tau_f = a \sigma'^b$		
	$c'$ (t/m <sup>2</sup> )	$\varphi'$	$r^2$	a	b	$r^2$
A	4,20	15°	0,96	1,28	0,68	0,93
B	2,67	27°	0,99	1,54	0,74	0,99
C	5,82	30°	0,97	2,48	0,69	0,99

Alle basse pressioni ( $\sigma' < 10 \text{ t/m}^2$ ), in considerazione dell'assetto strutturale del materiale e del fatto che le singole scaglie sono costituite

di argilla sovraconsolidata molto consistente (dunque di elevata resistenza), i provini presentano un comportamento fortemente dilatante. L'elevato valore del rapporto  $(\tau/\sigma')_f$ , è da attribuire al prevalente contributo della dilatanza alla resistenza complessiva e, per l'aliquota di essa dovuta al tranciamento delle asperità, all'elevato grado di preconsolidazione dell'argilla integra [CROCE *et al.* 1965]. È possibile, infatti, che il tranciamento delle scaglie si verifichi anche alle basse pressioni.

Al crescere della pressione normale applicata, si riduce la possibilità di spostamento relativo tra le scaglie e la rottura si produce prevalentemente per effetto del tranciamento delle stesse.

Nel gruppo A la rottura dovrebbe essere ricondotta essenzialmente allo scorrimento relativo tra le scaglie, compatibile col particolare assetto del materiale: ciò giustifica i valori piuttosto modesti della resistenza misurati sui provini del gruppo.

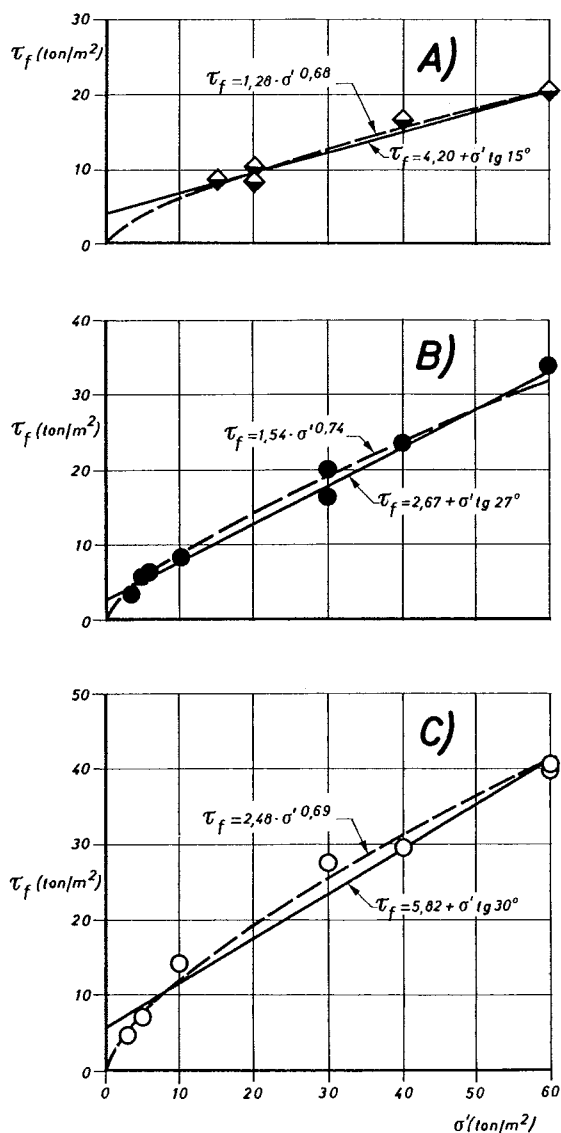


Fig. 6. - Diagrammi ( $\tau_f, \sigma'$ ).

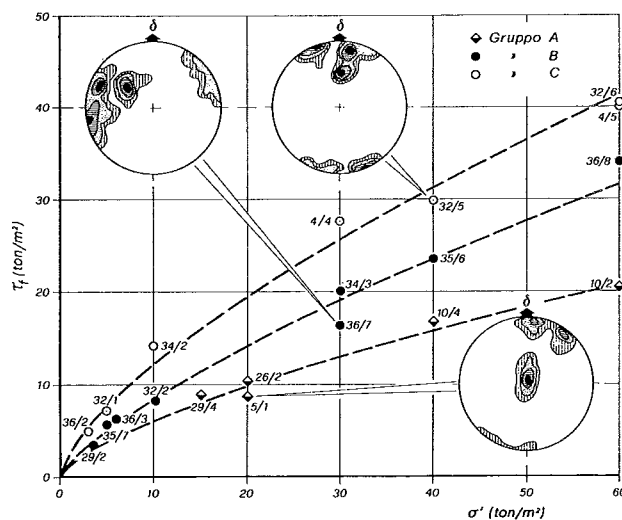


Fig. 7. - Mesostruttura e resistenza a taglio dei campioni.

## 5. Conclusioni

Un ostacolo ad una più approfondita comprensione delle cause di dispersione dei risultati delle misure della resistenza a taglio delle argille scagliettate, è costituito dalla difficoltà di caratterizzare l'assetto strutturale del materiale alla scala dei campioni impiegati per la sperimentazione di laboratorio.

Risultati significativi, in tal senso, possono essere ottenuti utilizzando anche per le argille scagliettate i metodi di rilievo delle discontinuità comunemente utilizzati nel campo della Meccanica delle Rocce.

È possibile così riconoscere che la mesostruttura è determinata da discontinuità raggruppabili in famiglie aventi orientazione e frequenza variabili, con persistenza di norma molto piccola.

La forma delle scaglette è determinata dall'orientazione relativa delle discontinuità appartenenti alle diverse famiglie, le dimensioni dalla spaziatura.

L'identificazione della mesostruttura e la classificazione dei provini in funzione della orientazione delle discontinuità delle famiglie principali, rispetto alla direzione dello spostamento imposto, forniscono un indirizzo all'interpretazione dei risultati delle prove di taglio.

Infatti, la dispersione delle misure della resistenza eseguite su provini con caratteristiche simili si attenua sensibilmente. Si individuano, inoltre, campi di resistenza nettamente distinti, considerando provini con mesostruttura orientata in modo « favorevole » o « antagonista » alla direzione del taglio.

Per quanto attiene al meccanismo di rottura, sulla base dei rilievi e delle misure eseguite, non sempre è facile distinguere ed isolare i singoli fenomeni che intervengono, e cioè: lo scorrimento relativo tra le scaglie, la dilatazione, il tranciamento delle scaglie medesime.

Le misure della orientazione e della spaziatura delle discontinuità forniscono, quindi, risultati nell'insieme congruenti e utili per l'interpretazione dei risultati delle prove di taglio.

In definitiva, è possibile ed opportuno che la sperimentazione in laboratorio per la misura della resistenza sia programmata ed eseguita sulla base dei risultati dei rilievi strutturali, per evidenziare di volta in volta l'influenza che le caratteristiche della mesostruttura esercitano sul meccanismo di rottura e sui valori della resistenza misurati.

Si osservi, infine, che per la pratica applicazione dei parametri così determinati, è necessario riferire i risultati delle prove sull'elemento di volume all'assetto strutturale dell'argilla in sito (megastruttura); più precisamente, occorre considerare la direzione degli sforzi applicati rispetto all'orientazione della megastruttura.

La ricerca della quale si sono presentati i primi risultati relativi all'elemento di volume, prosegue con lo scopo di affinare la tecnica sperimentale nel rilievo dei dati sulla mesostruttura e per valutare l'influenza esercitata dalla megastruttura sul comportamento meccanico di ammassi argillosi intensamente tettonizzati.

## BIBLIOGRAFIA

- A.G.I. (1979) - *Some italian experiences on the mechanical characterization of structurally complex formations*. Proc. IV Int. Congr. ISRM, Montreux, v. II.
- BILOTTA E., UMILTÀ G. (1981) - *Indagini sperimentali sulla resistenza a rottura di argille a scaglie*. Rivista Italiana di Geotecnica n. 1.
- D'ELIA B. (1973) - *Metodi di osservazione impiegati per lo studio di discontinuità strutturali nella argilla di Londra*. L'Ingegnere n. 4.
- ESU F., D'ELIA B., MANFREDINI G. (1971) - *Caratteri strutturali delle argille del Valdarno superiore*. Boll. Soc. Geol. It.
- EVANGELISTA A., PAPARO FILOMARINO M., PELLEGRINO A. (1977) - *On the mechanical behaviour of variegated clay shales of Irpinia*. Atti Int. Symp. « The Geotechnics of Structurally Complex Formations », Capri, v. I.
- FENELLI G. B., PAPARO FILOMARINO M., PICARELLI L., RIPPA F. (1981) - *Sulla resistenza di picco delle argille varicolori*. Atti della riunione del Gruppo di Coord. per gli Studi di Ing. Geotecnica, CNR, Roma.
- FENELLI G. B., PAPARO FILOMARINO M., PICARELLI L., RIPPA F. (1982) - *Proprietà fisiche e meccaniche di argille varicolori della Irpinia*. Rivista Italiana di Geotecnica n. 3.
- FOOKES P. (1965) - *Orientation of fissures in stiff overconsolidated clay of the Sivalik system*. Géotechnique, v. XV.
- FOOKES P., DENESS B. (1969) - *Observational studies on fissure patterns of South-East England*. Géotechnique, v. XIX.
- JAPPELLI R. (1970) - *Le fondazioni delle dighe di terra nell'Italia Meridionale e in Sicilia. Rassegna dei caratteri meccanici delle formazioni argillose di base*. A.G.I. XIII Conv. di Geotecnica, Merano, v. II.
- JAPPELLI R., LIGUORI V., UMILTÀ G., VALORE C. (1977) - *A survey of geotechnical properties of a stiff fissured clay*. Int. Symp. « The Geotechnics of Structurally Complex Formations », Capri, v. II.
- JAPPELLI R., VALORE C. (1980) - *Analisi di una frana in argille scagliettate*. A.G.I. XIV Conv. di Geotecnica, Firenze, v. II.
- NOCILLA N., ERCOLI L. (1979) - *Rilievi dell'assetto strutturale di argille fessurate*. Rass. dell'Att. di Studio e Ricerca dell'Ist. di Ing. Geot. e Min. di Palermo, Erice, novembre.
- NOCILLA N., UMILTÀ G. (1978) - *Caratterizzazione geotecnica del terreno di fondazione di una diga in Sicilia*. A.G.I. XIII Conv. di Geotecnica, Merano, v. II.
- PATTON F. D. (1966) - *Multiple modes of shear failure in rock*. Proc. Int. Cong. ISRM, Lisbona, v. I.
- PELLEGRINO A., PICARELLI L. (1982) - *Formazioni argillose intensamente tettonizzate. Contributo alla caratterizzazione*

- geotecnica*. Conv. del Progetto Finalizzato del CNR « Conservazione del Suolo » - « Fenomeni Franosi », Roma.
- PRICE N. J. (1966) - *Fault and joint development in brittle and semi-brittle rock*. Pergamon Press, London.
- SKEMPTON A. W., SCHUSTER R. L., PETLEY D. J. (1969) - *Joints and fissures in the London clay at Wraysbury and Edgware*. *Géotechnique*, v. XIX.

## SUMMARY

### Mesostructure and shear strength of a highly fissured stiff clay.

The structural features at the scale of laboratory specimens (mesostructure) of samples of highly fissured stiff clay and their influence on the peak shear strength are examined.

The samples, which have been collected from borings in a site of Eastern Sicily, belong to a Lower and Middle Miocene clay formation. They are subdivided into scales of different shape and size ranging from 1 to about 15 mm by a thick network of discontinuities.

In order to characterize the mesostructure of the samples, the discontinuity survey technique usually employed in the study of jointed rocks has been used.

It is shown that the discontinuities can be grouped in sets of same orientation even when the scales seem to be arranged in a complicated and 'chaotic' pattern. The mesostructural features are determined by the relative orientation among the various discontinuity sets and by their spacings.

A first classification based on the qualitative evaluation of the scale size has led to the detection of two types of material. The AS1 type is characterized by very small flake-shaped scales less than 1 mm thick and a few mm long, with polished and shiny surfaces. The AS2 type is composed of bigger scales of size ranging from 3-4 mm to 15 mm. Their shape can be either irregular, e.g. dumpy or flat and long (AS2a), or very regular, e.g. cubic or prismatic (AS2b). In either case the scale surface is generally dull, sometimes polished and shiny.

The survey has shown that the AS1 type mesostructure is defined by three major and one minor discontinuity sets (Fig. 2a). The surfaces of sets 1 and 2, which form an angle of 32° and have spacing ranging from 1 to 2 mm, determine the scale thickness; the discontinuities of the third set (spacing 4 mm) determine the scale length.

Similar features have been detected in the AS2a type. The discontinuity sets 1 and 2, which have spacing of approximately 5 mm and form an angle of 36°, determine the scale thickness, whereas set 3 spacing (about 14 mm) determines the scale length (Fig. 2b).

In the AS2b type, on the contrary, the three major discontinuity sets are approximately orthogonal. They form angles ranging from 76° to 93° (Fig. 2c). Moreover, their spacings are very close 6.1 mm, 7.6 mm and 6.6 mm respectively. Hence, the scale shape is regular and the arrangement well ordered.

Direct shear tests have been performed to measure the

shear strength. The normal effective stress,  $\sigma'$ , ranged from 3 to 60 t/m<sup>2</sup>; the shear rate was 0.0024 mm/min.

In order to interpret the shear test results, the specimens have been divided into three groups A, B and C, on the basis of the orientation of the major discontinuity sets with regard to the shear direction. The mesostructural features of the A type specimens determine conditions favourable to shear strain. This happens either because of the presence of a major set of discontinuities sub-parallel to the shear displacement, or because of two intersecting major discontinuity sets which form flat wedges of 140° - 150° parallel to the shear displacement. On the other hand, in the C group the discontinuities of the major sets are generally inclined at 70° - 90° to the horizontal. In some cases the inclination is lower (30° - 40°), but the orientation is opposite to the shear displacement. Intermediate conditions have been detected in the B group specimens (Fig. 3).

The analysis of the shear test results has shown that the different conditions of orientation highly affect the behaviour of the clay at failure. The group A specimens have ductile behaviour, and their normalized shear strength  $(\tau/\sigma')_f$  ranges from 0.4 to 0.6. In the group C specimens the shear strength has a peak value, and its normalized value is higher than unity when the normal effective stress is lower than 10 t/m<sup>2</sup>. The group B specimens have generally ductile behaviour, highly dependent on the intensity of the normal effective stress. When the normal effective stress is higher than 30 t/m<sup>2</sup> the curves of the normalized shear stress  $\tau/\sigma$ , vs the displacement  $\delta$  are very close [ $(\tau/\sigma')_f = 0.6$ ]. At lower normal stress  $(\tau/\sigma')_f$  ranges from 0.8 to 1.20 (Fig. 4).

The vertical displacements  $\Delta H$  are highly affected by the mesostructure and by the normal effective stress. Group A specimens generally contract, whereas group B and group C specimens dilate at lower normal effective stress and contract at higher normal stress (Fig. 5).

The shear displacements at failure are in the range of 1.92 - 2.80 mm, 1.08-3.52 mm and 1.68-3.63 mm for A, B and C specimens respectively. They are independent of normal effective stress.

In the diagrams of the peak shear strength  $\tau_f$  vs the normal effective stress  $\sigma'$  the experimental points of the three groups have been correlated with a line ( $\tau_f = c' + \sigma' \text{tg } \varphi'$ ) and a curve ( $\tau_f = a \sigma'^b$ ) (Fig. 6). The values of the parameters  $c'$ ,  $\varphi'$ ,  $a$  and  $b$ , together with the values of the correlation coefficient  $r^2$ , are given in Tab. 1.

The failure envelopes differentiate appreciably in accordance with the angles between the discontinuities and the shear strain direction (Fig. 7). Moreover, since the failure envelopes are curved, it is possible to consider a failure mechanism which includes sliding along the discontinuities, dilatancy and shearing of asperities - i.e. tips and edges of the scales.

In conclusion, the measurement of the orientation and of the spacing of the discontinuities has provided consistent results which have proved very useful in the analysis of the shear tests.

It is therefore possible and advisable to plan laboratory shear tests on the basis of the results of a discontinuity survey. The survey technique is susceptible of being improved in order to make it more appropriate to the structural features of materials.