

## SULLE PROVE DI COSTIPAMENTO IN LABORATORIO (\*)

# ESSICCAMENTO DEI CAMPIONI

GIOVANNI SAPIO (\*\*)

**SOMMARIO:** Tra i vari fattori che intervengono nel determinare il comportamento di un terreno in una prova di costipamento sono da considerare le modalità con le quali si effettua l'essiccamento preliminare dei campioni.

Nella presente nota si riferisce su un'indagine sperimentale effettuata presso il Centro Geotecnico della Fondazione Politecnica del Mezzogiorno d'Italia e volta a stabilire l'influenza dell'essiccamento a seconda che venga realizzato all'aria ovvero con l'impiego della stufa.

In base ai risultati dell'indagine appare conveniente escludere nella pratica di laboratorio l'essiccamento in stufa.

In appendice sono descritte la prova di PROCTOR ed altre prove di costipamento attualmente adottate da vari laboratori.

### Premessa

E' ben nota l'importanza che le prove di laboratorio rivestono nella risoluzione dei problemi relativi al costipamento dei terreni da impiegare nella costruzione di dighe di terra, strade, piste di aeroporti, ecc.

La prova di costipamento più frequentemente adottata nei laboratori di Geotecnica è quella che prende il nome dal suo ideatore, l'ingegnere americano R. R. PROCTOR [15]. Alcuni laboratori, però, hanno via via apportato delle modifiche alla prova originaria di PROCTOR; altri hanno sviluppato e messo a punto prove di costipamento alquanto diverse. Abbiamo quindi ritenuto non inutile passare in rassegna in appendice le caratteristiche di queste differenti prove.

Qualunque sia la prova di costipamento adottata, prima della prova vera e propria, occorre procedere alla preparazione del terreno, preparazione che sostanzialmente consiste nel portare il terreno ad un certo contenuto di umidità, variabile da prova a prova. Le modalità, secondo cui viene « preparato » il terreno, non sono senza influenza sui risultati della prova di costipamento e pertanto abbiamo condotto presso il Centro Geotecnico della Fondazione Politecnica del Mezzogiorno un'indagine sperimentale, su cui riferiamo

nella presente nota ed in una nota immediatamente successiva.

Per il miglior intendimento di quanto diremo in seguito, conviene brevemente ricordare come in generale si presentano i risultati di una prova di costipamento.

Consideriamo un terreno di peso specifico  $s$  (1) e supponiamo di costiparlo con un qualsivoglia mezzo meccanico. L'esperienza dimostra che, a parità di energia e di sistema impiegati per il costipamento, si ottengono risultati differenti a seconda del contenuto di acqua  $w$ , che il terreno possiede. Misurando infatti il peso dell'unità di volume  $\gamma_s$  del provino costipato e riportandolo in diagramma in funzione del contenuto di acqua  $w$ , si ottiene una curva dalla caratteristica forma a campana (vedi fig. 1) con un ben determinato punto di massimo. Il contenuto di acqua  $w$  cui corrisponde il massimo della curva di costipamento viene denominato «  $w$  optimum » ed il relativo  $\gamma_s$  «  $\gamma_s$  optimum ».

Variando l'energia di costipamento la curva ( $\gamma_s$ ;  $w$ ) cambia e di conseguenza cambiano i valori di  $\gamma_{s,opt}$  e  $w_{opt}$ . Precisamente, aumentando l'energia, il  $\gamma_{s,opt}$  aumenta ed il  $w_{opt}$  diminuisce.

Alla curva di costipamento viene in generale accoppiata, riportandola sullo stesso diagramma (vedi fig. 1),

(\*) Questo studio rientra nel piano di indagini che il Centro Geotecnico di Napoli va attuando sotto gli auspici e con il finanziamento dell'A.N.I.D.E.L. ed ha formato oggetto di comunicazione al I Convegno Nazionale di Geotecnica (Napoli, maggio 1953).

(\*\*) Dr. Ing. Giovanni SAPIO del Centro Geotecnico della Fondazione Politecnica del Mezzogiorno d'Italia; Napoli.

(1) Con  $s$  indichiamo il peso specifico medio del materiale che costituisce i granelli. Per il peso specifico dell'acqua adottiamo il simbolo  $s_o$ . Indicheremo con  $\gamma_s$  il peso secco dell'unità di volume e cioè il rapporto fra il peso del campione, essiccato a 105-110°C, ed il volume totale (vuoti + pieni) che esso occupava inizialmente.

la « curva di saturazione », che rappresenta la relazione fra  $\gamma_s$  e  $w$  nell'ipotesi che tutti i pori siano riempiti di acqua. Tale curva è un'iperbole equilatera ed è univocamente determinata per ciascun materiale, essendo sufficiente per il suo tracciamento la sola conoscenza del valore del peso specifico  $s$  dei granelli (2).

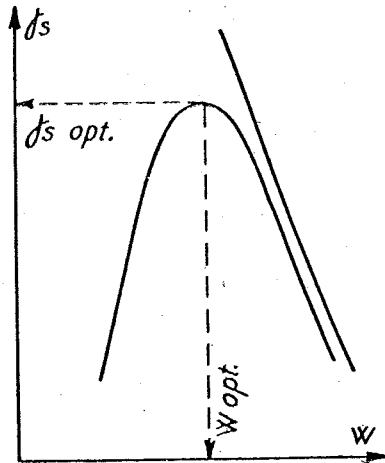


Fig. 1 - Esempio di curva di costipamento. Sulla destra è riportata la curva di saturazione.

Variando il contenuto di acqua  $w$  ed il peso secco dell'unità di volume  $\gamma_s$  del terreno, il punto rappresentativo nel diagramma ( $\gamma_s$ ,  $w$ ) si sposta, ma rimane compreso fra gli assi coordinati e la curva di saturazione, non potendo ovviamente trovarsi a destra della curva di saturazione.

In particolare al termine di una prova di costipamento, qualunque siano il contenuto di acqua del terreno, il sistema e l'energia di costipamento, rimane sempre nel campione un certo quantitativo di aria per cui la curva di costipamento (vedi fig. 1) risulta distinta dalla curva di saturazione anche nel suo ramo discendente.

Come si è detto prima, la prova più frequentemente adottata per studiare in laboratorio il costipamento dei terreni è la prova di PROCTOR [15]. Rimandando all'appendice per maggiori particolari, ricordiamo qui come il terreno viene costipato nell'apposito cilindro sotto i colpi di un pestello che cade liberamente da

(2) Posto infatti:

$P_s$  = peso del materiale secco contenuto nel campione di volume  $V$ ;

$P_a$  = peso dell'acqua contenuta nel medesimo campione, in condizioni di saturazione;

si ha:

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V} = \frac{P_s}{\frac{P_s}{s} + \frac{P_a}{s_0}} = \frac{1}{\frac{1}{s} + \frac{w}{s_0}}$$

L'equazione precedente nelle variabili  $\gamma_s$  e  $w$  rappresenta un'iperbole equilatera che ha per asintoti rispettivamente

$$\gamma_s = 0 \quad \text{e} \quad w = -\frac{s_0}{s}$$

un'altezza determinata. La prova è ripetuta per differenti valori di  $w$  impiegando sempre lo stesso campione di terreno, a cui viene aggiunta gradualmente acqua dopo ogni operazione di costipamento. Si ottengono così tante coppie di valori ( $w$ ;  $\gamma_s$ ) che permettono di costruire l'intera curva di costipamento.

Il materiale da sottoporre a prova deve essere preventivamente sminuzzato e vagliato allo staccio TYLER n. 4 si da eliminare tutti i granelli di diametro superiore a 4,7 mm circa.

### Oggetto delle indagini

Al laboratorio il materiale, per le prove perviene con un certo contenuto di acqua e, se trattasi di terreno dotato di coesione, in zolle più o meno grosse a seconda delle condizioni in cui esso trovasi in cava e del sistema di estrazione adoperato. Occorre allora provvedere ad un preventivo sminuzzamento del materiale stesso, ed alla sua vagliatura onde eliminare la frazione di diametro superiore a quello massimo consentito: 4,7 mm per la prova di PROCTOR, valori anche inferiori per altre prove (vedi appendice). Orbene, quando il terreno è incoerente non si incontrano difficoltà, qualunque sia il suo contenuto di acqua, ad eseguire lo sminuzzamento e la conseguente stacciatura. Se invece trattasi di terreni dotati di coesione, sia lo sminuzzamento che la stacciatura non possono eseguirsi se il terreno contiene una discreta percentuale di acqua. Di qui la necessità di un preventivo, parziale essiccamento con il che il materiale assume una certa consistenza ed è allora possibile separare gli elementi di maggiori dimensioni eventualmente presenti. L'essiccamento viene inoltre richiesto anche quando il contenuto di acqua del terreno in cava è piuttosto elevato — molto prossimo o addirittura superiore al  $w_{opt}$  — e ciò allo scopo di ottenere provini sufficientemente numerosi anche sul ramo di sinistra della curva di costipamento. Quest'ultimo caso può verificarsi, come è evidente, sia per terreni coerenti che per terreni incoerenti.

Eseguita la vagliatura è poi necessario realizzare, per ciascun punto della curva di costipamento, il desiderato rapporto fra l'acqua ed il materiale secco, curando la più perfetta omogeneizzazione dell'insieme.

Le modalità con cui vengono eseguite le operazioni ora descritte, operazioni che indicheremo nel loro insieme come « preparazione del campione », differiscono da laboratorio a laboratorio e per uno stesso laboratorio possono variare a seconda delle caratteristiche dei terreni da trattare.

Allo scopo di renderci conto delle differenze che possono eventualmente riscontrarsi nei risultati delle prove a seconda dei metodi adottati nella preparazione dei campioni, abbiamo effettuato un'indagine sperimentale prendendo in considerazione i tre fattori:

- essiccamento preliminare in aria o in stufa;
- grado di uniformità nella distribuzione dell'acqua;
- ripetizione dell'operazione di costipamento sullo stesso campione, dopo averne variato il contenuto di acqua.

Nella presente nota illustreremo l'indagine condotta a termine per quanto riguarda l'influenza del primo dei tre fattori ora detti.

L'apparecchiatura adottata è stata quella normale della prova di PROCTOR.

### Descrizione delle esperienze e risultati

L'essiccamento, di norma, si realizza per evaporazione all'aria. Per terreni molto fini e perciò poco permeabili una tale pratica può anche richiedere un'attesa di parecchi giorni, con notevole intralcio nello sviluppo del lavoro; per tale ragione alcuni laboratori procedono all'essiccamento in stufa anziché semplicemente all'aria.

Un primo argomento di ricerca è stato quindi quello di indagare se i risultati del costipamento variano cambiando sistema di essiccamento.

Come terreno base per le prove è stato prescelto, in conseguenza di quanto poco innanzi detto, un terreno a granulometria molto fina e precisamente un « limo con sabbia » le cui caratteristiche sono raccolte nella figura 2, dove il terreno in discorso è contrassegnato dal numero 1.

Il materiale così come era pervenuto al laboratorio possedeva un contenuto di acqua pari a 0,12 e cioè di circa 0,08 inferiore al limite di plasticità. Per le prove esso è stato suddiviso in quattordici campioni, dei quali nove sono stati essiccati all'aria mentre per i rimanenti cinque si è ricorso alla stufa. La durata dell'essiccamento per i vari campioni risulta dalla tabella I.

Ciascun campione è stato poi sminuzzato e passato

al vaglio da 4,6 mm; se ne è quindi misurato il contenuto di acqua ottenendo i valori riportati nell'ultima colonna della tabella I. Come si vede, il valore minimo del contenuto di acqua raggiunto si è aggirato intorno a 0,05. Tale valore corrisponde evidentemente al potere igroscopico del materiale in istudio ed infatti i campioni 13 e 14, che dopo 24 ore di permanenza in istufa erano pervenuti all'essiccamento completo, durante le successive operazioni di sminuzzamento e vagliatura hanno riassorbito acqua dall'ambiente fino a portare il loro contenuto di acqua per l'appunto a circa 0,05.

I quattordici campioni sono stati infine costipati

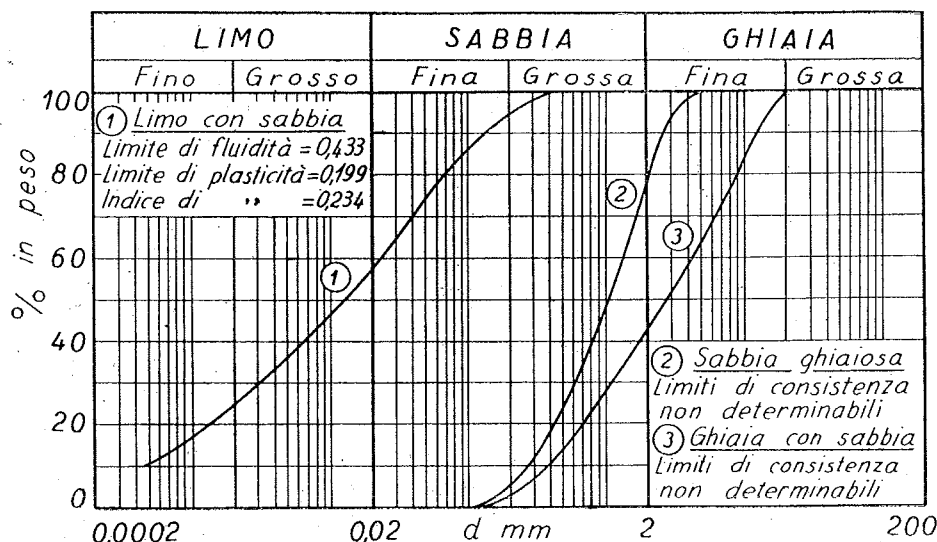


Fig. 2 - Caratteristiche dei terreni impiegati nelle prove comparative su materiale essiccato all'aria e materiale essiccato in stufa.

TABELLA I

Numero della prova	Essiccamento	Durata essiccamento	w
1	all'aria	24 ore	0,102
2		24 »	0,105
3		48 »	0,087
4		120 »	0,067
5		120 »	0,062
6		648 »	0,060
7		648 »	0,058
8		1 mese	0,057
9		2 mesi	0,050
10	in stufa	15 primi	0,087
11		15 »	0,082
12		30 »	0,066
13		24 ore	0,047
14		24 »	0,051

secondo il metodo di PROCTOR, tutti alla stessa maniera e con la medesima energia. I risultati delle prove sono raccolti nella figura 3. Nei diagrammi di fig. 3a) e 3b) sono riportate le curve di costipamento ottenute per interpolazione fra i punti sperimentalmente rilevati in ciascuna prova; in quelli di fig. 3c) e 3d) abbiamo invece riportato tutti i punti ottenuti nel corso delle prove, racchiudendoli fra due curve inviluppo (3).

Considerando separatamente le fig. 3a) e 3b) si può osservare che, nel caso di essiccamento all'aria (fig. 3a), non si riscontrano apprezzabili differenze nelle curve ( $\gamma_s; w$ ) passando dai campioni 1 e 2 con la minima durata di essiccamento (24 ore) agli altri essiccati per un tempo più lungo. Nel caso di essiccamento in istufa invece (fig. 3b), mentre il valore del  $\gamma_{s,opt}$  non ha praticamente risentito della durata dell'essiccamento, l'andamento delle curve ( $\gamma_s; w$ ) ed il valore del  $w_{opt}$  hanno subito delle variazioni passando dai campioni 10 e 11 essiccati per soli 15 primi a quelli con durata di essiccamento maggiore.

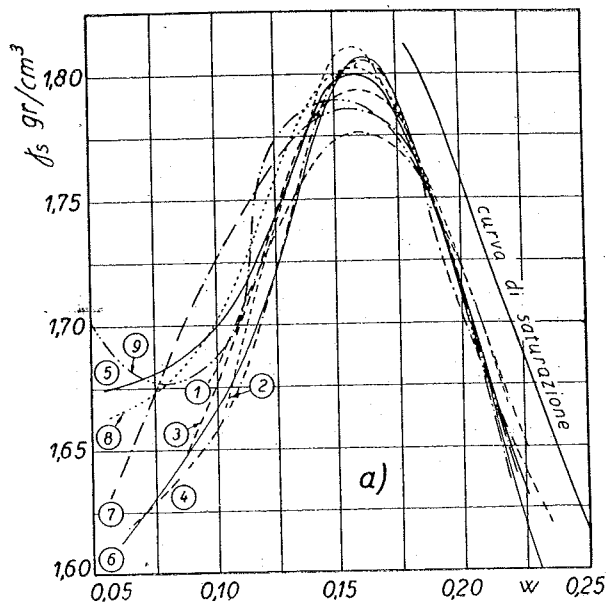
Confrontando ora fra loro le fig. 3a) e 3b), si nota una

(3) Le fasce inviluppo delle fig. 3c) e 3d) risultano più ampie di quelle che si possono immaginare costruite come inviluppo delle curve di fig. 3a) e 3b), poichè queste sono già delle curve medie, dalle quali più o meno si discostano i punti sperimentalmente rilevati.

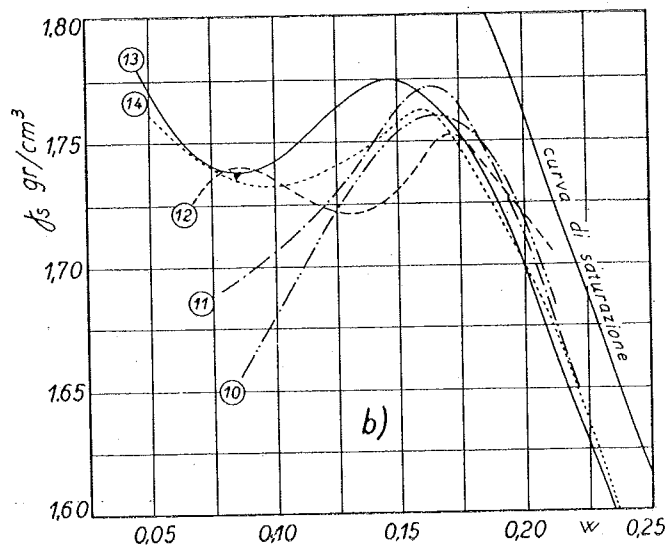
maggior regolarità e ripetibilità delle prove nel caso dei campioni essiccati all'aria. In secondo luogo si rileva che l'essiccamento in istufa, mentre quasi non influisce sul valore medio del  $w_{opt}$ , provoca invece una diminuzione del  $\gamma_{s,opt}$ , il cui valore, nel terreno in esame, si è mediamente ridotto da 1,79 a 1,76 gr/cm<sup>3</sup>.

La ragione di queste differenze nei risultati del costipamento è da ricercare in un'intima modificazione del complesso acqua-terreno, la cui analisi esorbita però dai limiti della presente nota. Quello che qui conviene sottolineare è che, contrariamente a quanto verrebbe spontaneo pensare, queste differenze non si

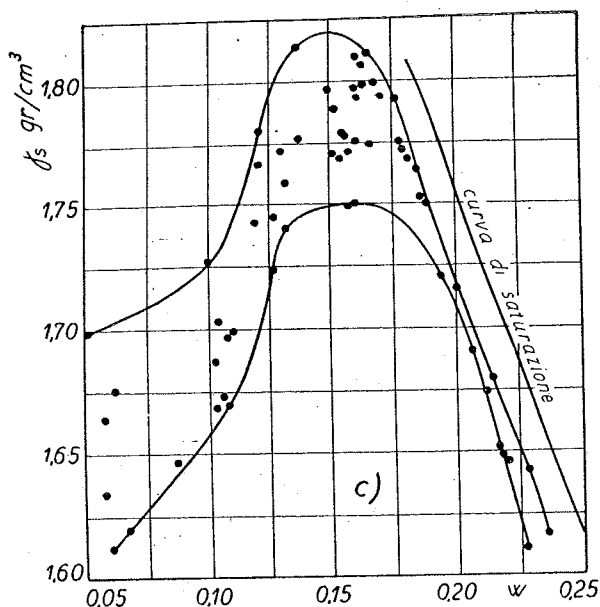
Essiccamento all'aria



Essiccamento in istufa



Essiccamento all'aria



Essiccamento in istufa

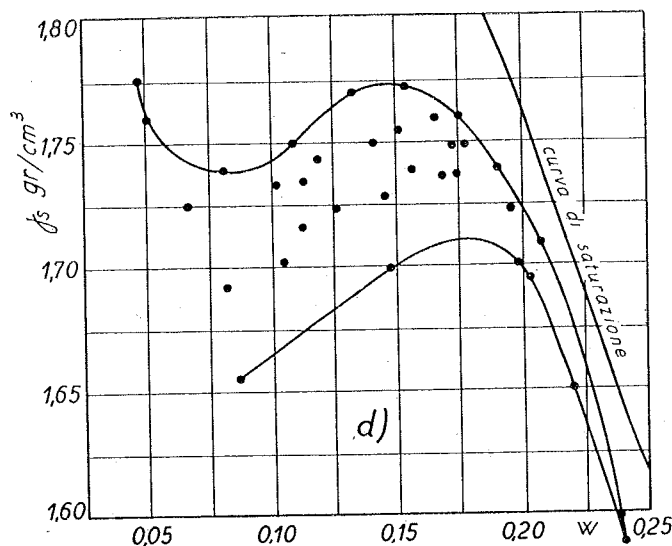


Fig. 3 - Influenza del tipo di essiccamento sui risultati della prova di costipamento (Terreno I della fig. 2 - limo con sabbia). I numeri segnati a fianco delle curve si riferiscono al numero progressivo delle prove (vedi tab. I).

La diminuzione del  $\gamma_s$  nel caso di campioni essiccati in istufa è ancora più chiaramente visibile raffrontando i diagrammi di fig. 3c) e 3d): la fascia racchiusa fra le due curve inviluppo nella fig. 3c) è, rispetto a quella della fig. 3d), tutta spostata verso i valori di  $\gamma_s$  più alti.

ricontrano solo nel caso dei terreni a grana molto fina (limi più o meno sabbiosi), ma anche nel caso di terreni a grana relativamente grossa (sabbie ghiaiose).

Abbiamo infatti condotto a termine alcune prove di controllo su due terreni a grana grossa. I due terreni prescelti, la cui composizione granulometrica è indicata

dalle curve 2 e 3 di fig. 2, presentavano la medesima composizione mineralogica essendo stati ottenuti da uno stesso materiale mediante stacciatura rispettivamente al vaglio da 4,6 e da 20 mm.

Sul terreno 2 sono state eseguite due prove su campioni essiccati all'aria e sei prove su campioni essiccati in istufa, mentre sul terreno 3 sono state condotte a termine in totale quattro prove, di cui due

il terreno 2 le curve di costipamento ottenute essiccando il materiale in stufa non sono molto regolari. Questo effetto sparisce invece nel terreno 3 a grana decisamente più grossa (v. fig. 5) ma in questo caso si presenta l'altro fenomeno notato per il campione 1 e cioè una sensibile diminuzione nel valore del  $\gamma_{s,opt}$  passando dalle prove su materiale essiccato all'aria a quelle su materiale essiccato in stufa.

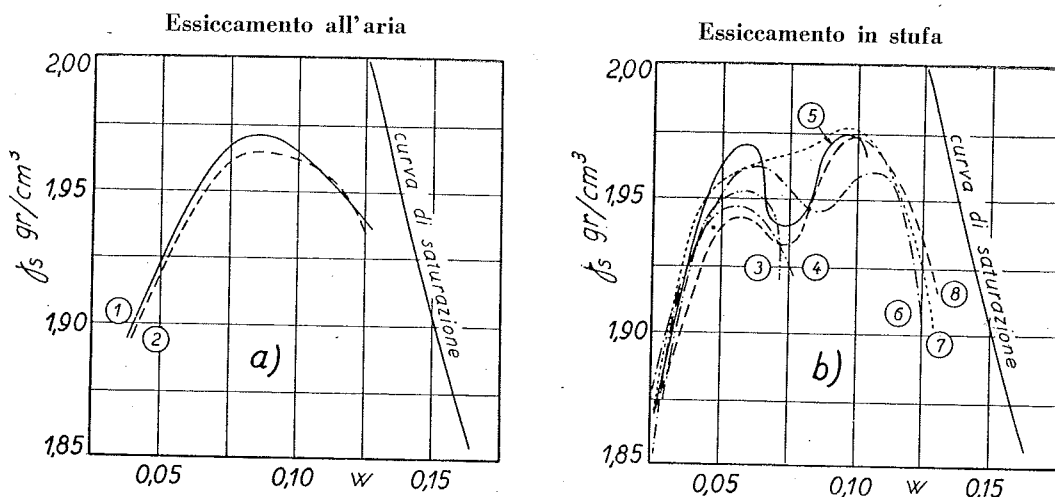


Fig. 4 - Influenza del tipo di essiccamento sui risultati della prova di costipamento (Terreno 2 di fig. 2 - Sabbia ghiaiosa).

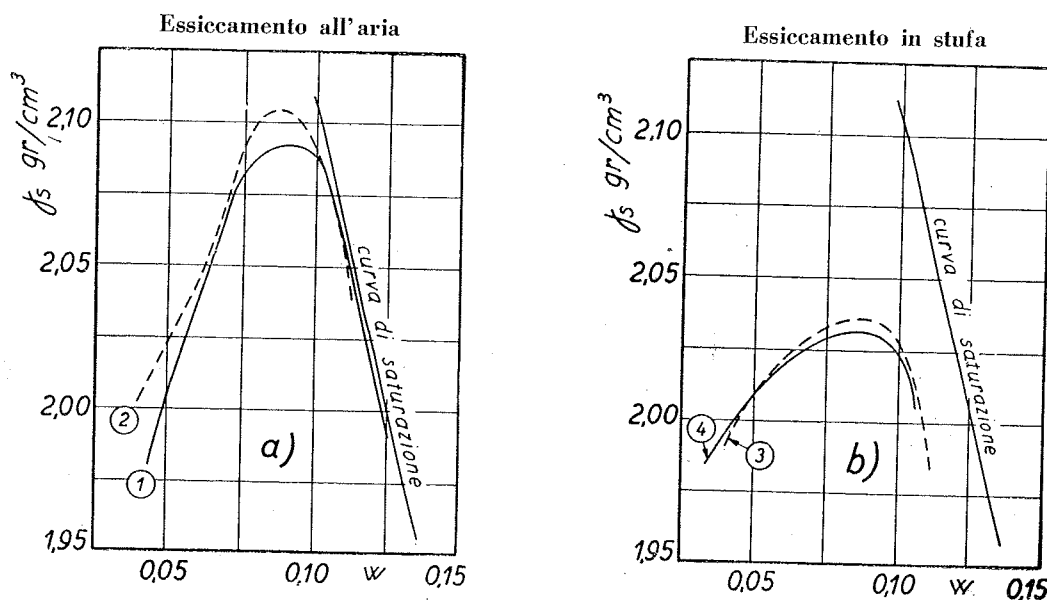


Fig. 5 - Influenza del tipo di essiccamento sui risultati della prova di costipamento (Terreno 3 di fig. 2 - ghiaia con sabbia).

su campioni essiccati all'aria e due su campioni essiccati in istufa. Il costipamento è stato eseguito con il sistema e con l'energia normale di Proctor anche per il terreno 3 nonostante la presenza in esso di granelli con diametro superiore a 4,7 mm.

I risultati sono riportati nelle fig. 4 e 5. Dalla fig. 4 si rileva che, come nel caso del terreno 1, anche per

Le indagini innanzi illustrate ci offrono l'occasione di rilevare una particolarità delle curve di costipamento non ancora notata.

Se consideriamo le figure 3, 4 e 5 si osserva che le curve 12, 13 e 14 di figura 3 nonché le curve 5, 6, 7 e 8 di figura 4, rilevate tutte con campioni essiccati in istufa, presentano, oltre al punto di massimo, anche un

punto di minimo della funzione  $\gamma_s = f(w)$ . Anche la curva 9 di figura 3, rilevata con campione essiccato all'aria, presenta la stessa particolarità.

Questo fatto era stato da noi già notato in occasione di alcune prove di costipamento eseguite nel 1949 sul limo con sabbia impiegato per la costruzione dell'argine della vasca di carico dell'impianto idroelettrico del Coscile (S.M.E.). La presenza di questo punto di minimo non ci risulta sia stata già posta in evidenza. In genere esso manca nelle numerosissime curve di costipamento pubblicate nella letteratura sull'argomento, ma si può osservare che, quasi sempre, tali curve sono limitate a valori di  $w$  non molto inferiori al  $w_{opt}$ .

Non mancano però esempi [10 ; 24] in cui la curva ( $\gamma_s ; w$ ) si estende fino a valori piuttosto bassi del  $w$  ed allora si riscontra il punto di minimo.

Il verificarsi di questo minimo nella curva ( $\gamma_s ; w$ ) può essere così spiegato.

Quando il terreno è energicamente essiccato e contiene una certa percentuale di fimo, i frammenti in cui esso viene ridotto a seguito dello smiuzzamento assumono una consistenza quasi lapidea e si comportano pertanto come granelli singoli di varie dimensioni. Sotto l'azione dinamica del pestello, i frammenti più piccoli vanno allora ad occupare i vuoti fra i frammenti più grandi e si realizza così una discreta compattezza o, ciò che è lo stesso, un elevato valore di  $\gamma_s$ . Aumentando il contenuto di acqua, si modificano le condizioni in cui si trova la superficie esterna dei granelli e perciò fra granelli adiacenti si manifesta una sensibile forza di adesione. I granelli perdono di mobilità e di conseguenza i valori di  $\gamma_s$  vanno diminuendo al crescere di  $w$ .

Incrementando, però, ulteriormente il contenuto di acqua, questo raggiunge un certo valore per cui l'acqua comincia ad esplicare un'azione lubrificante fra le particelle, le quali riprendono a scorrere facilmente l'una rispetto all'altra; il peso dell'unità di volume va quindi crescendo col crescere di  $w$ . In definitiva si hanno un primo tratto di curva decrescente ed un secondo tratto crescente; al passaggio dall'uno all'altro deve verificarsi un punto di minimo, come è stato sperimentalmente osservato. In generale, come già si è detto, delle due fasi nel comportamento del materiale, viene presa in considerazione solo la seconda, che nel diagramma ( $\gamma_s ; w$ ) — si veda ad esempio la figura 1 — costituisce il ramo di sinistra (ascendente) delle curve di costipamento.

In conclusione dalle prove innanzi descritte appare innegabile che, qualunque sia la granulometria del terreno, il metodo di essiccamento fa risentire la sua influenza sui risultati delle prove di costipamento ed in generale le prove su materiale essiccato in stufa sono meno regolari di quelle condotte a termine su materiale essiccato all'aria.

Ne consegue quindi che nella pratica di laboratorio conviene sempre attenersi all'essiccamento in aria anche se questo procedimento può rendere più lungo lo svolgimento di un'indagine.

## APPENDICE

### Prove di costipamento in laboratorio

#### a) Prova di Proctor e prove da essa derivate.

Nel 1933 l'ingegnere americano R. R. PROCTOR pubblicava sull'*Engineering News Record* una serie di quattro articoli sul costipamento delle terre ed illustrava una semplice prova di laboratorio ideata al riguardo [15]. Questa prova che prende per l'appunto il nome dal suo ideatore è ancora oggi quella più frequentemente adottata nei laboratori di Geotecnica.

L'apparecchiatura, come è noto, comprende sostanzialmente un robusto cilindro metallico munito di una base piana asportabile, ed un pestello costituito da una barra cilindrica la cui estremità presenta un allargamento pur esso cilindrico.

Le dimensioni del cilindro e del pestello sono riportate nella tabella A - primo rigo.

Il terreno viene costipato in tre strati successivi ciascuno dei quali viene sottoposto a 25 colpi del pestello cadente da un'altezza di circa 30 cm. I 25 colpi vengono distribuiti uniformemente sulla superficie di ogni strato. In realtà nella prova originale di PROCTOR il costipamento, anziché per caduta libera del pestello, veniva realizzato mediante 25 violenti colpi vibrati dall'operatore e pertanto l'energia impiegata non risultava ben definita, ma variava da sperimentatore a sperimentatore [15; 16; 18].

La prova è ripetuta per differenti valori di  $w$  impiegando sempre lo stesso campione di terreno a cui viene aggiunta gradualmente acqua dopo ogni operazione di costipamento. Si ottengono così tante coppie di valori ( $w ; \gamma_s$ ) che permettono di costruire l'intera curva di costipamento.

La prova di PROCTOR è stata adottata negli Stati Uniti d'America sia dall'American Society for Testing Materials (A.S.T.M.) [2] che dall'American Association of State Highway Officials (A.A.S.H.O.).

Tali organizzazioni, nel procedere alla normalizzazione della prova, vi hanno apportato qualche leggera modifica per cui si è pervenuti alle dimensioni indicate nella tabella A — secondo rigo. La prova normalizzata viene indifferentemente denominata prova « standard di PROCTOR » o « standard A.A.S.H.O. ».

Successivamente, per adeguare la prova ai progressi realizzati nel costipamento in cantiere, dove le macchine sono via via divenute sempre più pesanti, è stato necessario modificare la prova or ora detta aumentando l'energia impiegata per unità di volume di materiale costipato. Si è così pervenuti alla « modified A.A.S.H.O. » (vedi tabella A — rigo terzo).

L'United States Bureau of Reclamation (U.S.B.R.) [19; 22] ha dal canto suo eseguito una normalizzazione a parte, pervenendo alle dimensioni indicate nella tabella A — rigo quarto.

Nei paesi che adottano il sistema metrico decimale vengono eseguite indifferentemente o le prove « standard A.A.S.H.O. » e « modified A.A.S.H.O. » o la prova « standard U.S.B.R. » [4; 6; 12; 14; 17; 20; 23].

Qualche leggero arrotondamento si è reso necessario per riportare a numeri interi la conversione nel sistema decimale delle dimensioni del sistema inglese.

Le caratteristiche dell'apparecchio e della prova normalmente effettuata dal Centro Geotecnico della

vedono l'impiego di terreni con dimensione massima dei granelli di circa 4,7 mm. Indagini condotte al riguardo [21] hanno però dimostrato che i normali cilindri di costipamento possono essere impiegati anche per terreni contenenti elementi fino a 3/4" (19 mm) di dia-

TABELLA A

	Dimensione massima dei granelli		Dimensioni del cilindro						Dimensioni del pestello				Strati Colpi per strato		Altezza caduta pestello		Energia per unità di volume	
			Diametro		Altezza		Volume		Diametro		Peso							
	in.	mm	in.	cm	in.	cm	cu. ft.	cm <sup>3</sup>	in.	mm	lb.	Kg	n.	n.	in.	cm	ft. lb./cu. ft.	Kg cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
Proctor originale	0,25	6,35	4	10,16	5	12,7	1/28	1029	2	50,8	5,5	2,5	3	25	12	30,5	Non ben determinata	
Standard A.A.S.H.O.	0,187	4,76	4	10,16	4,6	11,7	1/30	945	2	50,8	5,5	2,5	3	25	12	30,5	12400	6,05
Modified A.A.S.H.O.	0,187	4,76	4	10,16	4,6	11,7	1/30	945	2	50,8	10	4,54	5	25	18	45,7	56300	27,53
Standard U.S.B.R.	0,187	4,76	4,25	10,79	6	15,24	1/20	1415	2	50,8	5,5	2,5	3	25	18	45,7	12400	6,05
Prova normalmente eseguita dal Centro Geotecnico di Napoli		da 4,6 a 20		10		12,75		1000		50		2,5	3	25		30		5,63

Fondazione Politecnica del Mezzogiorno risultano dalla tabella A — rigo quinto.

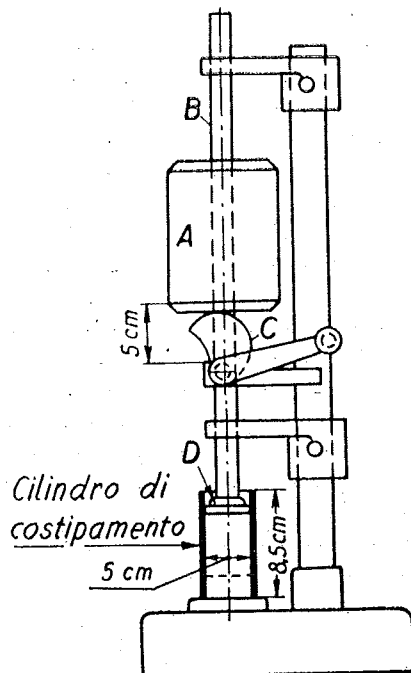


Fig. A<sub>1</sub> - Apparecchio per la prova DIETERT.

Come si rileva dalla tabella, le prove « standard » e « modified A.A.S.H.O. » e la « standard U.S.B.R. » pre-

metro senza che ne siano influenzati i risultati delle prove. Fra i laboratori di Geotecnica che adottano nelle prove di costipamento materiali con elementi fino a circa 20 mm di diametro ricordiamo in particolare il Road Research Laboratory in Gran Bretagna [10].

Il Centro Geotecnico di Napoli esegue in generale le prove sul passante al 4,6 mm ma, quando necessario, adopera il normale cilindro di costipamento anche per terreni con dimensione massima dei granelli fino a 20 mm.

#### b) Altre prove di costipamento.

Oltre alle prove riportate nella tabella A, derivanti tutte da quella originaria di PROCTOR, sono state messe a punto anche prove di altro tipo.

Fra queste le più importanti sono la Dietert Test [9; 10], la Harvard Compaction Test [25; 26] e la North-western Kneading Static Compaction Test [11; 13].

La prova Dietert sostituisce alla caduta del pestello direttamente sul terreno da costipare, la caduta di un peso su un pistone che rimane sempre a contatto con il terreno stesso. Altra differenza sostanziale è che, mentre nella prova di PROCTOR la sezione retta della mazza battente è solo una frazione della sezione del cilindro di costipamento, nella DIETERT il pistone copre l'intera superficie del provino.

In fig. A<sub>1</sub> è riportato uno schizzo dell'apparecchio,

La prova viene eseguita nel modo seguente:

— 150 gr di terreno — quanti ne occorrono per eseguire una prova — vengono disposti tutti in una volta nel cilindro di costipamento; sul terreno viene poggiato

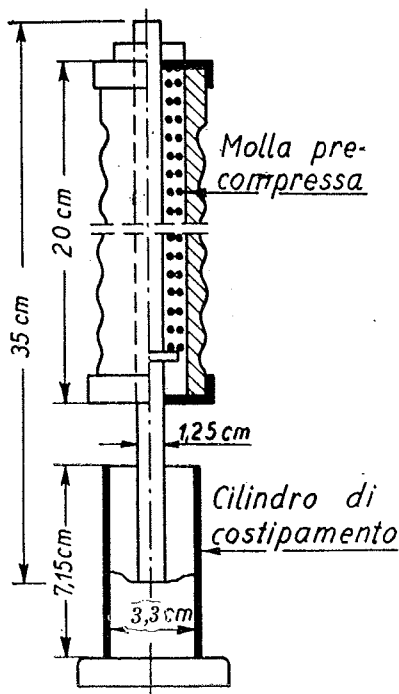


Fig. A<sub>2</sub> - Apparecchiatura per il costipamento tipo HARVARD.

il pistone «D» sostenuto dall'asta «B» che a sua volta porta l'eccentrico «C» ed il peso «A».

— Azionando l'eccentrico «C» si lascia cadere per dieci volte il peso «A»; si capovolge quindi il cilindro di costipamento, ed, evitando che il provino si sfili dal cilindro stesso, si applicano altri dieci colpi sull'altra estremità del provino.

— A mezzo di un calibro speciale si misura l'altezza del provino e se ne determina il peso dell'unità di volume.

La prova DIETERT presenta il vantaggio di richiedere un quantitativo di materiale che è meno della decima parte di quello occorrente per una prova di PROCTOR. Essa però deve essere limitata a terreni con dimensione massima dei granelli di 1/8 in. (~ 3 mm).

Un'apparecchiatura basata sullo stesso principio della prova DIETERT è stata messa a punto dall'Istituto Sperimentale Stradale di Milano [1; 3]. Il terreno da costipare viene anche qui disposto tutto in una volta in un cilindro di 6 cm di diametro e 5,5 cm di altezza. Sul terreno viene quindi poggiato un cuscinetto metallico e su questo si lascia cadere per 75 volte un pistone del peso di 775 gr; l'operazione di pistonamento viene ese-

guita, a differenza della prova DIETERT, solo su una faccia del provino. Per la prova si impiega in generale materiale passante allo staccio da 2 mm, ma sembrerebbe che anche con materiali con dimensione massima dei granelli fino a 20 mm non si incontrino particolari difficoltà.

Altra prova che presenta il vantaggio di richiedere un quantitativo di materiale molto inferiore a quello occorrente per la prova «standard A.A.S.H.O.» è quella messa a punto alla Università di Harvard. La prova adotta un particolare metodo di costipamento, che sembra riproduca più fedelmente l'azione esercitata in cantiere dai rulli a zampa di pecora.

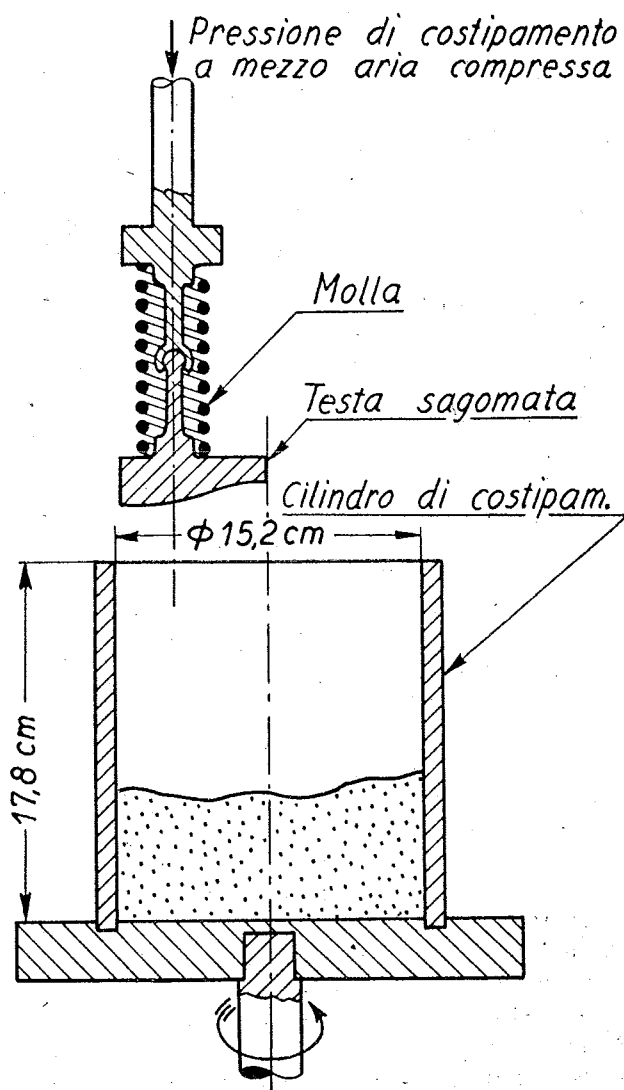


Fig. A<sub>3</sub> - Schema dell'apparecchio di OSTERBERG.

Il pestello (vedi fig. A<sub>2</sub>) è costituito da una barra cilindrica del diametro di 1/2 in. (1,25 cm) con una impugnatura di legno ad un'estremità. Questa impugnatura porta nell'interno una molla precompressa.



L'operazione di costipamento consiste nell'appoggiare la barra cilindrica sul terreno da costipare e spingerla in giù, premendo sull'impugnatura, fino a vincere la precompressione della molla.

L'operazione viene eseguita, per ogni strato da costipare, almeno in cinque differenti punti della superficie dello strato. Il numero degli strati viene in genere fissato in cinque.

L'energia di costipamento può essere agevolmente variata sia regolando la precompressione della molla sia variando il numero degli strati ovvero i colpi per strato.

La prova che però è stata studiata per riprodurre esattamente l'azione esercitata in cantiere dai rulli a zampa di pecora è la « *Kneading Static Compaction Test* » ideata dal Prof. OSTERBERG della Northwestern University. L'apparecchiatura (vedi fig. A<sub>3</sub>) è azionata da aria compressa ed il terreno viene costipato in cinque strati in un cilindro del diametro di 6 in. (15,2 cm) a mezzo di un piccolo pistone che porta all'estremità inferiore una testa sagomata a forma di zampa di pecora. Il pistone viene portato a contatto del terreno e premuto contro di esso con una forza che si può pre-fissare regolando la pressione nel serbatoio dell'aria compressa. La testa sagomata è collegata al pistone a mezzo di un giunto cardanico circondato da una molla a spirale. In tal modo quando il pistone è premuto contro il terreno, poichè la reazione che esso incontra non passa per il suo asse, ne risulta una rotazione della testa, a somiglianza del movimento relativo che si verifica in cantiere fra zampe di pecora e terreno. Dopo pochi secondi di contatto con la superficie del provino, a mezzo di una valvola automatica, vien tolta la pressione sul pistone e questo viene sollevato, nel mentre il cilindro ruota di alcuni gradi. L'operazione è quindi ripetuta nella nuova posizione e così via, sempre automaticamente, finchè l'operatore non apre la valvola di scarico dell'aria compressa arrestando tutto il complesso.

L'apparecchio può anche eseguire un costipamento simile a quello che si realizza nella prova di PROCTOR. A tal uopo si sostituisce al pistone con testa sagomata un pistone a testa piana del peso di 20 lb (~ 9 kg), il quale viene, sempre automaticamente, sollevato e quindi lasciato liberamente cadere sul provino da un'altezza di 9 in. (~ 23 cm). In tal modo l'energia per colpo risulta uguale a quella messa in gioco nella prova A.A.S.H.O. modificata (vedi tabella A).

Prima di chiudere il presente paragrafo ricordiamo che sono state anche adottate prove di costipamento di tipo statico e prove in cui si fa ricorso all'impiego della vibrazione. Fra le prime la più diffusa è la *Porter Static Test* [7] in cui sul provino viene applicata una pressione gradualmente crescente da 0 a 2000 lb/sq.in. (0 ÷ 140 kg/cm<sup>2</sup>) con velocità di applicazione regolata in funzione dell'accorciamento progressivo del provino. Fra le prove per vibrazione ricordiamo invece la *Providence Vibrated Density Test* [8] ideata ed adottata per primo dal Providence District Corps of Engineers.

c) *Paragone fra i risultati delle varie prove di costipamento.*

Nella letteratura sull'argomento non mancano i confronti fra i risultati che si ottengono con i metodi di costipamento descritti in b) e quelli delle prove A.A.S.H.O. [1; 3; 7; 9; 10; 11; 13; 25; 26].

Da questi confronti non è possibile trarre delle conclusioni di ordine generale essendo i risultati molto differenti a seconda del tipo di terreno preso in esame. Sembra che la prova Dietert fornisca, rispetto a quella « standard A.A.S.H.O. », valori di  $\gamma_s$ , leggermente più alti, ma comunque sempre di quantità praticamente trascurabili, mentre la prova dell'Istituto Sperimentale Stradale dà luogo a curve di costipamento sempre inferiori a quella della prova « standard A.A.S.H.O. », con differenze variabili a seconda della natura dei terreni. Con la prova Harvard e con quella di Osterberg un paragone sui valori del  $\gamma_s$  non è possibile poichè per queste prove l'energia di costipamento non è normalizzata. La *Porter Static Test* infine fornisce valori di  $\gamma_s$  molto più elevati, superando finanche quelli ottenibili con la prova A.A.S.H.O. modificata.

## Bibliografia

- [1] ARIANO R.: *Il costipamento dei terreni, la coesione e l'attrito interno* - Le Strade, anno XXXIII, n. 1, gennaio 1953.
- [2] A.S.T.M.: *Procedures for Testing Soils* - Am. Soc. for Testing Materials, Philadelphia, 1950.
- [3] *Association Internationale permanente des Congrès de la route* - II Question - Rapport par R. Ariano, IX Congrès, Lisbona, 1951.
- [4] CESTELLI-GUIDI C.: *Meccanica del Terreno e Stabilità delle Fondazioni* - Hoepli, Milano, 1951.
- [5] DE MEO G.: *Sunto delle Lezioni di Statistica Metodologica* - Treves, Napoli, 1950.
- [6] DERVIEUX M. S.: *Le compactage des sols* - Ann. Inst. Techn. du B.T.P., aprile-maggio, 1952.
- [7] LAMBE T. W.: *Soil Testing for Engineers* - John Wiley and Sons - New York, 1951.
- [8] LANE K. S.: *Providence Vibrated Density Test* - Proc. II Intern. Conf. on Soil Mechanics - vol. IV, Rotterdam, 1948.
- [9] LITTLE A. L.: *Laboratory Compaction Technique* - Proc. II Intern. Conf. on Soil Mechanics - vol. I, Rotterdam, 1948.
- [10] MACLEAN D. J. and WILLIAMS F. H. P.: *Research on Soil Compaction at the Road Research Laboratory (Great Britain)* - Proc. II Intern. Conf. on Soil Mechanics - vol. IV, Rotterdam, 1948.
- [11] MC RAE J. L. and RUTLEDGE P. C.: *Laboratory Kneading of Soil to Simulate Field Compaction* - Proc. Highway Research Board, dicembre 1951.
- [12] MALLET C. et PACQUANT J.: *Les Barrages en Terre* - Eyrolles, Paris, 1951.

- [13] OSTERBERG J. O.: *Discussion on: «Effect of Compaction on Soil Properties»* by S. D. Wilson and «*Field Compaction»* by R. R. Philippe - Proc. of the Conference on Soil Stabilization - Massachusetts Institute of Technology, giugno 1952.
- [14] PARAMYTHIOTI J. et DE LA SAYETTE E.: *Le Compactage des Sols* - La Technique Moderne - Construction, Paris T. V. n. 7, luglio 1950.
- [15] PROCTOR R. R.: *Design and Construction of Rolled - Earth Dams* - Engng N. Rec. 31 ag.; 7, 21, 28 sett. 1933.
- [16] PROCTOR R. R.: *Laboratory Soil Compaction Methods Penetration Resistance Measurements and the Indicated Saturated Penetration Resistance* - Proc. II Intern. Conf. on Soil Mechanics - vol. V, Rotterdam, 1948.
- [17] TAGER A.: *Nouveaux procédés de stabilisation des sols* - Ann. Inst. Techn. du B.T.P., marzo 1952.
- [18] TURNBULL W. I.: *Written Discussion on Paper IX b 17* - Proc. II Intern. Conf. on Soil Mechanics - vol. VI, Rotterdam, 1948.
- [19] U.S.B.R.: *Earth Manual* - United States Department of the Interior., Denver, Colorado, 1951.
- [20] VERDEYEN J.: *Mecanique du Sol et Fondations* - Eyrolles, Paris, 1947.
- [21] ZEIGLER E. J.: *Effect of Material Retained on the Number 4 Sieve on the Compaction Test of Soil* - Highway Research Board - Proc. 28 Annual Meeting., Washington, 1948.
- [22] WALKER F. C. and HOLTZ W. G.: *Control of Embankment Material by Laboratory Testing* - Proc. Am. Civ. Eng. - vol. 77, dicembre 1951.
- [23] WETTER G.: *Appunti di Meccanica delle Terre* - En. El. vol. XVIII, fasc. IX, settembre 1941.
- [24] WETTER G.: *Addition of Bentonite to the Impervious Core of San Valentino* - Earth Dam - Proc. II Intern. Conf. on Soil Mechanics - vol. IV, Rotterdam, 1948.
- [25] WILSON S. D.: *Effect of Compaction on Soil Properties* - Proc. of the Conference on Soil Stabilization - Massachusetts Institute of Technology, giugno 1952.
- [26] WILSON S. D.: *Small Soil Compaction Apparatus duplicates Field Results closely* - Engng. N. Rec., 2 novembre 1950.

SOMMAIRE: Entre les facteurs qui influencent le comportement des sols dans l'essai de compactage il faut considérer la préalable dessiccation des échantillons.

Au laboratoire du Centro Geotecnico de Naples on a effectué une étude expérimentale pour évaluer l'influence des modalités de dessiccation dans l'étuve et à l'air.

Les résultats obtenus par cette étude démontrent la nécessité d'exclure la dessiccation par l'étuve.

Dans l'annexe on a rappelé les principales caractéristiques des essais de compactage.

SUMMARY: Among the various factors affecting the performance of a soil specimen in compaction tests, methods of preliminary drying are to be considered.

An experimental investigation was carried out at Centro Geotecnico in Naples to establish the influence of air drying and oven drying on test results.

As a conclusion oven drying of the specimens must be excluded from laboratory practice as far as compaction tests are concerned.

In Appendix the main features of the compaction tests have been summarized.

Quota d'abbonamento annuo L. 2.000 - Estero L. 3.400 - Quota ridotta per  
i Soci dell'AGI, dell'ANIAI e della Società Geologica Italiana L. 1.500

**Indirizzare le quote alla Casa Editrice della Rivista**

ISTITUTO PROPAGANDA INTERNAZIONALE - VIA TADINO, 62 - MILANO

oppure versare sul c/c postale 3/9380 I.P.I. - Milano