

# MISURA DELLE PROPRIETÀ TIXOTROPICHE DI TERRENI ARGILLOSI DELLA VALLE DELL'OSPO (TRIESTE) (\*)

E. STEFANI (\*\*)

**SOMMARIO:** Nella nota vengono forniti i risultati di una prima serie di prove su una argilla-limosa di origine marina, allo scopo di determinare la variazione della resistenza di taglio in funzione del tempo. Tale valore è stato fornito dalla resistenza all'estrazione di piccoli paletti cilindrici in calcestruzzo infissi nel campione e quindi estratti dopo un periodo di permanenza variabile fino a 27 giorni. L'estrazione è stata fatta con una bilancia a braccio di grande sensibilità.

Nella nota vengono pure riportati alcuni dati che permettono di definire le proprietà del terreno allo studio.

## Premessa

Con questa relazione si vuole dare un resoconto parziale di prove eseguite nel laboratorio di Geotecnica dell'*Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche di Trieste*, allo scopo di individuare le caratteristiche di sensibilità e di recupero della resistenza di taglio per effetto tixotropico di un terreno argilloso.

I risultati finora conseguiti si possono considerare in sostanza positivi, anche se per la novità del procedimento e dell'apparecchiatura adottati, e quindi per il limitato numero di prove eseguite, non è lecito ancora definire un criterio preciso di valutazione dei risultati stessi e in definitiva un giudizio sull'attendibilità del metodo escogitato. Come si vedrà più oltre sono intervenute troppe variabili a condizionare l'esito delle prove, anche se la loro presenza non si può considerare del tutto negativa.

## Provenienza del campione

I terreni costituenti il fondo marino lungo la costa attorno alla città di Trieste e gran parte del materiale di riempimento delle due valli di Zaule e delle Noghere poste a sud della città (Fig. 1), sono costituiti da argille e fanghi di origine marina, oppure in facies di estuario. La natura geologica della zona circostante, cioè delle colline con struttura a flysch e del sovrastante altipiano calcareo del Carso dal quale provengono i due corsi d'acqua Rosandra e Ospò, che attraversano le due valli rispettivamente, ha creato una

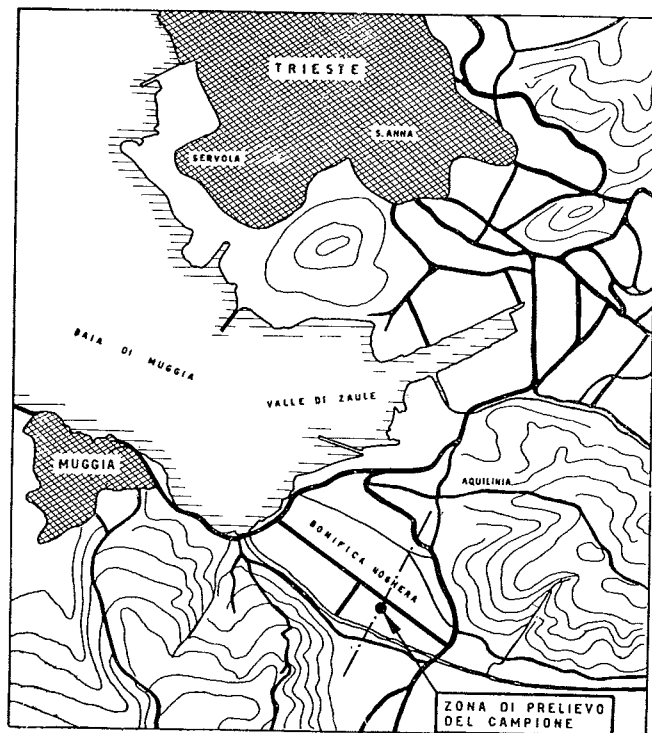


Fig. 1 - Planimetria.

(\*) Comunicazione presentata al VII *Convegno di Geotecnica* (Trieste, 1-2 giugno 1965).

(\*\*) Dott. Ing. Evaristo STEFANI, Assistente ordinario presso l'*Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche* dell'Università di Trieste.

situazione generale che può venire rappresentata molto bene dalla sezione stratigrafica riprodotta in Fig. 2 e dalla quale precisamente proviene il campione studiato. Certo le caratteristiche meccaniche di tali terreni argillosi e fanghi marini non si differenziano molto da quelli di altre località costiere; tuttavia in questa zona e specialmente lungo i tratti di riva

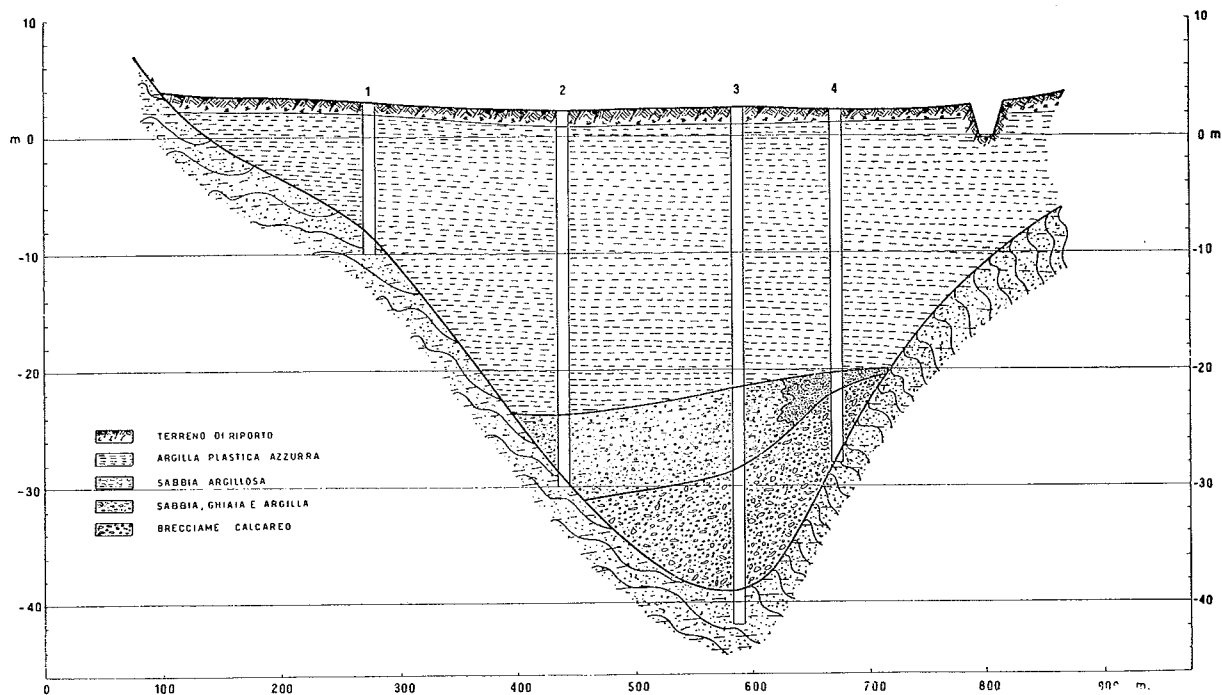


Fig. 2 - Sezione stratigrafica della valle.

che costituiscono ora il porto di Trieste al principio del secolo si sono verificati numerosi dissesti di opere marittime, che hanno destato interesse. La causa va attribuita forse anche al fatto che tali fanghi e argille poggiano su una struttura rocciosa irregolare e frastagliata, costituita da roccia marno-arenacea, o flysch, presente nella zona. La moderna tecnica delle fondazioni, specie con palificate, è in grado di aver ragione di difficoltà del genere; difatti attualmente tutta la valle di Zaule è occupata da impianti industriali anche di notevole entità e si ritiene imminente l'occupazione della adiacente valle delle Noghere da parte di industrie, essendo tale zona inclusa nel comprensorio del Porto Industriale di Trieste. Ed anzi proprio da sondaggi eseguiti recentemente in tale zona, allo scopo di fare uno studio preliminare per opere di fondazione, è stata ottenuta una certa quantità di terreno argilloso necessario per l'esecuzione delle prove qui descritte. La scelta di tale materiale per uno studio, esteso anche alle proprietà comprese sotto il concetto generale di sensibilità, sembra opportuna e utile, se si considera la composizione stratigrafica del giacimento ed anche le caratteristiche fisico-meccaniche dello stesso, già esaminate in precedenza. Rimane però il fatto comune della impossibilità di ricevere campioni che si possano considerare almeno un poco indisturbati (oppure che si riesca a preparare dei provini in tal senso), in modo cioè da poter eseguire le classiche prove atte a determinare le caratteristiche di sensibilità di tali terreni.

Non si vuole qui toccare l'argomento generale tanto difficile e discusso della corrispondenza fra i dati ricavati in laboratorio e la situazione che esiste in realtà; l'argomento diventa molto più difficile in questo caso, in quanto si tratta proprio della determinazione di caratteristiche per cui sarebbe necessario riprodurre in laboratorio le condizioni che esistono in

natura e di valutare nel modo più giusto il fattore tempo.

### Descrizione delle prove

Perché il campione adoperato per le prove fosse sicuramente di composizione uniforme e per poter partire anche ad una condizione iniziale di massimo grado di rimaneggiamento dello stesso, si è voluto sottoporlo ad una energica e prolungata azione di rimescolamento meccanico, dopo di averlo ricondotto ad uno stato di consistenza molto fluido. Il contenuto in acqua del campione alla fine infatti era di 55,1 %, quindi molto superiore al suo limite di liquidità, che è di circa 41,5. Dopo tale trattamento, una certa quantità di terreno è stata posta in una vaschetta, le cui forme e dimensioni vengono riprodotte in Fig. 3; si è voluto in tal modo permettere al campione di « riposare » in presenza d'acqua per un periodo di alcune settimane. Per evitare un'eccessiva evaporazione dell'acqua, la vaschetta con il contenuto è stata sistemata in un ambiente umido e inoltre ricoperta con un foglio di materiale plastico. Dalla figura citata si vede come vi era la possibilità per l'acqua di rendere saturo il campione e inoltre di limitare al massimo le tensioni per capillarità.

Del terreno così trattato, a parte sono state determinate, con le solite prove di laboratorio, le proprietà fisiche necessarie per una sua classificazione; cioè sono stati ottenuti i limiti di ATTERBERG, la composizione granulometrica e due curve di compressione edometrica. Quest'ultime sono state ricavate applicando ai due campioni rispettivamente i carichi dopo 7 e 15 giorni dalla loro sistemazione nelle scatole edometriche; e naturalmente per tutto il tempo è stata assicurata la loro saturazione con un carico d'acqua limi-

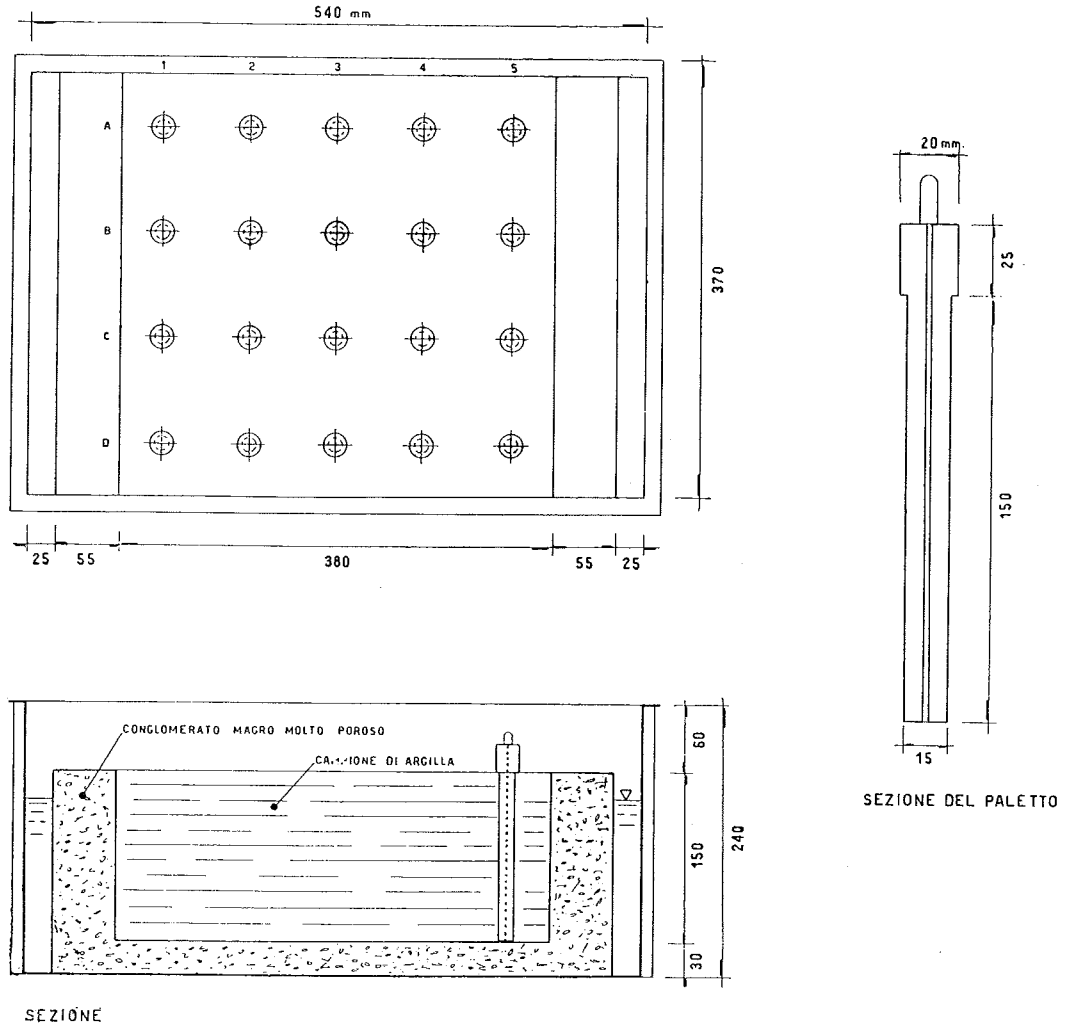


Fig. 3 - Vaschetta con campione.

tato. I risultati ottenuti dalle prove di laboratorio suddette vengono riportati nelle Figure 4 e 5; appare da queste che il terreno si può classificare tra le argille limose e la sua origine marina viene testimoniata dalla presenza di conchiglie. Nelle prove fatte in precedenza su tutti i campioni del sondaggio è risultato un basso valore dell'indice di consistenza per i terreni di questa serie.

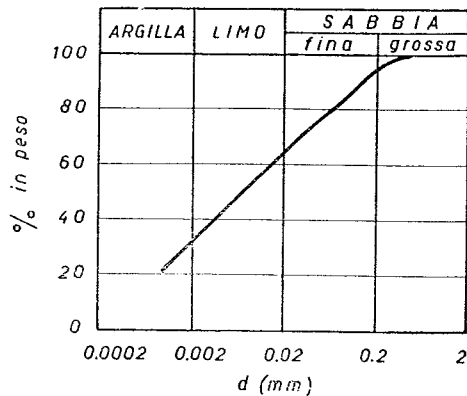


Fig. 4 - Granulometria del campione studiato. I valori dei limiti di Atterberg sono: LL = 41.5 %; LP = 23.6 %.

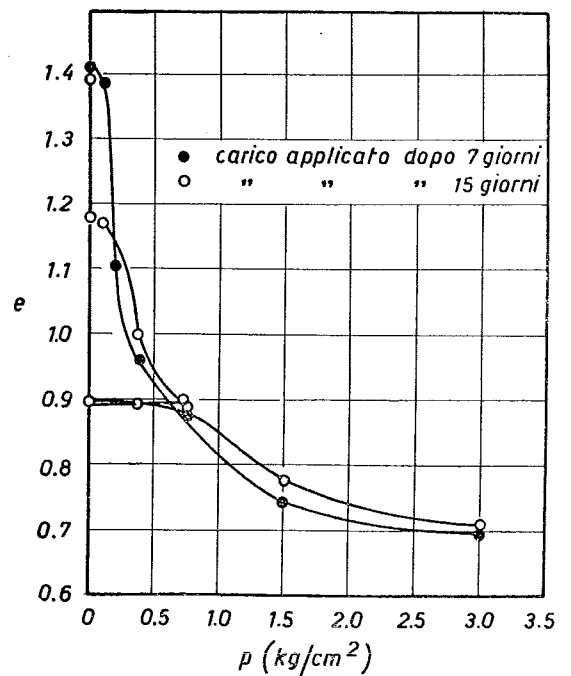


Fig. 5 - Prove di compressione edometrica.

Nel processo di estrazione di un palo infisso nel terreno, quando specialmente si riesca ad eliminare la depressione che tende a crearsi alla punta, è possibile determinare la resistenza del terreno sottoposto al taglio lungo la superficie di contatto con il palo stesso. I valori della resistenza di un terreno, secondo il TAYLOR [3] possono essere diversi, intervenendo nel processo quella che lui chiama resistenza addizionale, attribuita alla coesione e che in effetti sarebbe una resistenza all'accrescimento di volume del materiale portato al punto di equilibrio plastico. È determinante anche il fattore tempo, inteso come rapidità di esecuzione delle prove, per quella che viene chiamata resistenza strutturale plastica. Nel caso presente si è pensato di ottenere una situazione analoga adoperando dei modellini di paletti da infiggere e quindi estrarre dal campione, dopo una permanenza nello stesso più o meno lunga. Tuttavia la determinazione della resistenza del terreno ed i valori specifici ottenuti ogni volta hanno importanza relativa, essendo lo scopo principale di queste esperienze di verificare la variazione della resistenza con il tempo e con altri eventuali fattori, che in effetti intervengono nel processo.

Sono stati costruiti perciò dei paletti cilindrici in calcestruzzo, delle dimensioni riportate in Figura 3, il più possibile eguali fra di loro come forma e composizione. La presenza del foro longitudinale lungo l'asse e un semplice espediente adottato durante l'infissione, hanno permesso di annullare la depressione alla punta durante la fase di estrazione. Inoltre lo stato di fluidità del campione ha limitato la formazione di superficie di distacco fra terra e paletto, ciò che avrebbe falsato i risultati. Sulla figura citata viene rappresentata anche la situazione di un paletto infisso nel campione per quanto riguarda le dimensioni e la posizione dello stesso.

La misura dello sforzo necessario per l'estrazione dei paletti è stata ottenuta con una particolare bilancia decimale di buona sensibilità e capace di operare con carichi notevoli (Fig. 6). Con tale apparecchio è possibile l'applicazione dei carichi in modo continuo, per mezzo di un dinamometro ad anello avente un limite di carico non superiore a 1500 gr.; inoltre si possono adoperare i normali pesi per raggiungere valori più alti dello sforzo di estrazione. Le operazioni di caricamento quindi possono venire alternate e si ottengono agevolmente tutti i valori necessari per l'esecuzione dei diagrammi usuali sforzi-cedimenti; il punto di rottura può venire individuato con notevole precisione. Comunque, date anche le dimensioni dei paletti, è sempre possibile rilevare variazioni molto piccole di resistenza di taglio nel terreno.

Si fa ancora notare che l'interasse dei paletti posti a scacchiera era di 8 cm, quindi abbastanza grande per evitare influenze reciproche, tanto più inesistenti queste ultime, poichè gli stessi venivano sollecitati singolarmente ad una notevole distanza di tempo. Molto di frequente si è proceduto alla determinazione del contenuto in acqua nel campione ed in effetti si è notata una sua diminuzione dall'inizio alla fine delle prove. Si è accennato alle precauzioni adottate perchè l'acqua non evaporasse e la sua riduzione fino a valori molto prossimi al limite liquido, avvenuta nel periodo suddetto, permette forse una interpretazione

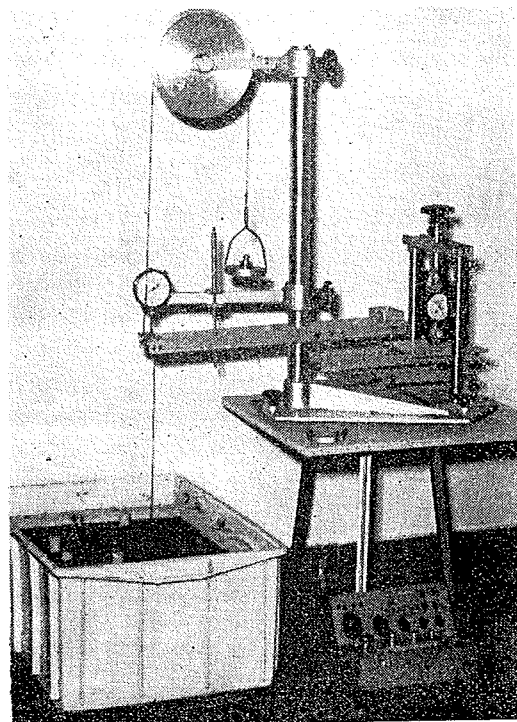


Fig. 6 - Dispositivo per la misura dello sforzo di estrazione.

del fenomeno che si può appoggiare su ipotesi avanzate da alcuni ricercatori in questo campo. Le considerazioni fatte da TROLLOPE e CHAN [1] a proposito dell'intima realtà del fenomeno tixotropico, sono infatti le seguenti: i terreni argillosi, per il fatto di essere costituiti in gran parte da particelle di forma lenticolare, che possiedono una certa attività superficiale di carattere elettrochimico, si trovano in uno stato di equilibrio, cioè con un minimo di energia libera, quando tali particelle sono disposte parallelamente fra di loro. Un cambiamento quindi della loro disposizione nella massa del terreno sottoposto in precedenza ad energico rimodellamento, nella loro ricerca di una nuova situazione di equilibrio, porta ad un avvicinamento delle stesse, con relativa riduzione della porosità ed aumento delle caratteristiche di resistenza al taglio.

Sarebbe utile perciò riprodurre il processo con maggiori precauzioni, per verificare la veridicità di quanto espresso qui sopra, e vedere se in realtà si può ottenere un certo grado di consolidamento di un terreno, sia pure molto limitato e di importanza teorica, senza azione di forze esterne, manifestantesi tale processo come diminuzione di contenuto in acqua e perciò della porosità del campione.

L'infissione e la relativa estrazione dei paletti hanno avuto luogo in tempi diversi e la permanenza più lunga degli stessi nel terreno è stata di 27 giorni. L'immediata estrazione di alcuni paletti infissi appunto in date diverse, contemporaneamente all'estrazione di alcuni rimasti nel terreno per un tempo più lungo, ha dato la possibilità di ottenere un valore che si può chiamare sensibilità acquisita, secondo SEED e CHAN [2], per valori diversi del contenuto in acqua.

**Risultati ottenuti**

I risultati, com'era del resto da attendersi, sono stati in sostanza positivi, nel senso che si sono registrati effettivamente degli aumenti di resistenza al taglio con l'aumentare del tempo di permanenza dei paletti nel terreno. I valori unitari sono bassi, senz'altro a causa dell'elevato contenuto in acqua del campione, ma come già detto, la loro importanza è relativa.

Si è fatto cenno ripetutamente all'intervento di fattori diversi nel corso delle prove ed in particolare si vuole elencare 3 soli, che sembrano i più evidenti e senz'altro i più importanti. Essi sono:

- 1) il contenuto in acqua, già ricordato e che ha subito una diminuzione costante per tutto il periodo delle esperienze;
- 2) la posizione dei singoli paletti, nelle file mediane oppure in quelle esterne adiacenti alle pareti della vasca;
- 3) l'effetto tempo (time effects) inteso come rapidità ed entità di applicazione dei carichi durante la prova di estrazione dei paletti.

Relativamente a quest'ultimo argomento, si intende solo ricordare la sua importanza in ogni tipo di prova di laboratorio e specialmente in quelle che tendono ad ottenere i valori della coesione e dell'angolo di attrito per terreni molto argillosi.

Nel caso presente il tempo di estrazione, e più precisamente la velocità ed il modo di applicazione dei carichi, sono stati determinanti per i risultati, essendo stati ottenuti in qualche caso valori molto più bassi di quello che era logico attendersi, a causa di un troppo rapido caricamento della bilancia; per tale ragione qualche prova ha dovuto venire scartata.

I dati ottenuti con le prove di estrazione vengono riprodotti su tre diagrammi:

α) nel diagramma di Fig. 7 viene riportato l'andamento della resistenza unitaria di taglio in funzione del tempo e per due file di paletti; la fila A presenta valori sempre inferiori alla fila B, che è interna (Figura 3) e si può quindi presumere un effetto di parete;

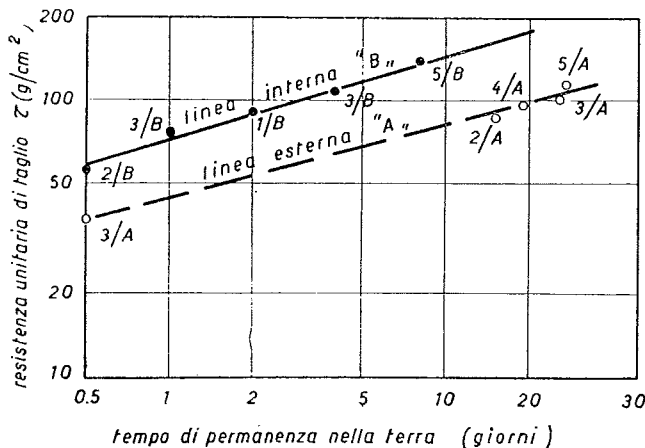


Fig. 7 - Diagrammi resistenza di taglio - tempo.

b) in Fig. 8 vengono riportati in ascissa i valori del contenuto in acqua del campione entro un campo di variazione verificatosi durante le esperienze, cioè da 48,0 a 42,9%; le ordinate rappresentano la resistenza di taglio del terreno, mentre le prove riprodotte hanno segnati vicino il numero di giorni della loro permanenza nel terreno ed il rapporto

$$A_s = \frac{\tau_t}{\tau_0}$$

che si può definire come acquisto di sensibilità (acquired sensitivity secondo SEED e CHAN, op. cit.) per contenuti d'acqua circa eguali. Nella Fig. 8 sono state ottenute 3 serie di valori;

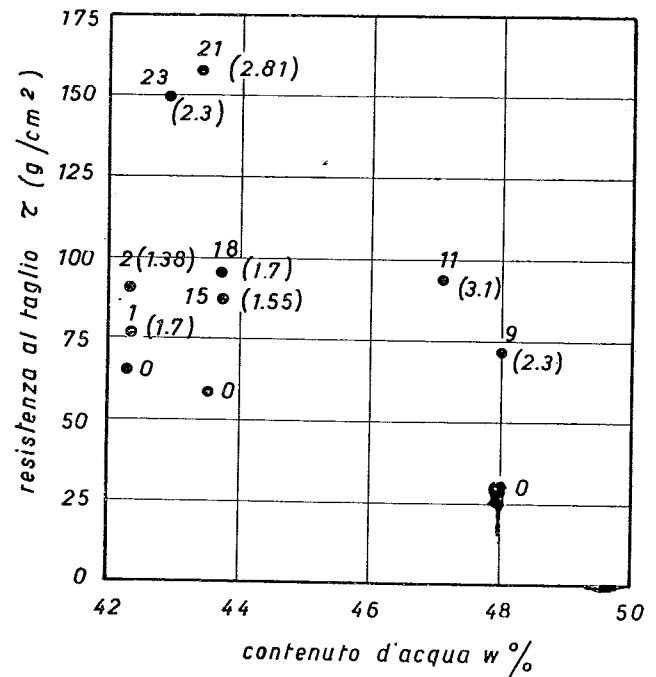


Fig. 8 - Diagrammi resistenza di taglio - contenuto d'acqua. I numeri riportati accanto ai punti sperimentali rappresentano i giorni di permanenza dei paletti nel terreno; i numeri in parentesi indicano i valori della sensibilità acquistata  $\tau_t/\tau_0 = A_s$ .

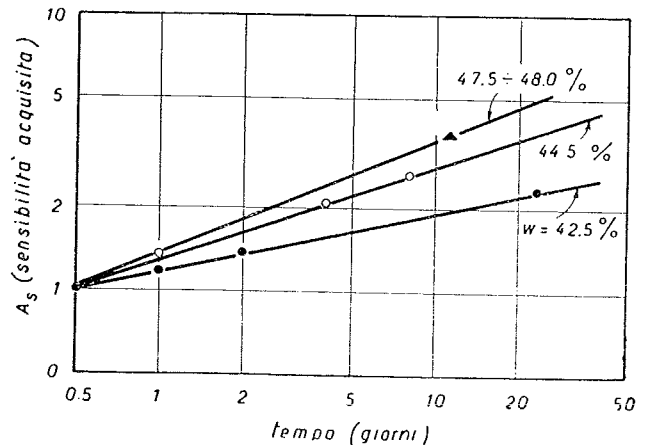


Fig. 9 - Diagramma recupero di sensibilità - tempo.

c) nella Fig. 9 vengono ripresi i valori di  $A_s$  della Fig. precedente e posti in funzione del tempo. Il risultato potrebbe apparire interessante, ove ulteriori esperienze venissero a dare conferma al metodo, nel quale caso si trarrebbero indicazioni sull'effetto tixotropico del terreno in funzione del contenuto in acqua dello stesso.

#### MESURE DES PROPRIÉTÉS TIXOTROPIQUE DE TERRAINS ARGILEUX DE LA VALLÉE DE L'OSPO (TRIESTE)

*Sommaire:* Dans la note sont fournis les résultats d'une première série d'essais sur une argile silteuse d'origine marine, dans le but de déterminer la variation de la résistance au cisaillement en fonction du temps. Telle valeur a été fournie par la résistance à l'extraction de petit palets cylindrique en béton enfoncés dans l'échantillon et ensuite extraits après une période de permanence variable jusqu'à 27 jours. L'extraction a été faite avec une balance à bras de grande sensibilité.

Dans la note sont aussi reportés quelques détails qui permettent de définir les propriétés du terrain à l'étude.

#### Bibliografia

- [1] TROLLOPE e CHAN: *Soil structure and the step — strain phenomenon*, Proceedings of A.S.C.E., vol. 86, april 1960.
- [2] SEED e CHAN: *Thixotropic Characteristics of compacted Clays*, Proceedings of A.S.C.E., vol. 83, november 1957.
- [3] D. E. TAYLOR: *Fundamentals of Soil Mechanics*, J. Wiley and S. N. Y.

#### MEASURE OF THE THIXOTROPIC PROPERTIES OF A CLAY SOIL FROM OSPO VALLEY (TRIESTE)

*Summary:* Shear strength variations of a marine silty clay as a function of time have been measured by pulling out cylindrical concrete model piles driven into a remoulded sample. The pulling tests have been performed by means of a beam scale of great sensitivity, and up to 27 days after driving the piles into the soil. The results of a preliminary series of tests are reported, together with figures and diagrams allowing a classification of the soil.