

PROPRIETA' GEOTECNICHE DEI MATERIALI A GRANA GROSSA (*)

A. PELLEGRINO (**)

SOMMARIO: Vengono illustrati i risultati di una ricerca sistematica sulle proprietà dei materiali a grana grossa quali costituenti di formazioni naturali e di rilevati.

La prima parte della ricerca verte sull'identificazione dei materiali a grana grossa che più frequentemente si incontrano in natura. L'indagine è stata svolta prendendo in esame la granulometria, la forma ed il grado di arrotondamento di numerosi materiali di differente origine. I risultati ottenuti sono stati posti in relazione all'ambiente geologico dal quale i materiali hanno tratto origine ed ai fattori che hanno presieduto alla loro formazione.

Individuati così alcuni materiali tipici si è passati all'esame del costipamento e delle proprietà meccaniche. Per quanto riguarda il costipamento, da un'indagine di laboratorio è risultato che per i materiali a grana grossa esiste una relazione fra peso secco dell'unità di volume ed umidità analoga a quella già nota per i materiali a grana fina.

Anche lo studio della resistenza al taglio è stato svolto in laboratorio. Sono stati considerati numerosi fattori sperimentali e si è potuto concludere che la resistenza al taglio dei materiali in esame, espressa in termini di pressioni effettive, è influenzata essenzialmente dalla porosità dei materiali stessi. La determinazione della compressibilità è stata svolta sulla base del comportamento di alcune formazioni naturali e di alcuni rilevati. E' risultato che la compressibilità dei materiali a grana grossa dipende in misura notevole dalla porosità, ma anche dalle altre caratteristiche di tessitura.

1. Oggetto della ricerca

L'Istituto di *Tecnica delle Fondazioni e Costruzioni in Terra* dell'Università di Napoli ha in corso una ricerca sistematica sulle proprietà fisico-meccaniche dei materiali a grana grossa quali costituenti di formazioni naturali e di rilevati.

Volendo conferire alla ricerca un campo di validità sufficientemente ampio, si è ritenuto opportuno esaminare dapprima i numerosi materiali presenti in natura per poter scegliere fra questi alcuni materiali tipici da considerare nello studio delle proprietà fisico-meccaniche.

Questo esame è stato svolto sulla base della tessitura poiché questa esercita una rilevante influenza sulle pro-

prietà meccaniche ed idrauliche dei materiali in questione. A tal fine sono state prese in considerazione soltanto le caratteristiche geometriche delle particelle, e cioè le dimensioni e la forma delle particelle ed il grado di arrotondamento degli spigoli, e non la loro disposizione e ciò perché le prime sono caratteristiche intrinseche di un dato materiale mentre la seconda per uno stesso materiale può variare in un vasto campo.

I risultati della nostra indagine, che sono illustrati nel paragrafo 2, indicano che le caratteristiche geometriche sono strettamente legate all'ambiente geologico dal quale il materiale ha tratto origine ed ai fattori che hanno presieduto alla sua formazione. Ne consegue che per il raggruppamento dei materiali conviene seguire un criterio litogenetico.

I materiali da noi presi in esame rientrano nei quattro seguenti gruppi:

- materiali di trasporto e deposito fluviale
- materiali di trasporto e deposito glaciale
- detriti di frana
- conglomerati.

E' da precisare che i *materiali di origine fluviale* da noi considerati sono quelli che si rinvencono nei fiumi dell'Italia Meridionale e che provengono dal disfacimento

(*) Questo articolo è stato presentato al VI Congresso Internazionale di Geotecnica - Montreal, settembre 1965 - ed è stato pubblicato nel I volume degli *Atti del Congresso*.

Per i limiti imposti dal Comitato Organizzatore del Congresso il testo dell'articolo nell'edizione in lingua inglese è stato leggermente ridotto.

(**) Prof. Ing. Arturo PELLEGRINO, libero docente in *Tecnica delle Fondazioni e Costruzioni in Terra*, Assistente Ordinario alla Cattedra di *Tecnica delle Fondazioni e Costruzioni in Terra* dell'Università di Napoli.

di formazioni calcaree e dolomitiche ed in parte di formazioni argillose fortemente preconsolidate.

I *materiali di origine glaciale* sono ubicati sull'arco alpino e sono costituiti da *morene*, talvolta in parte rimaneggiate, *alluvioni*, e cioè terreni trasportati e depositati dai fiumi lungo le valli, *conoidi* che hanno tratto origine dall'azione di brevi e ripidi torrenti.

I *detriti di frana* sono presenti nell'Italia Meridionale ed in Sicilia; essi si sono formati a seguito della caduta di frammenti rocciosi, di natura essenzialmente calcarea, su sottostanti formazioni argillose e con le quali si sono intimamente mescolati.

Infine, i *conglomerati* sono stati depositati in epoche più remote — Pleistocene, Pliocene, Miocene ecc. — quando l'Italia Meridionale è stata interessata da estesi fenomeni di trasgressione e regressione del mare.

Le curve granulometriche medie (v. fig. 1) di depositi appartenenti allo stesso gruppo litogenetico mostrano una marcata somiglianza sia per quanto riguarda l'andamento delle curve sia per quanto concerne le percentuali delle singole frazioni.

Dall'esame delle curve medie appare anche una certa differenziazione dei materiali appartenenti ai quattro gruppi: la frazione $d < 0,2$ mm è presente in percentuale assai modesta nei materiali di origine fluviale e nei materiali di origine glaciale mentre è sempre presente in percentuali rilevanti nei detriti e nei conglomerati. Le curve granulometriche dei detriti presentano una discontinuità nel campo $0,2 < d < 2$ mm. Infine i conglomerati sono caratterizzati da un elevato assortimento granulometrico.

Nell'interno di ciascun deposito è stata riscontrata una

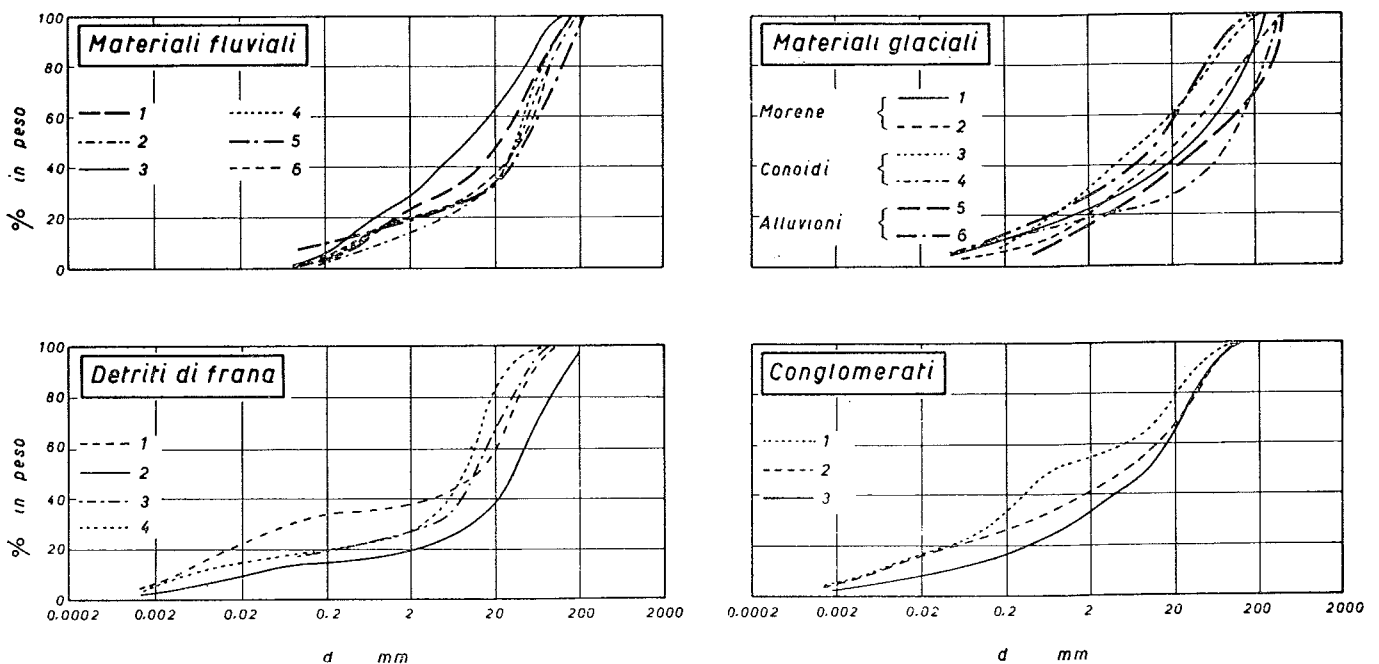


FIG. 1 - Granulometria media dei depositi.

Per i quattro gruppi di materiali sono stati esaminati alcuni depositi di dimensioni differenti, ma comunque contenute entro i limiti che normalmente occorre considerare nello studio di problemi di Ingegneria Civile.

Individuati così alcuni materiali tipici si è passati all'esame del costipamento e delle proprietà meccaniche con prove di laboratorio e con indagini in sito.

2. Granulometria, forma e grado di arrotondamento

Per studiare le caratteristiche geometriche delle particelle abbiamo esaminato numerosi campioni di ciascun deposito ed i risultati ottenuti sono stati elaborati con procedimenti statistici.

elevata variabilità della granulometria. A tal riguardo è interessante notare che il coefficiente di variabilità s/m (m = media, s = scarto quadratico medio) delle frazioni $d < 0,2$ mm, $0,2 < d < 20$ mm e $d > 20$ mm diminuisce all'aumentare della media.

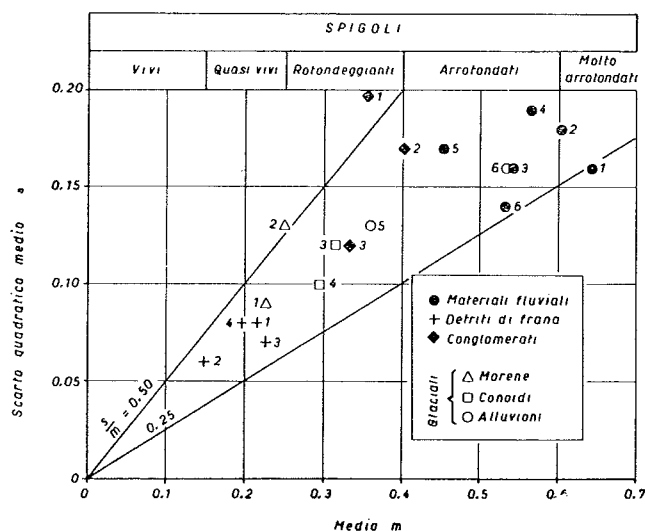
Dalla nostra indagine sulla forma delle particelle (1) non appare una correlazione fra questo parametro e la genesi dei materiali (v. tab. 1). Ciò può essere attribuito alla influenza casuale di due fattori: le caratteristiche della roccia dalla quale il materiale ha tratto origine ed i successivi processi di trasporto e di deposito.

(1) L'indagine sulla forma e sul grado di arrotondamento degli spigoli delle particelle è stata effettuata sulla frazione $5 \div 50$ mm con i metodi proposti da ZINGG e da KRUMBEIN [3]. Le misure sono state eseguite rispettivamente su 300 e su 100 particelle di ciascun deposito.

TABELLA 1 - Valori estremi delle percentuali delle particelle di differente forma

Materiale	Percentuale di particelle di forma			
	rotonda	allungata	appiattita ed allungata	appiattita
Fluviali	12-24	22-30	15-26	31-44
Glaciali	8-19	16-26	19-35	34-45
Detriti di frana	2-37	14-34	8-35	27-47
Conglomerati	16-29	21-30	15-28	27-35

Il grado di arrotondamento (v. fig. 2) è strettamente legato alla durata ed alle modalità con le quali i materiali sono stati trasportati dal punto di origine al punto in cui si trovano attualmente. Di conseguenza i detriti, che si rinvencono a breve distanza dal luogo dove essi si sono formati, hanno spigoli « vivi » o « quasi vivi ». Passando ai materiali glaciali l'arrotondamento aumenta; fra i materiali di questo gruppo — morene, conoidi ed alluvioni — si riscontrano notevoli differenze. Seguono i conglomerati ed infine i materiali di origine fluvia-

FIG. 2 - Grado di arrotondamento delle particelle $5 \div 50$ mm. (s/m = coefficiente di variabilità)

le, nei quali predominano le particelle con spigoli « arrotondati » o « molto arrotondati ».

Dalla nostra indagine appare evidente che per l'identificazione dei materiali a grana grossa non ci si può basare sulla sola granulometria, ma occorre considerare anche le altre caratteristiche geometriche delle particelle. Queste sono strettamente legate alla natura ed alle proprietà delle formazioni dalle quali i materiali hanno tratto origine e ai processi che tali materiali hanno successivamente subito.

Si deduce che l'indagine sul comportamento dei materiali a grana grossa può essere limitata ad alcuni materiali tipici e che i risultati così conseguiti possono essere estesi ad altri materiali aventi gli stessi caratteri di tessitura.

3. Costipamento

Dall'esame della letteratura tecnica si rileva che le indagini finora effettuate sul costipamento dei materiali a grana grossa sono in numero assai limitato; fra queste è da ricordare la ricerca svolta dal FUKUOKA [2]. Questo Autore ha sperimentato su un solo materiale ed alquanto particolare poiché era stato preparato in laboratorio mescolando terreni di differente granulometria e composizione mineralogica. Per questo particolare materiale il FUKUOKA ha riscontrato che fra peso secco dell'unità di volume e contenuto d'acqua esiste una relazione simile a quella osservata da PROCTOR sui materiali a grana fina.

Le nostre prove di laboratorio, eseguite su numerosi materiali naturali, confermano pienamente questo risultato e mostrano che nel caso dei materiali a grana grossa la relazione $\gamma_d = f(w)$ presenta due aspetti particolari:

- la condizione di optimum viene raggiunta quando i pori esistenti fra le particelle sono occupati quasi del tutto da acqua;
- a sinistra della condizione di optimum la curva di costipamento è molto ripida e cioè a piccole variazioni del contenuto d'acqua corrispondono notevoli variazioni del peso secco dell'unità di volume; a destra della condizione di optimum la curva di costipamento coincide con la curva di saturazione.

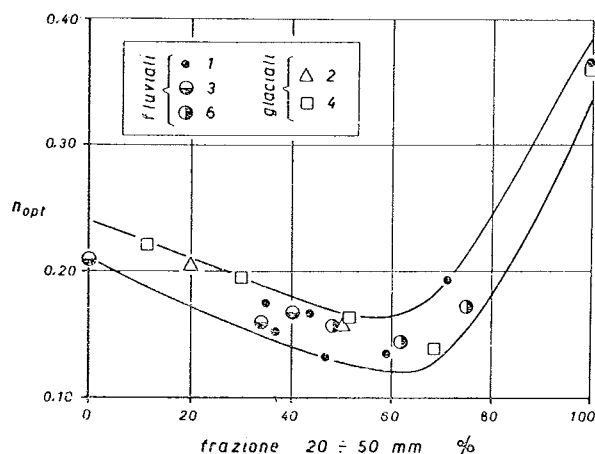


FIG. 3 - Influenza della granulometria sulla porosità in condizioni di optimum.

Le nostre prove sono state effettuate per vibrazione su campioni di materiali fluviali e di materiali glaciali con $d_{max} = 50$ mm. Circa la granulometria è da precisare che la frazione $d < 0,2$ mm era presente in percentuale modesta nei materiali fluviali ed in percentuale del $10 \div 30\%$ nei materiali glaciali; la frazione $20 \div 50$ mm era compresa in un campo assai vasto (da 0 all'80%).

A parità di procedimento di costipamento, la porosità in condizioni di optimum, n_{opt} , assume valori differenti e che sembrano legati alla percentuale della frazione $20 \div 50$ mm (v. fig. 3). All'aumentare di questa percentuale la porosità dapprima diminuisce e, dopo aver raggiunto un minimo, aumenta molto rapidamente. Resta

così pienamente confermata la relazione proposta dall'U.S.B.R. [4] fra granulometria e peso secco dell'unità di volume.

Oltre che sulla granulometria abbiamo indagato anche sulla influenza della forma e del grado di arrotondamento delle particelle, ma dai risultati ottenuti non si rileva una relazione fra questi fattori ed il costipamento.

Infine abbiamo preso in esame lo stato di minimo addensamento delle particelle ed è risultato che anche sulla porosità massima il contenuto d'acqua esercita una marcata influenza.

Dai risultati della nostra indagine si può rilevare che per definire lo stato di addensamento delle particelle non è sufficiente far riferimento alla sola densità relativa poiché questa tiene conto del solo peso secco dell'unità di volume, ma è necessario considerare contemporaneamente sia il peso secco dell'unità di volume che il contenuto d'acqua.

4. Resistenza al taglio

Com'è noto, lo studio del comportamento meccanico dei materiali può essere svolto sulla base di indagini in piccola scala oppure sulla base d'indagini in vera grandezza.

L'indagine in piccola scala può essere effettuata in laboratorio. In tal caso l'esperienza viene eseguita in condizioni schematiche sia per quanto riguarda la struttura e la tessitura del terreno sia per quanto concerne le condizioni ai limiti e le condizioni di carico, e ciò al fine di rendere più agevole l'interpretazione dei risultati. L'esperienza può essere ripetuta con differenti modalità tenendo sotto controllo i vari fattori sperimentali ed agendo su questi nei limiti richiesti dallo studio. In tal modo è relativamente agevole scindere l'influenza dei singoli fattori in esame ed analizzare il fenomeno stesso nella sua intima essenza. I risultati che si deducono sono di validità sufficientemente ampia, ma talvolta di non facile utilizzazione dal punto di vista applicativo per le sensibili differenze che sussistono fra le condizioni considerate in laboratorio e quelle che si verificano nella realtà.

L'indagine in vera grandezza presenta caratteri diversi. Essa è basata su esperienze che si sono svolte in condizioni oltremodo complesse sicché l'interpretazione dei risultati non può essere spinta oltre l'esame globale del fenomeno. Inoltre le esperienze sono in numero limitato ed i fattori in gioco non possono essere modificati. Ne consegue che i risultati di tale indagine, pur essendo certamente più significativi di quelli di laboratorio, sono di validità più limitata.

Nello studio della resistenza al taglio l'esperienza in vera grandezza è possibile soltanto in un numero assai ridotto di casi e pertanto abbiamo preferito svolgere la indagine in laboratorio. Per la compressibilità invece più frequentemente si presenta l'occasione di trarre utili informazioni dal comportamento di formazioni naturali e di rilevati sotto l'azione dei carichi e pertanto abbiamo ritenuto opportuno seguire questa direttiva.

La ricerca sulla resistenza al taglio è stata svolta prendendo in esame i seguenti fattori sperimentali:

- | | | |
|--------------|---|---------------------------------|
| Costipamento | { | 1. porosità (n) |
| | | 2. contenuto d'acqua (w_c) |
| Rottura | { | 3. contenuto d'acqua (w_r) |
| | | 4. condizioni di drenaggio |
| | | 5. velocità di deformazione (v) |

Della tessitura si è ottenuto conto fra i fattori sperimentali.

Finora sono state eseguite circa quaranta prove di compressione triassiale (2) su due campioni di materiali fluviali (v. fig. 4).

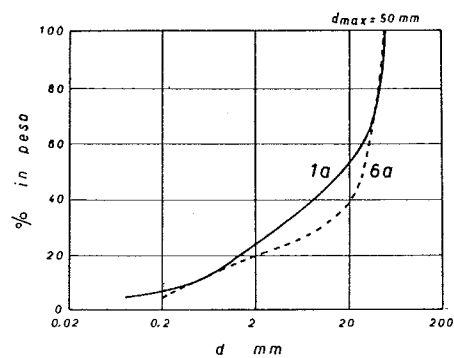


FIG. 4 - Granulometria dei materiali considerati nello studio della resistenza a taglio.

L'influenza dei fattori da 2 a 5, per una data porosità, è stata indagata variando questi fattori uno per volta.

Le condizioni di prova sono state le seguenti:

- | | | | |
|---|--------------------------|---|---|
| $w_c = \begin{cases} 3\% < w_{opt} \\ 5\% = w_{opt} \\ 7\% > w_{opt} \end{cases}$ | Drenaggio | { | Prova rapida con consolidazione « Q_c » |
| | | | Prova lenta « S » |
| $w_r = \begin{cases} w_c \\ w_{sat} \end{cases}$ | Velocità di deformazione | { | $v_{min} = 0,03$ mm/sec |
| | | | $v_{max} = 0,3$ » |

In fig. 5 sono rappresentati i risultati più significativi.

Si osserva che sono state rilevate differenze nei valori della τ_f — espressa in termini di pressioni effettive — quasi sempre inferiori a $\pm 10\%$ e che tali differenze sono del tutto casuali. Sembra quindi lecito dedurre che i fattori anzidetti esercitino una influenza trascurabile sul-

(2) Le principali caratteristiche delle prove di compressione triassiale sono: campione: diametro = 35 cm; altezza = 80 cm; dimensione massima delle particelle = 50 mm; costipamento mediante vibrazione. $\sigma_{3max} = 4$ Kg/cm²; la σ_1 è stata applicata a deformazione controllata.

Le prove sono state effettuate su provini con contenuto di acqua uguale a quello di costipamento ($w = w_c$) e su provini nei quali in precedenza si era svolto un moto di filtrazione dal basso verso l'alto ($w = w_{sat}$).

la resistenza al taglio. Se la resistenza al taglio viene espressa in termini di pressioni totali e se si considerano le prove Q_c si rileva che gli stessi fattori esercitano una certa influenza.

Per quanto riguarda la porosità si è indagato nel campo $n \geq n_{opt}$ (v. fig. 6). Indipendentemente dalle condizioni di prova (fattori da 2 a 5) la resistenza al taglio au-

ri sperimentali; i valori di ϕ' misurati sono elevati ($\text{tg } \phi' = 0,75 \div 1$).

La coesione è modesta ($c' = 1 \div 4 \text{ ton/m}^2$). Nei campioni sottoposti a rottura dopo saturazione la coesione cade a zero e ciò probabilmente è da attribuire all'influenza del passaggio dell'acqua nel provino sull'«*interlocking*» fra le particelle.

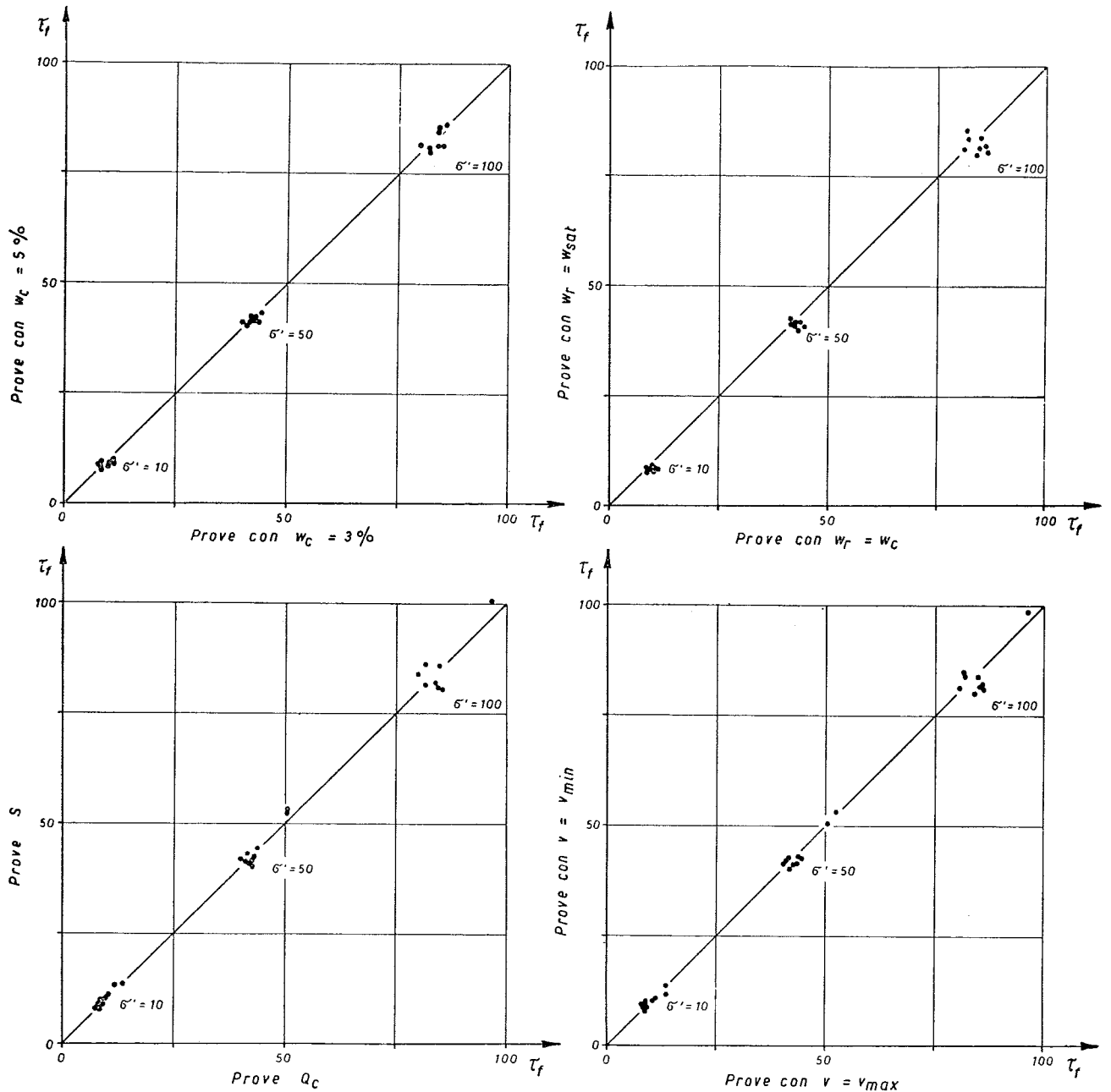


FIG. 5 - Influenza delle condizioni di prova sulla resistenza a taglio. La σ' e la τ_f sono espresse in t/m^2 .

menta col costipamento e con un gradiente che risulta essere tanto maggiore quanto minore è la porosità.

E' anche interessante esaminare i risultati delle nostre indagini considerando i valori dell'angolo di attrito ϕ' e della coesione c' . I valori dell'angolo di attrito dipendono dalla porosità del materiale e non dagli altri fatto-

5. Compressibilità

Come si è già detto nel paragrafo precedente, lo studio della compressibilità dei materiali in esame è stato svolto sulla base dei risultati di alcune indagini in sito.

Per le formazioni naturali risultati di un certo interes-

se sono stati ottenuti per depositi glaciali di rilevante spessore [1].

Dai valori dei cedimenti del piano di appoggio di alcune dighe in terra è stata dedotta la relazione fra le sol-

sibilità $E = \sigma_z / \epsilon_z$ aumenta considerevolmente passando dai depositi superficiali poco compatti (deposito 2, $n = 28 \div 35\%$) ai depositi più profondi.

E' ancora da rilevare che un' apprezzabile percentuale delle deformazioni è avvenuta successivamente all'applicazione dei carichi.

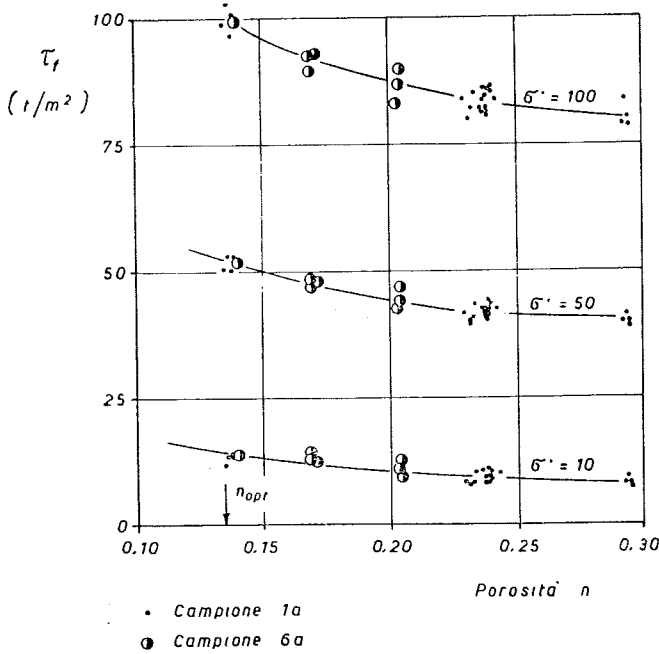


FIG. 6 - Influenza della porosità sulla resistenza a taglio.

lecitazioni normali verticali σ_z , dovute al peso proprio dei materiali della diga, e l'accorciamento unitario ϵ_z (v. fig. 7). Per i materiali di conoide il modulo di compres-

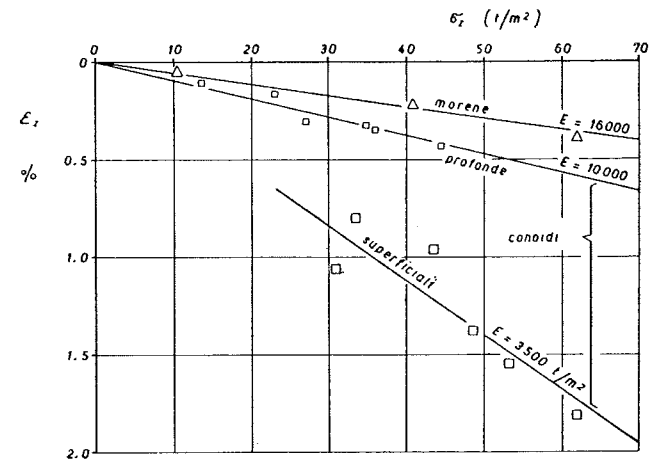


FIG. 7 - Compressibilità di formazioni di origine glaciale.

Un valore di E più elevato, dell'ordine delle 16.000 t/m^2 , è stato ottenuto per le morene (deposito n. 1) con porosità del 12% circa.

La compressibilità di materiali fluviali (deposito 5) e glaciali (morene del deposito 2 e materiali fluvio-glaciali) impiegati nella costruzione di due dighe in terra è rappresentata nella fig. 8, nella quale l'accorciamento verti-

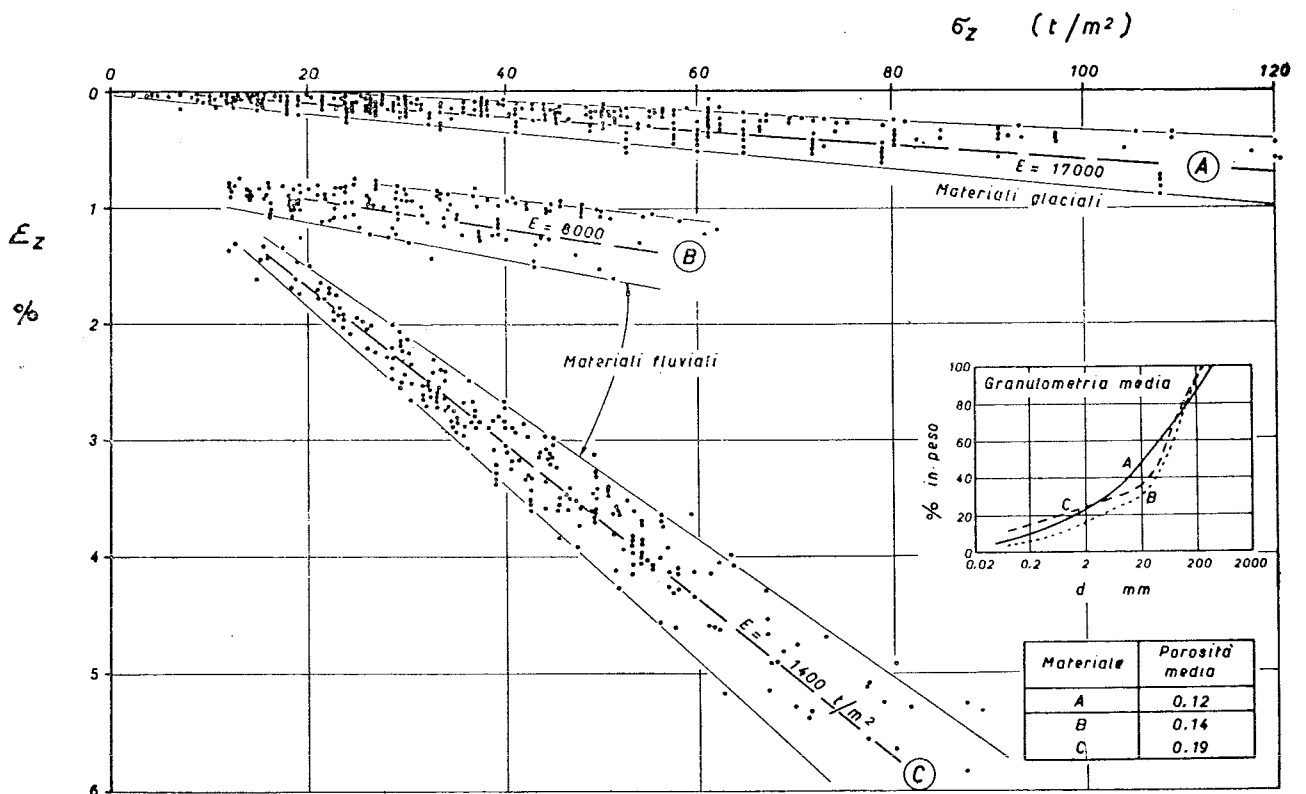


FIG. 8 - Compressibilità di materiali usati nella costruzione di dighe in terra.

cale unitario ε_z di strati orizzontali dello spessore di $4 \div 5$ m è posto in relazione con la sollecitazione normale verticale σ_z (3).

Sotto piccoli carichi le deformazioni dei materiali fluviali sono assai variabili; in fig. 8 sono stati considerati soltanto i valori medi. All'aumentare dei carichi l'aumento delle deformazioni avviene in maniera nettamente più regolare ed uniforme.

La compressibilità dei materiali glaciali è nettamente inferiore ed il loro comportamento sotto l'azione dei carichi è sensibilmente più uniforme.

Questi risultati indicano che il comportamento dei materiali a grana grossa, nelle formazioni naturali e nei rilevati, sotto l'azione dei carichi dipende in misura notevole dalla porosità, ma anche dalle altre caratteristiche

di tessitura. Inoltre la relazione fra carichi e deformazioni sembrerebbe essere lineare e cioè differente da quella finora osservata.

Bibliografia

- [1] CROCE A., DOLCETTA M., FINZI D. e MARTINELLI D. - « *Compressibility of Soils of Glacial Origin* » Proc. Europ. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Wiesbaden 1963, Vol. I, pag. 327.
- [2] FUKUOKA M. - « *Testing of Gravelly Soils with Large Scale Apparatus* » Proc. III Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Zurigo 1957, Vol. I, pag. 153.
- [3] PETTIJOHN F. J. - « *Sedimentary Rocks* ».
- [4] U.S.B.R. - « *Earth Manual* ».

GEOTECHNICAL PROPERTIES OF COARSE GRAINED SOILS

Summary: This paper has been presented to the VI International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering (Montreal, 1965) and has been published in the Conference Proceedings.

The A. reports the results of a research on the properties of coarse grained materials as constituents of both natural formations and embankments.

Numerous materials of different origin have been first examined from the identification point of view, on the basis of grain size distribution, shape and roundness of particles. The results indicate that the geometrical characteristics are clearly influenced by the geological environment from which the material originated and by the factors which prevailed in its formation.

Some typical materials have been thus chosen for subsequent investigations on compaction and mechanical properties.

Laboratory tests show that for coarse grained materials a relationship exists between dry unit weight and water content, similar to the one observed for fine grained materials.

Shear strength has been investigated in laboratory on samples containing particles up to 50 mm, and taking into account a number of experimental factors. It may be concluded that the effective strength parameters depend mainly on porosity.

The research on compressibility has been performed by means of full-scale investigations. The results seem to indicate that compressibility depends primarily on porosity, but also on other textural characteristics.

(3) Nella fig. 8 la sollecitazione normale verticale σ_z è stata assunta eguale al peso γh della sovrastante colonna di terreno.

PROPRIÉTÉS GÉOTECHNIQUES DES MATÉRIEAUX À GROS GRAINS

Sommaire: Cet article a été présenté au VI^e Congrès Internationale de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations - Montréal septembre 1965 - et publié dans les comptes rendus du Congrès.

Dans la première partie de cette recherche on a identifié les matériaux à gros grains que l'on trouve plus fréquemment en nature. On a examiné la granulométrie, la forme et l'indice de émoussé de nombreux matériaux d'origine différente. Les résultats obtenus ont été mis en relation avec le milieu géologique où les matériaux se sont formés et avec les éléments qui ont contribué à leur formation.

Après avoir ainsi individualisé quelques matériaux typiques on a considéré le compactage et les propriétés mécaniques des matériaux susdits.

Pour ce qui concerne le compactage, en faisant des essais en laboratoire on a vu que, pour les matériaux à gros grains, il y a une relation entre poids sec de l'unité de volume et humidité semblable à celle qui est déjà connue pour les matériaux à grain fin.

L'examen de la résistance au cisaillement a été fait lui-aussi en laboratoire. On y a considéré plusieurs facteurs expérimentaux et l'on a pu conclure que la résistance au cisaillement des matériaux examinés, exprimée en termes de pressions effectives, est particulièrement influencée par la porosité des matériaux mêmes.

On a déterminé la compressibilité d'après le comportement de quelques formations naturelles et de quelques remblais. Le résultat est que la compressibilité des matériaux à gros grains dépend, d'une façon remarquable, de la porosité, mais aussi des autres caractéristiques de texture.