

CONSIDERAZIONI SU ALCUNE SERIE DI PROVE DI TAGLIO SU SABBIA (*)

M. F. GUIDUCCI (**)

SOMMARIO - L'autore riferisce sui risultati di prove di taglio su due diversi tipi di sabbia.

Lo studio ha lo scopo di stabilire la correlazione tra le caratteristiche di addensamento delle sabbie e la resistenza di attrito.

Si descrivono le modalità usate per la preparazione dei campioni e per l'esecuzione delle prove.

I risultati sono riportati in funzione delle densità della sabbia e della pressione verticale. È stato possibile riconoscere una decisiva influenza della densità sul valore della resistenza al taglio: la densità critica è prossima a quella corrispondente allo stato sciolto.

Si è anche notata una correlazione tra la pressione verticale e la densità critica.

1 - Premessa

Nelle determinazioni della resistenza al taglio delle terre si notano spesso dispersioni dei risultati sperimentali a volte così rimarchevoli da ingenerare notevoli perplessità sulla loro interpretazione anche in relazione ai dati da introdurre nei calcoli di stabilità.

Le dispersioni possono essere spiegate dalla notevole complessità dei fenomeni che si verificano nelle terre sottoposte ad uno stato di tensione qualsiasi, ed in particolare quando vengano sottoposte alla prova di taglio, in quanto lo stato tensionale ingenera variazioni delle caratteristiche, le quali influenzano direttamente l'andamento del fenomeno.

In generale nei corpi isotropi ed omogenei l'espressione $\tau = \tau(\sigma)$ caratterizza interamente il fenomeno e classifica il materiale a mezzo della curva intrinseca che assume appunto la legge $\tau(\sigma)$.

Per la terra questa legge viene però notevolmente complicata dal fatto che le condizioni del materiale sottoposto a prova sono definibili soltanto in modo approssimato e per giunta variano sensibilmente durante lo svolgersi del fenomeno e proprio a causa di esso.

Perciò mentre in generale la curva intrinseca $[\tau = \tau(\sigma)]$ caratterizza definitivamente un materiale

omogeneo ed isotropo, per le terre non solo occorre considerare quali materiali diversi terreni della stessa natura ma in diverse condizioni di addensamento e di umidità, ma occorre anche tenere conto delle diverse modalità di sviluppo del fenomeno (in altre parole del diverso svolgimento della prova).

Per i mezzi incoerenti, ed in particolare per le sabbie, non ci si dovrebbero attendere grandi dispersioni dei risultati sperimentali al variare delle condizioni di umidità del campione poiché la legge $\tau = \sigma \tan \varphi$ non viene influenzata (almeno nel campo più corrente delle esperienze) dalla fase liquida, in quanto l'elevato coefficiente di permeabilità non consente il formarsi di apprezzabili pressioni interstiziali.

Per lo stesso motivo non ha molta importanza la velocità di prova, ossia la velocità di deformazione.

Si nota invece che sui risultati delle prove influisce l'altro parametro che caratterizza le condizioni del materiale; e cioè la densità.

È noto infatti che in un mezzo incoerente al variare della densità variano le condizioni di mutuo incastro delle particelle, per cui all'applicazione delle forze esterne (verticali e tangenziali) si hanno reazioni di diversa entità sia in funzione delle forze, che per effetto delle condizioni di incastro dei granuli (rappresentate appunto dalla densità del materiale).

Quindi nei riguardi della resistenza tangenziale si può arrivare alla definizione di una densità critica: intendendosi come tale quella che costituisca l'elemento di separazione tra due diversi tipi di comportamento del materiale durante la prova.

(*) Comunicazione presentata al VI Convegno di Geotecnica (Pisa, 9 aprile 1963). A questo lavoro ha contribuito con la sua preziosa opera l'Ing. Giovanni CALABRESI del Laboratorio di Meccanica delle Terre dello Istituto di Scienza delle Costruzioni dell'Università di Roma.

(**) Dott. Ing. Mario Fernando GUIDUCCI, Assistente presso l'Università di Roma.

Nello svolgimento di questa, infatti, se la densità iniziale del provino è inferiore alla densità critica, l'applicazione delle forze e lo svilupparsi delle deformazioni causano un fenomeno di addensamento, per cui la densità finale può essere anche sensibilmente più elevata di quella iniziale. Se la densità iniziale del provino è superiore alla densità critica, accade il fenomeno inverso; le condizioni di incastro degli elementi vengono sconvolte con dislocazione di un grano rispetto all'altro e la densità finale risulta minore di quella iniziale.

In ambedue i casi lo sforzo tagliante durante la prova non ha andamento regolare e sussiste quindi notevole incertezza circa il valore da assumere come τ di rottura per utilizzarlo nella curva intrinseca.

di taglio, e sui diversi risultati delle prove in funzione sia dei diversi gradi di costipamento dei materiali, che delle diverse pressioni verticali.

I materiali usati per le prove sono due sabbie di caratteristiche ed omogeneità costantemente controllate: la prima è una sabbia di fiume con assortimento granulometrico compreso fra 1 e 0,1 mm avente le seguenti caratteristiche:

$$D_{60} = 0,35 \text{ mm}; D_{10} = 0,14 \text{ mm}; U = 2,5$$

che chiameremo sabbia L_3 .

La prova di costipamento AASHO mod. fornisce, per il corrispondente costipamento, una densità secca

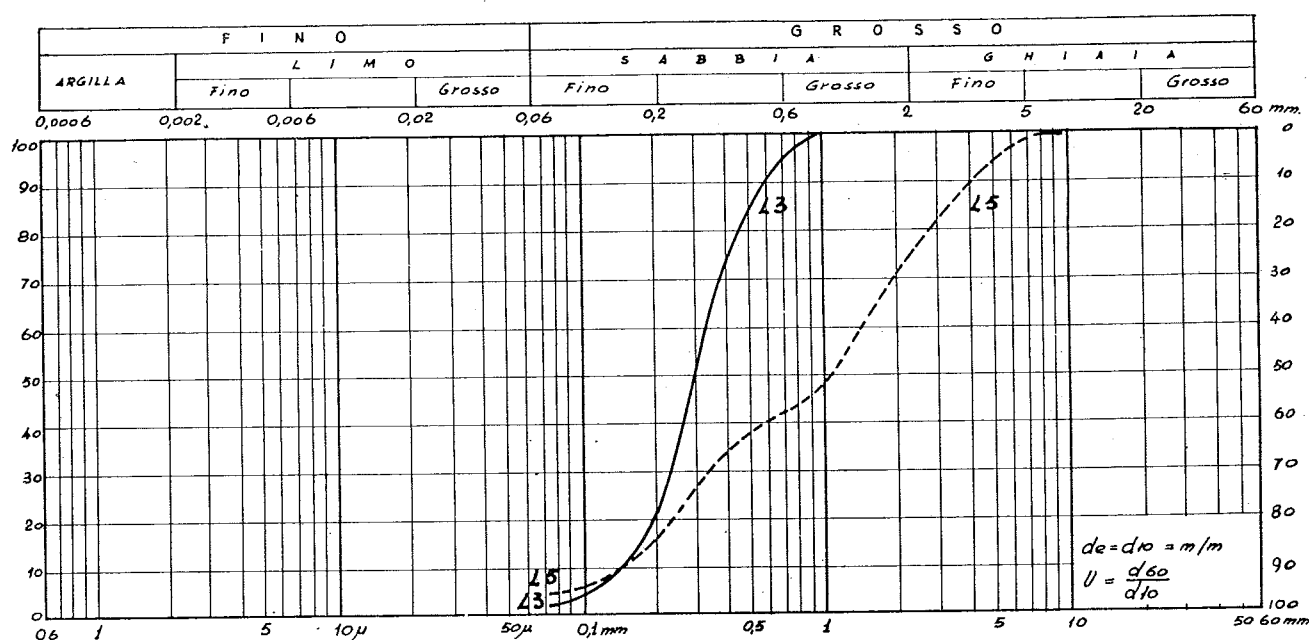


Fig. 1

Pertanto la densità critica può essere definita come stato di equilibrio, raggiunto il quale la deformazione prosegue senza variazione di volume.

Scopo di questa nota è quello di mostrare, attraverso alcuni dati sperimentali, la possibilità di individuare per due tipi di sabbie la « densità critica » sopra definita e di porre in evidenza che la stessa « densità critica » non è univocamente determinabile, poiché dipende dall'entità delle pressioni verticali usate nella prova.

2 - Risultati sperimentali

Vengono esposti i risultati di alcune serie di prove di taglio eseguite con apparecchio di taglio diretto (tipo CASAGRANDE), e con apparecchio a velocità controllata (apparecchio di costruzione CLOCKHOUSE).

Si riferisce sulle caratteristiche di due tipi di sabbie, sulle modalità di costipamento entro le scatole

massima di 1,69 g/cm³ in corrispondenza dell'umidità ottima del 6,50%.

Il secondo materiale, che chiameremo sabbia L_5 , è invece di assortimento granulometrico compreso all'incirca tra 5 mm e 0,1 mm con le seguenti caratteristiche:

$$D_{60} = 1,5 \text{ mm}; D_{10} = 0,15 \text{ mm}; U = 10$$

I risultati della prova di costipamento AASHO mod. sono:

$$\text{Densità secca max} = 1,91 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Umidità ottima} = 9,0\%$$

Le curve granulometriche dei due materiali risultano della Figura 1.

Il costipamento entro le scatole di taglio 6×6 cm non poteva ovviamente essere eseguito mediante la attrezzatura AASHO: si è allora impiegata una speciale attrezzatura battente appositamente costruita;

la densità risulta quindi o da misura diretta, o da apposite curve di taratura che sono riportate nella Figura 2. In tale figura è anche indicato, con linea tratteggiata, la variazione di densità per effetto della pressione verticale.

Queste sono state costruite con umidità corrispondente a quella ottima della prova AASHO.

Si è notato che la sabbia L_3 , quasi monogranulare, risente scarsamente della variazione della energia costipante e non raggiunge la massima densità della prova AASHO mod. neppure con un elevatissimo numero di colpi. La sabbia L_5 invece raggiunge e supera anche tale limite mostrando una maggiore sensibilità nei riguardi della energia di costipamento.

Scopo della ricerca era quello di individuare la rela-

zioni e le deformazioni orizzontali e verticali: si è indicato con τ_R la massima tensione tangenziale e con τ_5 la tensione tangenziale al limite delle deformazioni (assunte convenzionalmente pari a 5 mm) si sono indicati inoltre con δ_R e δ_5 i corrispondenti assestamenti (o rigonfiamenti) del campione.

Nelle figure 3-4-5-6 sono riportati i grafici delle determinazioni sperimentali.

Dall'esame dei grafici si può notare:

- 1) il valore della τ_R cresce sensibilmente col crescere della densità iniziale.
- 2) Il valore della τ_5 risulta invece scarsamente sensibile rispetto alla stessa e pur denunciando una

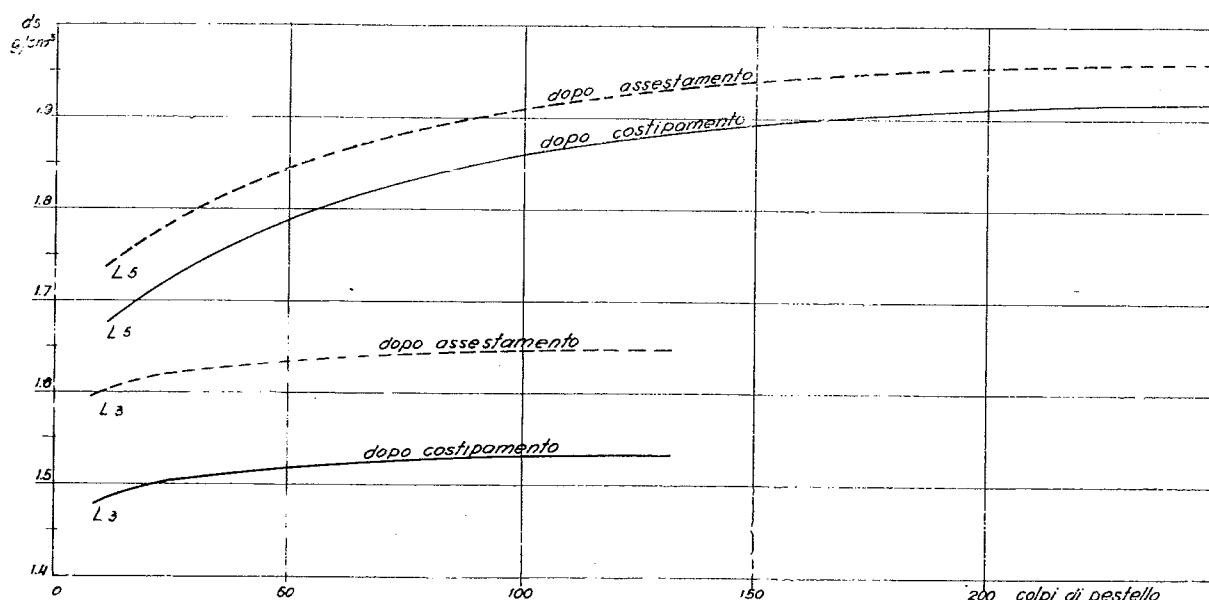


Fig. 2

zione tra densità critica e resistenza di taglio sia in funzione della densità risultante dal costipamento, che in funzione della pressione verticale.

Nelle prove eseguite con velocità di taglio pari a 0,165 mm/minuto, sono stati misurati la tensione tangenziale, gli spostamenti orizzontali e gli assestamenti del campione durante la prova.

Si è inoltre misurato il valore della densità (secca) sia all'inizio della prova che al termine.

Si può ritenere che gli assestamenti del campione durante la prova indichino mediamente la variazione di densità nel corso della prova stessa.

Per la sabbia L_3 sono state eseguite le prove costipando il campione con 4 diverse energie costipanti: la prima è quella corrispondente a 5 colpi di pestello, la seconda a 20 colpi, la terza a 50 colpi e la quarta a 100 colpi.

Nelle prove si sono misurate le tensioni tangen-

tendenza a crescere con questa, risulta dipendere praticamente dalla sola pressione verticale.

3) L'andamento degli abbassamenti del campione durante la prova conferma lo stretto legame esistente tra densità e resistenza tangenziale: alle maggiori densità iniziali fanno riscontro i maggiori rigonfiamenti a fine prova, mentre, in corrispondenza della tensione massima, la deformazione verticale risulta minima.

In relazione alla densità critica si può osservare che i risultati dimostrano che le prove sulla sabbia L_3 sono state eseguite con densità iniziale superiore alla densità critica: infatti in tutte le prove si riscontra un rigonfiamento notevole dei provini.

Il modestissimo assestamento iniziale si ritiene dovuto a imputare all'apparecchio. Le densità di prova risultano tutte inferiori alla massima della prova

AASHO, così che si può affermare che la densità critica è molto inferiore a quella che si può raggiungere con il costipamento.

Soltanto in corrispondenza del minor grado di costipamento (5 colpi) la curva delle deformazioni verticali presenta un primo tratto positivo che denuncia un assestamento ma, in corrispondenza della massima tensione tangenziale, la curva risale mostrando che si è già in fase di rigonfiamento.

Il punto della curva dei cedimenti corrispondente alla massima tensione tangenziale appare come caratteristico in quanto, in corrispondenza di detto mas-

L'andamento delle curve di attrito ($\sigma-\tau$) risulta influenzato in maniera determinante dalla densità iniziale. Per meglio evidenziare l'importanza della densità sul valore dell'angolo di attrito si sono riportate nel diagramma della Figura 7 i valori delle tangenti di φ_{max} e di φ_{min} in funzione della densità. Si può osservare come per la sabbia esaminata la tangente di φ_{max} vada da circa 0,7 ad oltre 0,90 per una variazione di densità compresa tra 1,60 ed 1,70.

Per la sabbia L_5 è stato scelto (come già detto) un materiale di granulometria più assorbita.

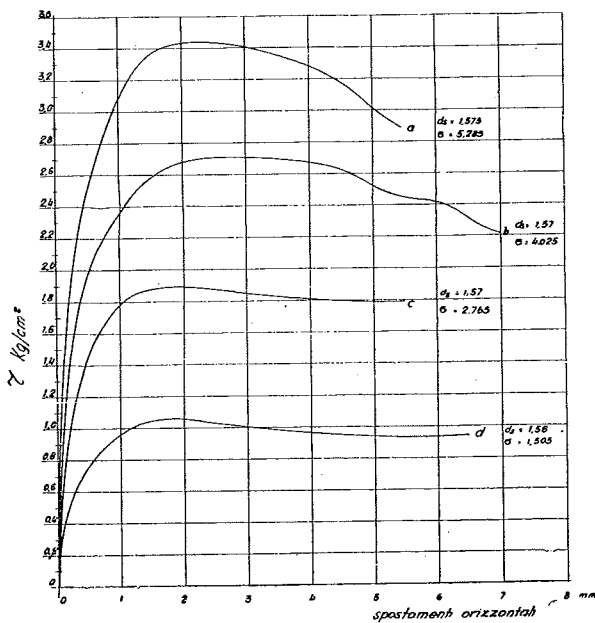
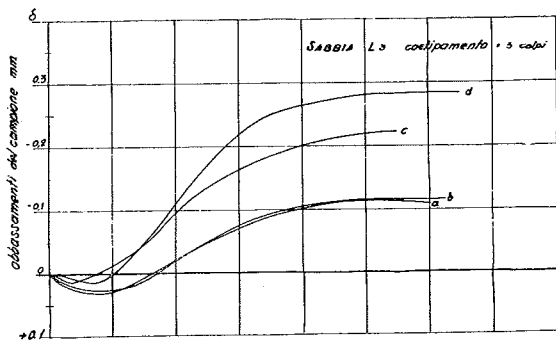


Fig. 3

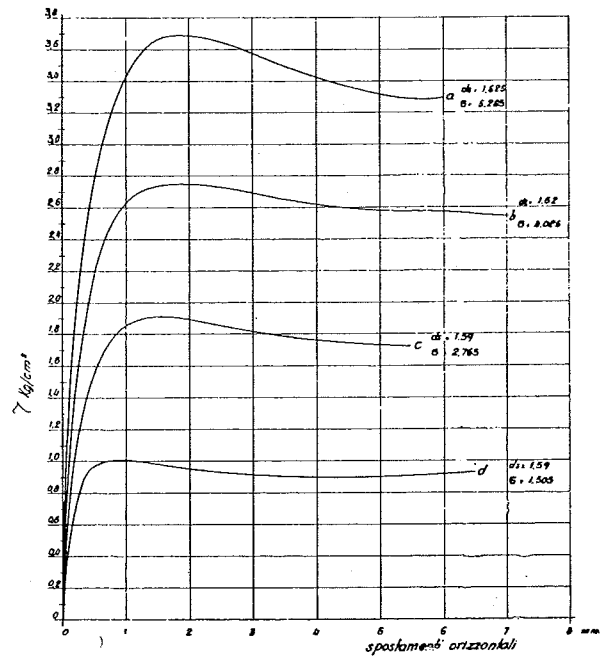
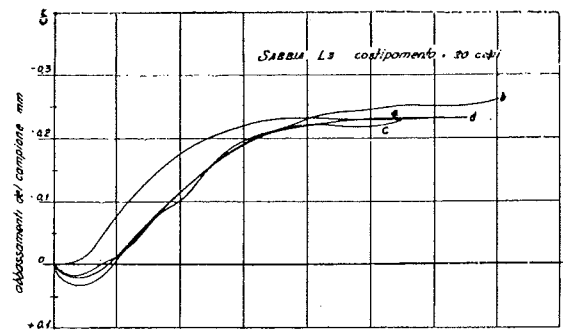


Fig. 4

simo, si nota un flesso nella curva dei cedimenti (o rigonfiamenti).

Dall'esame delle curve sperimentali si desume che a parità di densità iniziale, il rapporto τ_R/τ_5 tende a diminuire con il crescere della pressione verticale.

Resta quindi confermata l'affermazione del TAYLOR il quale nella sua nota opera accenna ad una variabilità della densità critica al variare delle condizioni di prova.

I risultati delle prove differiscono sensibilmente da quelli della sabbia L_3 . Infatti nei gruppi di prove effettuate si riscontra una maggiore e determinante influenza della densità secca iniziale e della energia costipante.

I gruppi esaminati hanno le densità iniziali corrispondenti al costipamento effettuato con 5 colpi, 17 colpi, 35 colpi, 60 colpi, 100 colpi e 250 colpi (vedere Figura 2).

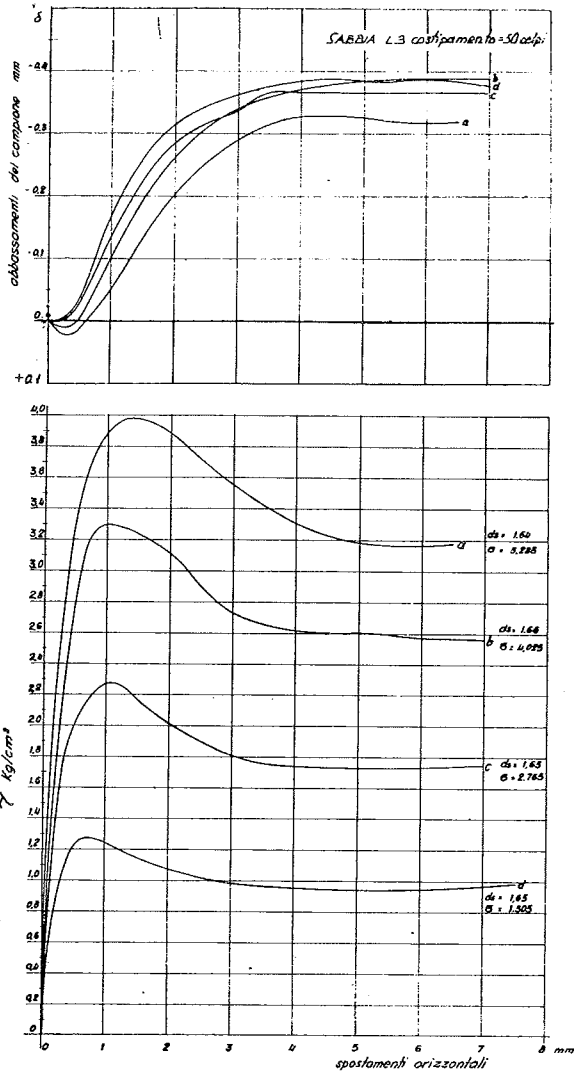


Fig. 5

E' stato inoltre eseguito un gruppo di determinazioni senza costipamento per esaminare il comportamento delle densità al disotto della critica.

Per la sabbia L_3 le caratteristiche già riscontrate per la L_3 appaiono con maggiore evidenza. La densità critica risulta comunque molto bassa e notevolmente inferiore alla massima della prova AASHO.

Dall'esame delle curve sperimentali, riportate nelle Figure 8-9-10-11-12-13-14, si desume che soltanto in assenza di costipamento si ha la netta coincidenza della tensione tangenziale massima con quella al massimo della deformazione (assunta in 5 mm convenzionalmente), il che porta il valore della densità critica verso valori della stessa molto bassi e prossimi a quelli del materiale allo stato sciolto (Fig. 8 e 9).

Si nota altresì la dipendenza della densità critica dalla pressione verticale di prova; il fenomeno risulta particolarmente evidente dalla osservazione delle curve dei cedimenti le quali scartano sensibilmente in funzione delle pressioni verticali σ , denunciando cedimenti maggiori in corso di prova in corrispondenza dei più bassi valori di σ .

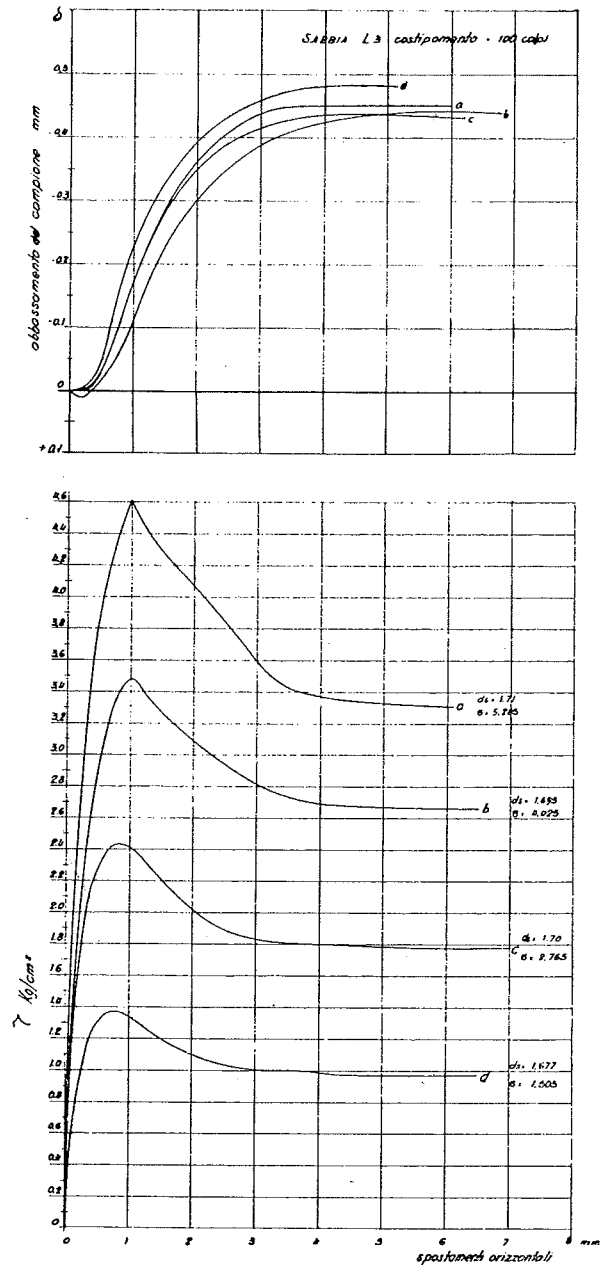


Fig. 6

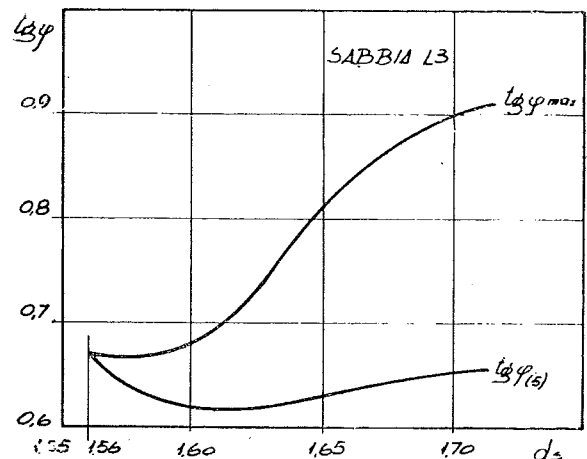


Fig. 7

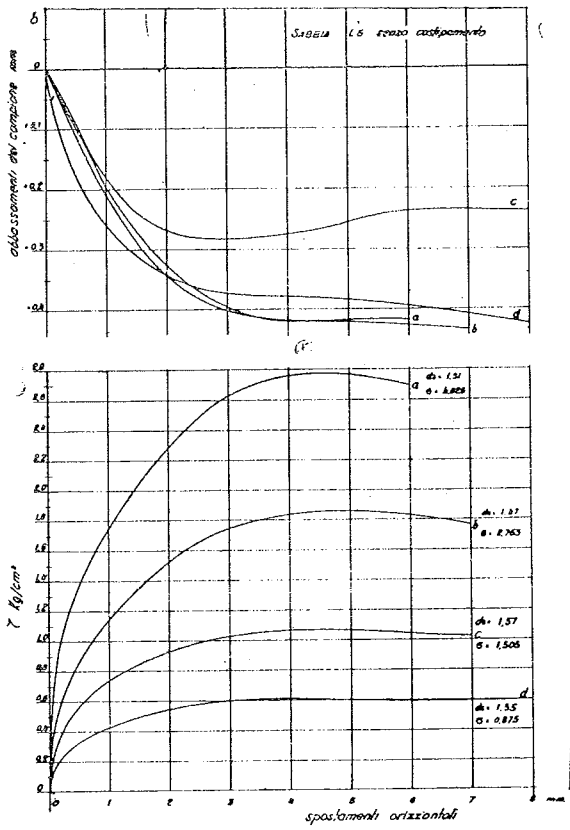


Fig. 8

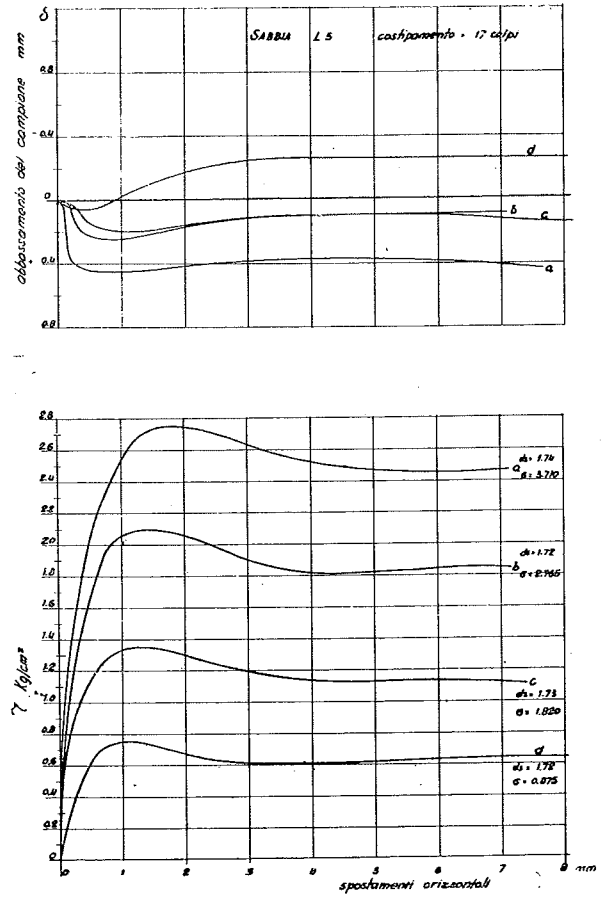


Fig. 10

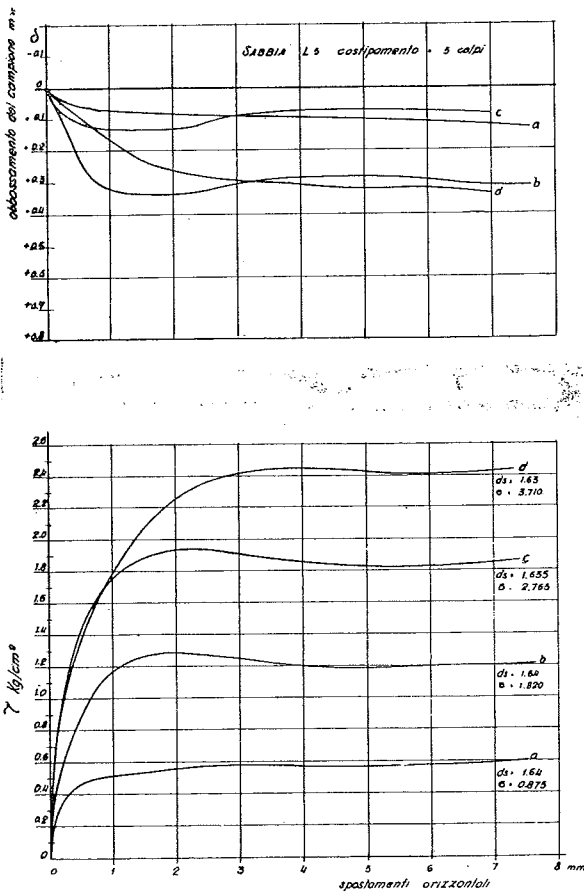


Fig. 9

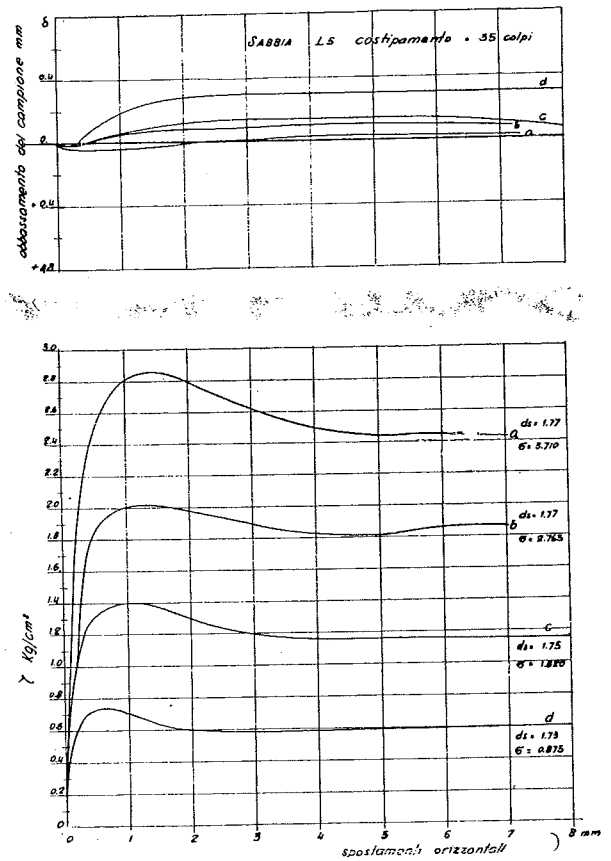


Fig. 11

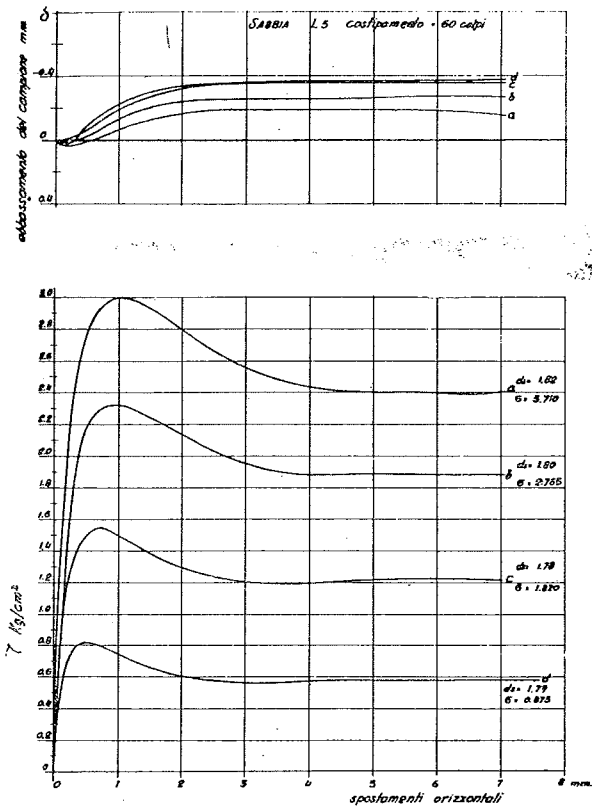


Fig. 12

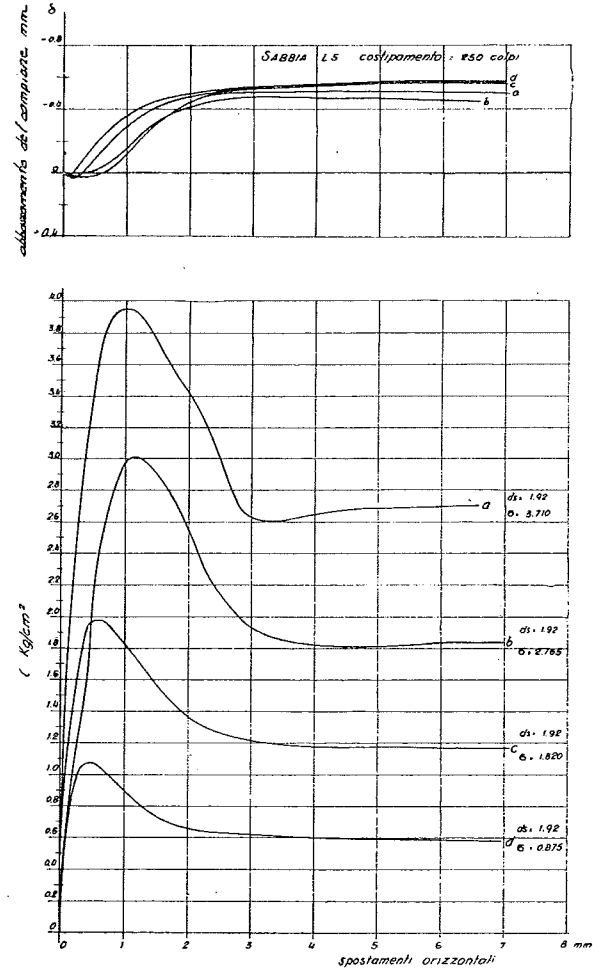


Fig. 14

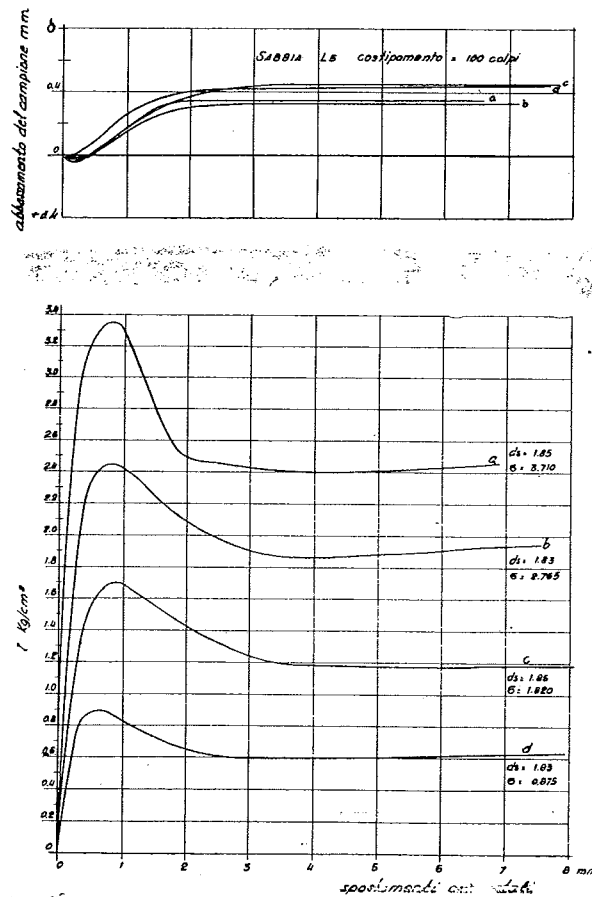


Fig. 13

Nella figura 10 si osserva così che la densità secca pari a 1,72 gr/cm³ risulterebbe maggiore della critica per $\sigma = 0,875$ Kg/cm², mentre risulterebbe inferiore per i tre carichi maggiori: questo considerando come densità critica quella corrispondente ad una deformazione verticale nulla durante tutta la prova.

L'affermazione peraltro apparirebbe in contrasto con quanto risulta dai diagrammi delle tensioni tangenziali: infatti per la già citata densità di 1,72 la τ_5 risulta notevolmente inferiore di quella massima: si sarebbe quindi già al disopra della densità critica contrariamente a quanto risulta dall'andamento delle deformazioni verticali.

Nella figura 15 è riportato in funzione della densità iniziale il valore delle tangenti degli angoli di attrito ϕ_{max} e ϕ_{min} ricavati dalle prove.

Si sono inoltre riportati nelle Figure 16 e 17 i valori del rapporto τ_R/τ_5 in funzione della densità sia per la sabbia L₃ che per la sabbia L₅.

Nelle Figure 18 e 19 lo stesso rapporto è rappresentato, per i diversi valori di densità, in funzione delle pressioni verticali.

Si nota come netta sia l'influenza della densità e come apprezzabile risulti anche l'influenza della pressione verticale.

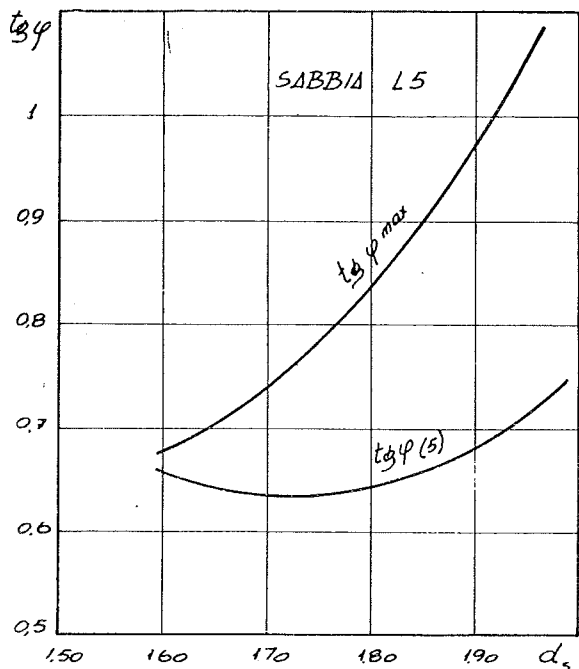


Fig. 15

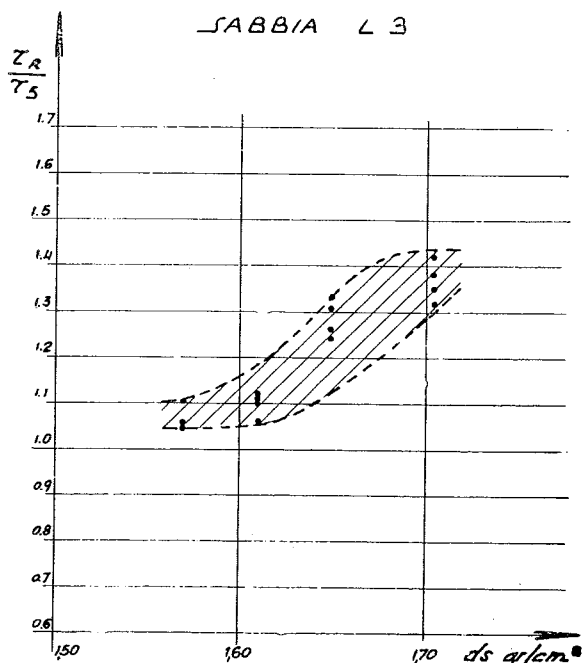


Fig. 16

3 - Conclusioni

L'esame dei grafici delle prove e di quelli dalle stesse desunti mostra quanta sia l'importanza della determinazione della densità per una corretta interpretazione della prova di taglio e per quali motivi sia consigliabile, quando non sia precisata in maniera rigorosa la densità del materiale, fare riferimento alle tensioni tangenziali finali anziché a quelle massime.

Infatti scarti minimi della densità possono portare

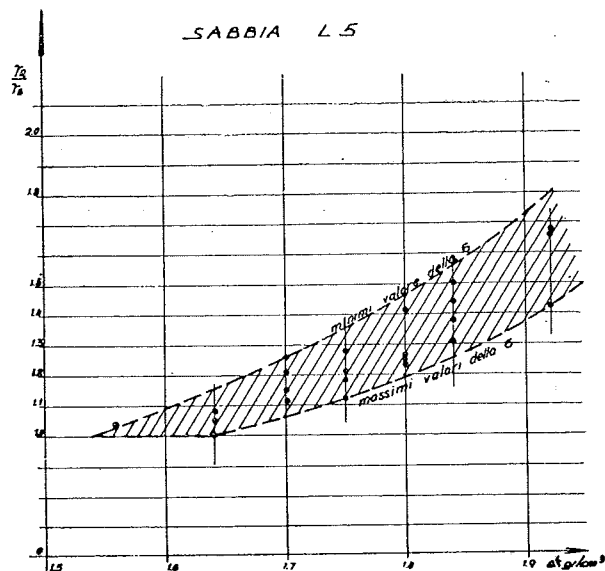


Fig. 17

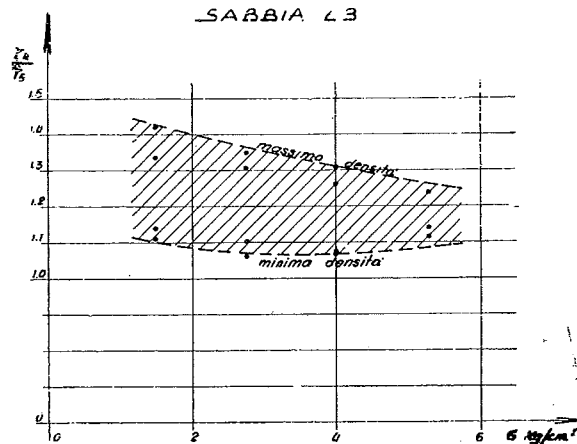


Fig. 18

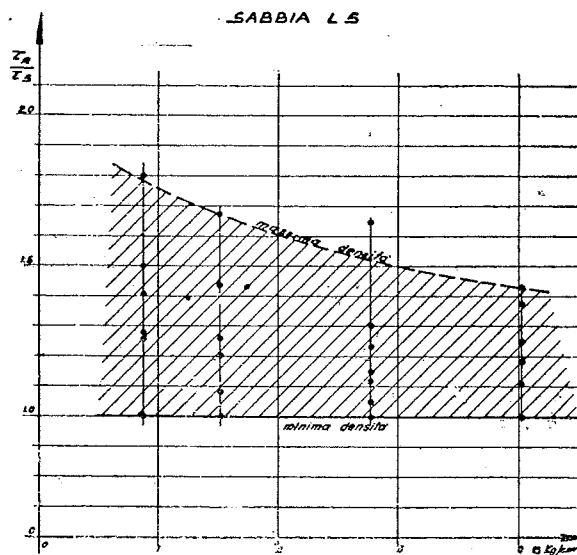


Fig. 19

a variazioni così notevoli del φ_{max} da rendere pericolosamente fallaci i risultati delle prove.

L'influenza della pressione verticale sulla densità critica è notevole seppure non determinante. Non si è tuttavia esaminato il comportamento agli alti valori della pressione: non si può escludere quindi che la influenza cresca col crescere della pressione stessa.

Il variare delle condizioni di criticità si ritiene possa essere riguardato come una delle cause che determinano l'incurvarsi della curva intrinseca la cui tangente tende a diminuire al crescere della pressione.

Nelle prove correnti di laboratorio non appare in conclusione consigliabile l'impiego di macchine di taglio a sforzo costante (del tipo a leva o simili) nelle quali è in genere possibile misurare soltanto la tensione tangenziale massima.

Solo facendo specifico riferimento alla densità di prova, in relazione alla densità critica, potranno aversi valori comparabili con quelli specifici del caso in esame:

nelle nostre esperienze si è rilevato che la densità critica sia prossima a quella del materiale allo stato sciolto, così che potrà farsi riferimento a questa in mancanza di elementi più certi.

Roma, Marzo 1963.

Bibliografia

- [1] CAQUOT et KERISEL: *Traité de Mécanique des sols.*
- [2] HABIB: *La résistance au cisaillement des sols* (A.I. T.B.T.P.).
- [3] MAYER: *Sols et Fondations.*
- [4] TAYLOR: *Fundamentals of soil mechanics.*
- [5] TERZAGHI: *Theoretical soil mechanics.*
- [6] TERZAGHI - PECK: *Soil mechanics in engineering practice.*
- [7] TSCHBOTARIOFF: *Soil mechanics, foundations and earth structures.*

CONSIDÉRATIONS SUR QUELQUES ESSAIS DE CISAILEMENT SUR SABLE

Sommaire - L'auteur rapporte les résultats d'essais de cisaillement sur deux différents types de sable.

L'étude se propose le but d'établir la corrélation entre les caractéristiques de densité des sables et la résistance par cisaillement.

On décrit les modalités employées pour la préparation des échantillons et pour l'exécution des essais.

On rapporte les résultats en fonction des densités du sable et de la pression verticale. Il a été possible de reconnaître une influence décisive de la densité sur la valeur de la résistance par cisaillement: la densité critique est proche de celle correspondante à l'état dissous.

On a aussi relevé une corrélation entre la pression verticale et la densité critique.

REMARKS ON SOME SHEARING TESTS ON SAND

Summary - Results about shear tests concerning two different types of sand are given. The relationship between the density characteristics and shear strength is studied.

The procedures used in preparing the specimens and executing the tests are described.

Results are given referring to sand density and vertical pressure. A definite influence of the density over the value of the shear strength has been determined: critical density is not far from the one corresponding to the loose state.

A relationship between vertical pressure and critical density has also been observed.