

PROVE SULL'IMPIEGO DI FANGHI BENTONITICI PER IL SOSTEGNO DI PARETI VERTICALI DI SCAVO IN TERRENI INCOERENTI (*)

G. MEARDI (**)

SOMMARIO: Si espongono i risultati di prove su modello eseguite con pareti verticali di materiali incoerenti a contatto con fango bentonitico per studiare il comportamento del fango e del terreno. Si è constatato che nel terreno già senza coesione, posto a contatto col fango questo penetra e si trovano resistenze di coesione. Si fa notare che queste resistenze possono avere importanza fondamentale nel fenomeno del sostegno delle pareti dei diaframmi continui eseguiti senza armatura.

Diversi anni fa furono scoperti metodi per la costruzione di diaframmi continui di calcestruzzo, armato o no, con l'impiego di fanghi bentonitici. E' noto come questi metodi si diffusero immediatamente, in particolare quelli che riguardavano diaframmi costruiti ad elementi rettangolari lunghi diversi metri.

Il fango bentonitico si dimostrò sufficiente a sostenere scavi non armati, anche in presenza di terreni privi di coesione (sabbie e ghiaie).

Un importante esempio di impiego dei fanghi bentonitici è dato dalla prima linea metropolitana di Milano, appena ultimata con pieno successo tecnico. Su 14 km di linea, spesso in vicinanza di fabbricati pesantissimi, non si ebbe nessun inconveniente degno di rilievo. Il massimo cedimento rilevato nei fabbricati fu di 3 mm da prima dei lavori a lavori ultimati.

Molti sono oramai gli esempi di impiego del metodo sopra menzionato; ma il problema della stabilità del terreno costituente le pareti dello scavo non è ancora ben definito.

Per questa ragione nel *Laboratorio Geotecnico* del Politecnico di Milano si sono eseguiti studi su un modello dove era possibile eseguire scavi lunghi m 1,5 ed alti m 0,5 (v. foto Fig. 1). L'altezza del modello è molto piccola, ma essa rappresenta una delle situazioni più pericolose, perché durante lo scavo è stato accertato che gli scivolamenti avvengono più facilmente nella parte superiore dei diaframmi.

(*) Comunicazione presentata al VI *Convegno di Geotecnica* (Pisa, 9 Aprile 1963).

(**) Prof. Ing. Guglielmo MEARDI, Libero Docente incaricato di *Geotecnica* nel Politecnico di Milano.

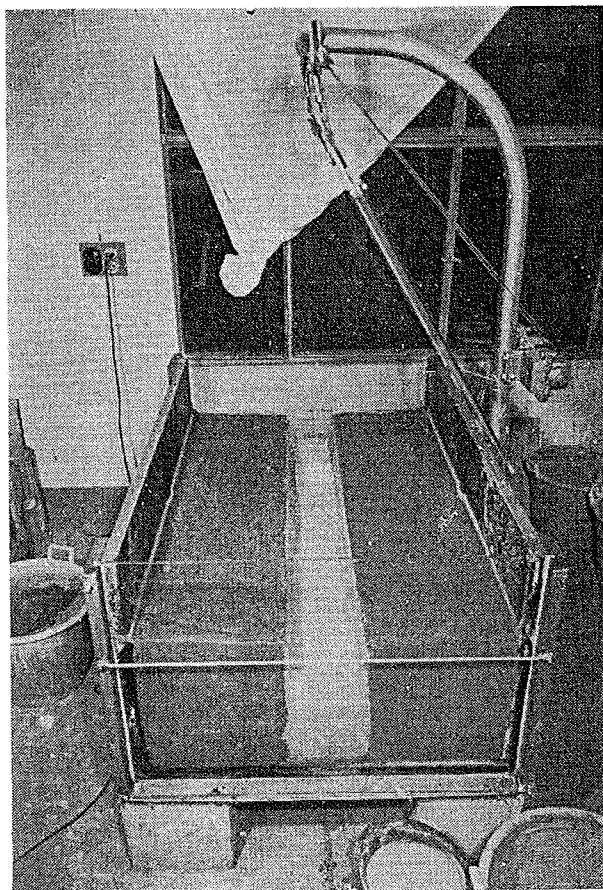


Fig. 1 - Prova eseguita con scavo a mano in una trincea. Il fango è già stato abbassato e la parete si mantiene integra.

Anzitutto noi volevamo osservare l'effetto del fango bentonitico su terreni privi di coesione (sabbie e ghiaie).

Sono state impiegate sabbia secca (la cui curva granulometrica è mostrata in Fig. 2a), la stessa sabbia saturata, sabbia e ghiaia sature (la cui curva granulometrica è mostrata in Fig. 2b) e ghiaietto da 5 a 15 mm. Il terreno fu sempre impiegato sciolto, come si disponeva versandolo con la pala nel modello.

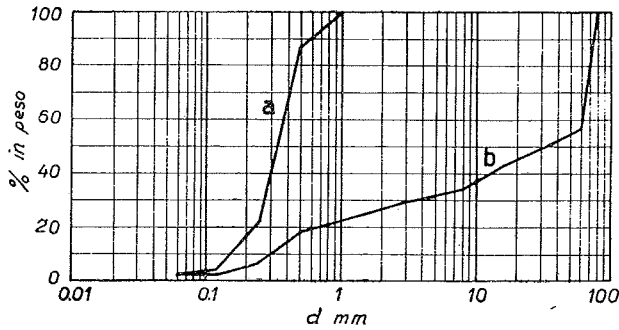


Fig. 2 - Granulometria della sabbia e della miscela sabbia-ghiaia impiegata nelle prove.

All'inizio il terreno da sostenere e la bentonite erano separati da una lastra di vetro che in seguito veniva lentamente sollevata (1 cm di sollevamento al minuto primo) ed estratta. Il fango bentonitico riusciva sempre a sostenere il piano del terreno. Essi erano la-

sciati in contatto per alcune ore, ed in seguito — estraendo il fango ed abbassandone così gradatamente il livello — si provocava la rottura. In Fig. 3 si vedono la lastra sollevata, il fango abbassato e la parete ancora verticale.

Per alcune prove, in luogo di usare la lastra di vetro, abbiamo scavato a mano una trincea larga 20 cm, tenendola costantemente piena di fango bentonitico (Fig. 1).

La bentonite impiegata era della provincia di Campobasso con 65 ÷ 75% di montmorillonite ed un limite liquido maggiore di 525%. E' stata attivata con Na_2CO_3 (Soda Solvay) in ragione del 4,75% della bentonite naturale.

Il fango è stato ottenuto introducendo in un mescolatore 136 kg di bentonite avente umidità naturale e 1.000 litri di acqua, e mescolando per 30 minuti.

La densità nelle varie prove variava da 1,05 a 1,095, e la viscosità da 21 a 25 centipoise.

Durante l'abbassamento del livello del fango si osservava sulla parete del terreno un denso pannello di spessore variabile; esso era più spesso in presenza di sabbia secca (10 ÷ 12 mm), più sottile in presenza di sabbia satura (6 ÷ 8 mm), inoltre uno strato di vario spessore dietro al pannello veniva bentonitizzato.

L'intensità della bentonitizzazione decresceva con l'aumentare della distanza dal pannello. Lo spessore dello strato bentonitizzato variava da 8 a 10 cm in sabbia secca e arrivava fino a 18 cm dopo diversi giorni di contatto. In Fig. 4, dopo la rottura nella

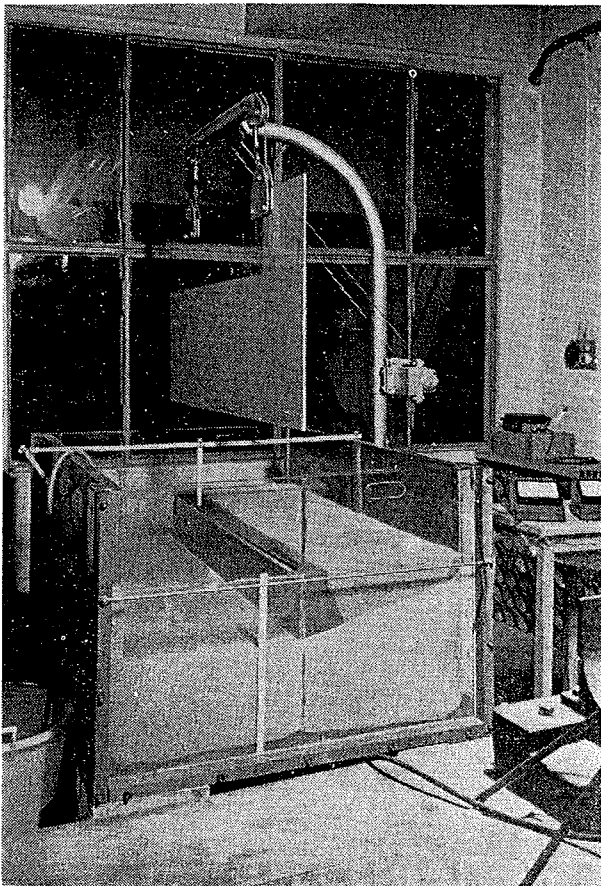


Fig. 3 - Prova eseguita impiegando una lastra di cristallo e sabbia asciutta. Il fango è già stato abbassato.

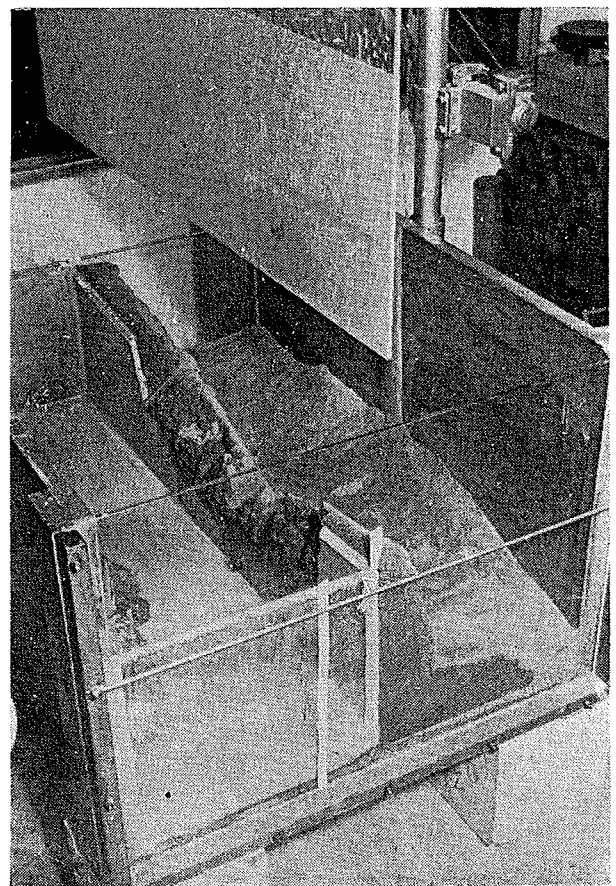


Fig. 4 - Dopo la rottura (con sabbia asciutta) isolamento della parte bentonitizzata.

prova con sabbia asciutta, si è isolata la parete bentonitizzata che sta in piedi. Si vedono bene il suo spessore e quello del pannello.

In diverse prove dopo la formazione del pannello e prima di abbassare il livello del fango bentonitico,

rente. La presenza della bentonite riscontrata in questo terreno può avergli dato tale proprietà.

La presenza della coesione può quindi anche spiegare come le pareti si possano mantenere praticamente verticali durante lo scavo per la costruzione dei dia-

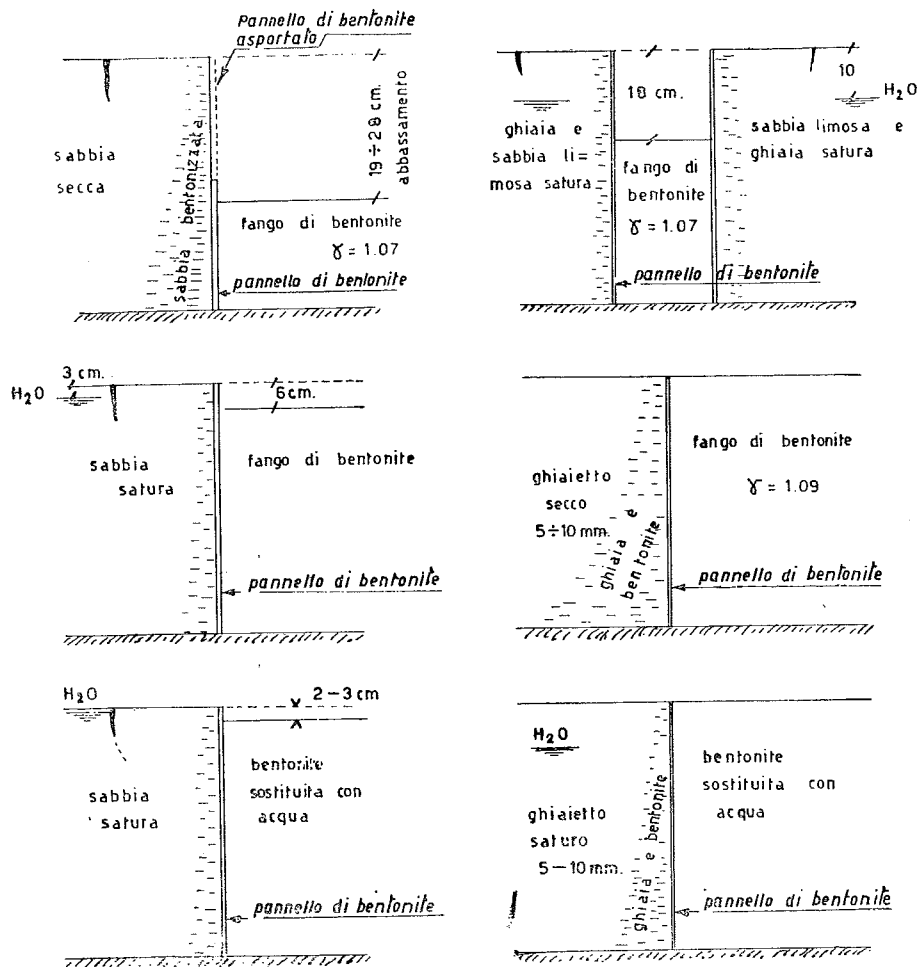


Fig. 5 - Raccolta delle prove più caratteristiche.

questo fu diluito con acqua finché quest'ultima sostituiva completamente il fango.

I vari livelli raggiunti prima della rottura sono mostrati in Fig. 5. Non fu possibile ottenere il normale scivolamento di un cuneo di terreno quando si è usato ghiaietto invece di sabbia; abbassando il livello del fango il ghiaietto rotolava lungo la parete. E' evidente che con simili materiali è necessaria anche una contemporanea pressione contro il pannello.

* * *

E' evidente che i terreni perfettamente incoerenti usati nelle prove sopra descritte non avrebbero potuto mantenersi con scarpata verticale, specialmente quando il livello del fango bentonitico o dell'acqua ad esso sostituita erano abbassati, se il terreno immediatamente dietro al pannello non fosse stato un poco coe-

frammi, anche quando la pressione attiva delle terre è maggiore della pressione del fango. Infatti la coesione aiuta la formazione dell'effetto d'arco nel suolo anche in vicinanza della parete: questi archi possono essere verticali fra strati naturalmente coerenti, e orizzontali tra le estremità dello scavo. Nel contempo la modesta rigidità del pannello premuto dal fango è sufficiente ad impedire la caduta degli elementi grossi (ghiaietto e sabbia) anche se di peso specifico assai maggiore di quello del fango.

La formazione di archi spiega il successo dell'accorgimento usato durante i lavori di costruzione dei diaframmi quando si hanno carichi forti dietro lo scavo o fabbricati molto vicini. La lunghezza degli elementi di diaframma, cui corrisponde la lunghezza dello scavo lasciato aperto, viene ridotta quando i carichi vicino alla parete sono più forti; si passa da m 5,40, normale, a m 1,80 e anche meno.

A nostro parere la maggiore sicurezza ottenuta è dovuta al fatto che in questo modo gli archi nel terreno sia orizzontali che verticali hanno maggior monta e pertanto la loro efficienza è aumentata.

* * *

Sono state fatte anche prove in grandezza naturale in un terrapieno artificiale appositamente preparato con ghiaia e sabbia debolmente assestata (con un penetrometro dinamico \varnothing 51 mm: $N = 8 \div 10$). Nel terrapieno vennero eseguiti, con fondazione a 3 m di profondità, tre elementi di muro lunghi m 1,65 con base lunga 1 m, contigui ma indipendenti (lunghezza totale

m 5,00), che si potevano caricare mediante martinetti idraulici fino a raggiungere i carichi massimi di una fondazione lineare. A 0,5 m dai muri venne eseguito uno scavo con fango bentonitico, profondo m 8, prima lungo m 1,80 e poi m 6,00. Con m 1,80 la parete si mantenne in piedi, con modestissimi cedimenti, anche con carico sui muri di 120 t/m. Con scavo portato a m 6 e con 120 t/m il cedimento accennava ad aumentare, cosicché, dovendo fare altre prove, si sospese il carico senza stabilizzazione.

E' evidente che con carichi così forti la spinta orizzontale del terreno senza coesione e senza archi nel terreno sarebbe stata ben maggiore di quella idrostatica del fango bentonitico.

SOME TESTS ON BENTONITIC MUDS USED TO SUPPORT VERTICAL WALLS EXCAVATED IN COHESIONLESS SOILS

Summary: The Author communicates the results of tests on models carried out with vertical walls of cohesionless materials in contact with bentonitic mud, in order to study the behaviour both of the mud and the soil. It was found that bentonitic mud penetrates in the cohesionless soil causing cohesion strengths. Such strengths can be of great consequence in the support of diaphragm walls carried out without shuttering.

ESSAIS SUR L'EMPLOI DE BOUE BENTONITIQUE POUR LE SOUTÈNEMENT DE PAROIS VERTICALES EXCAVÉES EN MATÉRIAUX SANS COHÉSION

Sommaire: On expose les résultats d'essais sur des modèles exécutés avec parois planes verticales de matériaux sans cohésion (sable et gravier) en contact avec boue bentonitique. Les essais ont été exécutés pour étudier le comportement de la boue et du terrain.

On a constaté que dans les terrains qui étaient sans cohésion après le contact avec la boue, celle-ci pénètre un peu, et que comparaisent des résistances de cohésion; que celles-ci puissent avoir une importance fondamentale dans le phénomène du soutènement des parois de diaphragmes continus exécutés sans coffrages.