

CONSIDERAZIONI SULLA DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI ATTERBERG

G. TESORIERE (*)

SOMMARIO - Per la conoscenza della suscettività all'acqua di una terra ci si serve, generalmente, dei limiti di ATTERBERG: *limite di liquidità, di plasticità e di ritiro*.

Esaminate le caratteristiche generali ed i metodi seguiti per la determinazione dei detti limiti, nella presente nota si studia:

a) la variazione fra esperienze eseguite su una data terra da uno stesso operatore; b) l'influenza del cambiamento di operatore; c) l'influenza del tempo di sedimentazione degli impasti; d) la possibilità di adoperare per una prova lo stesso materiale usato nelle esperienze precedenti.

Le esperienze sono state eseguite anche su terre di diversa natura e granulometria.

Si conclude riscontrando forti variazioni fra una esperienza e l'altra (specialmente per il limite di plasticità e per quello di ritiro), con lo stesso operatore e più elevate ancora, se si confrontano i dati di un operatore con quelli di un altro.

Inoltre è molto importante, specialmente per le terre argillose che l'impasto sia lasciato a sedimentare almeno sei ore prima dell'esperienza.

Abbiamo, infine, notato che il valore della percentuale d'acqua corrispondente al massimo PROCTOR, in quasi tutti i casi esaminati (sei terre), è superiore di poco al limite di ritiro, e che in una sola esperienza se ne discosta di parecchio.

1 - Generalità

Nello studio delle terre per le applicazioni nel campo stradale, idraulico ecc., i principali oggetti di ricerca sono le proprietà meccaniche del materiale di cui esse sono composte e la loro suscettività all'acqua.

Le proprietà meccaniche del materiale (*coesione ed attrito interno*) per mezzo dell'apparecchio a compressione triassiale possono essere esattamente determinate caso per caso, in quanto i dati forniti dall'apparecchio suddetto permettono di costruire i cerchi di *Mohr*, relativi a vari stati di tensione, e di conseguenza la curva involuppo dei detti cerchi o curva di *Coulomb*.

A risultati non altrettanto esatti, si perviene nella ricerca della suscettività all'acqua di una terra; essa infatti viene valutata attraverso la conoscenza dei cosiddetti limiti di ATTERBERG [1], [2], [3], i quali a loro volta, sono determinati con prove empiriche che non hanno né il rigore né la attendibilità di una prova scientifica.

Coscienti di ciò alcuni sperimentatori hanno cercato di rendere più rigorose dette prove attraverso una completa normalizzazione dei metodi di esecuzione di esse; altri invece hanno proposto la adozione di nuovi sistemi più scientifici per la determinazione della suscettività suddetta [4].

Vi è da osservare però che le prove di ATTERBERG hanno il notevole vantaggio di una semplicità e di una praticità non facilmente raggiungibile con sistemi di maggiore precisione e d'altro canto per le inevitabili e spesso grossolane approssimazioni che si commettono nel mettere in relazione i presupposti delle prove con le effettive condizioni delle terre in situ, si rende inutile se non controproducente l'auspicata introduzione di nuovi metodi scientifici di prova.

Ecco perché i limiti di ATTERBERG si sono ormai diffusi ed imposti nei laboratori centrali, in quelli di campagna ed, evidentemente, sono stati introdotti nei capitolati per le strade in terra stabilizzata, per le opere di fondazione ed idrauliche.

In realtà il *limite liquido*, quello *plastico*, e l'altro di *ritiro*, nonché l'*indice di plasticità*, servono molto bene a dare delle indicazioni abbastanza orientative sulla suscettività di una terra all'acqua.

Nella pratica applicazione detti dati permettono di riconoscere l'idoneità o meno allo scopo cui la terra stessa è destinata ed, altresì, di apportare le opportune correzioni alle sue caratteristiche nelle miscele con altre, le cui proprietà, studiate sempre con gli stessi mezzi, si siano dimostrate complementari a quelle della prima.

Nella presente memoria si mostrano i risultati delle prove eseguite sui limiti di ATTERBERG allo scopo di mettere in luce alcuni interessanti aspetti sull'influenza dell'operatore e delle modalità di esecuzione degli impasti.

Precisamente le prove riguardano:

a) la variazione fra diverse esperienze eseguite con data terra dallo stesso operatore;

(*) Prof. Ing. Giuseppe TESORIERE, libero doc. e prof. inc. di Costruzioni Stradali e Ferr. presso l'Università di Palermo - direttore cons. del Reparto Asfalti del Centro Sperim. Ind. Min.

b) la variazione fra valori ottenuti da operatori diversi su una stessa prova con data terra;

c) l'influenza del tempo di sedimentazione dell'impasto usato per le prove;

d) l'influenza della ripetizione delle prove con materiale già usato per le esperienze precedenti.

L'argomento non è certamente nuovo; comunque riteniamo che l'esame di un sempre maggior numero di prove possa riuscire utile come guida nella interpretazione ed applicazione dei detti limiti nella pratica.

2 - Modalità di preparazione dei provini e di esecuzione delle prove

Circa le modalità di preparazione dei provini e di esecuzione delle prove ci siamo attenuti alle norme A.S.T.M. [5].

Si è operato sempre sulla frazione passante al setaccio n. 40 A.S.T.M. (apertura maglie: mm 0,42).

Nelle esperienze su cui riferiremo, le terre sono state preparate in certa quantità (parecchi chilogrammi), asciugate e passate attraverso il setaccio 40 A.S.T.M.; opportunamente miscelate, in modo che le prove venissero eseguite su materiale praticamente omogeneo.

Per l'esecuzione delle prove veniva aggiunta alla terra la percentuale d'acqua, all'incirca, desiderata e quindi si miscelava in opportuno recipiente con spatola.

Per i terreni argillosi si fecero delle prove, sia con terra così trattata subito dopo la miscelazione, sia dopo 24 ore, per modo che l'acqua potesse distribuirsi uniformemente nella massa.

Tale modalità di esecuzione è raccomandata anche da alcuni AA. specialmente per i terreni molto ricchi di argilla e limo [6], [7].

Per il *limite liquido* si è operato con l'apparecchio a cucchiaio CASAGRANDE ricavando per ogni determinazione quattro o più valori di numero di colpi e di relativa percentuale d'acqua.

Si è cercato di avere almeno una prova con numero di colpi minore di 25.

La determinazione del limite suddetto è stata fatta per mezzo del solito diagramma semilogaritmico (ascisse: logaritmo decimale del numero dei colpi - ordinate: percentuale d'acqua).

Per la prova del *limite plastico* si sono eseguite tre esperienze consecutive da un unico impasto.

Per il progressivo asciugamento della cordellina di terra si è adoperata carta assorbente ovvero tela (1).

(1) Per la determinazione del limite di plasticità recentemente è stato proposto un nuovo metodo: la pasta di terra, ridotta in una cordellina della lunghezza di circa 10 cm (per mezzo di una trafila) e del diametro di 3 mm, viene avvolta prima in un cilindro ad asse orizzontale di 12 mm di diametro poi su uno di 10 mm. - Il tenore d'acqua per cui la cordellina si avvolge sul cilin-

Per il *limite di ritiro* abbiamo eseguite le modalità riportate dal LAMBE [8] e dalla A.S.T.M.

Il limite di ritiro, come è noto, si definisce come la percentuale d'acqua corrispondente al minimo volume di terra e si trova con la formula:

$$[1] \quad L_r = \left(V - \frac{G}{\gamma} \right) \frac{100}{G}$$

in cui sono:

V = volume apparente della terra secca;

G = peso della terra secca;

γ = peso specifico dei grani della terra.

Infatti $\frac{G}{\gamma}$ non è altro che il volume occupato dai grani della terra essiccata, perciò $V - \frac{G}{\gamma}$ rappre-

senta il volume occupato dall'acqua quando la terra raggiunge il suo minimo volume.

Non tenendo conto della variabilità del peso specifico dell'acqua con la temperatura, tale volume corrisponde al peso di acqua contenuta dalla terra, quando questa assume il suo minimo volume; perciò basta

dividere $V - \frac{G}{\gamma}$ per G e moltiplicare per cento per

ottenere la percentuale d'acqua corrispondente al minimo sopradetto, cioè per ottenere il *limite di ritiro*.

3 - Le prove eseguite e considerazioni sui risultati di esse

Nelle tabelle I, II, III, IV, V, VI e VII si riportano i risultati delle prove eseguite su sei terreni di diversa natura e composizione.

Di ciascuna terra si sono determinati i limiti di ATTERBERG e si sono eseguite l'analisi granulometrica (fino al passante 200 A.S.T.M.) e le prove PROCTOR.

Circa le modalità di esecuzione ci si è attenuti in modo scrupoloso alle norme dell'A.S.T.M. di cui nel paragrafo precedente si è fatto cenno.

dro del diametro di 12 mm ma si rompe su quello di 10 mm si assume come limite di plasticità. L'A. del metodo (B. BOTTAU - *Sulla determinazione del limite di plasticità dei terreni argillosi* - riv. Ingegneri, Architetti Costruttori, Bologna, Anno X, 1955) ritiene che i risultati siano in tal modo meno incerti e dipendenti dall'opera personale dello sperimentatore. Da alcuni tentativi eseguiti nel nostro laboratorio abbiamo riscontrato che, mentre le terre argillose si riducono in cordelline molto facilmente alla trafila, non avviene lo stesso per le terre più o meno sabbiose. Riteniamo, perciò, che allo stato attuale sia ancora conveniente usare il vecchio metodo, benché, come vedremo meglio avanti, esso sia notevolmente influenzato dalle modalità di esecuzione.

Il tentativo del Prof. BOTTAU rimane di notevole interesse per una successiva estensione del metodo dopo che siano classificati i risultati ottenuti con i più vari tipi di terra.

A) Primo gruppo di esperienze.

Le tabelle I, II, III si riferiscono alle determinazioni di cui alle lettere a) e b) del paragrafo 1.

La granulometria delle terre usate (passante al 10 A.S.T.M.) per semplicità le abbiamo riferite ai passanti al 40 ed al 200 A.S.T.M.

Terra 1 - passante al 40 A.S.T.M.	= 98,60 %
» » 200 »	= 11,20 %
Terra 2 - passante al 40 A.S.T.M.	= 98,00 %
» » 200 »	= 8,4 %
Terra 3 - passante al 40 A.S.T.M.	= 87,70 %
» » 200 »	= 40,8 %

Tali passanti, evidentemente, sono stati determinati in umido.

Si noti che la terra 3 è molto più ricca di materiale passante al 200 A.S.T.M. delle terre 1 e 2.

Per ogni terra si sono eseguite cinque prove con operatori diversi: preparando ogni volta nuovi impasti, che sono stati adoperati subito dopo l'esecuzione.

Gli operatori erano stati preventivamente addestrati a questo tipo di prove.

Limite di liquidità (L_L)

Dalla tabella I notiamo che ogni determinazione di limite di liquidità si scosta dal valore medio trovato da ciascun operatore da un minimo di 0,02%

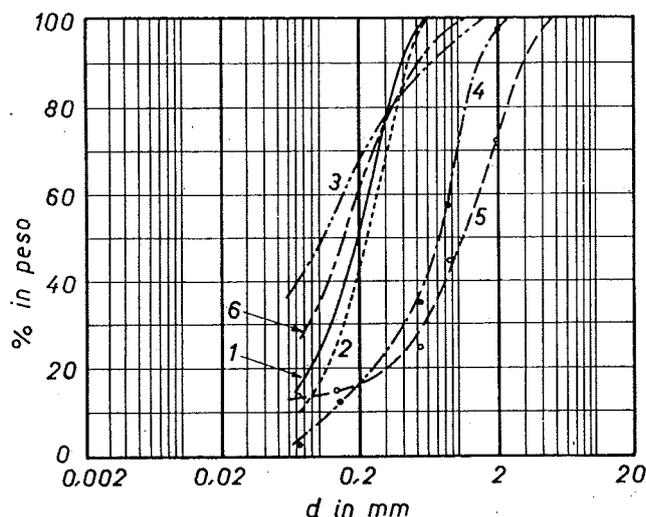


Fig. 1 - Curve granulometriche delle terre usate nelle esperienze.

ad un massimo di +2,02 (operatore A), mentre fra un operatore e l'altro si hanno spostamenti anche più sensibili: fra il valore medio trovato dall'operatore B e quello trovato da A si ha uno scarto di 4,70%, che si riduce a 2,34 fra i valori dell'operatore B e quello di C.

Con la terra 2 (tabella II) sempre per il limite di liquidità, le cose non cambiano molto: l'operatore B ha avuto i migliori risultati; infatti lo scostamento massimo trovato è di +0,31%.

Inoltre l'operatore A, che con la terra 1 aveva trovato il valore medio più basso, con la terra 2 trova

il valore medio più alto; ha sempre lo scostamento più sensibile dal valore medio (+2,87) anche in queste esperienze.

Analoghe osservazioni si ricavano con la terra 3 (tabella III), le cui esperienze sono state eseguite per controllo.

Limite di plasticità (L_p)

Anche per i limiti di plasticità sono state eseguite con le tre terre precedenti delle prove da operatori diversi; i risultati sono riportati nelle tabelle I, II e III.

Occorre tener presente che ogni valore di L_p si riferisce ad una media di tre esperienze. Quindi i valori medi totali delle predette tabelle sono relativi a quindici valori. Da tali dati si nota:

Terra 1 - la variazione massima è stata data ancora dall'operatore A (+2,72), ma anche gli altri operatori si avvicinano al valore +2,0 o -2,0, infatti l'operatore B trova uno scostamento massimo dal valore medio +2,13 e l'operatore C trova +1,93.

I valori medi trovati dai tre operatori con questa terra sono molto vicini fra loro: 17,57 (A), 18,07 (B), 17,51 (C), per cui lo scostamento massimo risulta fra B e C ed è uguale a 0,56%.

Terra 2 - lo scostamento massimo è stato sempre trovato dall'operatore A (-2,15), mentre i tre valori medi differiscono tra loro molto di più di quelli trovati per la terra 1: 19,65 (A), 17,77 (B), 18,52 (C).

Terra 3 - (due operatori). Le cose non cambiano di molto benché si noti fra i valori medi dei due operatori una differenza questa volta di 3,43%: 14,39 (A), 17,82 (B).

Limite di ritiro (L_r)

Per il limite di ritiro si notano differenze notevoli fra una terra e l'altra.

Infatti si ha (2):

Terra 1 - scostamento massimo del valore medio (-1,72) riscontrato dall'operatore B; differenza massima fra i risultati di due operatori diversi (fra B e C) = 4,94%.

Terra 2 - scostamento massimo = +6,78% (operatore A); differenza massima fra i risultati di due operatori diversi (fra B e C) = 6,64%.

Terra 3 - scostamento massimo = 1,08% (operatore B); differenza massima fra i risultati dei due operatori = 1,77%.

Nella tabella IV abbiamo riportato in succinto i risultati di queste esperienze. Essi ci permettono di notare che le variazioni maggiori si hanno nella determinazione dei limiti di ritiro, per cui si arriva a scostamenti massimi dal valore medio del 6,78%.

Nella tabella V si sono conglobati i dati relativi al solo operatore B: limiti di ATTERBERG, indice di plasticità (I.P.) dati granulometrici e valori limiti del PROCTOR.

(2) Tener presente che ogni risultato di L_r riportato è media aritmetica dei valori corrispondenti a due esperienze eseguite con lo stesso impasto.

TABELLA I

<i>Terra 1</i>	OPERATORE A			OPERATORE B			OPERATORE C		
	Risultati	Valore medio	Scostamenti dal valore medio	Risultati	Valore medio	Scostamenti dal valore medio	Risultati	Valore medio	Scostamenti dal valore medio
Limite di liquidità	31,50	29,48	+ 2,02	34,60	34,18	+ 0,42	30,50	31,84	- 1,34
	27,50		- 1,98	34,70		+ 0,52	32,50		+ 0,66
	29,40		- 0,08	34,60		+ 0,42	30,25		- 1,59
	29,50		+ 0,02	34,50		+ 0,32	32,47		+ 0,63
	29,50		+ 0,02	32,50		- 1,68	33,50		+ 1,66
Limite di plasticità	16,99	17,57	- 0,58	16,15	18,07	- 1,92	19,44	17,51	+ 1,93
	17,03		- 0,54	19,10		+ 1,03	16,14		- 1,37
	15,93		- 1,64	16,00		- 2,07	18,22		+ 0,71
	20,29		+ 2,72	20,20		+ 2,13	16,32		- 1,19
	17,62		+ 0,05	18,90		+ 0,83	17,45		- 0,06
Limite di ritiro	12,22	13,23	- 1,01	16,16	14,97	+ 1,19	18,50	18,17	+ 0,33
	14,62		+ 1,39	15,45		+ 0,48	18,14		- 0,03
	14,46		+ 1,23	13,25		- 1,72	18,60		+ 0,43
	13,18		- 0,05	16,30		+ 1,33	18,20		+ 0,03
	11,69		- 1,54	13,70		- 1,27	17,40		- 0,77
Indice di plasticità		11,91			16,11			14,34	

I valori riportati per il limite di plasticità sono media aritmetica di tre esperienze eseguite con lo stesso impasto.

Per esempio l'operatore A come primo dato di limite di plasticità riporta 16,99 media dei seguenti tre valori

18,18; 16,14 e 16,66. Il limite di ritiro analogamente, viene riportato come media aritmetica dei valori ottenuti in due esperienze; l'operatore A, per es. per la prima esperienza trova 12,30 e 12,15: media 12,22.

TABELLA II

<i>Terra 2</i>	OPERATORE A			OPERATORE B			OPERATORE C		
	Risultati	Valore medio	Scostamenti dal valore medio	Risultati	Valore medio	Scostamenti dal valore medio	Risultati	Valore medio	Scostamenti dal valore medio
Limite di liquidità	33,15	34,63	- 1,48	32,00	32,19	- 0,19	31,82	32,90	- 1,08
	37,50		+ 2,87	32,00		- 0,19	33,40		+ 0,50
	37,50		+ 2,87	32,50		+ 0,31	32,50		- 0,65
	32,50		- 2,13	32,40		+ 0,21	32,86		- 0,04
	32,50		- 2,13	32,06		- 0,13	34,20		+ 1,30
Limite di plasticità	18,43	19,65	- 1,22	18,25	17,77	+ 0,48	18,19	18,52	- 0,33
	20,50		+ 0,85	16,60		- 1,17	19,33		- 0,81
	20,64		+ 0,99	18,30		+ 0,53	18,60		+ 0,08
	21,21		+ 1,56	17,49		- 0,28	18,51		- 0,01
	17,50		- 2,15	18,23		+ 0,46	17,97		+ 0,56
Limite di ritiro	17,55	20,09	- 2,54	17,75	17,08	+ 0,67	23,30	23,72	- 0,42
	26,87		+ 6,78	19,05		+ 1,97	23,90		+ 0,18
	23,06		+ 2,97	14,65		- 2,43	24,20		+ 0,48
	15,95		- 4,14	15,75		- 1,33	24,80		+ 1,08
	17,05		- 3,04	18,20		+ 1,12	22,40		- 1,32
Indice di plasticità		14,98			14,42			14,38	

Ogni valore del limite di plasticità si riferisce alla media aritmetica di tre esperienze eseguite con lo stesso impasto.

Ogni valore del limite di ritiro si riferisce alla media aritmetica di due esperienze eseguite sempre con lo stesso impasto.

TABELLA III

Terra 3	OPERATORE A			OPERATORE B		
	Risultati	Valore medio	Scostamenti dal valore medio	Risultati	Valore medio	Scostamenti dal valore medio
Limite di liquidità	35,20 35,90 34,30 33,50 32,50	34,28	+ 0,92 + 1,62 + 0,02 - 0,78 - 1,78	33,52 33,84 34,45 32,96 33,05	33,56	- 0,04 + 0,28 + 0,89 - 0,60 - 0,51
Limite di plasticità	12,09 15,73 13,74 15,10 15,30	14,39	- 2,30 + 1,34 - 0,65 + 0,71 + 0,91	17,94 19,46 18,18 15,67 17,84	17,82	+ 0,12 + 1,64 + 0,36 - 2,15 + 0,03
Limite di ritiro	13,36 9,65 13,84 11,95 8,51	11,46	+ 1,90 - 1,81 + 2,38 + 0,49 - 2,95	10,77 8,62 9,85 7,29 11,92	9,69	+ 1,08 - 1,07 + 0,16 - 2,40 + 2,23
Indice di plasticità		19,89			15,74	

TABELLA IV

	Terra 1			Terra 2			Terra 3		
	L ₁	L _p	L _r	L ₁	L _p	L _r	L ₁	L _p	L _r
Scostamento massimo dal valore medio	+ 2,02	+ 2,72	- 1,72	+ 2,87	- 2,15	+ 6,78	- 1,78	+ 1,30	+ 1,08
Differenza massima fra valori medi di due operatori diversi	4,70	0,56	4,94	2,44	1,78	6,64	0,72	3,43	1,77

TABELLA V

Terra	L ₁	L _p	L _r	I. P.	Passanti ai setacci		Proctor	
					40 ASTM %	200 ASTM %	densità massima g/dm ³	acqua %
1	34,18	18,07	14,97	16,11	98,60	11,20	1,82	16,00
2	32,19	17,77	17,08	14,42	98,00	8,4	1,68	18,00
3	33,56	17,82	9,69	15,04	87,7	40,8	1,73	9,50

Da tali dati può riscontrarsi come la percentuale d'acqua corrispondente alla densità massima PROCTOR (3) si mantiene quasi sempre leggermente superiore

al limite di ritiro; nella terra 3 L_r è leggermente superiore al per cento ottimo di acqua.

B) Secondo gruppo di esperienze.

Son quelle relative alla lettera c), cioè hanno avuto lo scopo di studiare l'influenza del tempo di sedimentazione dell'impasto di acqua e terra usato per le prove.

Si è sperimentato con due terre diverse, la terra 4 di natura caolinica (delle isole Lipari) e la terra 5 prevalentemente sabbiosa, operando in due modi di-

(3) L'apparecchio PROCTOR adoperato è eguale a quello usato dal laboratorio di Geotecnica di Napoli.

Cilindro: diametro interno 100 mm, altezza 127,5 mm, volume interno = 1.000 cm³.

Pestello: diametro 50 mm, peso 2,5 Kg.

Il materiale è stato posto in tre strati e compattato con 25 colpi di pestello per strato; altezza di caduta del pestello 30 cm; Energia per unità di volume = 5,63 Kg/cm³.

TABELLA VI

Terra 4	subito					dopo 24 ore				
	1	2	3	4	valore medio	1	2	3	4	valore medio
Limite di liquidità	87,2	87,9	86,2	85,9	86,8	95,7	93,8	95,5	92,5	94,37
Limite di plasticità	37,1	39,4	37,1	41,2	37,2	40,9	40,9	44,4	43,2	42,30
Limite di ritiro	20,4	22,5	20,38	20,43	20,93	23,5	23,6	27,3	23,6	24,50
Indice di plasticità					49,6					52,00

TABELLA VII

Terra 5		OPERATORE A			OPERATORE B		
		Risultati	Valore medio	Scostamenti dal valore medio	Risultati	Valore medio	Scostamenti dal valore medio
Limite di liquidità	subito	22,5 22,4 22,4	22,43	+ 0,07 - 0,03 - 0,03	23,02 22,80 22,70	22,84	+ 0,18 - 0,04 - 0,14
	dopo 24 ore	24,2 24,0 23,6	23,93	+ 0,27 + 0,07 - 0,33	24,0 23,2 24,1	23,77	+ 0,23 - 0,57 + 0,33
Limite di plasticità	subito	12,42 10,49 14,33	12,41	+ 0,01 - 1,92 + 1,92	19,41 17,42 16,20	17,67	+ 1,74 - 0,25 - 1,47
	dopo 24 ore	11,48 15,00 12,70	13,06	- 1,58 + 1,94 - 0,36	15,83 16,35 13,06	15,08	+ 0,75 + 1,27 - 2,02
Limite di ritiro	subito	0,00	0,00	—	0,00	0,00	—
	dopo 24 ore	11,90 10,10 9,20	10,40	+ 1,50 - 0,30 - 1,20	12,45 9,44 10,59	10,83	+ 1,62 - 1,39 - 0,24
	dopo 6 ore	—	—	—	10,22 11,10 8,84	10,05	+ 0,17 + 1,05 - 1,21
Indice di plasticità	subito		10,02			5,17	
	dopo 24 ore		10,87			8,69	

Nella tabella sono stati scartati i valori minimi e massimi, per cui le medie sono relative a tre valori.

versi: una volta eseguendo la prova subito dopo ultimato l'impasto ed una seconda volta lasciando l'impasto in riposo per 24 ore prima della prova stessa.

I risultati sono molto eloquenti: con la terra caolinica si hanno delle variazioni abbastanza sensibili

con aumento dei valori dei limiti relativi agli impasti che si sono messi a riposo rispetto a quelli con i quali si è operato subito, del 7,5% per il limite liquido, del 5,10% per il limite plastico e del 3,57% per il limite di ritiro.

Si tratta perciò di variazioni abbastanza sensibili che trovano giustificazione nel fatto che, trattandosi di terra molto avida di acqua, con il riposo, dopo eseguito l'impasto, la massa di acqua nella terra si distribuisce molto più uniformemente di quanto non possa ottenersi agendo, sia pure energeticamente, con la spatola.

La granulometria della terra 4 (in umido) ha dato i seguenti valori:

passante al	10 A.S.T.M.	=	98,15%
»	» 20	=	55,05%
»	» 40	=	33,05%
»	» 140	=	13,05%
»	» 200	=	1,23%

Con la terra 5, di natura prevalentemente sabbiosa (tabella VII) invece si nota che mentre i limiti liquidi e plastici dei due casi (impasto lasciato in riposo e non) differiscono di circa l'1÷2%, il limite di ritiro nella prova eseguita subito dopo l'impasto è zero, mentre arriva a circa il 10% con la terra lasciata in riposo.

E' stata fatta sempre con questa terra una prova di controllo eseguendo il limite di ritiro con impasto lasciato in riposo per sei ore: praticamente si è ottenuto un valore molto vicino a quello trovato con la terra in riposo per 24 ore.

Le prove sono state fatte dai due operatori A e B; le maggiori differenze si hanno fra i risultati ottenuti dai due operatori, infatti mentre l'operatore A (eseguendo le esperienze dopo 24 ore della confezione dell'impasto) trova un indice di plasticità di 10,87, l'operatore B arriva a 8,69.

Ciò indica la notevole influenza personale di tali prove che abbiamo riscontrata un po' in tutte le altre precedenti esperienze.

L'analisi granulometrica della terra 5 è la seguente:

passante al setaccio	10 A.S.T.M.	=	71,90%
»	» 20	=	45,50%
»	» 40	=	23,30%
»	» 140	=	15,80%
»	» 200	=	13,45%

La prova PROCTOR ha dato una densità massima secca = 1,795 g/cm³ corrispondente ad una percentuale d'acqua ottima = 10,3%.

C) Terzo gruppo di esperienze.

Si è voluta studiare l'influenza sui limiti di ATTERBERG dell'uso per le successive prove della terra usata in quelle precedenti.

Talvolta capita che si abbia a disposizione poca terra, non sufficiente ad eseguire tutte le prove, per cui si è costretti a riadoperare, per ripetere le prove, la terra che ci è servita per eseguire le prime, e che è stata regolarmente asciugata in stufa.

Nella tabella VIII abbiamo riportato i dati ottenuti una volta cambiando in ogni prova il materiale ed una seconda volta usando per le varie esperienze sempre la stessa terra.

Le differenze non sono molto sensibili per i limiti di liquidità e di plasticità, mentre si arriva all'1,05% nelle prove per il limite di ritiro.

TABELLA VIII

Terra 6	Si opera cambiando il materiale ad ogni esperienza			Si opera usando nelle varie esperienze lo stesso materiale		
	Risultati	Valore medio	Scostamento dal valore medio	Risultati	Valore medio	Scostamento dal valore medio
Limite di liquidità	17,80 16,30 17,00	17,03	+ 0,77 - 0,73 - 0,03	16,50 17,80 17,70	17,33	- 0,83 + 0,47 + 0,37
Limite di plasticità	11,46 14,20 12,43	12,70	- 1,24 + 1,50 - 0,27	15,02 11,82 13,40	13,41	+ 1,61 - 1,59 + 0,01
Limite di ritiro	20,00 22,95 19,84	20,93	- 0,93 + 2,02 - 1,09	23,91 22,62 19,42	21,98	+ 1,93 + 0,64 - 2,56
Indice di plasticità		4,33			3,92	

N. B. - Nella presente tabella sono stati scartati i valori minimi e massimi, per cui i valori medi riportati sono relativi a tre dati soltanto.

TABELLA IX

Proctor	1	2	3	4	5	6
Densità massima g/cm ³	1,82	1,68	1,73	—	1,79	1,77
Umidità ottima %	16,0	18,0	9,50	—	10,3	15,8
Limite di ritiro	14,97	17,08	9,69	24,50	10,83	20,93
Indice di plasti- cità	16,11	14,42	15,04	52,00	8,69	4,33

Nei risultati di cui alla tabella VIII si sono scartati i valori massimi e minimi di ciascun gruppo di esperienze, per cui le medie si riferiscono soltanto a tre valori: si nota subito che gli scostamenti dal valor medio sono meno sensibili di quelli di cui alle tabelle I, II e III.

La terra 6 usata per queste esperienze aveva la seguente granulometria (ad umido) del passante al 10 A.S.T.M.:

passante al 40 A.S.T.M. = 92,4%

» » 200 » = 23,4%

La prova PROCTOR ha fornito una densità massima secca di 1,77 g/cm³ corrispondente ad una percentuale ottima di acqua = 15,80%; peso specifico dei grani della terra = 2,63 g/cm³.

Normalmente si ritiene che l'umidità ottima ottenuta con la prova PROCTOR risulti eguale — all'incirca — al limite di ritiro.

Nella tabella IX si riportano i valori del limite di ritiro ed i dati del PROCTOR per tutte le terre da noi esaminate.

Si nota da questi risultati che *generalmente* il limite di ritiro è vicino al valore dell'umidità ottima e si mantiene — quasi sempre — leggermente inferiore a detto percento di umidità.

4 - Considerazioni conclusive

Le ricerche, su cui si è riferito, avevano lo scopo di chiarire alcuni aspetti delle prove per la determinazione dei limiti di ATTERBERG (liquidità, plasticità, ritiro).

Dalle numerose esperienze eseguite anche da operatori diversi si possono trarre alcune interessanti conclusioni:

a) la variazione fra una esperienza ed un'altra eseguita con data terra da uno stesso operatore può essere abbastanza sensibile;

b) variazioni più sensibili si hanno se si confrontano i risultati ottenuti da operatori diversi;

c) l'influenza del tempo di sedimentazione dell'impasto è piccola nel caso di terre sabbiose, diventa, invece, abbastanza sensibile per terre argillose-limose o, in generale, per terre che assorbino grande quantità di acqua;

d) nella ripetizione di prove con terra già usata nelle esperienze precedenti sono state riscontrate variazioni praticamente eguali a quelle del punto a), per cui si ritiene che tale procedimento non influenzi in modo sensibile i risultati;

e) infine, il valore della percentuale d'acqua corrispondente alla densità massima PROCTOR, in parecchi casi, è vicino a quella del limite di ritiro, sebbene in qualche esperienza se ne discosti di parecchio.

Da quanto sopra esposto si possono dedurre alcune considerazioni che occorre tener presente nella pratica di laboratorio;

— le prove dei limiti di ATTERBERG sono prove empiriche e perciò è necessario attenersi scrupolosamente alle modalità normalizzate; poiché generalmente i risultati sono utilizzati per fare dei confronti, le prove dovrebbero essere eseguite da uno stesso operatore;

— è molto importante — specialmente per le terre argillose o limose — che l'impasto sia lasciato a sedimentare per almeno sei ore prima dell'esperienza;

— dato che si sono riscontrate sensibili variazioni fra una esperienza ed un'altra, negli studi di certo interesse sarebbe opportuno che ogni prova venisse ripetuta almeno cinque volte: il risultato dovrebbe essere la media aritmetica di tre prove, avendo scartati il valore massimo e quello minimo (infatti abbiamo notato che, operando in tal modo, gli scostamenti dal valore medio sono meno sensibili);

— chiariamo che ciò che noi chiamiamo una prova viene sempre eseguita con tre provini, da un unico impasto, per la determinazione del limite di pla-

sticità, e con due provini per la determinazione di quello di ritiro, perciò nei due casi dovrebbero eseguirsi rispettivamente 15 e 10 prove. Si tratta, però, di esperienze molto semplici e per le quali non occorre una grande attrezzatura o notevole perdita di tempo;

SOMMAIRE - Pour connaître la susceptibilité d'une terre à l'eau, on se sert généralement des Limites d'ATTERBERG; limites de Liquidité, de Plasticité et de Retrait. Après avoir examiné les caractéristiques générales et les méthodes suivies pour la détermination de ces limites, on a ici étudié:

- a) la variation parmi les expériences exécutées sur une certaine qualité de terre par un même opérateur;
- b) l'influence de change d'opérateur;
- c) l'influence du temps de sédimentation des pâtes;
- d) la possibilité d'employer pour un essai le même sur des terres différentes par nature et granulométrie.

Concluant, nous avons donc remarqué considérable variations entre les valeurs obtenues par le même opérateur (surtout à l'égard du limit de plasticité et celui de retrait). Ces variations sont pourtant plus hautes si l'on rapporte les résultats d'un opérateur avec ceux d'un autre.

De plus, il est très important, spécialement pour les terres argileuses, que l'on laisse la pâte en sédimentation au moins six heures avant l'expérience.

Enfin, nous avons remarqué que la valeur du pourcentage d'eau correspondante au maximum PROCTOR, dans presque tous les cas examinés (six terres) est de peu supérieure au limite de retrait, et que dans une seule expérience elle s'en éloigne beaucoup.

— nel caso di prove di campagna in cui sono sufficienti dei dati approssimati ci si può accontentare di una sola prova.

Palermo - Reparto Asfalti del Centro Sperimentale Ind. Min. Sic.

SUMMARY - To know the susceptibility of a soil to water we make generally use of ATTERBERG Limits: Liquid Limit, Plastic Limit and Shrinkage Limit.

After examined general characteristics and methods followed for determining these limits, we studied:

- a) the variation among trials made by a same operator on a given soil;
- b) the influence of the change of operator;
- c) the influence of the rest-time of kneadings;
- d) the possibility of using for a trial the same material before used.

Concluding: values are very different (especially in Plastic Limit and in Shrinkage Limit) with the same tester, and differences are greater comparing the results of many testers.

We also noted that resting is very important in preparing soil with water. At least we have remarked that the value of water contents corresponding to the maximum PROCTOR (in five of the six soil tested) is a little higher than Shrinkage Limit.

Bibliografia

- [1] ATTERBERG A. - *Über die Physikalische Bodenuntersuchung und über die Plastizität der Tone* - Internationale Mitteilungen für Bodenkunde, Vol. 1, 1911.
- [2] CASAGRANDE A. - *Research on the Atterberg Limits of Soils* - Public Roads, Vol. 13, N. 8, ottobre 1932.
- [3] CASAGRANDE A. - *Classification and Identification of Soils* - Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol. 113, pag. 901, 1948.
- [4] ARIANO R. - *I materiali stradali* - pag. 34 - Ed. Görlich, Milano, 1950.
- [5] A.S.T.M. - *Procedures for testing Soils* - Ed. American Society for Testing Materials - Philadelphia, 1950.
- [6] PELTIER R. - *Manuel de laboratoire Routier* - Dunod, Paris, 1954.
- [7] CROCE A. - *Attività del Centro Geotecnico nel quinquennio 1947-51* - Atti Fondaz. Polit. Mezzog., Vol. IV, 1952.
- [8] LAMBE T. W. - *Soil testing for Engineers* - Ed. Y. Wiley & Sons, London. 1951, pag. 25 e pag. 149.

GEOTECHNIQUE

Con il gennaio 1957 l'abbonamento alla rivista trimestrale « Géotechnique », pubblicata da *The Institution of Civil Engineers* di Londra verrà aumentato da lire sterline 1,0 s. a lire sterline 1,10 s. Tuttavia per i soci della *International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering* il costo dell'abbonamento rimarrà invariato. Ricordiamo che i soci dell'Associazione Geotecnica Italiana sono di diritto soci della *International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering* e possono quindi godere dell'anzidetta agevolazione.

ATTI DEL I CONGRESSO INTERNAZIONALE DI GEOTECNICA (1936)

Nel 1936 si è tenuto a Cambridge, Masso, il I Congresso Internazionale di Geotecnica. Gli Atti, che vennero stampati in occasione di questo Congresso, sono oggi irrimediabilmente. L'Associazione Geotecnica Italiana, essendone venuta temporaneamente in possesso, ha provveduto alla loro riproduzione fotografica, ben conoscendo l'importanza che ancora oggi tali Atti hanno nel campo geotecnico.

I Soci potranno chiedere alla Segreteria dell'Associazione Geotecnica Italiana, Via Mezzocannone, 16, Napoli, dietro rimborso delle spese, la riproduzione degli articoli che li interessano, ed in particolare dell'indice, che è formato da 15 pagine (costo L. 200).