

ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA  
 QUINTO CONVEGNO DI GEOTECNICA

Palermo, Marzo 1961

OSSERVAZIONI SUL COMPORTAMENTO DELLE OPERE  
 DI FONDAZIONE DI SERBATOI PER PETROLI  
 A PORTO MARGHERA (Venezia)

P. COLOMBO (\*)

**SOMMARIO:** Si descrivono le caratteristiche del terreno e le opere di fondazione di tre serbatoi per petroli a tetto galleggiante di m. 51.20 di diametro.

Si ricordano i criteri seguiti nella scelta del tipo di fondazione e le previsioni sul comportamento.

Si riportano i dati raccolti sui cedimenti dopo oltre un anno di esercizio dei serbatoi.

Viene fatta un'analisi del comportamento reale dei serbatoi confrontando i cedimenti misurati con quelli previsti.

### 1 - Premesse

La costruzione di tre serbatoi metallici a Porto Marghera ha presentato alcuni problemi particolari sia per la natura del terreno che per le dimensioni dei serbatoi.

L'area sulla quale sorgono i tre serbatoi a tetto galleggiante e le varie opere di servizio e sicurezza del deposito petroli è stata formata nel periodo 1951-1956 colmando una zona barenosa con materiale fangoso proveniente dai dragaggi di manutenzione dei canali e bacini del porto industriale e commerciale di Marghera e Venezia e con fanghi rossi di rifiuto degli stabilimenti industriali.

### 2 - Terreno di fondazione

Sondaggi effettuati nella zona ed in aree adiacenti, scavi eseguiti per l'esecuzione di diverse opere e l'infissione di pali di prova hanno permesso la determinazione dell'andamento stratigrafico del terreno e delle caratteristiche fisiche dei vari tipi di terreno.

Data l'origine del terreno superficiale (materiale proveniente da dragaggi di manutenzione e di rifiuto degli stabilimenti) e del terreno profondo (materiale alluvionale modellato e distribuito anche in dipendenza del regime lagunare) l'uniformità è relativamente scarsa considerata sia dal punto di vista planimetrico sia nel senso della profondità.

(\*) Prof. Ing. Pietro COLOMBO: assistente ordinario di Costruzioni Marittime, Centro Geotecnico Veneto, Facoltà di Ingegneria, Università di Padova.

Grosso modo si può però indicare un profilo tipo del terreno a prescindere naturalmente da spessori diversi degli strati.

Al di sotto di un primo strato - di spessore variabile dai 4 ai 7 metri - di terreno argilloso di colmata mescolato a materiale organico e lenti e straterelli di fanghi rossi esiste uno strato - di spessore variabile da 3 a 5 metri - di argilla compatta e quindi un'alternanza di banchi di limitato spessore di argilla di bassa e media consistenza con strati di sabbia fine e fangosa.

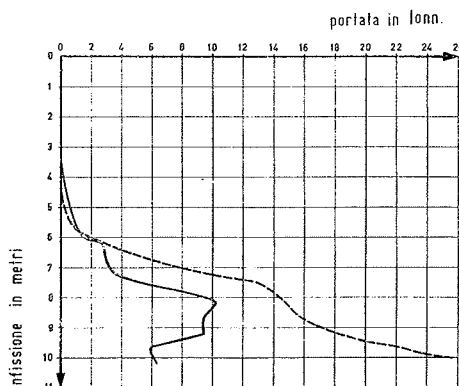


Fig. 1

Dai diagrammi d'infissione (Fig. 1) di due pali di prova in legno appare l'enorme differenza di portata dei due strati di fango e di argilla compatta.

Grosso modo le caratteristiche fisiche dei tre tipi principali di terreno - fango molle superficiale, argilla compatta e argilla profonda di media e bassa consi-

stenza - sono rappresentate dai valori e diagrammi sforzi-deformazioni inerenti alla prova di compressione con espansione libera ed alla prova edometrica di cui alle Figure 2, 3, 4.

Come si vede da questi valori il primo strato costituito da fango argilloso ha caratteristiche di resistenza estremamente basse, con compressibilità

### 3 - Struttura metallica costituente i serbatoi ed opere di fondazione

I serbatoi di m 51,20 di diametro e m 14,60 di altezza sono del tipo a tetto galleggiante. Il mantello dei serbatoi è in lamiera di spessore variabile da 30 mm per la «virola» più bassa a 7 mm per la

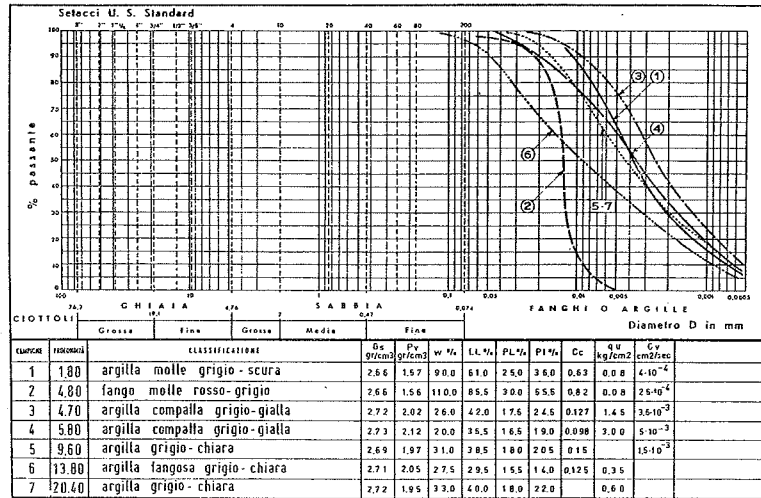


Fig. 2

$P = \text{kg/cm}^2$

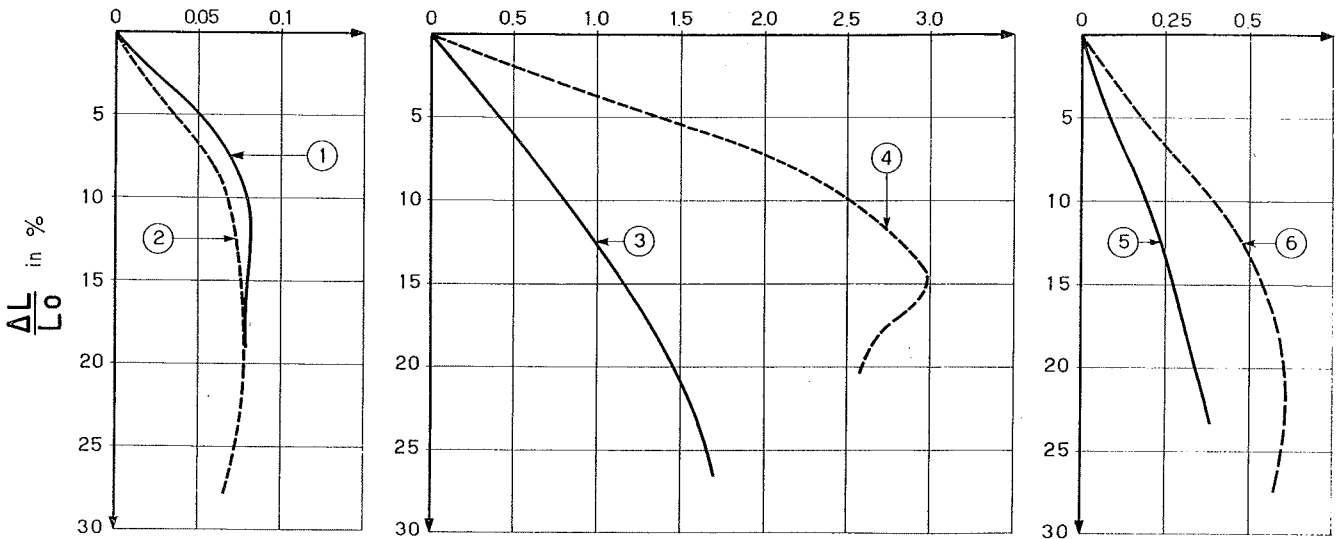


Fig. 3

altissima e resistenza al taglio quasi nulla, suscettibili però di aumentare in notevole misura qualora si provochi il consolidamento.

Il secondo strato è costituito da argilla precompressa per essiccazione con caratteristiche più elevate, quasi incompressibile per i valori usuali di carico a Venezia. Al disotto si ha un'alternanza fino a grandi profondità di strati di limitato spessore di argille di media e alta compressibilità e strati di sabbia fangosa permeabile e relativamente incompressibile rispetto agli strati di argilla.

«virola» più alta. Il fondo è costituito da una corona perimetrale di 70 cm di larghezza formata da lamiera di 10 mm di spessore e per tutto il resto da lamiere di 6,5 mm di spessore.

La struttura di fondazione è costituita da un anello perimetrale in cemento armato di m 1,70 di larghezza e m 1,80 di altezza portato da una triplice fila di pali di legno, che formano quasi una parete continua, infissi nel banco di argilla compatta. Il piano superiore dell'anello si trova circa 50 cm al disopra del piano campagna (Fig. 5).

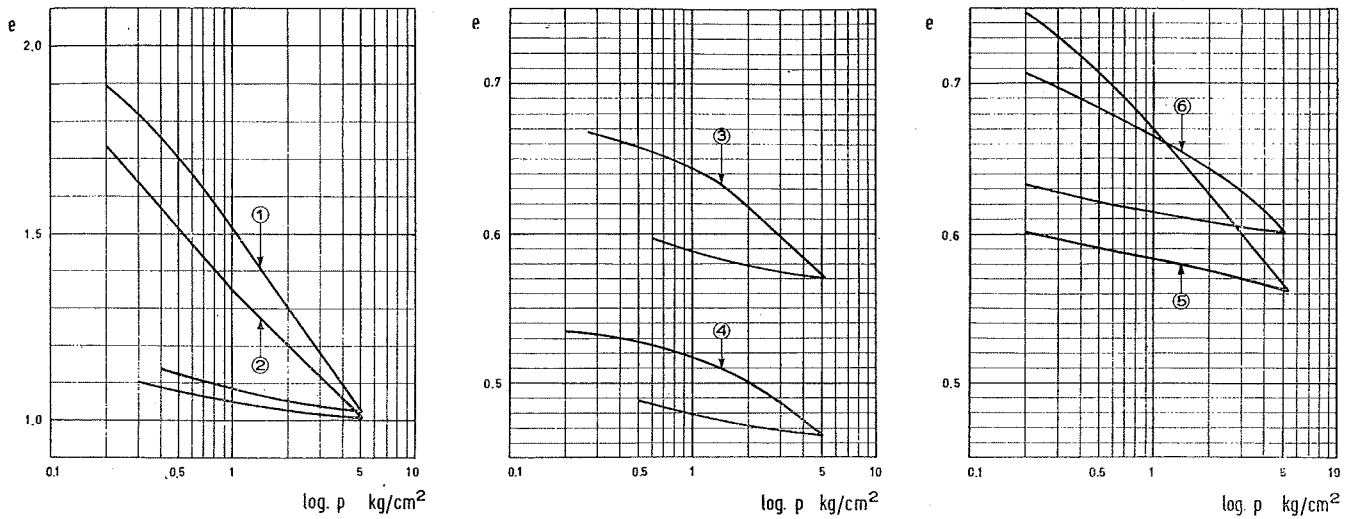


Fig. 4

Internamente all'anello il fango è stato asportato per circa 3 metri di altezza e sostituito con sabbia e nella parte più alta con pietrame. Al riempimento è stata data una forma convessa con una monta di 45 cm al centro. Esternamente all'anello il fango è stato sostituito con sabbia per un'altezza di circa 4 metri e per una larghezza di 3 metri.

La struttura metallica appoggia sull'anello di calcestruzzo su una fascia della larghezza di 1 metro. La pressione massima in esercizio sul piano di posa è di 1,25 kg/cm<sup>2</sup>.

Fra l'ultimazione delle opere di fondazione e l'inizio della prova di carico di collaudo, a serbatoio quindi completamente approntato, sono mediamente trascorsi sette mesi.

Il tipo delle opere di fondazione e le modalità costruttive sono state scelte in base alla conoscenza delle caratteristiche del terreno di fondazione e tenuto conto che la struttura metallica del serbatoio ammette cedimenti assoluti e differenziali di gran

lunga maggiori di quelli che si accettano per la maggior parte delle strutture, ma invece richiede una sufficiente verticalità sia per escludere il pericolo dell'ovalizzazione che per permettere il funzionamento del tetto. Naturalmente sulla scelta del tipo di fondazione ha avuto influenza il costo ed il tempo di esecuzione e messa in esercizio.

Strutture di fondazione analoghe al tipo prescelto sono state adottate con successo in zone adiacenti, però per serbatoi di minori dimensioni.

La sostituzione di buona parte del fango superficiale con sabbia è stata fatta con l'intento di ridurre entro limiti accettabili per la struttura i cedimenti differenziali tra anello e parte interna e di provocare il consolidamento del fango rimasto, in un tempo relativamente breve, riducendo al minimo il rifluimento profondo attraverso i pali, grazie anche al riempimento di sabbia esterno all'anello di calcestruzzo.

In fase di progetto è stato eseguito un calcolo dei cedimenti nell'ipotesi di solo consolidamento del fan-

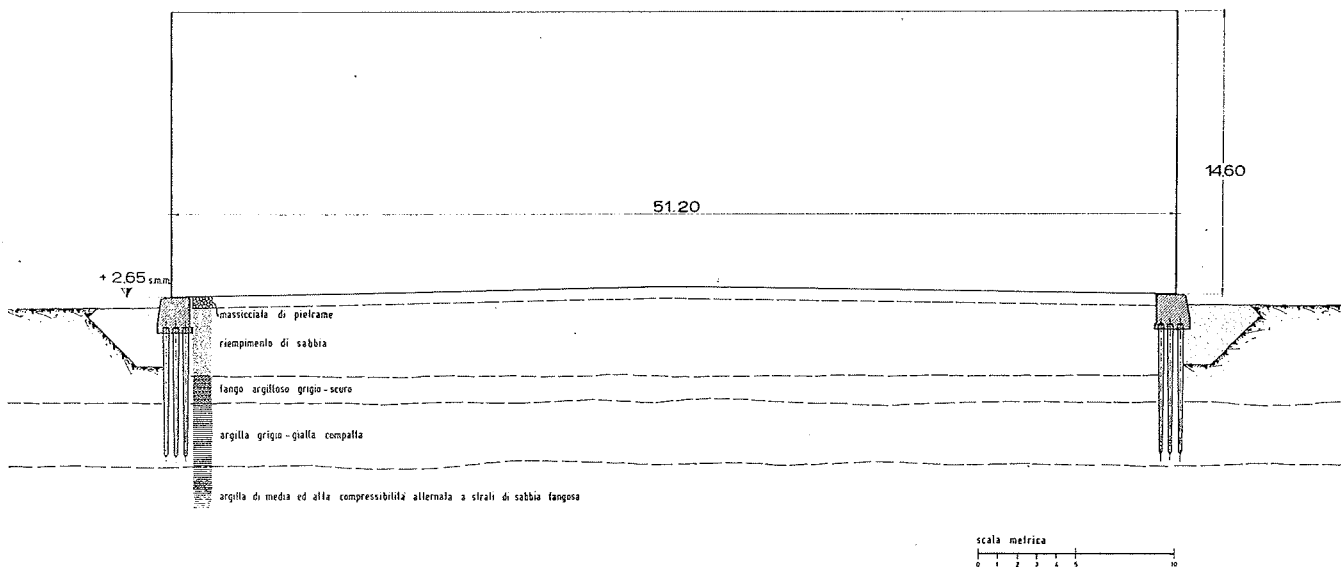


Fig. 5

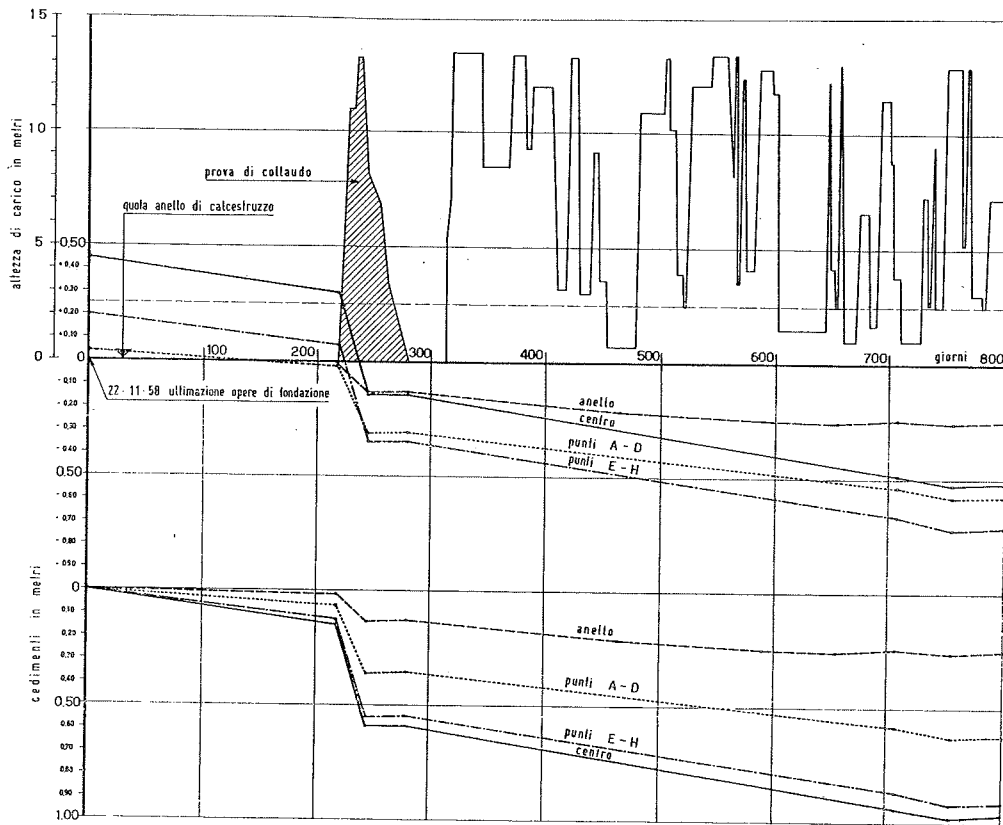


Fig. 6 - Serbatoio 1

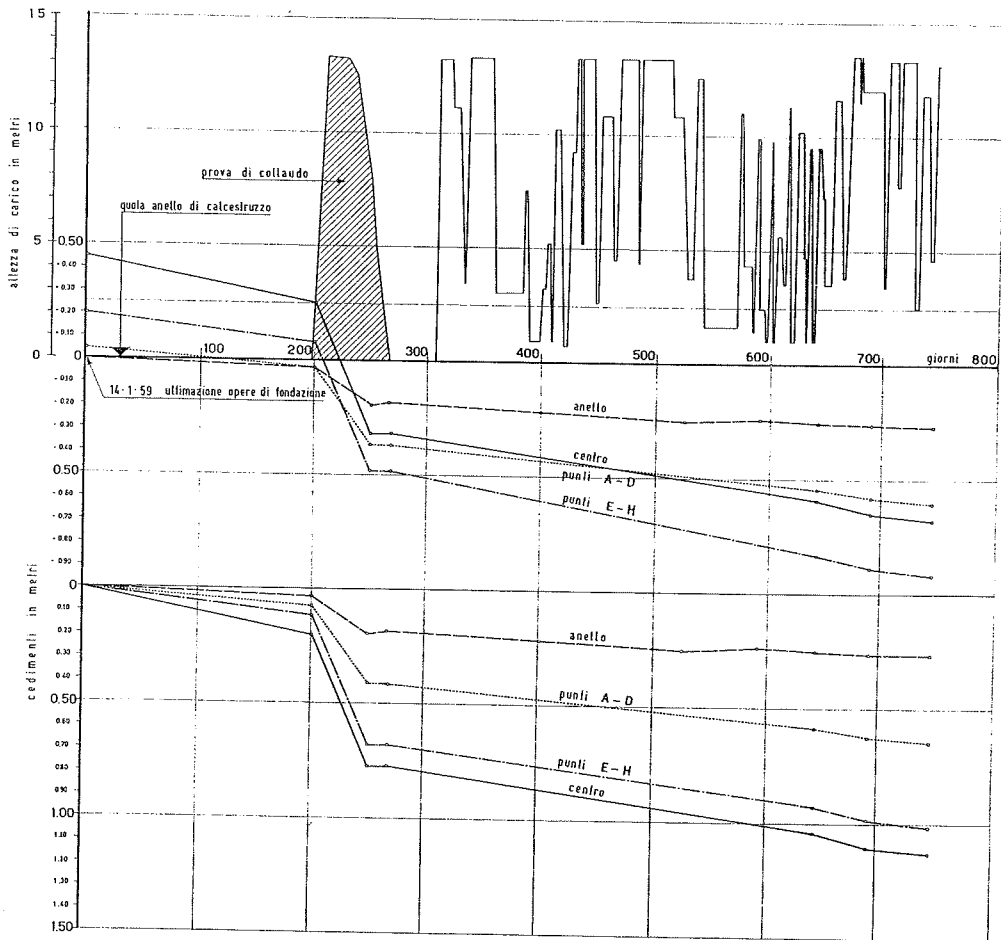


Fig. 7 - Serbatoio 2

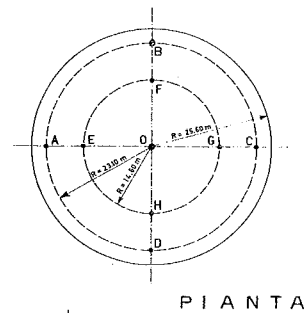
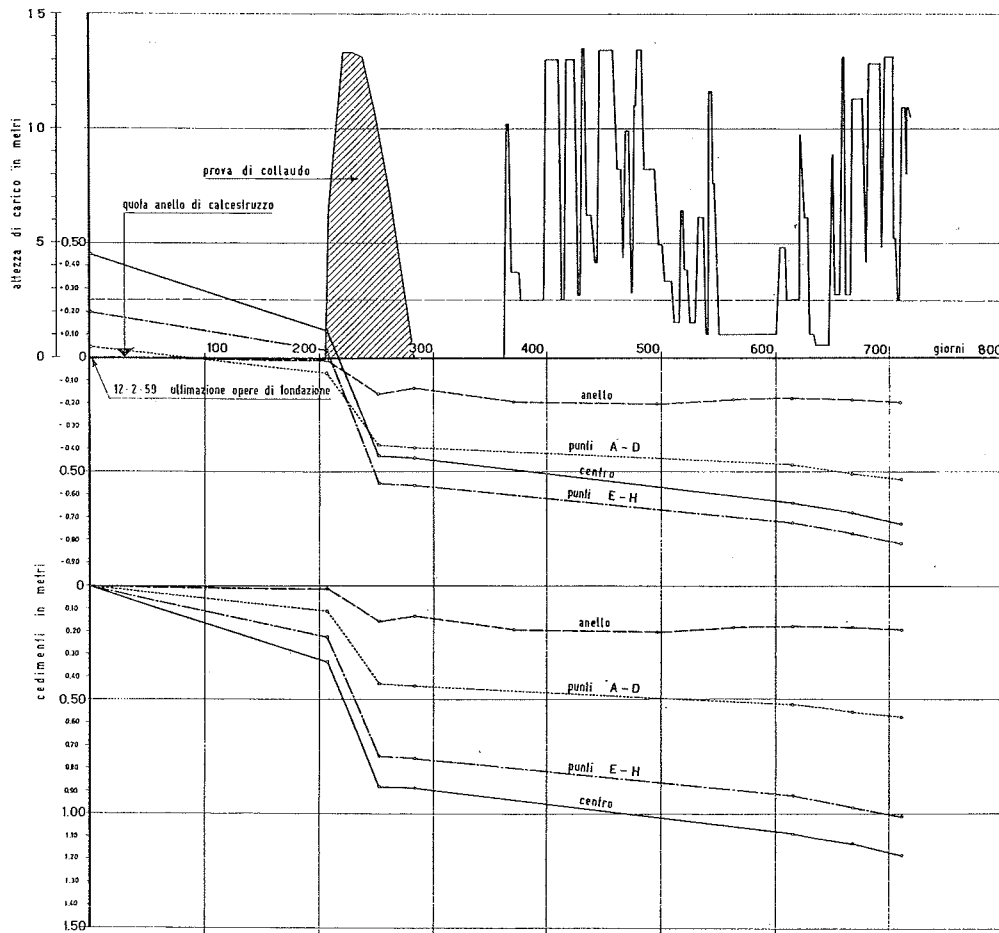


Fig. 8 - Serbatoio 3

go compreso tra la sabbia e l'argilla compatta e degli strati argillosi sottostanti l'argilla compatta.

L'ipotesi del consolidamento è stata posta con riferimento al periodo abbastanza lungo necessario alla costruzione delle fondazioni e della struttura metallica del serbatoio. Con le ipotesi sopraccennate si è calcolato un cedimento assoluto dell'ordine di grandezza di 1 metro ed un cedimento differenziale tra centro del serbatoio e anello di calcestruzzo dell'ordine dei 60 cm. Sono stati fatti solo dei tentativi di calcolo dei tempi di consolidamento data la difficoltà di formulare delle ipotesi sufficientemente aderenti alla realtà specialmente nello stabilire le condizioni di drenaggio.

**4 - Cedimenti misurati**

Ogni serbatoio appena ultimato è stato assoggettato alla prova di carico di collaudo e subito dopo è stato messo in esercizio.

Il rilievo dei cedimenti è stato eseguito quasi giornalmente durante la prova di collaudo, mentre con il serbatoio in esercizio la frequenza è stata notevolmente ridotta specialmente per le misure all'interno del serbatoio più laboriose di quelle sulla circonferenza esterna. Sono stati misurati i cedimenti su

12 punti dell'anello di calcestruzzo e su 9 punti interni, di cui 4 su un cerchio di m 23,10 di raggio, 4 su un cerchio di m 14,69 di raggio ed 1 al centro del serbatoio.

Per ogni serbatoio è riportato un diagramma (Fig. 6-7-8) nel quale in funzione del tempo in giorni figurano le seguenti variabili: il carico sul terreno espresso in metri di liquido nel serbatoio; il sovraccarico di circa 0,25 kg/cm<sup>2</sup> dato dal peso del serbatoio vuoto e dalla differenza di peso tra terreno naturale e riempimento in sabbia e pietrame portato fino a circa 50 cm al disopra del piano campagna; le quote dei punti rilevati assumendo quale zero la quota superiore dell'anello di calcestruzzo; i cedimenti assoluti dalla ultimazione delle opere di fondazione.

I principali dati dei cedimenti assoluti e differenziali dopo oltre 700 giorni dalla ultimazione delle fondazioni sono anche raccolti nella seguente tabella.

**5 - Osservazioni**

Il comportamento dei serbatoi e delle loro fondazioni è indubbiamente influenzato da alcuni fatti da sottolineare opportunamente. Sotto uno stesso serbatoio che copre un'area superiore ai 2000 m<sup>2</sup> lo spessore dello strato di fango può variare, anche per

SERBATOI		1		2		3	
Giorni		267	746	284	711	280	800
Ced. assoluti anello di calcestruzzo	cm	18,5	27	13,5	19,4	13	24,9
Ced. diff. max sull'anello di calcestruzzo	cm	2,6	2,6	1,8	1,8	0,6	0,6
Ced. medio sul cerchio $R = 23,10$ m	cm	41,5	65,1	44	57,9	35,5	62
Ced. medio sul cerchio $R = 14,60$ m	cm	68,3	101,8	75,8	101,7	54,8	90,9
Ced. assoluto al centro	cm	77	113	89	118,6	59,0	96,1
Differenze tra quote assolute sull'anello e sul cerchio $R = 23,10$ m	cm	18,5	33,6	26	34	18	32,6
Differenze tra quote assolute sull'anello di calcestruzzo e cerchio $R = 14,60$ m	cm	30,0	55,0	42,5	62,5	22	46,2
Differenze tra quote assolute nell'anello di calcestruzzo e centro	cm	13,5	41	30,5	54	1	27
Cedimenti differenziali tra anello e cerchio $R = 23,10$ m	cm	23,0	38,1	30,5	38,5	22,5	37,1
Cedimenti differenziali tra anello e cerchio $R = 14,60$ m	cm	49,8	74,8	62,3	82,3	41,8	66
Cedimenti differenziali tra anello e centro	cm	58,5	86	75,5	99,2	46	71,2
Cedimenti differenziali tra centro e cerchio $R = 23,10$ m	cm	35,5	47,9	45	60,7	23,5	34,1

la presenza di avvallamenti e vecchi « ghebbi lagunari » che intaccano lo strato di argilla compatta.

Il profilo del terreno sotto l'argilla compatta è erratico, di conseguenza i cedimenti dipendono non solamente dall'intensità e dalla ripartizione delle sollecitazioni nel terreno, ma anche, dalle variazioni di compressibilità in senso orizzontale; la velocità di assestamento dipende poi dal grado di continuità degli strati e dalla presenza di strati o lenti di materiale sabbioso.

I serbatoi in esercizio sono sottoposti a frequenti e spesso rapidi carichi e scarichi.

Dall'esame dei cedimenti misurati si può notare innanzitutto un buon comportamento dell'anello perimetrale in calcestruzzo che si appoggia attraverso i pali di legno direttamente sul banco di argilla compatta per tutti tre i serbatoi.

Si ha infatti che il cedimento è massimo per il serbatoio 2 con cm 27, con un cedimento differenziale di cm 2,6 e quindi distorsione angolare sul dia-

$$\text{metro pari a } \frac{2,6}{5140} = 0,0005.$$

Per il serbatoio 1 poi pur avendosi un cedimento assoluto di cm 24,9 il cedimento differenziale è di

$$\text{soli } 0,6 \text{ cm con distorsione angolare } \frac{0,6}{5140} = 0,00011.$$

I cedimenti all'interno dell'anello di calcestruzzo sia assoluti che differenziali per il serbatoio 1 sono ancora un po' inferiori a quelli previsti e d'altra parte con il procedere del consolidamento potranno assumere i valori calcolati.

Per i serbatoi 2 e 3 si sono invece raggiunti, anzi di poco superati i valori previsti, né è escluso che si manifesti ancora un aumento col procedere del tempo.

La discordanza - per verità modesta - tra cedimenti calcolati ed osservati va attribuita ad un leggero rifluimento dello strato di fango - lasciato tra la sabbia e l'argilla compatta e non ancora sufficientemente consolidato - attraverso i pali verso l'esterno sotto l'azione del carico di collaudo applicato piuttosto rapidamente.

L'interpretazione è suggerita dal fatto che mediamente lo strato di fango aumenta passando dal serbatoio 1 al serbatoio 3 e nello stesso senso aumentano anche i cedimenti assoluti della zona interna, pur essendo il serbatoio 3 il meno caricato in fase di esercizio.

Un opportuno raffronto dei cedimenti dell'anello di calcestruzzo tende ad escludere che la causa dei maggiori cedimenti vada attribuita agli strati profondi: è piuttosto da pensare che ad aumentare i cedimenti abbiano indubbiamente influito alcuni avvallamenti nello strato di argilla compatta che hanno determinato delle differenze di cedimento dell'ordine

dei 20 cm tra i diversi punti del cerchio  $R = 14,60$

E' importante notare che nella prova di collaudo mentre allo scarico il ritorno elastico per l'anello di calcestruzzo è stato sensibile, è mancato invece per i punti interni. Negli ultimi controlli invece, cioè dopo più di un anno dalla messa in esercizio dei serbatoi, si è notato un sensibile ritorno allo scarico sia per l'anello che per i punti interni. Questa cir-

costanza conforta l'ipotesi che ormai il rifuimento sia cessato e si abbia solo un lieve consolidamento.

Nell'insieme può concludersi che, pur in terreni di caratteristiche meccaniche molto basse e con la semplice adozione di modesti provvedimenti, il comportamento delle fondazioni - da giudicarsi in relazione alle strutture sovrastanti - è risultato accettabile.

**SOMMAIRE:** On décrit les caractéristiques du sol et des oeuvres de fondation de trois réservoirs à pétrole du type à toit flottant du diamètre de 51,20 m.

On rappelle les principes suivis dans le choix du type de fondation et les prévisions sur son comportement.

On reporte les données relevées sur le tassement après une année de service des réservoirs.

On donne aussi une analyse du comportement réel des réservoirs par comparaison entre les tassements mesurés et les tassements prévus.

**SUMMARY:** Characteristics of the soil and works of foundation for three petroleum tanks with floating roofs having a diameter 51,20 m. long.

Stress must be laid on the principles followed in the choice of the type of foundation and its foreseen behaviour.

Data are also given drawn from settlements after tanks have been in service for more than a year.

A close examination of the behaviour of tanks is made comparing actual settlements, with foreseen ones.