

PROPRIETA' GEOTECNICHE DI TIPICHE ROCCE SCIOLTE A GRANA MEDIA E GROSSA DELLA SICILIA (*)

R. JAPPELLI (**)

SOMMARIO: si comunicano i risultati di esperienze effettuate in laboratorio sul costipamento, sulle proprietà meccaniche e sulla permeabilità di alcune tipiche rocce sciolte a grana media e grossa, che si rinvengono in Sicilia.

Queste rocce, di cui si descrivono le proprietà che interessano l'impiego nella costruzione delle opere di terra, sono classificate in sei gruppi sulla base principalmente della composizione granulometrica e dell'origine.

Risulta che i parametri, che esprimono le suddette proprietà, variano entro limiti molto ampi; tuttavia, i risultati sperimentali possono facilmente ordinarsi ed interpretarsi se vengono posti in relazione con le proprietà indici, quali la composizione granulometrica — specie attraverso il coefficiente di uniformità — l'indice di addensamento, il contenuto d'acqua di costipamento ed il grado di saturazione.

Relazioni particolarmente significative possono stabilirsi fra le caratteristiche di costipamento ed il coefficiente di uniformità, nonché tra la resistenza al taglio e l'indice di addensamento, per i materiali a grana più grossa, e tra la resistenza al taglio ed il contenuto d'acqua di costipamento per quelli più fini.

Si riconosce infine che la permeabilità dipende in misura notevole dalla posizione del punto rappresentativo del materiale nel diagramma di costipamento.

1 - Premessa

Gli studi geotecnici, in cui si considerano nel loro insieme le proprietà di rocce sciolte caratteristiche di determinate aree di insediamento umano, sono utili sia in senso generale, sia dal punto di vista delle applicazioni di ingegneria nella particolare regione in esame.

La Sicilia, per posizione geografica e lineamenti geologici, costituisce un'unità assai caratteristica, per la quale gli studi, cui si è accennato, possono riuscire particolarmente efficaci.

In Sicilia sono oggi in corso di realizzazione molte importanti opere di ingegneria, nelle quali trovano applicazione gli studi di Geotecnica.

In relazione a questi studi si vanno raccogliendo da alcuni anni presso il *Centro Geotecnico della Sicilia* nell'Università di Palermo notizie e dati di carattere scientifico e tecnico sulle proprietà dei terreni della regione.

Attraverso la raccolta e l'elaborazione sistematica di questi dati è possibile riconoscere le caratteristiche medie di talune tipiche formazioni naturali e descriverne le proprietà da un punto di vista sempre più generale.

Mentre questo lavoro di ricerca e di elaborazione si sviluppa in senso generale per tutti i terreni della

Sicilia, l'occasione offerta dal tema proposto per il *VI Convegno di Geotecnica* ha fornito lo spunto per tentare una sintesi dei dati finora raccolti relativamente ad alcuni tipi di rocce sciolte a grana media e grossa.

Le proprietà, oggetto di studio, sono le caratteristiche di identificazione e di costipamento, le proprietà meccaniche e la permeabilità⁽¹⁾.

2 - Classifica delle rocce sciolte considerate nella ricerca

La natura e le caratteristiche delle rocce sciolte, che si rinvengono in Sicilia, sono molto variabili, in dipendenza delle complesse vicende geologiche, dalle quali ha tratto origine l'attuale isola.

Una classifica generale, che riesca utile ai fini tecnici, dovrebbe tener conto almeno dell'origine dei materiali, della loro composizione granulometrica e mineralogica, nonché delle caratteristiche di plasticità; inoltre dovrebbe distinguere le formazioni di base dalle coltri alterate di ricoprimento (terreni residuali).

Limitandoci a considerare i materiali oggetto del presente studio dal solo punto di vista tecnico ed in relazione a quelle proprietà che interessa prendere in esame, può valere la seguente classifica, che tiene conto

(*) Comunicazione presentata al *VI Convegno di Geotecnica* (Pisa, Aprile 1963).

(**) Prof. Ing. Ruggiero JAPPELLI, Libero Docente, Incaricato di Geotecnica (Tecnica delle Fondazioni e Costruzioni di Terra) nell'Università di Palermo.

(1) Si avverte che, quando non altrimenti specificato, i simboli e la nomenclatura adottati nella presente nota sono quelli proposti dalla *Commissione per la Nomenclatura della Associazione Geotecnica Italiana* (cfr. Rapporto provvisorio - Napoli, 1961).

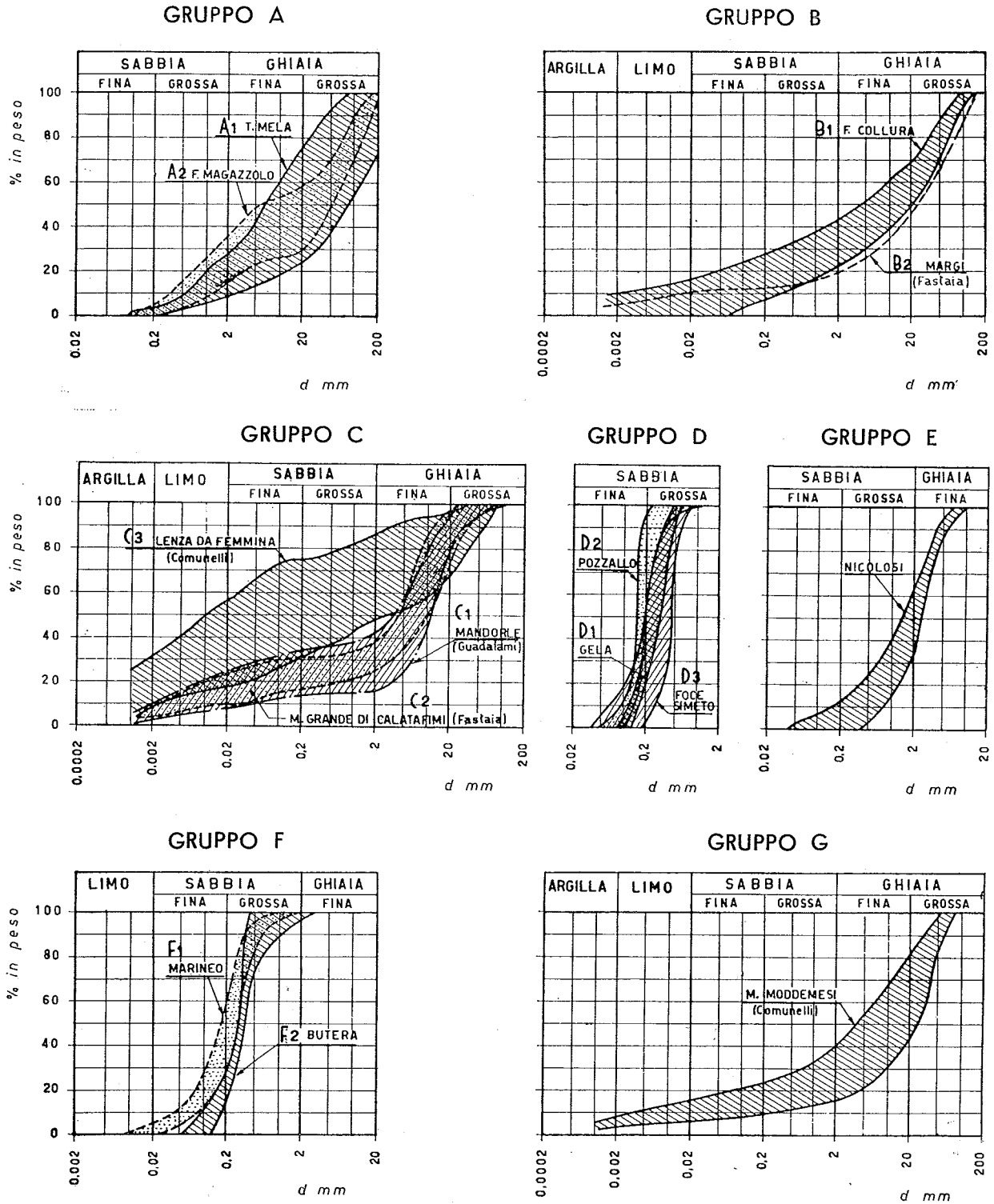


Fig. 1 - Composizione granulometrica di alcune tipiche rocce sciolte a grana media e grossa della Sicilia.

di due fattori, che, specie per le rocce sciolte incoerenti, assumono la massima importanza, cioè la composizione granulometrica e l'origine del materiale:

A - Ghiaie e sabbie con grani di forma arrotondata (alluvioni);

B - Ghiaie e sabbie con grani di forma arrotondata miste a limo (alluvioni);

C - Ghiaie e sabbie con grani a spigoli vivi miste a limo (detriti di falda);

D - Sabbie di litorale;

E - Sabbie di origine vulcanica (scorie vetrose);

F - Sabbie debolmente cementate (arenarie);

G - Calcari della serie evaporitica (formazione gessoso-solfifera).

E' opportuno notare esplicitamente che la classifica innanzi riportata non è una classifica di tutte le rocce sciolte a grana media e grossa, che possono rinvenirsi in Sicilia, ma comprende solo quei tipi di materiali, di cui si descrivono le proprietà nella presente nota.

Si osservi che tutte le rocce considerate sono rocce esogene (sedimentarie) di origine meccanica (rocce clastiche) ad eccezione delle sabbie E di origine vulcanica e dei calcari G, che possono considerarsi rocce sciolte di origine metamorfica⁽²⁾.

Si noti infine che, nella presente comunicazione, dei materiali innanzi elencati, salvo esplicito avvertimento, si considerano solo quelle proprietà, che risultano al di fuori della sede o ambiente naturale.

3 - Composizione granulometrica e proprietà caratteristiche

Con riferimento alla Fig. 1 si descrivono alcuni materiali caratteristici di ciascun gruppo.

Gruppo A - I materiali A1 sono alluvioni del T. Mela, tipica fiumara del Messinese proveniente da un bacino in cui prevalgono i terreni della serie scistosocristallina.

Essi sono costituiti da ghiaia sabbiosa con qualche blocco, quasi priva di grani con dimensioni inferiori a 0,01 mm circa.

La curva granulometrica si presenta molto continua, nel senso che tutte le frazioni comprese tra i diametri 0,01 ÷ 200 mm circa sono ben rappresentate.

Il coefficiente di uniformità U di 44 campioni prelevati lungo l'alveo in un tratto della lunghezza di 10 Km, nelle vicinanze di S. Lucia del Mela, varia tra 12 e 80 con valore medio 43.

In dipendenza delle variabili caratteristiche dei terreni del bacino, i grani sono costituiti da elementi litologicamente diversi; essi hanno spigoli arrotondati e forma spesso appiattita.

Le alluvioni A2 del F. Magazzolo a Castello sono anche costituite da ghiaia con grani di forma prevalentemente arrotondata.

Tuttavia, le curve granulometriche presentano una leggera discontinuità nel tratto compreso fra i diametri 5 ÷ 20 mm circa. Ciò fa ritenere che il materiale possa essere costituito qui da una mescolanza di alluvioni trasportate da affluenti con regimi diversi.

Gruppo B - I materiali di questo gruppo differiscono dai precedenti per la presenza di una certa frazione limosa.

Si riportano gli esempi delle alluvioni recenti B1 del Fosso della Collura a P.te Collura e delle alluvioni terrazzate B2 del tirreniano in contrada Margi (Fastaia), in provincia di Trapani.

Le alluvioni B2 sono caratterizzate dalla quasi

assenza della frazione sabbiosa, per cui presentano un coefficiente di uniformità dell'ordine di 25×10^3 .

Gruppo C - Si sono classificati in questo gruppo i detriti di falda, costituiti da frammenti grossolani di rocce lapidee, mescolati a sabbia ed a limo.

Negli esempi, che si riportano, la frazione grossolana è costituita da rocce calcaree di vari tipi: calcari e calcari marnosi del mesozoico, come il materiale C1 del Guadalami ed il detrito C2 della Montagna Grande di Calatafimi, oppure calcari della serie

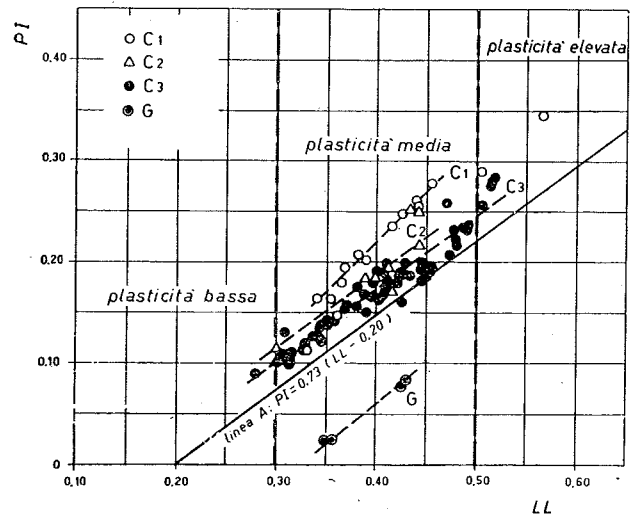


Fig. 2 - Plasticità dei materiali dei gruppi C e G.

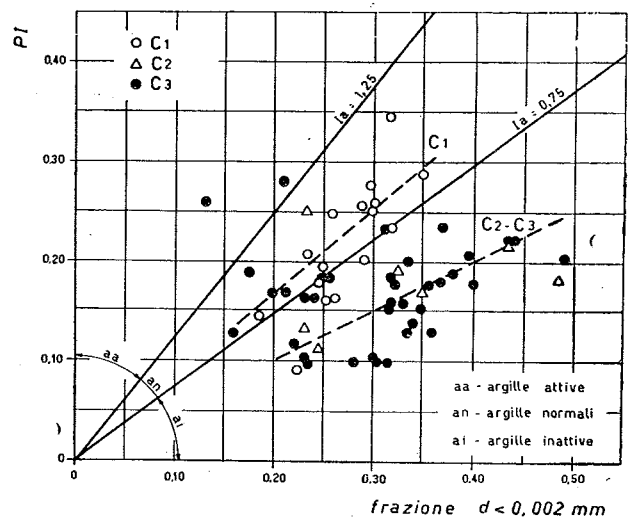


Fig. 3 - Attività dei materiali del gruppo C.

evaporitica, come il materiale C3 del Comunelli in prossimità di Butera.

La frazione sabbia è a volte molto scarsa, come per i materiali C1 e C2, tal'altra ben rappresentata come per il C3.

Il limo è sempre presente in misura tale da conferire alla frazione < 0,40 mm un'accentuata plasticità.

Infatti, sulla carta di plasticità (v. Fig. 2) i tre materiali menzionati ricadono nel campo della pla-

⁽²⁾ I calcari evaporitici devono considerarsi dal punto di vista tecnico come delle rocce sciolte, in quanto essi si presentano quasi sempre minutamente fratturati e milonizzati.

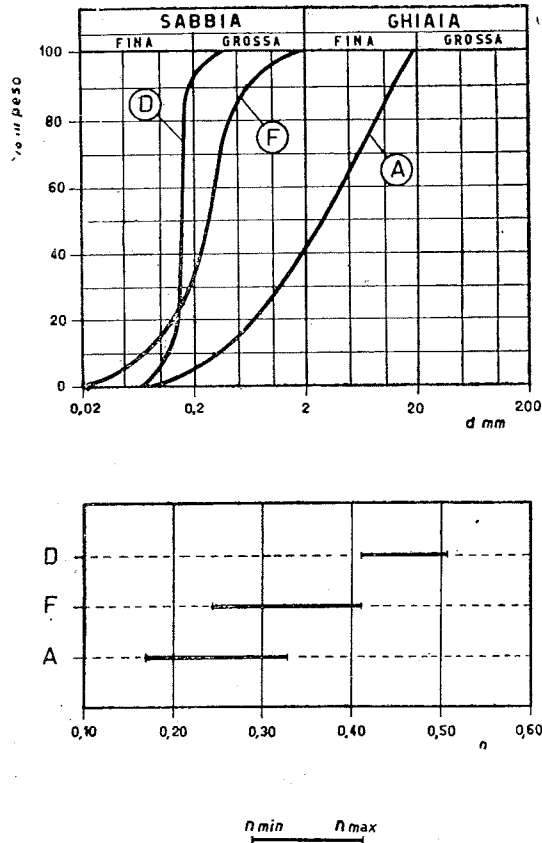


Fig. 4 - Influenza della composizione granulometrica sui valori minimo e massimo della porosità.

sticità media lungo rette approssimativamente parallele alla linea A di CASAGRANDE. A parità del limite di liquidità LL i valori più alti dell'indice di plasticità PI sono quelli del materiale C1.

Sulla carta di attività (v. Fig. 3) quest'ultimo materiale ricade nel campo delle argille normali, mentre i materiali C2 e C3 risultano costituiti prevalentemente da minerali argillosi inattivi.

Gruppo D - Tra i depositi di litorale si riportano come esempio le sabbie D1 di Gela, D2 di Pozzallo e quelle D3 costituenti la barra fociale del F. Simeto.

Si tratta di sabbie di media granulometria con valori particolarmente ridotti del coefficiente di uniformità.

Gruppo E - La sabbia di Nicolosi è una tipica sabbia vulcanica (scoria vetrosa), la cui granulometria si estende anche nel campo della ghiaia.

Il peso specifico di questa sabbia è eccezionalmente basso ($\gamma_s = 1,45$ ton/mc). I granelli sono molto fragili.

Gruppo F - Si sono classificate in questo gruppo le sabbie che derivano dalla disgregazione di formazioni di arenarie di varie età: mioceniche sono le sabbie F1 (Marineo) e plioceniche le sabbie F2 (Butera) a grana leggermente più grossa delle prime.

Le sabbie di questo gruppo sono in media meno uniformi di quelle del gruppo D.

Gruppo G - Sono i calcari della serie gessoso-solfifera.

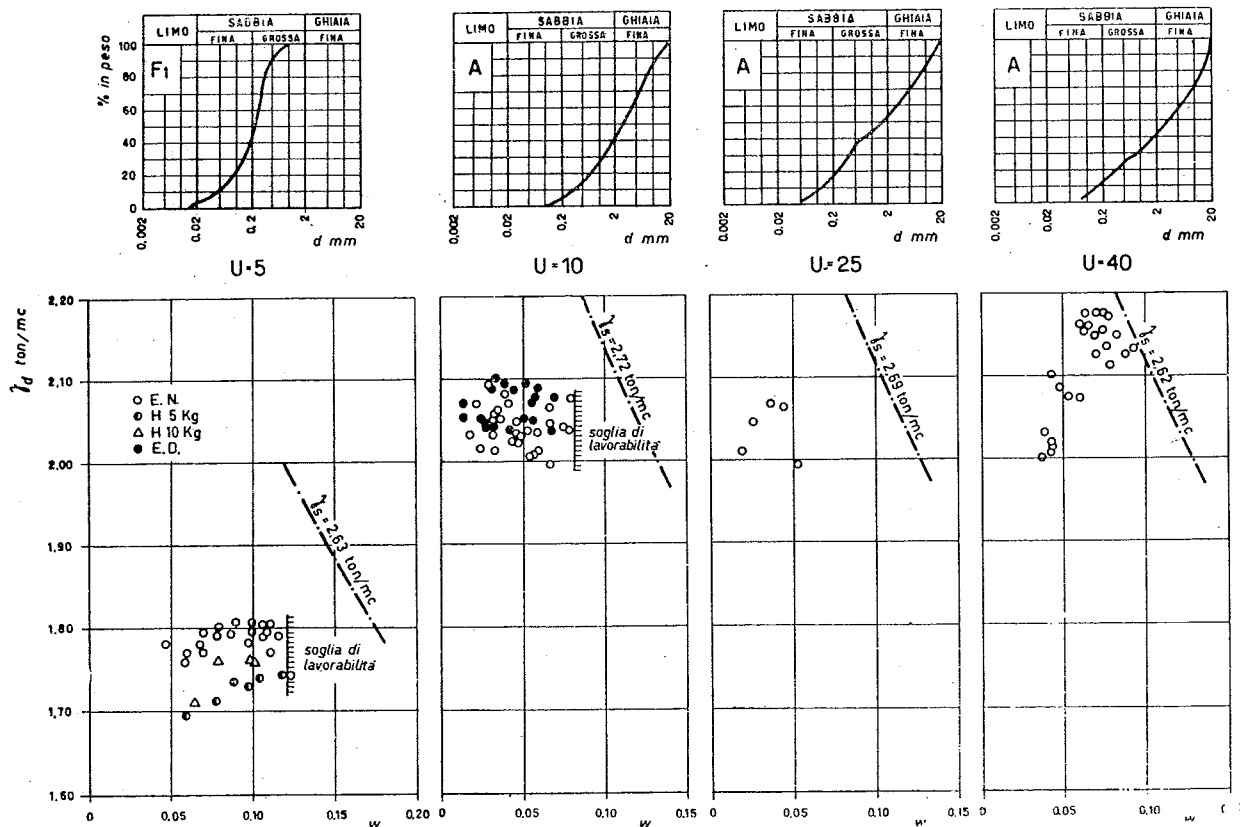


Fig. 5 - Influenza della composizione granulometrica sulle caratteristiche di costipamento di materiali incoerenti dei gruppi A e F.

Le curve tracciate in Fig. 1 si riferiscono al materiale proveniente dal M. Moddemesi (Butera) e sono state rilevate dopo cavatura con esplosivo.

Ad esclusione di pochi frammenti più resistenti, il materiale si frantuma facilmente per il solo passaggio dei mezzi di costipamento.

La frazione sottile è talvolta leggermente plastica; i punti rappresentativi del materiale sulla carta di plasticità ricadono al di sotto della linea A di CASA-GRANDE (v. Fig. 2).

4 - Caratteristiche di costipamento

Di alcuni campioni caratteristici dei gruppi A, D e F sono stati misurati i valori minimo e massimo

Il coefficiente di uniformità U esercita la sua influenza anche sui rapporti che esistono tra il contenuto d'acqua di costipamento e la porosità.

Da esperienze effettuate con tecnica PROCTOR (E.N.: energia normale; E.D.: energia doppia) e HARVARD con sforzi da Kg. 5 (H. 5 Kg) e da Kg 10 (H. 10 Kg) risulta infatti, come è posto in evidenza nella Fig. 5, che l'influenza del contenuto d'acqua sulla porosità a parità di energia è trascurabile per i materiali più uniformi e si risente in misura sempre maggiore per valori crescenti del coefficiente di uniformità.

Per i valori più bassi di U ($U < 10$) anche l'influenza dell'energia di costipamento sulla porosità si avverte appena e si raggiunge un limite di lavorabilità per un grado di saturazione piuttosto ridotto.

Anche per i materiali del gruppo C si osserva una

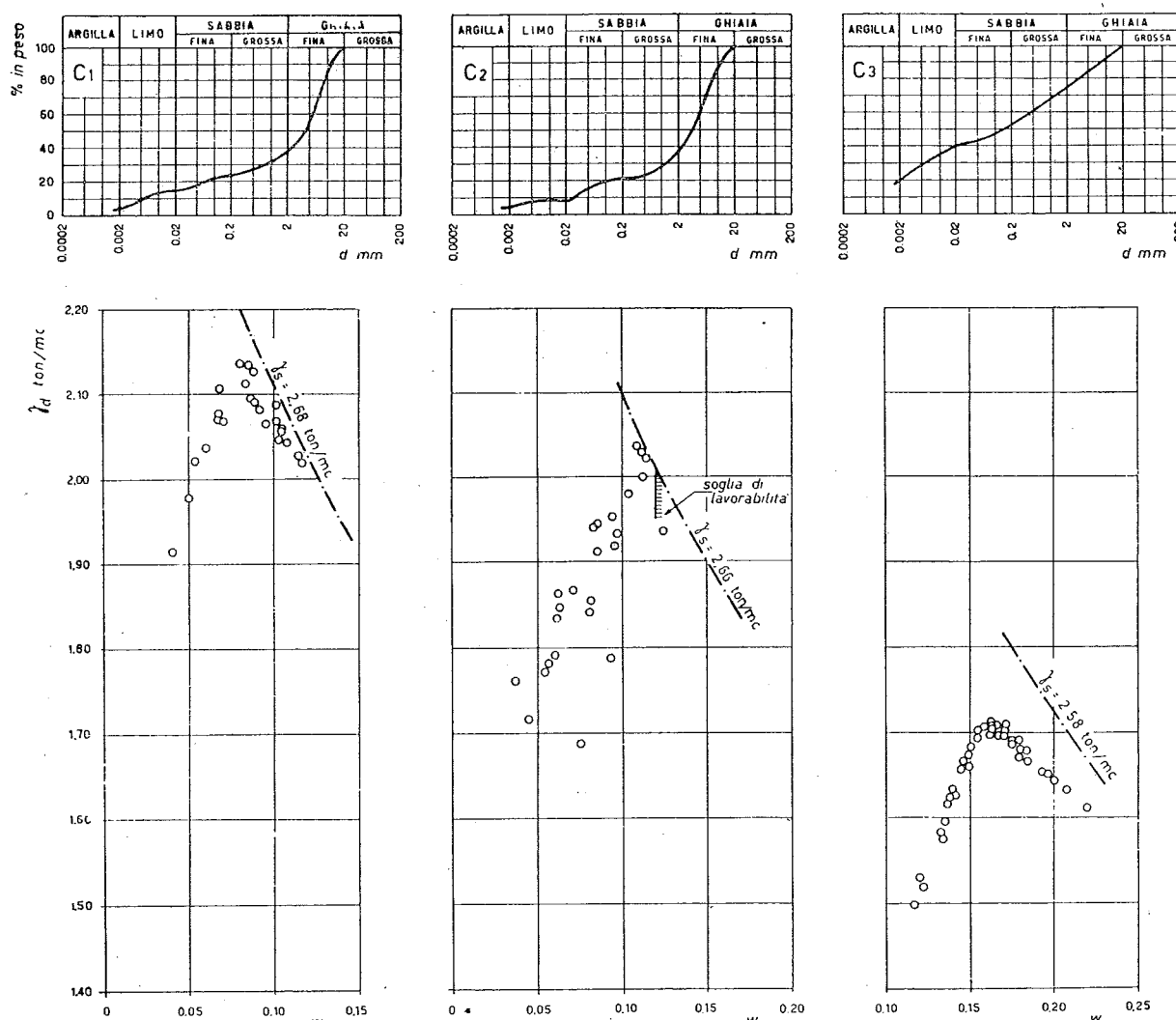


Fig. 6 - Caratteristiche di costipamento di materiali del gruppo C.

della porosità con il metodo di KOLBUSZEWSKI [2].

I risultati delle prove dimostrano (v. Fig. 4) che l'intervallo $n_{max} - n_{min}$ si riduce e si sposta verso le porosità più elevate quando si passa dai materiali meno uniformi del gruppo A a quelli più uniformi del gruppo D.

sensibile influenza della composizione granulometrica sulle caratteristiche di costipamento, come risulta chiaramente dalla Fig. 6, dove sono posti a confronto risultati di esperienze effettuate su materiali appartenenti al medesimo gruppo, ma aventi diversa composizione granulometrica.

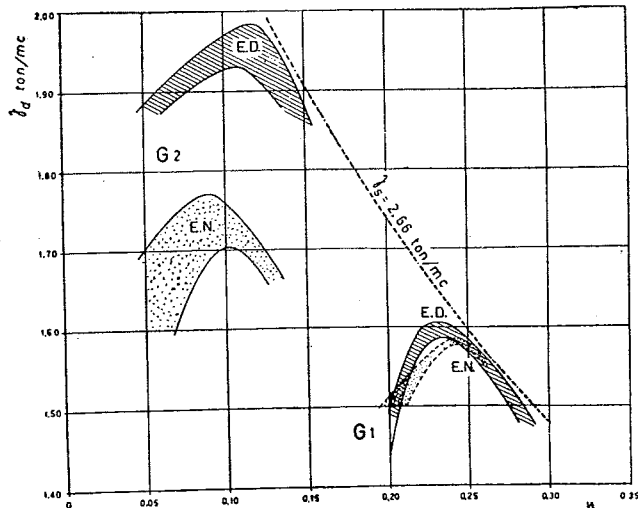
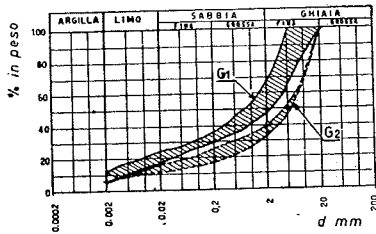


Fig. 7 - Caratteristiche di costipamento di materiali del gruppo G.

Per il gruppo G, quando la composizione granulometrica rientra nell'intervallo G1 (v. Fig. 7), il comportamento del materiale è influenzato prevalentemente dalla frazione sottile. Infatti si misurano elevati valori del contenuto d'acqua optimum e bassi

optimum si riduca a valori molto più bassi ed il peso secco dell'unità di volume cresce corrispondentemente.

La notevole influenza che l'energia di costipamento esercita in questo caso sui risultati delle prove si può attribuire alla fragilità dei singoli granelli del materiale.

5 - Caratteristiche meccaniche

Per i materiali incoerenti dei gruppi A e F' la differenza $\sigma_{1r} - \sigma_{3r}$ tra le tensioni principali a rottura, rilevate con prove di compressione triassiale su materiale asciutto, varia al variare della porosità e quindi dell'indice di addensamento D_r (v. Figg. 8 e 9). La coesione è nulla; l'angolo d'attrito cresce al crescere di D_r (v. Fig. 10).

A parità di D_r sui materiali A1 sono stati misurati valori di φ alquanto più ridotti di quelli corrispondenti a materiale asciutto di pari compattezza (v. Fig. 11).

Per i materiali del gruppo C (v. Fig. 12) il parametro principale, da cui dipende la resistenza dopo costipamento, è il contenuto d'acqua, come si rileva dalle Figg. 13, 14 e 15. Tuttavia, anche la composizione granulometrica esercita una considerevole influenza sui risultati delle prove.

Si può anzi precisare che, mentre per il materiale a grana più grossa C2, al variare del contenuto d'acqua di costipamento, varia solo il parametro φ della curva limite rilevata con prove di compressione triassiale del tipo Q, per i materiali C3, a grana più fina, variano con il predetto contenuto d'acqua entrambi i parametri c e φ .

Per le sabbie vulcaniche E si è potuto accertare

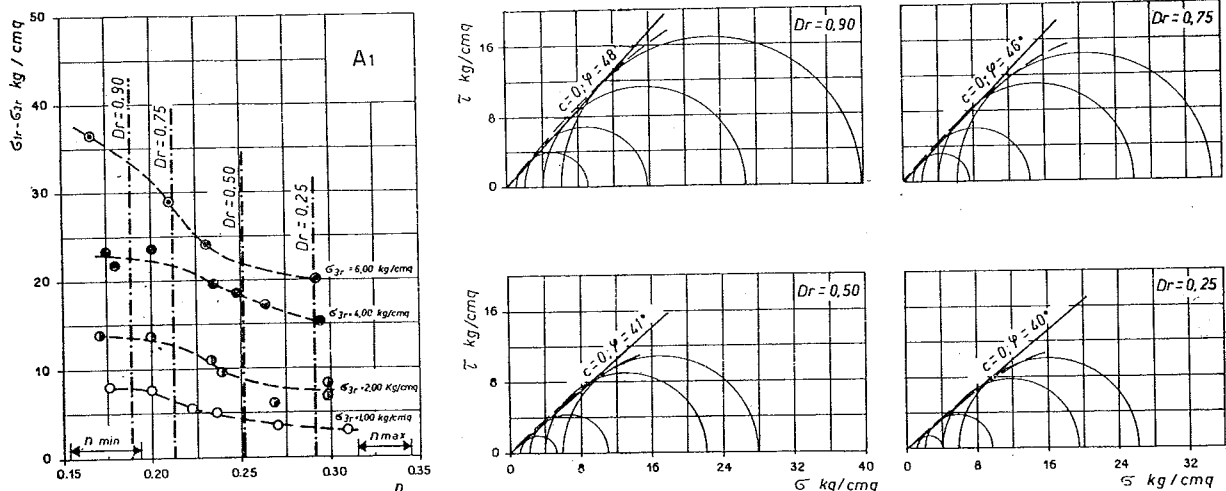


Fig. 8 - Influenza della porosità sulla resistenza al taglio dei materiali A1

valori del peso secco dell'unità di volume; inoltre, l'energia di costipamento esercita un'influenza trascurabile sui risultati delle misure.

Tuttavia, è sufficiente che la composizione granulometrica si sposti in G2, perchè il contenuto d'acqua

che, sotto l'azione dei carichi esterni, i granelli subiscono una parziale frantumazione; ciò risulta chiaramente dalla Fig. 16, dove la curva granulometrica originaria del materiale è posta a confronto con quelle rilevate dopo le prove di compressione edometrica.

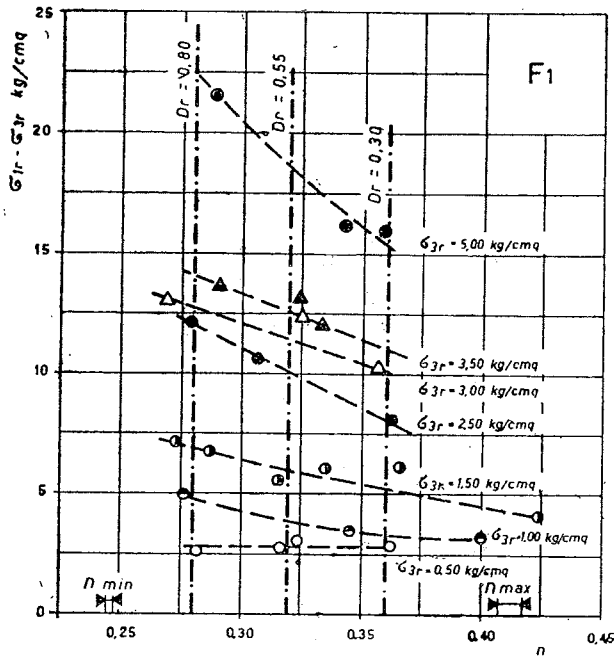


Fig. 9 - Influenza della porosità sulla resistenza al taglio dei materiali F1.

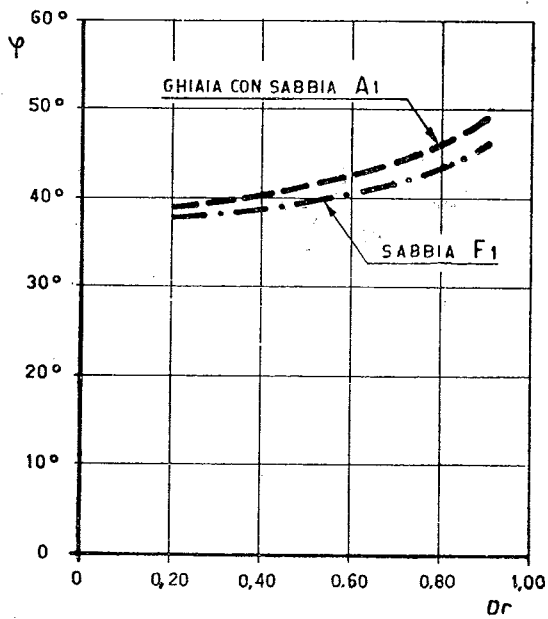
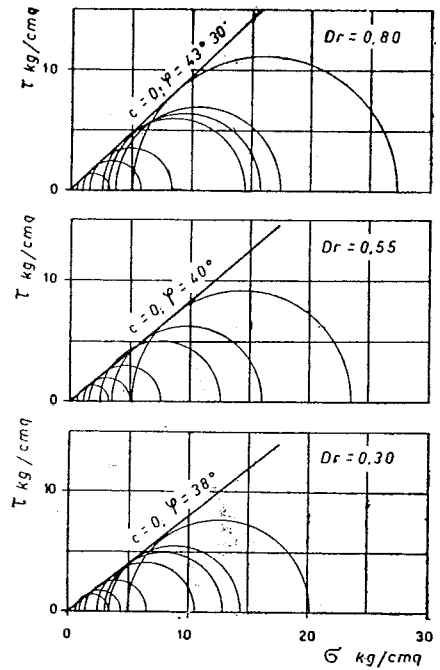


Fig. 10 - Influenza dell'indice di addensamento D_r sull'angolo di attrito φ di materiali incoerenti.

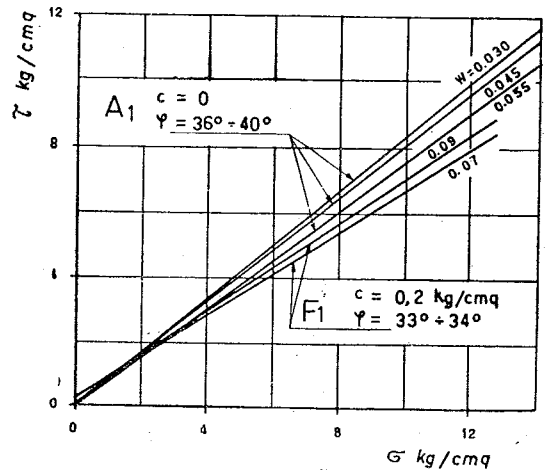


Fig. 11 - Risultati di prove di compressione triassiale del tipo $Q_w \text{ const } p$ sui materiali A1 e F1.

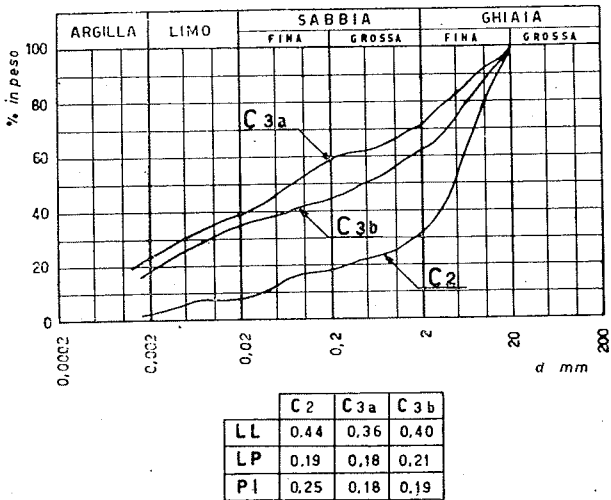


Fig. 12 - Composizione granulometrica e caratteristiche di plasticità di tre campioni del gruppo C.

Questo fenomeno si riflette sulla compressibilità, che appare eccezionalmente elevata per una sabbia.

Le curve cedimenti-tempo (v. Fig. 17) rilevate su provini dello spessore iniziale di mm 20 seguono

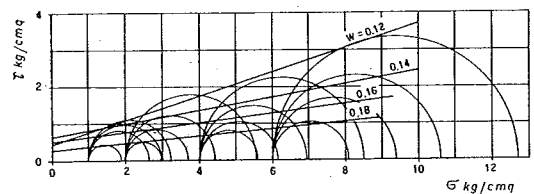
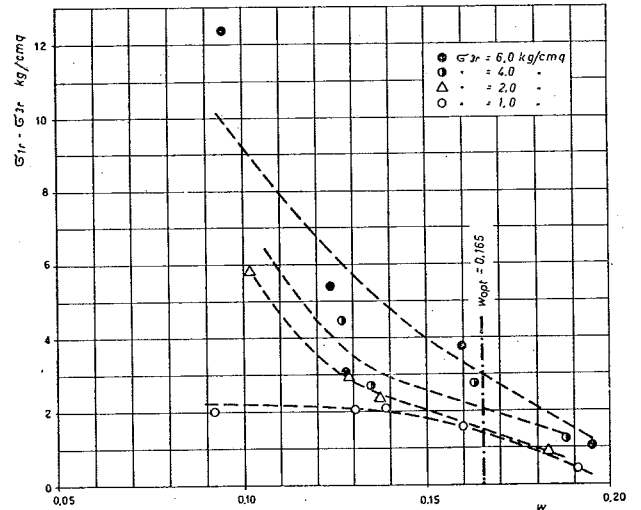
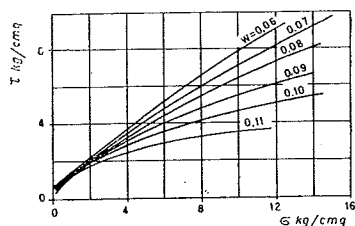
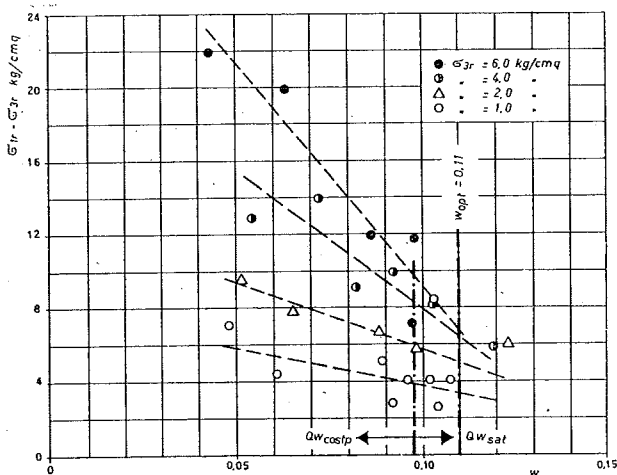
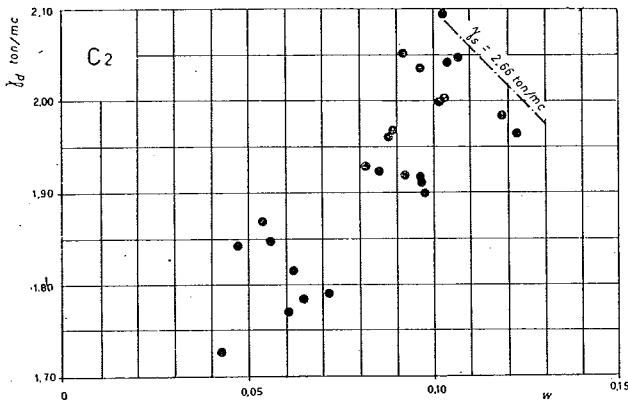
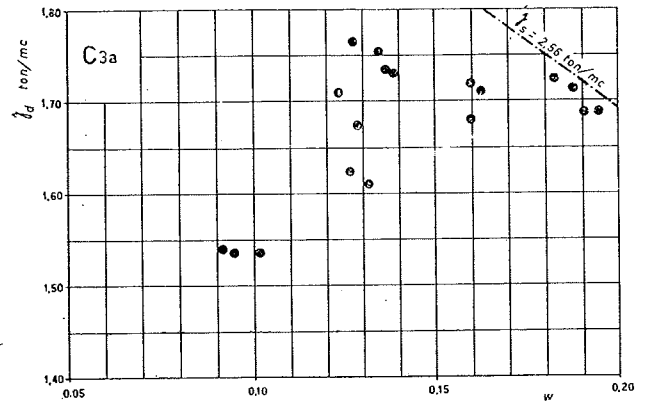


Fig. 14 - Influenza del contenuto d'acqua di costipamento sulla resistenza al taglio determinata con prove di compressione triassiale del tipo Q su materiale C3a.

all'incirca la legge

$$\Delta e = a + b \log \frac{t}{t_0}$$

già trovata dal Prof. CROCE nel 1948 per i materiali vulcanici del napoletano [1].

6 - Permeabilità

Per le sabbie D, E, e F il coefficiente di permeabilità k risulta essenzialmente funzione della porosità.

Fig. 13 - Influenza del contenuto d'acqua di costipamento sulla resistenza al taglio determinata con prove di compressione triassiale del tipo Q su materiale C2.

Le esperienze sono state compiute su campioni dei materiali *F1* e *E*.

Per il materiale *F1* è stato esplorato tutto l'intervallo $e_{max} - e_{min}$ dell'indice di porosità e si è trovato che la dipendenza di k da e in coordinate semilogaritmiche è all'incirca lineare, come risulta dalla Fig. 18.

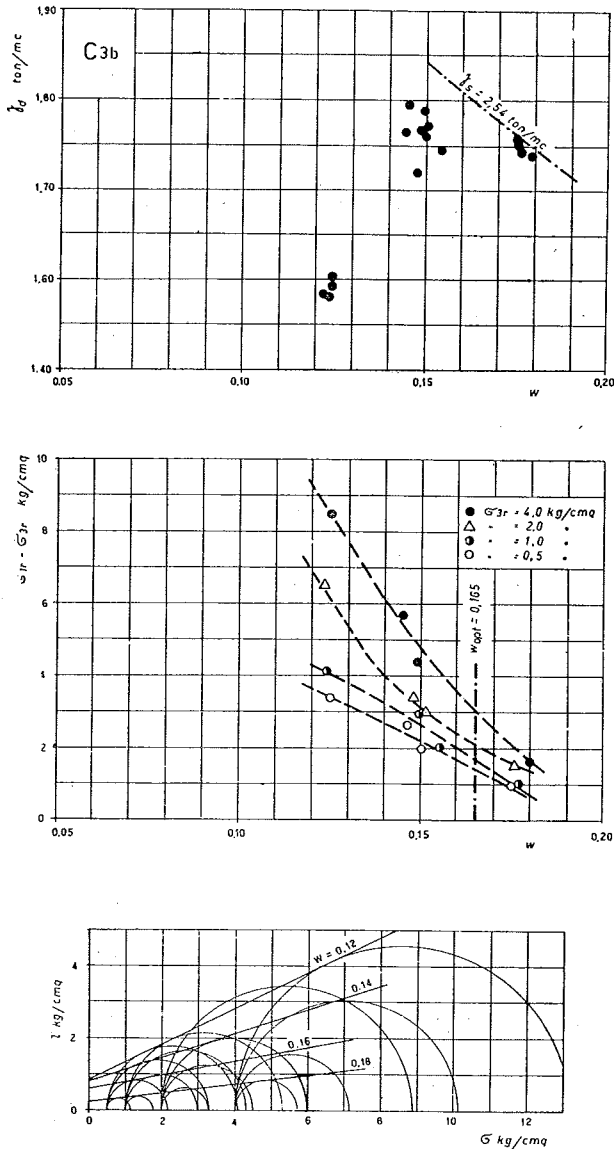


Fig. 15 - Influenza del contenuto d'acqua di costipamento sulla resistenza al taglio determinata con prove di compressione triassiale del tipo Q su materiale C3b.

Nella medesima figura sono rappresentati per il materiale *E* i valori di k in funzione dell'indice di porosità rilevati nel corso di prove di compressione edometrica per valori crescenti del carico applicato.

Il singolare comportamento di questo materiale e le ampie variazioni di k in funzione di e sono da porsi in relazione con il fenomeno della rottura dei singoli granelli, di cui si è già scritto nel precedente paragrafo.

Per gli altri materiali la permeabilità dipende, in generale, dalla posizione del punto rappresentativo del provino nel diagramma di costipamento.

Per i materiali *A* le variazioni di k sono molto ampie; se i valori misurati vengono posti in diagramma in funzione del grado di saturazione iniziale S si osserva che, al crescere di quest'ultimo para-

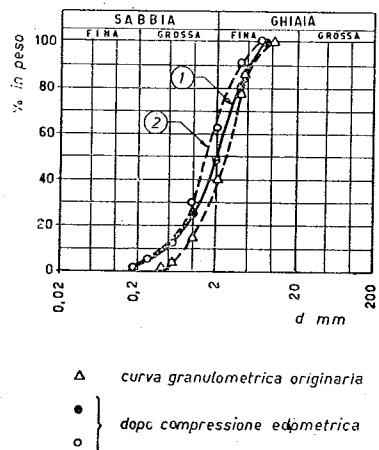
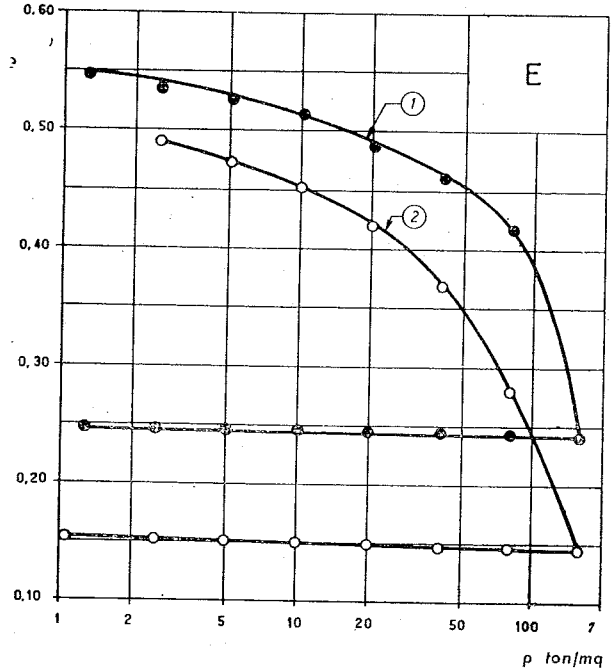


Fig. 16 - Variazioni della granulometria per effetto della compressione sulle sabbie vulcaniche E.

metro, k diminuisce sensibilmente (v. Fig. 19).

Anche per i materiali del gruppo *C* si sono rilevate variazioni molto ampie del coefficiente di permeabilità in funzione del contenuto d'acqua di costipamento; al crescere di quest'ultimo la permeabilità diminuisce notevolmente fino a ridursi a valori molto bassi per contenuti d'acqua maggiori o eguali all'optimum. Ciò risulta chiaramente dalla rappresentazione di Fig. 20, che si riferisce ai materiali *C1* e *C3*.

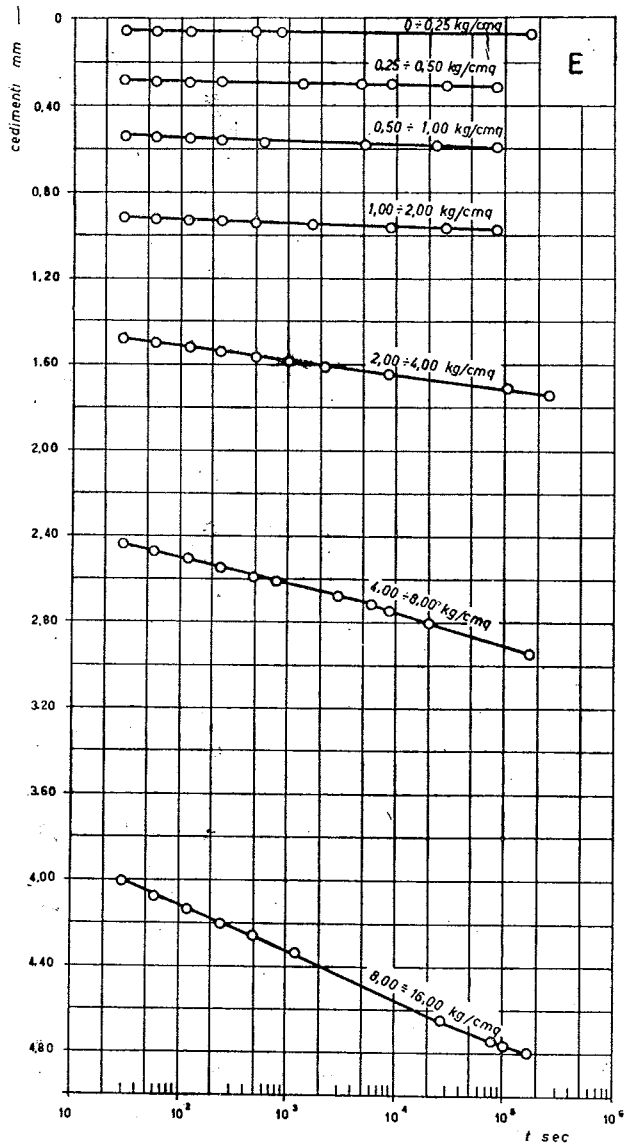


Fig. 17 - Curve cedimenti - tempo rilevate con prove di compressione edometrica sulle sabbie vulcaniche E.

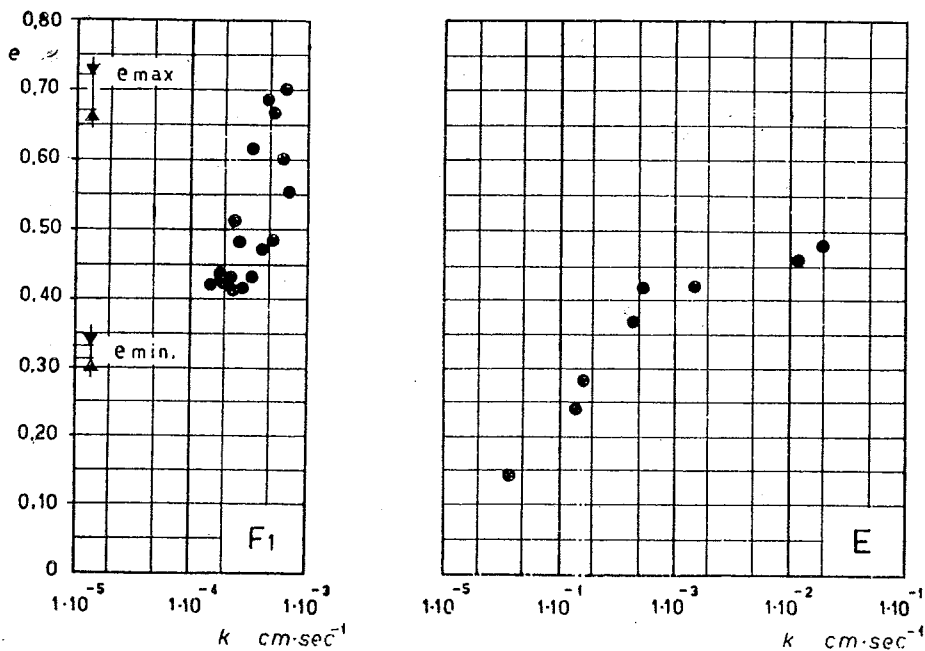


Fig. 18 - Influenza dell'indice di porosità sul coefficiente di permeabilità delle sabbie E e F1.

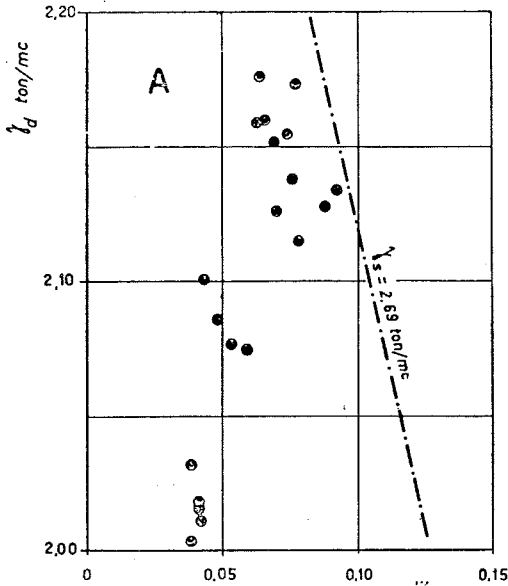


Fig. 19 - Influenza del grado di saturazione sul coefficiente di permeabilità dei materiali del gruppo A.

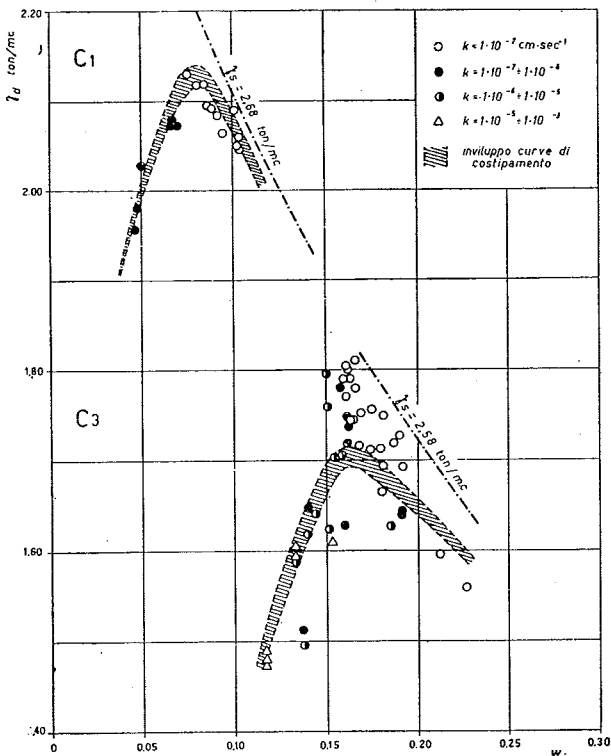
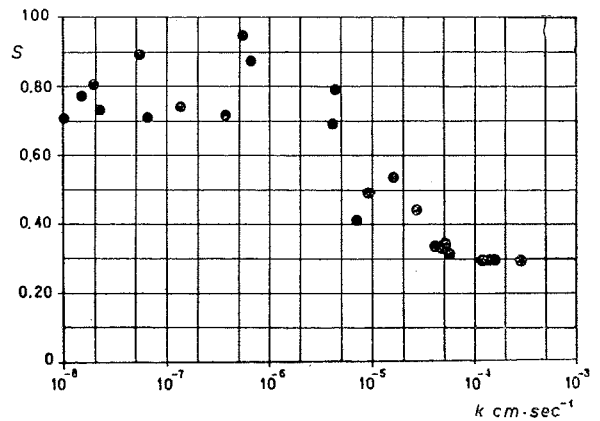


Fig. 20 - Influenza del contenuto d'acqua di costipamento sul coefficiente di permeabilità di materiali del gruppo C.

GEOTECHNICAL PROPERTIES OF TYPICAL MEDIUM AND COARSE GRAINED SOILS OF SICILY.

Summary - Laboratory experimental data on compaction, mechanical properties and permeability of typical medium and coarse grained soils of Sicily are presented.

The soils are described in view of their use as construction materials and are classified into six groups according principally to origin and grain size characteristics.

The investigated parameters vary within wide ranges of values; yet the experimental results can easily be arranged and interpreted if related to index properties such as grain size, especially through the uniformity coefficient, relative density, compaction water content and degree of saturation.

Particularly significant relationships can be established among compaction properties and uniformity coefficient as well as between shearing resistance and relative density for the coarsest soils and between resistance and water content for the finest.

It can also be recognized that permeability depends considerably on the position of the point representing the material in the compaction diagram.

PROPRIÉTÉS GÉOTECHNIQUES DE QUELQUES SOLS TYPIQUES DE LA SICILE A GRAIN GROS ET MOYEN.

Sommaire - On présente les résultats d'expériences effectuées en laboratoire sur le compactage, les propriétés mécaniques et la perméabilité de certains sols typiques à grain gros et moyen qui se retrouvent en Sicile.

Ces roches, desquelles on décrit les propriétés qui intéressent la construction des ouvrages en terre, sont classifiées en six groupes en se basant principalement sur l'origine et sur leurs caractéristiques granulométriques.

Il résulte que les paramètres qui expriment les propriétés des matériaux en étude varient entre des intervalles très amples; toutefois les résultats expérimentaux peuvent être facilement ordonnés et interprétés s'ils sont mis en rapport avec les propriétés caractéristiques, comme la composition granulométrique, surtout par le milieu du coefficient d'uniformité, la compacité relative, la teneur en eau de compactage et le degré de saturation.

Relations particulièrement significatives peuvent s'établir entre les caractéristiques de compactage et le coefficient d'uniformité, ainsi que entre la résistance au cisaillement et la compacité relative pour les matériaux plus gros et entre la résistance et la teneur en eau pour les plus fins.

On reconnaît enfin que la perméabilité dépend en mesure considérable de la position du point qui représente le matériel dans le diagramme de compactage.

Bibliografia

[1] CROCE A. - Secondary time effect in the compression of unconsolidated sediments of volcanic origin. - II Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Rotterdam, 1948.
 [2] KOLBUSZEWSKI J. J. - An experimental study of the maximum and minimum porosities of sands. - II Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Rotterdam, 1948.