

LA DIGA DI MARIA AL LAGO

APPARECCHI DI MISURA E PRIMI RISULTATI DELLE OSSERVAZIONI ALLA DIGA DI MARIA AL LAGO (PIAN DI FEDAIA)

SOCIETA' ADRIATICA DI ELETTRICITA' - UFFICIO STUDI

SOMMARIO - Per seguire il comportamento della diga in terra di Maria al Lago (Pian di Fedaia) costruita dalla SADE negli anni 1954-55 è stato predisposto un sistema di misure comprendente:

- a) una rete trigonometrica e altimetrica di precisione
- b) un complesso di strumenti incorporati nell'interno della struttura.

Tali strumenti (manometri, pressimetri, piezometri a tubo, «torpedo» e piastre) convenientemente disposti consentono la misura delle pressioni interstiziali e degli spostamenti del terrapieno. In particolare le misure alle piastre e alla torpedo consentono di differenziare gli assetamenti del terreno sul quale è impostata la diga da quelli propri della struttura stessa (consolidamenti).

Le misure, iniziate nell'agosto 1954 in corrispondenza al procedere della costruzione della diga, hanno subito interruzioni, a causa delle particolari condizioni ambientali della struttura. E' da notare inoltre che questa non è mai praticamente entrata in carico, l'invaso non avendo mai superato la quota di circa 2043 m. I risultati conseguiti possono essere in definitiva così riassunti:

Le pressioni interstiziali indicate dai manometri sono minime, i valori più alti essendo compresi tra $0,10 \div 0,15$ atm.

Le compressioni date dai pressimetri aumentano regolarmente in funzione dell'altezza del rilevato.

Il carico indicato è notevolmente superiore a quello della colonna di terra sovrastante.

Il costipamento del rilevato raggiunge un massimo di 4 mm, il piano di fondazione ha un abbassamento notevole all'inizio per stabilizzarsi in seguito; l'abbassamento del fondo raggiunge un massimo di circa 23 mm rilevati con la torpedo.

1) La diga in terra di Maria al Lago (Pian di Fedaia) è stata costruita dalla S.A.D.E. negli anni 1954-1955. Per seguire il suo comportamento durante la costruzione e l'esercizio è stato predisposto un sistema di misure e di controlli comprendente:

- a) una rete trigonometrica e altimetrica di alta precisione;
- b) un complesso di strumenti incorporati nell'interno della struttura.

La rete trigonometrica (Fig. 1) è limitata a quattro caposaldi disposti sul coronamento della diga, collegati con la rete di triangolazione generale del serbatoio di Pian di Fedaia, quella altimetrica comprende 27 caposaldi dei quali 9 sul coronamento, 5 alla stessa quota sul paramento a monte e 13 sul paramento a valle a quote diverse.

La disposizione della rete e la costruzione dei caposaldi sono state realizzate secondo i principi che la S.A.D.E. segue ormai da vari anni per le sue dighe: le misure sono effettuate da appo-

sita squadra con teodolite Wild T. 3 e livello Wild N. 3.

Sono stati inoltre installati per il controllo delle pressioni interstiziali e degli spostamenti del terrapieno i seguenti apparecchi: (Fig. 2)

- 37 manometri elettroacustici *Galileo*
- 9 pressimetri elettroacustici *Galileo*
- 3 piezometri a tubo
- 1 torpedo *Huggenberger*
- 2 sistemi di piastre

I manometri elettroacustici ed i pressimetri elettroacustici consentono inoltre la misura della temperatura.

In particolare va notato che le pressioni interstiziali sono rilevate con i manometri, disposti in corrispondenza di quattro sezioni e al di fuori di queste, immediatamente dietro il paramento a monte.

I punti di misura nel terrapieno e nella sua fondazione sono stati scelti in numero sufficiente per poter tracciare le curve di egual pressione.

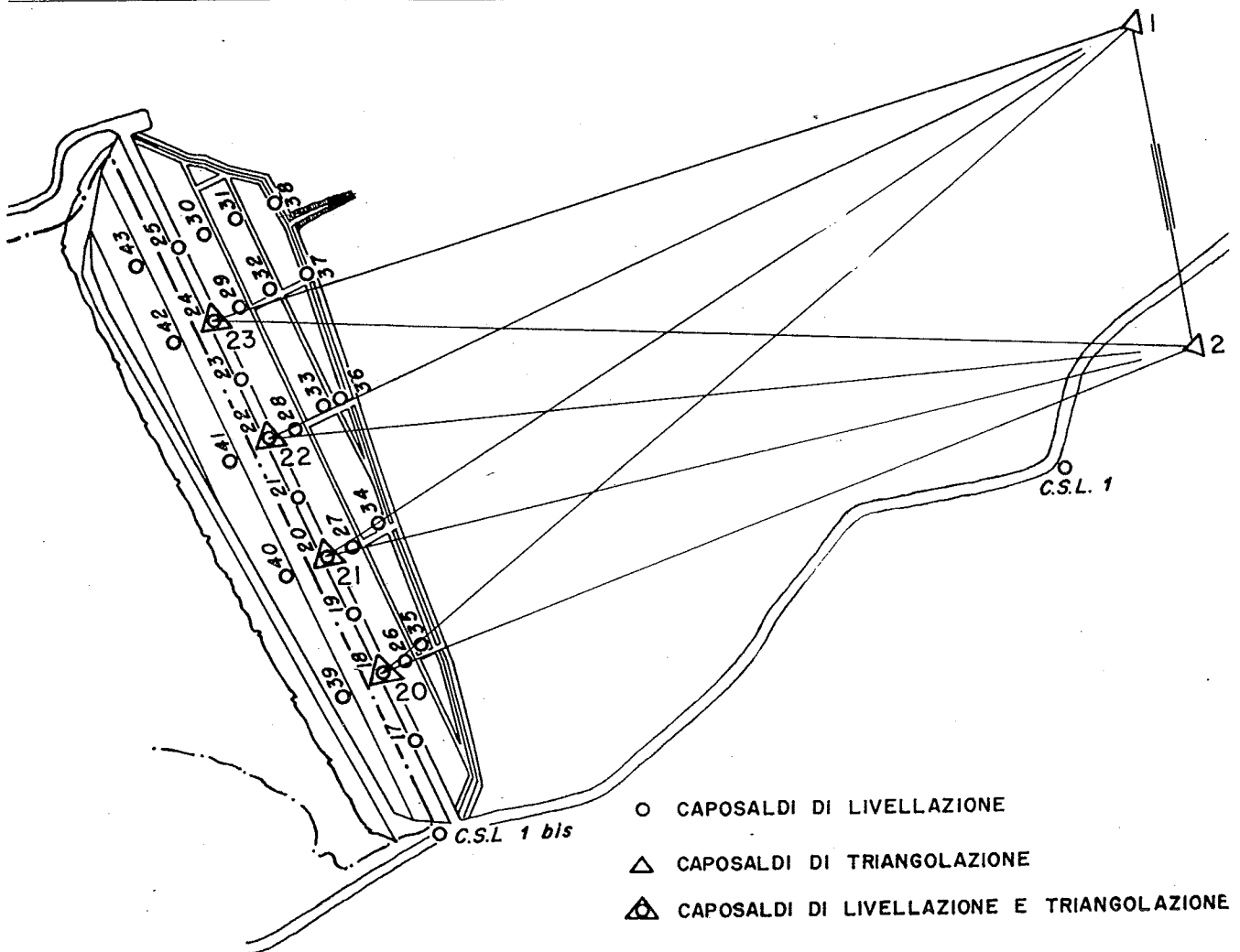


Fig. 1 - Diga di Maria al Lago - Rete di triangolazione e livellazione.

In corrispondenza della sezione A-A sono anche disposti, in prossimità dei manometri, quattro pressimetri per misurare direttamente le pressioni nei suddetti punti.

Nella sezione C-C si hanno pure tre piezometri a lettura diretta. Questi piezometri sono costituiti da un tubo di acciaio del diametro di 26 mm infisso fino al piano in corrispondenza al quale si vuole fare la misura.

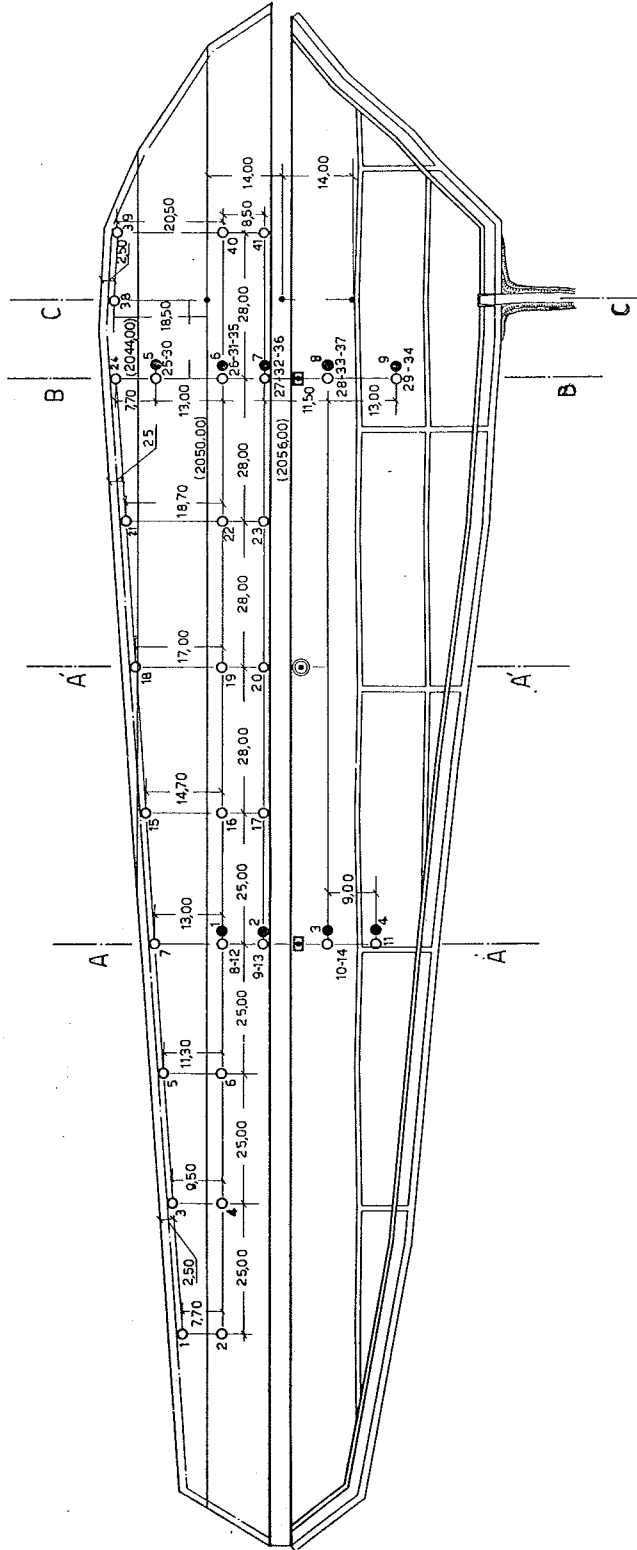
Per il rilievo degli assestamenti del terrapieno si sono messi in opera due sistemi di piastre (delle dimensioni di 500×400 mm), con un punto di misura ogni 4 m di quota partendo dalla sommità (a quota 2056), ad eccezione della piastra di fondo nella sezione A-A che dista 3 m da quella immediatamente superiore. Su tali piastre sono avvitate tubi di acciaio del diametro di 40 mm dei quali vengono rilevati gli spostamenti verticali delle estremità superiori attraverso livellazione. Il sistema affonda nel terreno d'impostazione di circa 3 m. (Fig. 3)

Attraverso queste piastre è dato di poter differenziare gli assestamenti del terreno sul quale è impostata la diga da quelli propri della struttura stessa (consolidamenti).

Oltre a determinare gli spostamenti delle estremità superiori dei tubi con la livellazione, il che non può essere fatto se non ad intervalli abbastanza lunghi date le particolari condizioni ambientali della diga, gli spostamenti stessi vengono rilevati anche con la collimazione, disponendo la stazione del collimatore in prossimità della struttura ed usando normali stadie graduate.

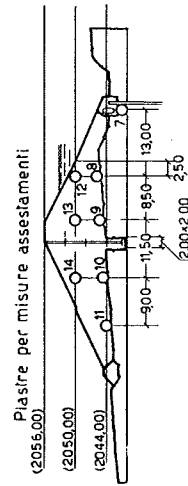
Misure analoghe vengono effettuate attraverso « torpedo » originale. Come è noto l'attrezzatura della « torpedo » consiste in un complesso di tubi che scorrono l'uno dentro all'altro; più dischi attraversati nel centro sono collocati lungo una verticale nei punti dei quali si vogliono conoscere gli spostamenti. La distanza tra i dischi è di 3,00 m ad eccezione della piastra più elevata

P I A N T A

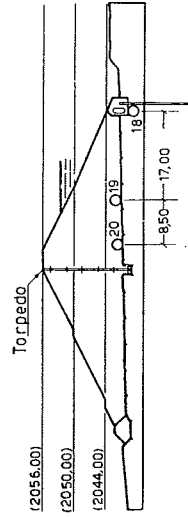


○ Manometro elettroacustico ● Pressiometro elettroacustico ● Piaziometro ● Torpedo per misure assestamenti □ Piasire per misure assestamenti

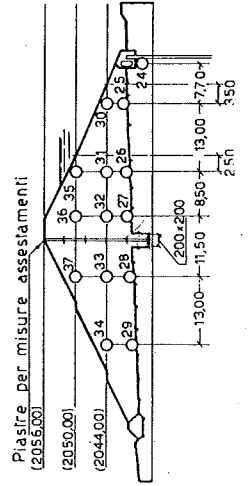
SEZIONE A-A



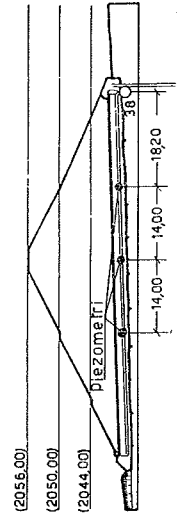
SEZIONE A'-A'



SEZIONE B-B



SEZIONE C-C



1° misura (2054,70)
2° " (2052,21)
3° " (2049,19)
4° " (2046,19)
5° " (2043,24)
6° " (2040,33)

Fig. 2 - Diga di Maria al Lago - Pianta e sezioni con la distribuzione degli strumenti di controllo

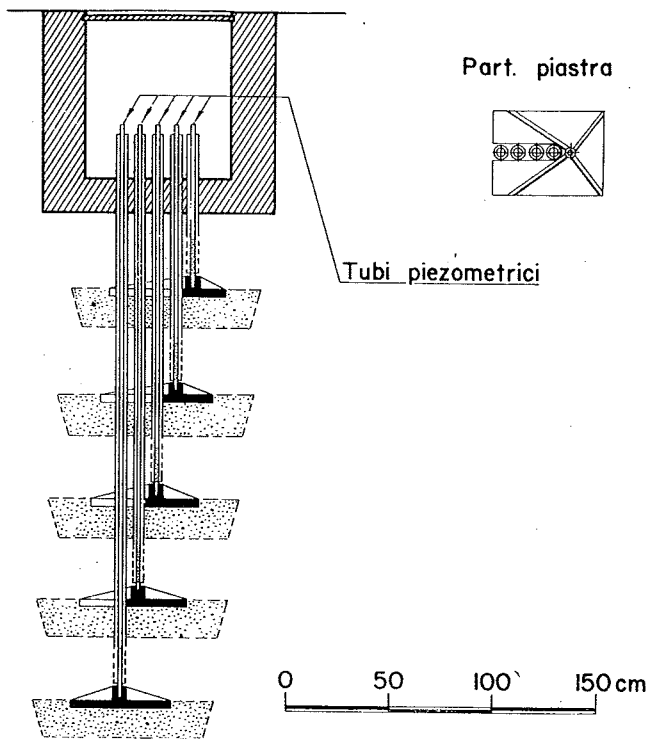


Fig. 3 - Piastre per la misura degli assestamenti.

che dista dalla piastra immediatamente inferiore di 2,50 m. Tali distanze hanno lo scopo di evitare che le rispettive misure possano influenzarsi reciprocamente. I vari tronconi di tubo (diametro 40 mm) superiori e inferiori al disco di riferimento vengono inflati in tubi di diametro maggiore (50 mm) entro i quali possono liberamente scorrere. Le misure vengono fatte con una speciale sonda che può scorrere nell'interno di tutto il sistema ivi compresi i tubi di diametro minore, all'estremità inferiore dei quali può essere a volontà fermata dando modo di misurare la posizione relativa dei dischi di riferimento cui i tubi stessi sono connessi (Fig. 4).

2) Le misure hanno avuto inizio nell'agosto 1954 vale a dire in corrispondenza al procedere della costruzione della diga. Purtroppo le prime serie di misure hanno subito numerose interruzioni specialmente durante i mesi invernali, inconveniente quest'ultimo che non potrà essere eliminato del tutto, neanche in prosieguo di tempo. Tuttavia, le osservazioni raccolte possono fornire un'idea sul comportamento della struttura nei primi mesi di esercizio.

E' da notare a tale proposito che la diga non è mai praticamente entrata in carico. l'invaso non avendo superato a tutt'oggi la quota di circa 2043 m, il massimo livello essendo previsto invece a quota 2053 m.

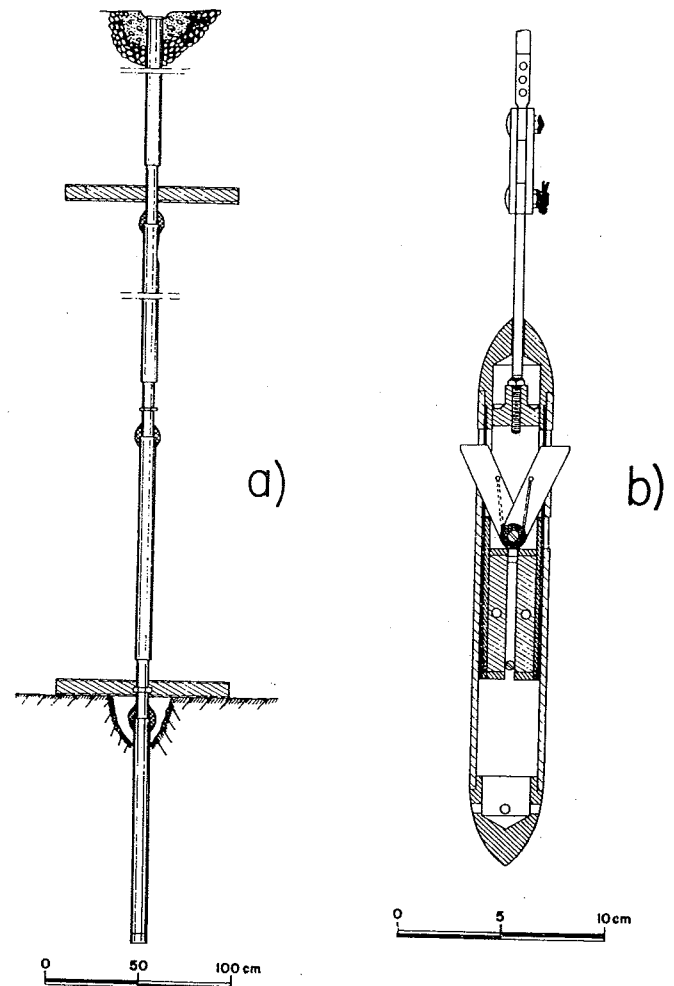


Fig. 4 - "Torpedo" per la misura degli assestamenti: a) Schema dei punti di misura; b) Sonda.

Per questa ragione le variazioni delle pressioni interstiziali indicate dai manometri sono minime, e praticamente dell'ordine di sensibilità degli apparecchi; i valori più alti comunque, dell'ordine di $0,10 \div 0,15$ atmosfere sono stati segnati dai manometri in corrispondenza dell'unghia a monte.

3) Per quanto riguarda l'andamento delle compressioni, i pressimetri hanno dato nel complesso risultati significativi riportati nei diagrammi della Fig. 5. Con riferimento alla sezione B-B si osserva come il carico indicato dagli apparecchi vada aumentando progressivamente e abbastanza regolarmente in funzione dell'altezza del rilevato. I diagrammi mettono in luce un interessante fenomeno: il carico indicato è notevolmente superiore a quello della colonna di terra sovrastante (del peso specifico di $2,5 \text{ ton/m}^3$) mentre in base alle note formule della ripartizione del carico per semidiedri dovrebbe essere solo lievemente maggiore. Le osservazioni metto-

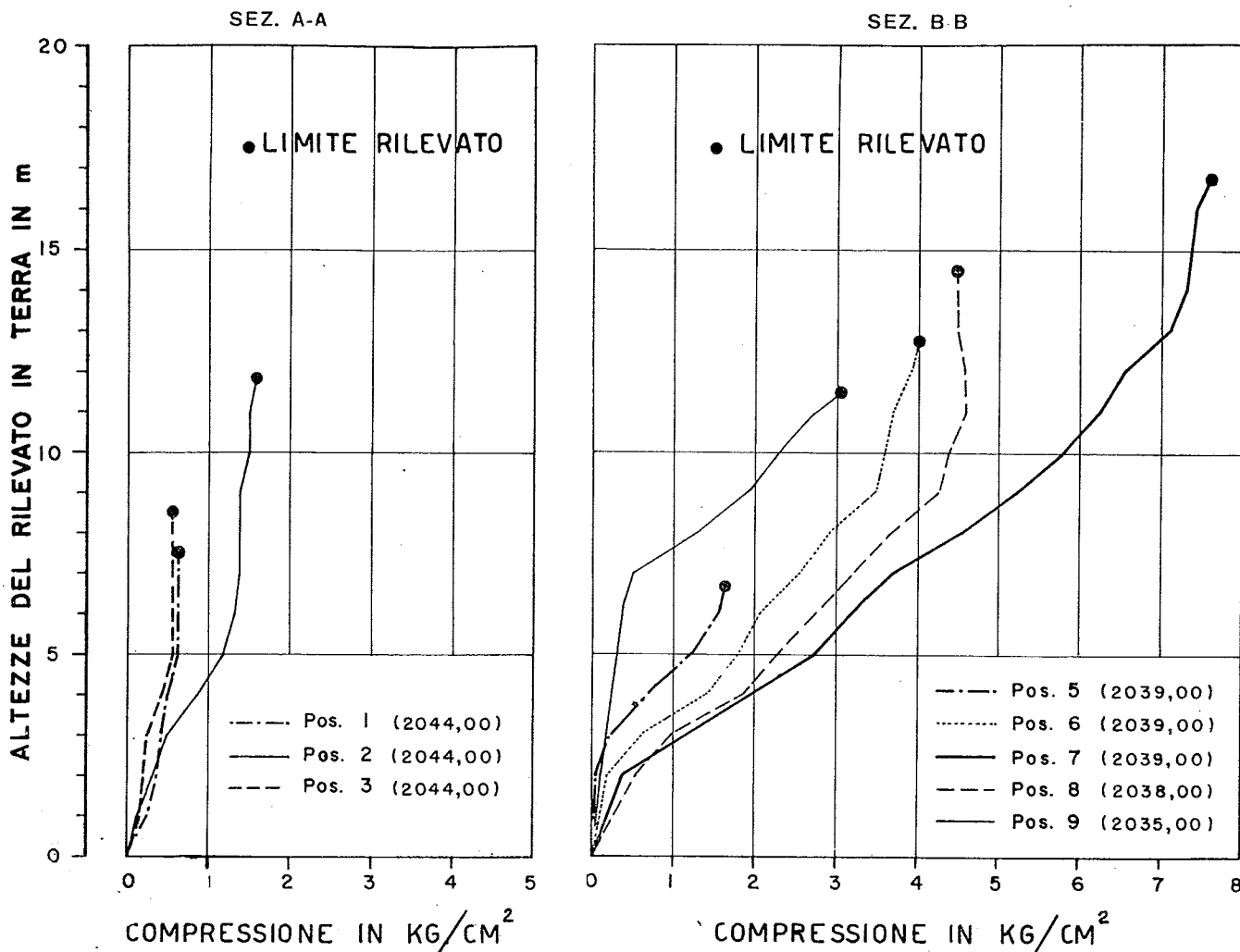


Fig. 5 - Pressiometri - Compressioni in funzione dell'altezza del rilevato.

no inoltre in evidenza un secondo fenomeno; infatti salvo per uno strumento, il carico continua ad aumentare sia pur di poco, pur essendo terminata la parte sovrastante del rilevato.

Si ritiene che il primo fenomeno sia dovuto soprattutto al fatto che i pressimetri sono tarati in laboratorio in cassette di sabbia dove si possono conseguire piani molto regolari, mentre la messa in opera in posto, per quanto accurata, non può non presentare discontinuità specialmente sugli orli. Ne consegue quindi, a prescindere da possibili eccentricità, un maggior carico nella parte centrale e quindi i valori più elevati riscontrati. Il secondo fenomeno è dovuto probabilmente ai successivi costipamenti degli strati in seguito ai continui passaggi dei rulli anche ad opera finita.

La circostanza favorevole che l'opera non sia stata finora messa in carico consente di tarare in posto gli apparecchi stessi: questa ritaratura ad esempio è stata fatta per il pressimetro n° 7; i risultati sono riportati nella Fig. 6, dove oltre

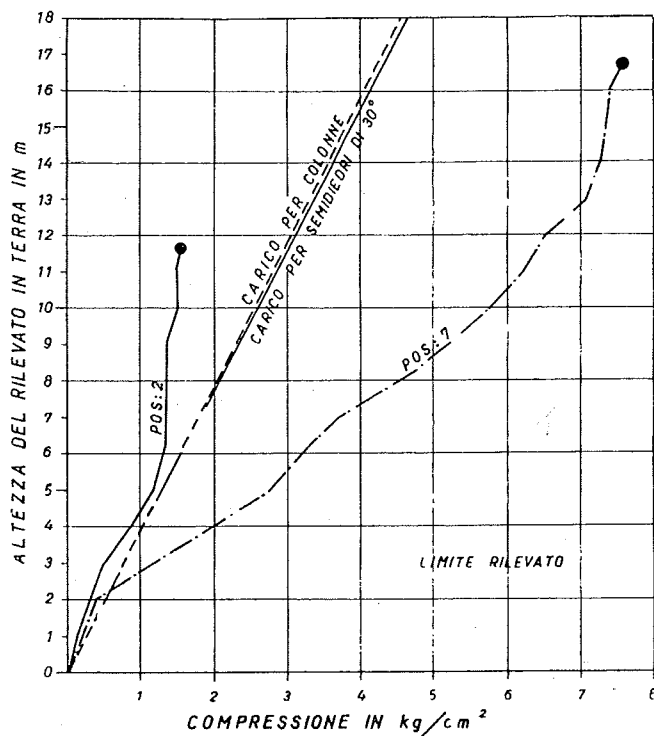


Fig. 6 - Pressiometri - Confronto tra le compressioni ricavate e quelle calcolate.

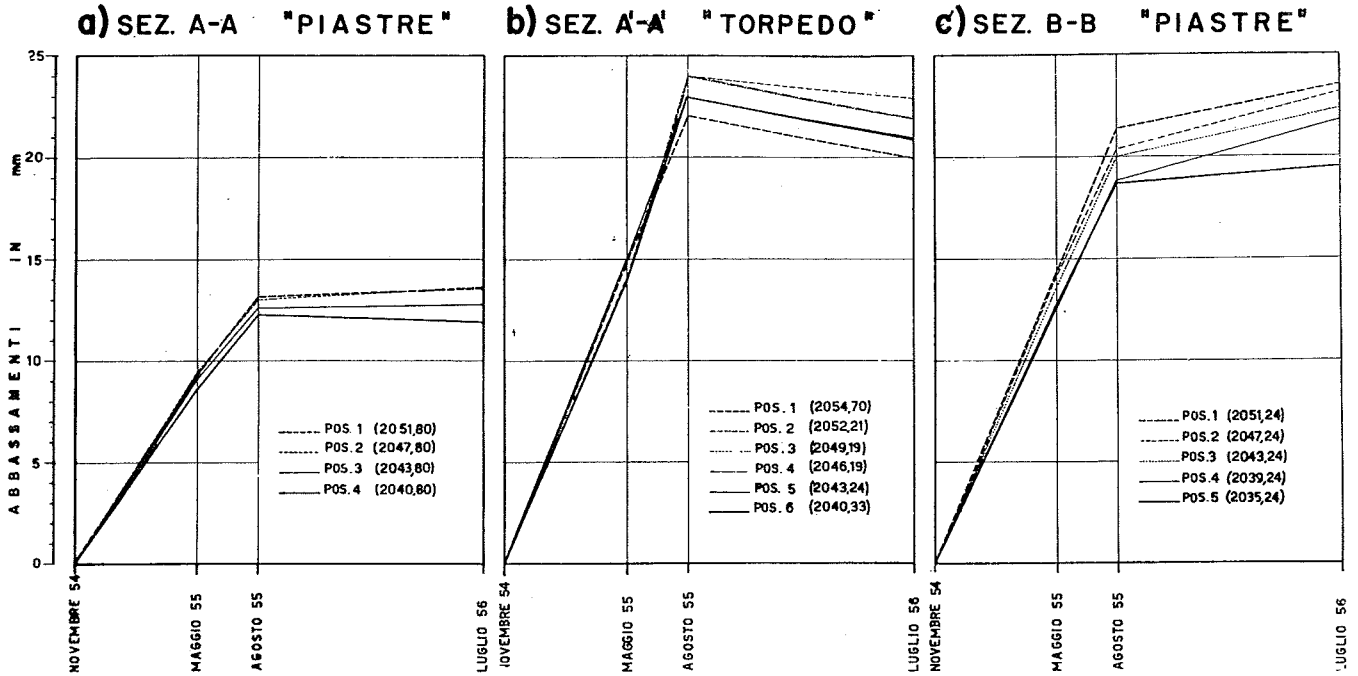


Fig. 7 - Diagrammi degli abbassamenti.

la curva dei carichi basata sulle colonne normali vi è anche quella che si ottiene per una ripartizione del carico per semidiedri con un angolo di 30° .

Per cercare di eliminare, almeno in parte, l'inconveniente che è apparso fin dalle prime misure, i pressimetri della sezione A-A sono stati messi in opera con una contropiastre, sulla quale è direttamente appoggiato l'apparecchio. I risultati sono riportati nella Fig. 5: essi denunciano la stessa regolarità di quelli precedentemente visti ma con valori più prossimi a quelli teorici, benché questa volta più bassi. Le variazioni ad opera terminata sono in questa sezione praticamente eliminate. Causa rottura cavo il pressimetro n° 4 non ha funzionato.

A titolo di confronto, nella Fig. 6 si è riportata per il pressimetro n° 2 la stessa curva di taratura già costruita per il pressimetro n° 7.

4) Le osservazioni relative al consolidamento del rilevato e agli assestamenti del terreno di fondazione sono riassunte nei diagrammi delle figure relative ai due sistemi di piastre e della torpedo.

Le osservazioni effettuate sono purtroppo limitate, comunque il loro buon accordo e la loro regolarità appaiono sufficienti per dare un'idea del fenomeno. Poiché i caposaldi 4) (sez. A-A), 5) (sez. B-B), nelle piastre e 6) (sez. A'-A'), nella torpedo sono posti in corrispondenza del piano

di fondazione, le variazioni riscontrate corrispondono agli assestamenti del terreno, mentre gli altri caposaldi installati nel rilevato danno le variazioni risultanti dall'assestamento del terreno e dal consolidamento del rilevato compreso tra il piano di posa e quello di fondazione. Per differenza dei dati dei caposaldi di fondazione si ottiene il consolidamento del rilevato.

In corrispondenza della sezione B-B si nota (Fig. 7) tra la prima e la seconda misura (effettuata ad un intervallo di 6 mesi) un abbassamento del fondo di 12,7 mm mentre il coronamento del rilevato denuncia un abbassamento complessivo di 14,2 mm.

Successivamente, in corrispondenza alla terza misura, con un intervallo di 3 mesi dalla seconda si ha ancora, sempre rispetto all'inizio, un abbassamento del fondo di 18,7 mm, con un valore per il coronamento di 21,4 mm. Infine la quarta misura effettuata dopo 11 mesi rispetto alla precedente dà un abbassamento del fondo di 19,5 mm contro un abbassamento totale alla sommità di 23,5 mm.

Complessivamente quindi il rilevato ha avuto un costipamento di

1,5 mm	in corrispondenza alla seconda misura
2,7 mm	» » » terza misura
4,0 mm	» » » quarta misura.

Si deduce da ciò che il costipamento tende ad

aumentare mentre il piano di fondazione dopo un abbassamento notevole messo in evidenza dalla seconda misura e dalla terza misura non si è praticamente abbassato tra la terza e la quarta misura.

I costipamenti relativamente alla sezione AA sono in generale modesti, con un massimo di 1,7 mm nella quarta misura.

Per quanto riguarda infine le misure alla torpeda l'abbassamento del fondo raggiunge un mas-

simo di 23 mm in corrispondenza alla terza misura. I consolidamenti relativi al corpo diga sono risultati praticamente nulli nella seconda misura. Successivamente si è notato un costipamento nella parte compresa tra la fondazione e la posizione 2 (a 3,8 m di profondità rispetto al coronamento), mentre la posizione 1 (profondità 1,3 m dal coronamento) ha subito un lieve rigonfiamento.

Venezia, 4 marzo 1957

SOMMAIRE - Pour suivre le comportement de la digue en terre de Maria al Lago (Pian di Fedaiia) construite par la SADE dans les années 1954-55 il a été aménagé un système de mesures comprenant:

- a) un réseau trigonométrique et d'altimétrie de précision
- b) un ensemble d'instruments incorporés dans l'intérieur de la structure.

Ces instruments (manomètres, pressiomètres, piézomètres à tube, «torpedos» et plaques) convenablement placés permettent le mesurage des pressions interstitielles et du déplacement du remblai. D'une façon particulière le mesurage sur les plaques et à la torpeda permet de différencier les tassements du terrain sur lequel est bâtie la digue de ceux qui sont propres à la structure (consolidations).

Les travaux de mesurage, commencés au mois d'Août 1954 en correspondance avec l'avancement des travaux de construction de la digue, ont subi des interruptions à cause des particulières conditions d'ambient de la structure. Il faut en outre signaler que celle-ci n'est jamais pratiquement entrée en charge, étant donné que le niveau de retenue n'a jamais dépassé la cote d'environ 2043 m.

Définitivement, les résultats atteints peuvent être résumés comme suit:

Les pressions interstitielles indiquées par les manomètres sont minimales, les valeurs plus hautes étant comprises entre 0,10÷0,15 atm.

Les compressions indiquées par les pressiomètres augmentent d'une façon régulière en fonction de la hauteur de la levée de terre.

La charge indiquée est notablement supérieure à celle de la colonne de terre d'au-dessus.

Le tassement de la levée de terre atteint un maximum de 4 mm, le plan de la fondation a un affaissement considérable au commencement pour s'établir à la suite; le baissement du fond atteint un maximum d'environ 23 mm établis avec l'aide de la torpeda.

SUMMARY - To follow the behavior of the earth dam of Maria al Lago (Pian di Fedaiia) built by the SADE during the years 1954-55 it had been arranged a system of measurements comprising:

- a) a trigonometrical and altimetric net of precision
- b) a complex of instruments incorporated in the interior of the structure.

Said instruments (manometers, pressimeters, tube piezometers, «torpedos» and plates) profitably arranged, consent the measure of the interstitial pressures and of the displacement of the earth-bank. Particularly the measures on the plates and on the torpedos consent to differentiate the settlement of the ground on which is placed the dam, from those which are own of the same structure (consolidations).

The measures initiated the month of August 1954 during the course of the building of the dam, have undergo interruptions owing to the particular conditions surrounding the structure. It is necessary to observe, that the structure has practically never been charged, because the storage has never exceed the altitude of about 2043 m.

The obtained results may be recapitulated as follows: The interstitial pressures showed by the manometers are lowest, the highest values are included between 0,10÷0,15 atm.

The pressures given by the pressimeters duly increase, with the level of the embankment.

The indicated loading is greatly higher than that of the column of overhanging earth.

The settling of the embankment reaches a maximum of 4 mm, the plan of foundation has during the beginning, before the stabilization, a considerable sinking; the sinking of the bottom attains a maximum of about 23 mm pointed out with the torpeda.