

# OSSERVAZIONI SULLA PERFORAZIONE DI FORI E SCAVI SENZA RIVESTIMENTO

ARRIGO CROCE (\*)

## Oggetto dell'indagine

La perforazione di formazioni naturali, costituite sia da rocce lapidee che da rocce sciolte, a mezzo di scalpello e con circolazione di fango è da lungo tempo e su vasta scala impiegata nella ingegneria mineraria.

Come è ben noto, il fango ha la duplice funzione di assicurare la stabilità del foro in modo da evitare l'impiego di una tubazione di rivestimento e di portare in superficie i detriti, in cui lo scalpello riduce le rocce lapidee o i granelli, da cui sono formate le rocce sciolte.

Su scala di gran lunga più modesta la stessa tecnica è adottata nell'ingegneria civile per effettuare in formazioni di rocce sciolte prevalentemente incoerenti (sabbie, ghiaie) sondaggi a scopo esplorativo [1].

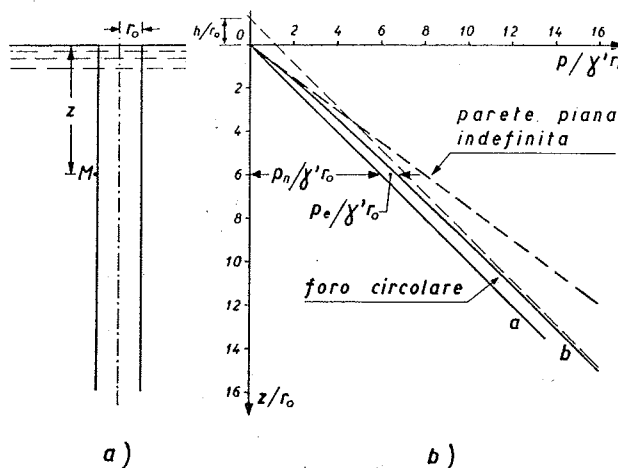


Fig. 1 - Ipotesi:  $\varphi = 30^\circ$ ;  $\gamma'/s_o = 1$

Di recente il campo di applicazione si è esteso alla formazione di strutture entro terra: dopo aver effettuato il foro con la tecnica accennata viene eseguito il getto di calcestruzzo. Le strutture così costituite — e la cui forma, dimensioni, modalità esecutive sono in continua evoluzione — avevano dapprima esclusivamente la finalità di realizzare diaframmi a difesa di argini, traverse in fiume e simili contro il pericolo di sifonamento e contro una troppo grande portata di

filtrazione attraverso le rocce sciolte costituenti i terreni di fondazione delle opere; in seguito sono apparse suscettibili di assolvere anche funzioni statiche.

Pertanto può essere di un certo interesse rendersi conto delle modificazioni che il sistema di perforazione adottato determina nelle rocce sciolte circostanti e delle condizioni di stabilità che si verificano nel corso della perforazione medesima e ciò sia al fine di interpretare correttamente quanto si è avuto e si ha agio di osservare nel corso di lavori del genere e successivamente circa il comportamento delle strutture così realizzate, sia in vista di ulteriori applicazioni e sviluppi.

L'argomento, sul quale si ferma dapprima l'attenzione quando si considera il sistema di perforazione in questione, è quello della stabilità del foro creato dallo scalpello. TERZAGHI [3] ha dato una soluzione approssimata del problema nel caso di terreno omogeneo ed incoerente e che conviene ricordare applicandola ad un caso particolare, che può valere come riferimento nell'esame dei risultati dell'indagine qui in oggetto.

Si consideri (fig. 1a) un terreno omogeneo caratterizzato da un peso dell'unità di volume  $\gamma$  <sup>(1)</sup>, da un angolo di attrito  $\varphi$  e da una coesione nulla. Il terreno stesso sia sede di una falda freatica in riposo, la cui superficie libera coincida con il piano di campagna. Nel

(1) Significato dei simboli adottati in questa comunicazione:

$z$  = distanza verticale generica

$r_0$  = raggio del foro

$s_o$  = peso specifico dell'acqua

$\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno

$\gamma'$  = peso dell'unità di volume del terreno detratta la spinta idrostatica

$\gamma_f$  = peso specifico del fango di circolazione

$n$  = porosità del terreno

$c$  = coesione

$\varphi$  = angolo di attrito

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$p_e$  = pressione effettiva (intergranulare)

$p_n$  = pressione neutra

(\*) Prof. Ing. Arrigo CROCE, Direttore del Centro Geotecnico della Fondazione Politecnica del Mezzogiorno, Napoli. Direttore della nostra Rivista.

generico punto  $M$  alla profondità  $z$  la pressione neutra ha il valore  $p_n = s_0 z$ .

Perchè il foro sia stabile, è necessario che sulla parete del foro stesso agisca lungo la generica generatrice un sistema di pressioni dirette dall'interno del foro verso il terreno circostante.

Una prima aliquota di tale pressione deve equilibrare la pressione neutra (spinta dell'acqua) che agisce in  $M$ : nel diagramma della figura 1b) e nelle coordinate adimensionali ivi indicate vi corrisponde la retta  $a$ .

La parte rimanente rappresenta la pressione effettiva  $p_e$ , che, agendo pur essa in direzione radiale, è capace di determinare nel terreno circostante una distribuzione di sollecitazioni tale che in nessun punto la resistenza del terreno sia superata. La distribuzione della  $p_e$ , secondo la soluzione data da TERZAGHI e nel caso particolare considerato nella figura 1b), è indicata dalla curva  $b$ : la  $p_e$  assume dunque valori che sono sempre di gran lunga minori della pressione neutra  $p_n$ ; inoltre essa tende asintoticamente ad un valore limite, pari nel caso in esame a circa  $1,15 \cdot \gamma' r_0$ , indipendente dalla profondità  $z$ . Per utile raffronto nella stessa figura è riportato l'andamento della pressione effettiva corrispondente alla condizione di spinta attiva nel caso di parete piana indefinita. E' ben evidente quindi come nel terreno circostante al foro si sviluppino nei piani orizzontali un effetto d'arco che riduce, già a profondità di pochi diametri, la pressione effettiva necessaria per mantenere il foro in condizioni di equilibrio a valori di gran lunga minori di quelli corrispondenti al caso della parete piana indefinita.

In conclusione quindi per mantenere in equilibrio la parete del foro occorre applicarvi un sistema di pressioni che si deducono immediatamente dalle ascisse  $\left(\frac{p_n}{\gamma' r_0} + \frac{p_e}{\gamma' r_0}\right)$  della curva  $b$ . A parte l'approssimazione della teoria, i valori così stabiliti sono esatti a condizione che, secondo le ipotesi ammesse, la distribuzione delle pressioni neutre nel terreno non vari in conseguenza dell'applicazione dell'anzidetto sistema di pressioni.

Tale scopo può essere raggiunto portando in qualche modo l'acqua nel foro fino ad un livello superiore al piano di campagna della quantità  $h$  risultante dal diagramma della figura 1b), a condizione — giova sottolineare — che rimanga immutata la pressione neutra agente nel generico punto  $M$ . Il valore di  $h$  è, nel caso particolare considerato, pari a circa  $1,15 r_0$ . Così facendo il coefficiente di sicurezza sarebbe pari ad 1.

Oppure si può sostituire all'acqua contenuta nel foro un liquido od una sospensione di peso specifico  $\gamma_f$  maggiore. Poichè la retta  $a$  tratti, che rappresenta la spinta attiva nel caso della parete piana indefinita, è tangente alla curva  $b$  nell'origine del diagramma, a rigore sarebbe necessario che il rapporto  $\gamma_f/s_0$  assumesse il valore  $1 + K_a \frac{\gamma'}{s_0}$ : nel caso particolare in esame 1,333.

In pratica, assicurando in qualche altro modo la stabilità del foro fino alla profondità di pochi diametri, sarebbero sufficienti valori di  $\gamma_f/s_0$  molto minori, ad esempio da 1,1 in sopra. Fissato un certo valore di questo rapporto, il coefficiente di sicurezza aumenta rapidamente con la profondità.

In definitiva dunque il fango di circolazione dovrebbe avere un peso dell'unità di volume da 1,1 ad 1,35 t/m<sup>3</sup>. Tali valori sono senz'altro realizzabili in pratica: è noto, infatti, che adoperando solo argille si raggiungono pesi dell'unità di volume fino ad 1,4 t/m<sup>3</sup> e che aggiungendo sostanze di peso specifico molto elevato (barite, ematite, ecc.) in polvere finissima si può andare fino a 2,4 t/m<sup>3</sup>.

Nei diaframmi, che con questo sistema vengono attualmente costruiti in Italia, si adoperano sospensioni di argille molto attive od addirittura di bentonite, che raggiungono pesi dell'unità di volume fino ad 1,3 t/m<sup>3</sup> circa e che, tuttavia, conservano, finchè sono in movimento, le caratteristiche di un liquido, sia pure di elevata viscosità, mediante l'aggiunta di opportuni elettroliti.

Infine è da ricordare che all'uscita dallo scalpello il fango possiede una certa pressione (qualche atmosfera) necessaria per mantenere il fango in circolazione. Pertanto durante il periodo di trivellazione effettiva il coefficiente di sicurezza del foro è di gran lunga superiore a quello deducibile dalle considerazioni innanzi illustrate.

Si può dunque concludere che l'analisi teorica del problema porta a riconoscere che, finchè il foro è ripieno di fango, è molto facile assicurare la stabilità del foro stesso con un soddisfacente margine di sicurezza.

Tuttavia altre questioni vanno considerate e cioè:

— penetrazione del fango nel terreno circostante al foro;

— variazioni di caratteristiche del terreno determinate dall'azione dello scalpello;

— stabilità del foro se, una volta ultimato, si sostituisce acqua al fango di circolazione;

— condizioni di equilibrio di scavi con sezione retta orizzontale diversa da quella circolare.

Per chiarire tali problemi occorre prendere le mosse, come è naturale, dall'osservazione di quanto effettivamente si verifica nella perforazione con la tecnica in esame. L'opportunità di svolgere una tale indagine si è offerta molto di recente in occasione della costruzione del diaframma della diga di derivazione di Ponte Annibale sul fiume Volturno (2).

### Svolgimento dell'indagine

La costruzione di questo diaframma è stata iniziata nella primavera scorsa adottando il noto procedimento I.C.O.S. Il diaframma avrà uno sviluppo di circa m<sup>2</sup> 5.500 e raggiungerà una profondità media dal piano di sbancamento di m 19 ed una profondità massima di m 32.

(2) L'indagine è stata svolta presso il Centro Geotecnico della Fondazione Politecnica del Mezzogiorno grazie all'appoggio finanziario dell'AN.I.D.E.L. Ringrazio altresì il Direttore dei Lavori, Ing. Mario BORTA, per aver consentito il prelievo dei campioni in sito e le Imprese Ing. V. CAROLA ed I.C.O.S. per aver facilitato tale parte dell'indagine.

Ringrazio infine l'Ing. Carlo AROLDI, borsista presso il Centro Geotecnico, che ha effettuato il difficoltoso prelievo dei campioni ed ha eseguito le prove di laboratorio con intelligenza e precisione.

Per verificare l'idoneità del sistema adottato a risolvere il problema di creare un diaframma senza soluzione alcuna di continuità nei terreni a grana sabbilimoso, su cui è impostata l'opera di derivazione, è stato costruito in sponda sinistra del fiume e nelle immediate vicinanze del diaframma un pozzo di prova (vedi fig. 2). Il pozzo è formato da 18 pali del diametro di mm 600, lunghi all'incirca m 28,00 e disposti su una circonferenza del diametro di m 2,80.

Ultimato il pozzo, in un primo tempo lo scavo nell'interno è stato effettuato su una sezione di diametro alquanto inferiore al diametro interno del pozzo. Lo

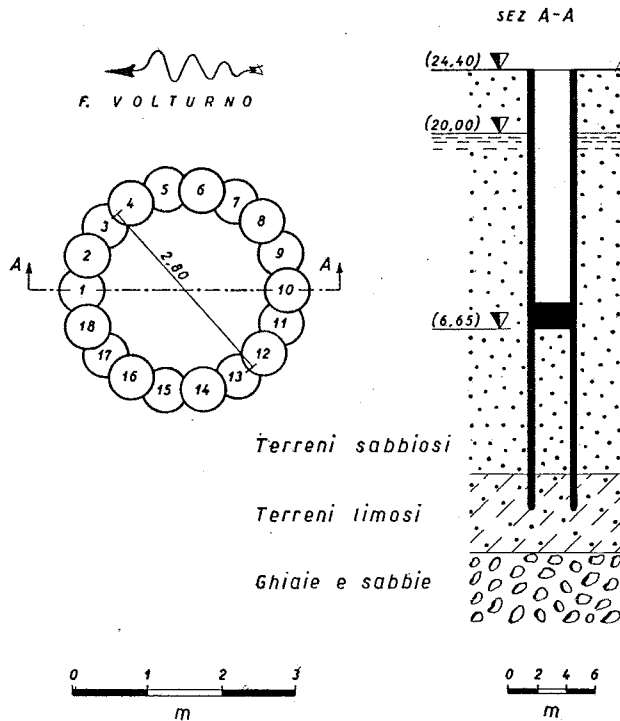


Fig. 2

scavo è stato eseguito a mano. Nel corso del lavoro l'acqua filtrava attraverso il fondo del pozzo in quantità molto ridotta. Raggiunta la profondità di m 11,60, è stato posto in azione l'impianto di abbassamento della falda appositamente realizzato e costituito da due pozzi filtranti del diametro di mm 400 disposti all'esterno del pozzo di prova lungo un diametro. In tal modo lo scavo è stato proseguito fino alla profondità di m 17,75.

Successivamente il fondo del pozzo è stato chiuso mediante un getto di calcestruzzo sott'acqua e si è proceduto al prosciugamento del pozzo medesimo.

Man mano che si svolgevano i lavori di scavo descritti è stato effettuato un minuzioso esame dei terreni, in cui il pozzo di prova è stato costruito, e sono stati prelevati molti campioni sia rimaneggiati che intatti. Per la maggior parte i campioni sono stati prelevati a circa cm 20 di distanza dalla superficie dei pali; i rimanenti nella zona centrale del pozzo.

Per il prelievo dei campioni intatti sono stati adoperati campionatori di varie dimensioni a seconda delle prove, a cui il campione era destinato, e precisamente:

$\phi = 33 \text{ mm}$  ,  $h = 72 \text{ mm}$  ;  $\phi = 70 \text{ mm}$  ,  $h = 50 \text{ mm}$ .

Altri campioni intatti sono stati prelevati mediante un campionatore tascabile tipo Hvorslev,  $\phi = 25 \text{ mm}$  ,  $h = 50 \text{ mm}$ .

In laboratorio sono state effettuate analisi granulometriche, determinazione dei limiti di consistenza, determinazione della porosità, prove di compressione triassiale, prove di compressione edometrica e permeabilità.

Le prove di compressione triassiale sono state effettuate con consolidazione a rubinetti aperti e rottura a rubinetti chiusi (prove  $Q_c$ ). I provini, il cui diametro era di mm 33, possedevano il loro contenuto di acqua naturale.

### Natura e caratteristiche dei terreni

Il sottosuolo della zona, in cui è stata impostata l'opera di presa, è costituito dai materiali che vengono continuamente trasportati e depositati dal Volturno lungo il suo tronco inferiore e che ricoprono formazioni calcaree, attraverso le quali il fiume si apre a Ponte Annibale il varco per passare nella pianura e raggiungere infine il mare.

L'opera quindi è fondata su una formazione lenticolare costituita da rocce sciolte a grana media e fine (sabbie e limi) e, meno frequentemente, da ghiaie più o meno sabbiose. Le caratteristiche dei terreni sono di conseguenza molto variabili ed in particolare la permeabilità varia entro limiti estesissimi (da  $10^{-1} \div 10^{-9}$  cm/sec). Dalle indagini effettuate in occasione della progettazione dell'opera risultava inoltre che nell'insieme predominano in sponda sinistra i terreni sabbiosi ed in quelli in destra i terreni limosi. Di qui l'ubicazione del pozzo di prova in sponda sinistra del fiume.

Questi dati sono stati confermati dall'indagine ora eseguita. I terreni, nei quali è stato costruito il pozzo di prova e fino alla profondità raggiunta con lo scavo (vedi fig. 3 e 4), sono sabbie ovvero sabbie più o meno limose.

Da m 6,00 circa fino a m 17,75 la sabbia è molto sottile, priva però di elementi appartenenti alla frazione limosa; conseguentemente non è stato possibile effettuare la determinazione dei limiti di consistenza. Le prove di compressione triassiale indicherebbero che nelle condizioni di sollecitazione e di drenaggio realizzate nelle prove la sabbia in questione possiede una certa capacità di resistere anche in condizioni di compressione a dilatazione trasversale libera. Data la granulometria del materiale ciò è da attribuire all'azione delle forze di capillarità, che è da ritenere non siano state completamente annullate nel corso delle prove. La sabbia ora detta è interrotta qua e là da intercalazioni di limo con sabbia, che per il loro spessore esiguo e per il fatto che, data la natura della formazione, sono senza dubbio di limitata estensione, hanno trascurabile interesse dal punto di vista tecnico (salvo che in relazione a moti di filtrazione in direzione verticale).

Procedendo verso l'alto, segue alla sabbia anzidetta una sabbia limosa (mediamente m 1,50; limiti di consistenza non determinabili) e poi una sabbia ancora

più ricca di limo (poco più di m 2,00). E' da notare che, per ragioni esecutive, all'inizio dei lavori il pozzo era stato scavato fino a poco più di m 2,00 di profondità e poi riempito con terra.

I terreni descritti sono sede di una falda freatica, il cui pelo libero in prossimità del pozzo di prova si è mantenuto, con variazioni molto modeste, intorno alla

sabbie profonde (fig. 2) ha sede una falda con quota piezometrica superiore alla precedente di circa m 3,00.

**Penetrazione del fango**

L'esame dei terreni all'interno del pozzo di prova e nell'immediata vicinanza dei pali ha posto in evi-

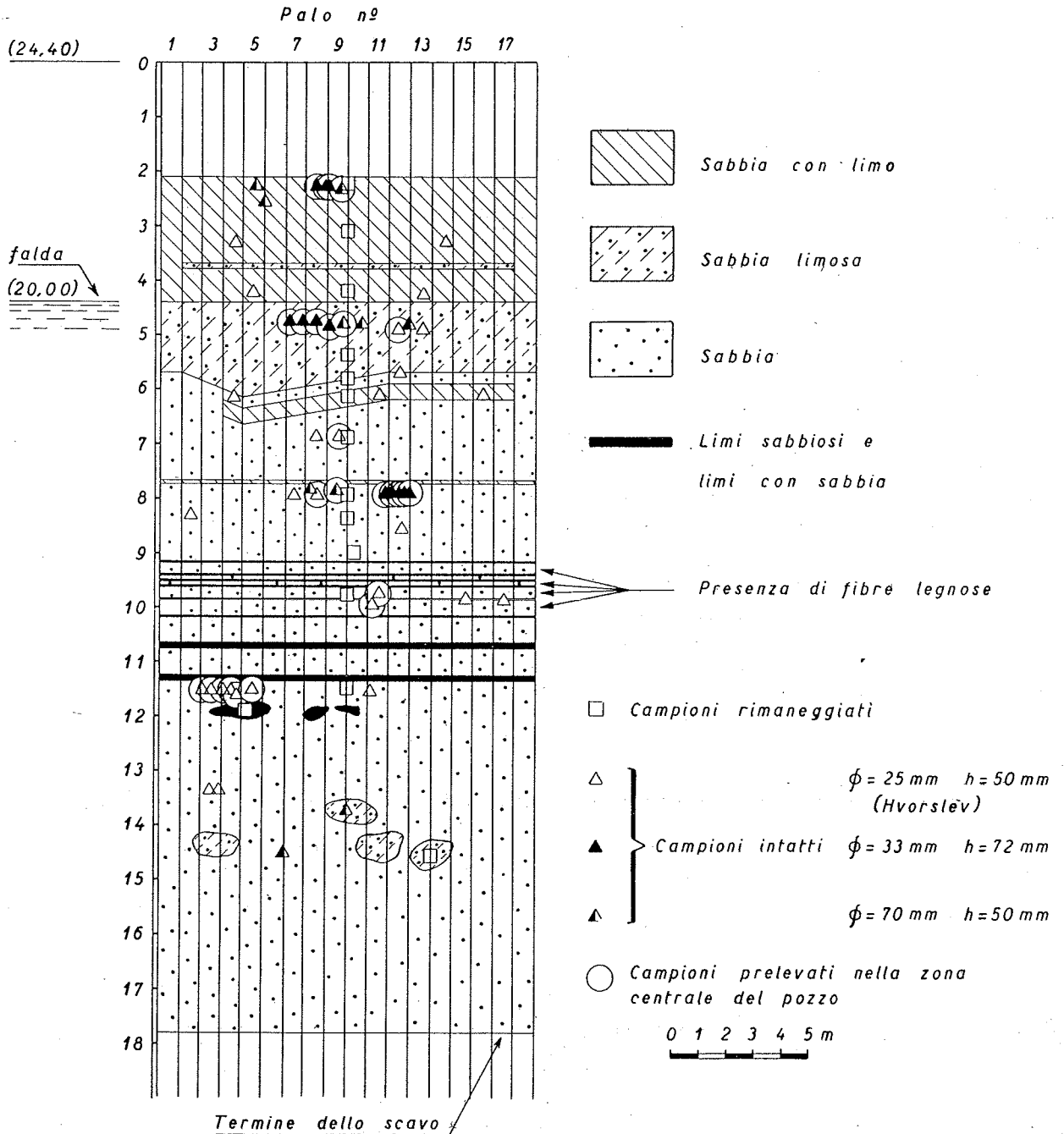


Fig. 3

quota (20,00). Tale falda è alimentata dai rilievi calcarei che fiancheggiano il fiume a breve distanza ed è in lento movimento in direzione trasversale al fiume, che ne rappresenta il naturale recapito.

Per completezza giova accennare che nelle ghiaie e

denza che durante la perforazione si forma sulle pareti del foro una guaina molto sottile di terreno intimamente mescolato all'argilla od alla bentonite del fango di circolazione. Il passaggio da questa miscela al terreno naturale circostante è molto brusco.

Lo spessore dell'involucro è variabile da punto a punto, come si rileva ad esempio dalla figura -5. In alcune zone il fango di circolazione è penetrato per frazioni di centimetro; al massimo ha raggiunto una distanza di cm 3 dalla parete del foro.

Il rilievo della penetrazione del fango di circolazione è stato effettuato in cinque sezioni. Per ciascuna sezione è stata calcolata la distanza media di penetrazione; i valori ottenuti sono qui appresso riportati:

quota	(20,70)	(19,30)	(17,50)	(14,20)	(11,60)
penetrazione media cm	0,7	0,8	1,2	0,6	0,7

Risulta dunque un'uniformità di penetrazione per tutta l'altezza del pozzo, che sembrerebbe indicare una scarsa influenza della natura dei terreni attraversati sulla penetrazione del fango.

Date le distanze di penetrazione così ridotte non è stato possibile prelevare campioni intatti nella miscela

nario più o meno sabbioso in una miscela molto diversa, notevolmente plastica risulta in maniera evidente da questi dati.

Indice di plasticità in %

Quota	All'interno del pozzo	A contatto dei pali
(20,80)	6,2	14,4
(18,20)	0	23,8
(11,60)	0	10,0

Quanto al meccanismo in base al quale si determina la penetrazione del fango, si è soliti far riferimento ad un fenomeno di carattere idraulico: si considera cioè il fango come un liquido che riempie il foro e

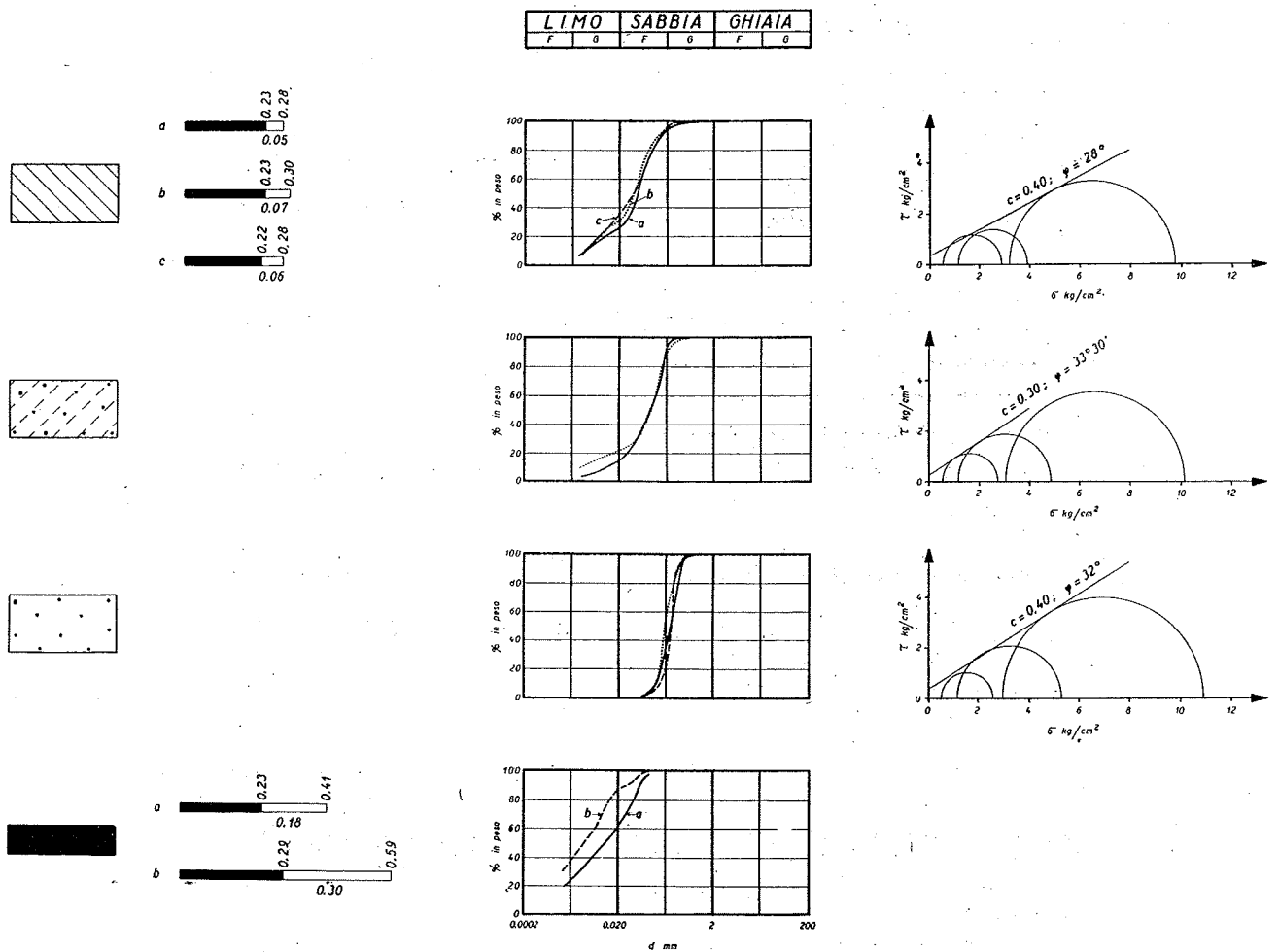


Fig. 4

di terreno e bentonite, ma soltanto campioni rimaneggiati, dei quali sono stati determinati i limiti di consistenza. Nella tabella che segue sono riportati i valori dell'indice di plasticità, ottenuti come media di due determinazioni. La trasformazione del terreno origi-

possiede una quota piezometrica superiore a quella della falda circostante. In altre parole si riporta la formazione dell'involucro di terreno e bentonite sulle pareti del foro ad un processo del tipo di quello che si verifica quando si inietta un terreno.

I parametri da considerare sono numerosi. Nella perforazione di un dato foro alcuni di questi parametri possono variare entro limiti relativamente ridotti; la permeabilità del terreno invece può essere molto diversa a seconda della natura del terreno incontrato alle varie profondità.

La misura della permeabilità è certamente una delle più delicate, ma nel problema qui in esame le difficoltà

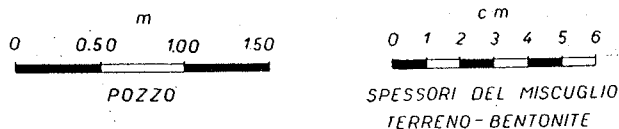
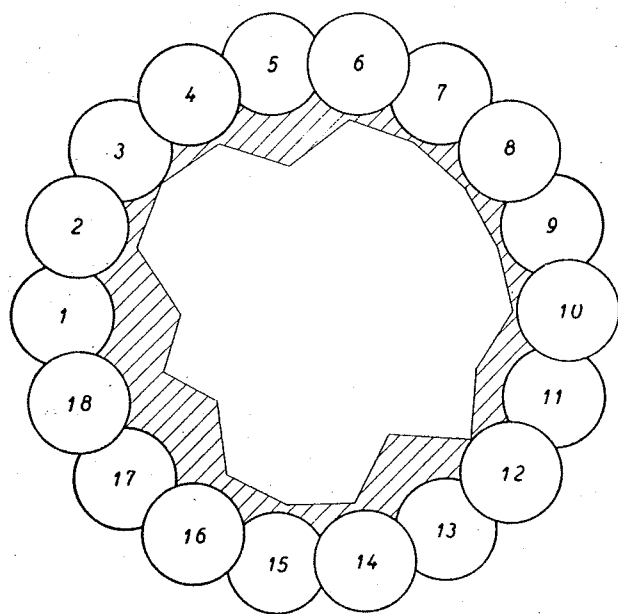


Fig. 5

sono ancora maggiori, poichè nelle formule risolutive entra la permeabilità del terreno non rispetto all'acqua, ma rispetto al liquido da iniettare. Se il liquido ha caratteristiche non molto diverse da quelle dell'acqua, si può ammettere che le permeabilità siano nel rapporto inverso delle viscosità cinematiche. Se però si tratta di un fango, a parte le complicazioni dipendenti dalla tixotropia, è molto dubbio che sia lecito procedere allo stesso modo e senza misure dirette. Di tali misure non vi è notizia — per quanto risulta a chi scrive — nella letteratura nè è stato possibile eseguirne in occasione della presente indagine.

Quanto alle formule, è usualmente adottata quella del MAAG [2], che presuppone una permeabilità del terreno costante e relativamente poco diversa da quella rispetto all'acqua. Abbandonando alcune delle ipotesi semplificative, si possono ottenere senza grandi difficoltà altre formule, che dovrebbero essere di conseguenza più approssimate.

In conclusione dunque si deve riconoscere che a rigore non è possibile stabilire se le penetrazioni osser-

vate nel pozzo di prova del Volturno possano essere interpretate o meno come effetto di un meccanismo del tipo di quello avanti accennato ed in base alle formule risolutive corrispondenti.

Tuttavia lo scrivente esprime l'opinione che nel caso di terreni a grana media e fine (sabbie e limi) non si tratti di penetrazione del fango per effetto della pressione, a cui esso si trova, ma semplicemente dell'effetto dello scalpello che, con la sua azione, mescola intimamente il terreno ed il fango e forma così una specie di malta che rimane a rivestire le pareti del foro a guisa di un intonaco. Esaminando infatti il pozzo di prova del Volturno ed altri diaframmi costruiti con sistemi ed in terreni analoghi, non era possibile riconoscere il terreno con la sua struttura originaria relativamente indisturbata, i cui pori erano riempiti da fango; si notava invece semplicemente una massa plastica, molto omogenea. Di conseguenza i criteri e le formule innanzi accennate non possono trovare applicazione in problemi del genere. Quanto ai terreni a grana più grossa (ghiaie), lo scrivente manca di osservazioni dirette. E' possibile che in ammassi alluvionali il fango penetri fra ciottolo e ciottolo, ma a condizione che si tratti di materiali molto grossolani.

### Variazioni di caratteristiche del terreno

Per verificare se in seguito alla perforazione, ed in particolare per azione dello scalpello, si determinano variazioni nelle caratteristiche del terreno circostante, è stato assunto come parametro la porosità  $n$ .

Per ottenere risultati sicuramente validi sarebbe stato necessario procedere statisticamente su un gran numero di campioni. Le difficoltà materiali, incontrate nel

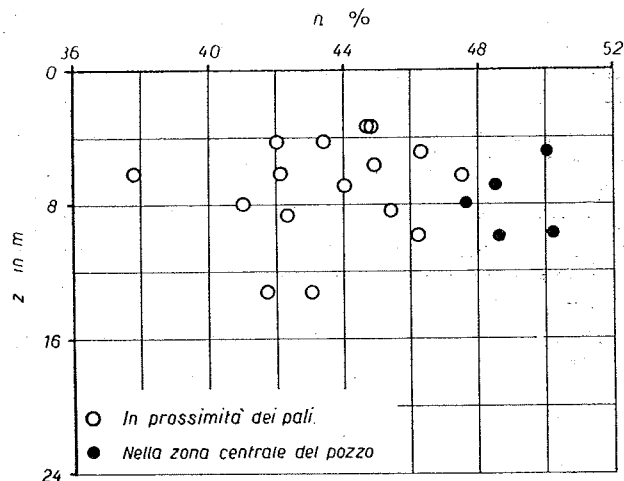


Fig. 6

prelievo dei campioni, hanno costretto a limitarne il numero.

I dati rilevati sono riportati nella figura 6, in cui sull'asse delle ascisse sono indicate le porosità  $n$  e su quello delle ordinate le profondità  $z$  dal piano di riferimento. Alcuni campioni sono stati prelevati nella zona

centrale del pozzo, gli altri in prossimità dei pali, ma fuori della miscela di terreno e bentonite.

Dai dati rilevati sembrerebbe doversi dedurre che per effetto dello scalpello il terreno nella zona immediatamente circostante ai pali subisce una certa azione di costipamento.

Questa conclusione, come si è detto, va accolta con riserva e deve essere posta in relazione alla natura dei terreni sabbio-limosi, in cui è stato costruito il pozzo di prova.

### Stabilità del foro

Le condizioni di stabilità del foro sono da considerare in due situazioni, che possono in pratica presentarsi, e cioè quando, nel corso della perforazione, il foro è riempito di fango e quando, a perforazione ultimata, si debba per qualche ragione estrarre il fango e contemporaneamente sostituirlo con acqua.

Come si è visto all'inizio della presente comunicazione, si dimostra teoricamente che nel primo caso la stabilità del foro può essere assicurata impiegando un fango di circolazione, il cui peso dell'unità di volume sia almeno di  $1,1 \text{ t/m}^3$ , ed a condizione che la distribuzione delle pressioni neutre nel terreno circostante al foro non vari. Questa seconda condizione è realizzata grazie all'involucro che si forma intorno alle pareti del foro e costituito da una miscela di terreno e bentonite. Esso è bensì di spessore esiguo, ma grazie alla sua permeabilità molto inferiore a quella del terreno circostante, agisce come una membrana infinitamente flessibile, ma quasi impermeabile.

Nel secondo caso è sufficiente che il livello dell'acqua nel foro sia superiore di una certa quantità  $h$  al livello della falda. Il valore di  $h$  dipende dalla profondità a cui si trova il livello della falda rispetto al piano di campagna, oltre che dalle caratteristiche del terreno. Nel caso particolare considerato nella figura 1b deve raggiungere almeno il valore  $1,15 r_0$ , ossia in pratica alcuni decimetri soltanto. Salvo che in casi particolarmente sfavorevoli  $h$  assume sempre valori modesti e facilmente realizzabili in pratica. Anche in questo caso è essenziale la presenza dell'involucro di terreno e bentonite, la cui funzione è quella innanzi accennata.

In conclusione quindi in entrambi i casi l'involucro di terreno e bentonite sulle pareti del foro è indispensabile per assicurare la stabilità di questo, ma la sua funzione, a parere dello scrivente, è di carattere semplicemente idraulico e non statico (contributo proprio di resistenza alla resistenza che offre il terreno circostante).

### Stabilità di scavi con sezione diversa da quella circolare.

Molto recentemente sono stati realizzati diaframmi, in cui, anziché riempire il foro con calcestruzzo subito dopo l'ultimazione della perforazione, vengono prima perforati un certo numero di fori adiacenti e poi viene effettuato un getto unico. Pertanto nella prima fase del lavoro si realizza uno scavo a sezione rettangolare molto allungata ( $m \ 5 \div 6 \times \text{cm} \ 60 \div 70$ ) e della profondità richiesta, che può raggiungere qualche decina di metri. La tecnica adoperata nella perforazione è ancora quella innanzi descritta e cioè a mezzo di scalpello e con circolazione di fango.

Il problema della stabilità dello scavo, prima che esso venga riempito dal calcestruzzo, si presenta qui in maniera un po' diversa che nel caso del foro circolare, poiché ora viene a mancare quella specie di effetto d'arco che riduce a valori molto modesti la pressione effettiva necessaria per assicurare la stabilità del foro.

Considerando, come in pratica avviene, una sezione rettangolare di larghezza pari al diametro del foro, la pressione effettiva necessaria nel caso del foro circolare rappresenta un limite inferiore (vedi fig. 1b); il limite superiore è rappresentato invece dalla parete piana indefinita, a cui corrisponde nella stessa figura 1b la retta a tratti. La distribuzione di pressioni occorrente per mantenere in equilibrio lo scavo di sezione rettangolare sarà compreso fra le due precedenti e dipenderà dal rapporto di allungamento della sezione.

Non risulta allo scrivente che questo problema sia stato trattato in sede teorica; il suo studio sarà senza dubbio interessante anche da un punto di vista generale. La via da seguire, per lo meno nel caso dei terreni a grana sabbio-limosa, sarà ancora quella di considerare affidata al rivestimento di terreno e bentonite esclusivamente una funzione idraulica e trattare il problema meccanico nell'ipotesi di mezzo omogeneo.

Napoli, Centro Geotecnico, agosto 1954

### Bibliografia

- [1] M. J. HVORSLEV: *Subsurface exploration and sampling of soils for civil engineering purposes*. Vicksburg, 1949.
- [2] E. MAAG: *Ueber die Verfestigung und Dichtung des Baugrundes*, E. T. H. 1938.
- [3] K. TERZAGHI: *Theoretical Soil Mechanics*, J. Wiley, New York, 1947.

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