

L'interpretazione del comportamento della struttura di una chiusa a mezzo di un'analisi ad elementi finiti

J. M. DUNCAN, G. W. CLOUGH - *Finite element analysis of Port Allen lock.* Journ. Soil Mech. Found. Div., Proc. ASCE, vol. 97, n. SM 8, Aug. 1971.

La chiusa di Port Allen, situata sulla sponda destra del Mississippi di fronte alla città di Baton Rouge, è costituita da una struttura ad U in cemento armato in cui la piastra di base ed i muri laterali formano una struttura continua. Una sezione della struttura è riportata in fig. 1; la piastra di base poggia direttamente sul terreno di fondazione.

La chiusa venne costruita nel 1961 secondo uno schema strutturale non

molto frequente negli Stati Uniti. In fase di progetto vennero in luce notevoli incertezze circa la interazione fra il terreno e la struttura, e pertanto fu deciso di dar luogo ad un importante programma di misure onde studiare il comportamento dell'opera in vera grandezza. Il programma di misure, realizzato dalla Waterways Experiment Station, ha comportato un costo di 164.000 dollari, da paragonare al costo totale della struttura che fu di 14.260.000 dollari.

Il sottosuolo della chiusa (v. fig. 2) è costituito da depositi limo-argillosi che riempiono un alveo abbandonato.

Dopo uno strato di argilla dello spessore di $3 \div 12$ m si incontra un banco di limi, dello spessore di $25 \div 30$ m, con stratificazioni sabbiose ed argillose.

Il fondo dell'antico alveo costituisce un substrato di sabbia densa al disotto della quale, ad una profondità variabile fra 50 e 80 m, si rinvengono argille molto dure del Pleistocene.

La struttura della chiusa fu fondata sul banco di limo, ad una distanza dalle sabbie dense del substrato pari in media a 18 m. Il regime delle acque sotterranee è caratterizzato da una falda nelle sabbie profonde che è in comunicazione con il livello dell'acqua del Mississippi e ne segue le variazioni, mentre la quota piezometrica nel banco di limi su cui poggia la struttura è praticamente costante ed indipendente dalla precedente. Di conseguenza, la quota piezometrica nelle sabbie profonde può essere maggiore o minore di quella della falda di superficie, fino ad un massimo di ± 6 m.

Lo scavo per la chiusa era lungo 500 m, largo 40 m al fondo, profondo 16 m e con pendenza delle pareti di 5,5/1. L'esecuzione dello scavo, condotta fra il febbraio 1957 ed il maggio 1958, comportò un doppio sistema di abbassamento della falda: con un sistema di well-points a tre stadi nel banco di limi e con pozzi artesiani profondi per deprimere la quota piezometrica nelle sabbie inferiori. I problemi posti dal sistema di abbassamento della falda e le relative osservazioni sperimentali sono discusse in dettaglio da MANSUR e KAUFMAN [1961].

Il getto della piastra di base iniziò nell'aprile 1958; la costruzione ed il rinterro di ambedue i muri laterali furono effettuati parallelamente fino al completamento nel maggio 1960. Il primo riempimento della chiusa con acqua ebbe luogo circa un anno più tardi.

Contemporaneamente all'avanzamento della costruzione, i livelli piezometrici delle due falde furono lasciati crescere progressivamente.

La strumentazione installata comprendeva:

- celle per la misura delle pressioni totali disposte all'estradosso dei muri perimetrali e sotto la piastra di base;
- estensimetri, tensiometri e termometri nelle strutture in calcestruzzo;
- riferimenti per la misura degli spostamenti verticali ed orizzontali di vari punti della struttura e del terreno;

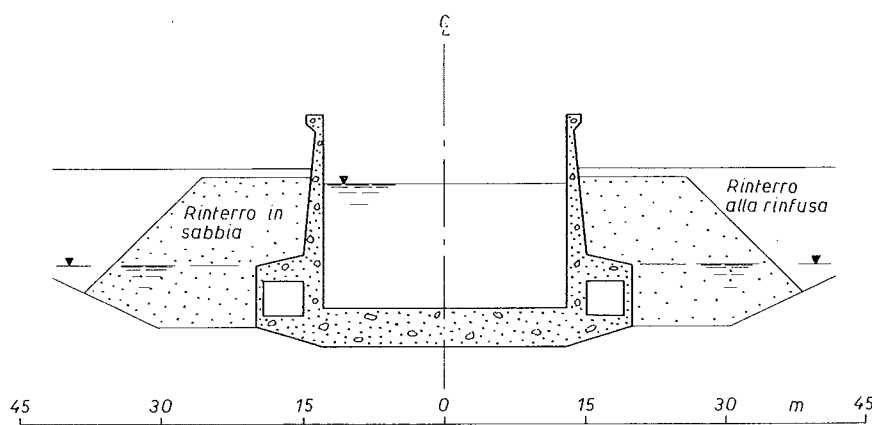


Fig. 1. - Sezione della chiusa di Port Allen.

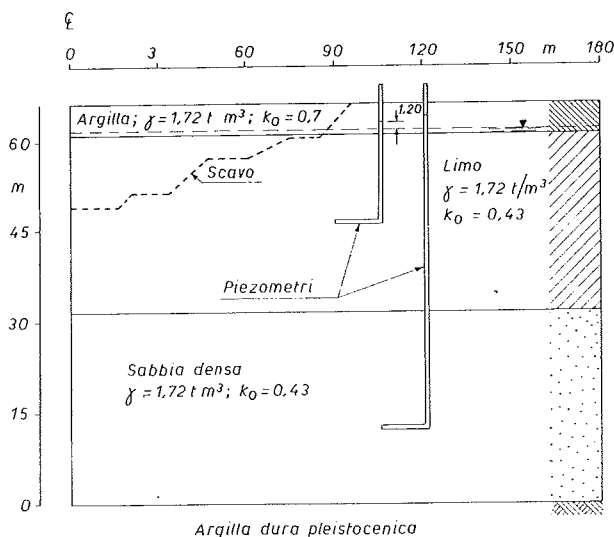


Fig. 2. - Caratteristiche dei terreni e condizioni iniziali assunte nell'analisi.

- piezometri;
- inclinometri nei muri perimetrali.

Il comportamento della chiusa e del terreno circostante è stato analizzato e discusso in dettaglio — sulla base dei risultati delle osservazioni sperimentali — da KAUFMAN e SHERMAN [1964]. Esso è risultato estremamente complesso e tale da far sorgere notevoli incertezze circa i metodi di calcolo disponibili per le strutture interrate ad U. In particolare l'effetto di attrito negativo esercitato dal rinterro sulle pareti laterali della struttura nelle condizioni di termine costruzione, induce al centro della piastra di base momenti flettenti molto maggiori di quelli previsti dal calcolo.

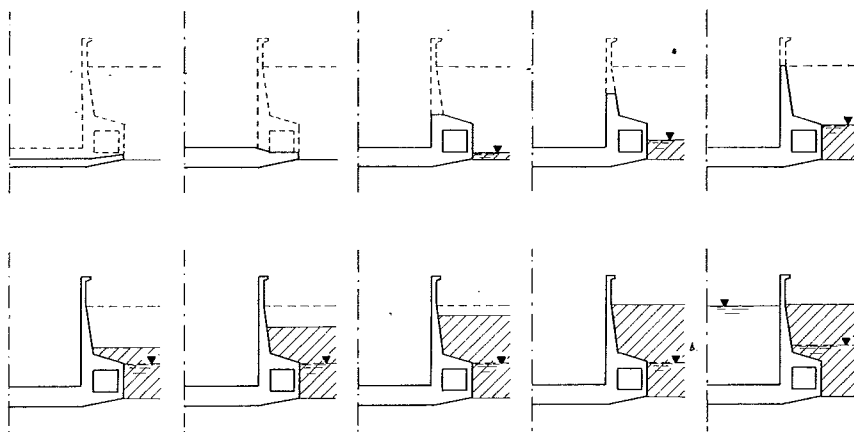


Fig. 3. - Fasi della costruzione assunte nell'analisi.

Fu quindi deciso di procedere ad un'analisi del complesso struttura-terreno mediante il metodo degli elementi finiti, onde verificare se tale metodo permettesse una previsione più soddisfacente del comportamento del complesso.

Si procedette dapprima nella semplice ipotesi che il terreno ed il calcestruzzo avessero comportamento elastico lineare; tuttavia numerose analisi svolte attribuendo al calcestruzzo ed ai vari terreni diversi valori delle costanti elastiche condussero a risultati in sostanziale disaccordo con le osservazioni sperimentali. Fu quindi necessario ricorrere ad un'analisi di tipo incrementale, simulando le varie fasi della costruzione ed attribuendo ai terreni un comportamento sforzi-deformazioni non lineare, in dipendenza dello stato tensionale. I valori del modulo elastico in corrispondenza di ogni stato tensionale furono ricavati da prove di laboratorio sui terreni di fondazione e sui materiali del rinterro con il procedimento proposto da DUNCAN e CHANG [1970]; a tutti i terreni venne attribuito un valore costante del coefficiente di

struttura della chiusa.

Il contatto fra calcestruzzo e terreno fu modellato con speciali elementi mo-

nodimensionali, le cui caratteristiche di rigidità furono desunte da prove di taglio diretto su campioni composti di sabbia e calcestruzzo.

La fig. 2 riporta le condizioni iniziali assunte nei calcoli. Lo scavo fu simulato con tre fasi, tenendo conto del

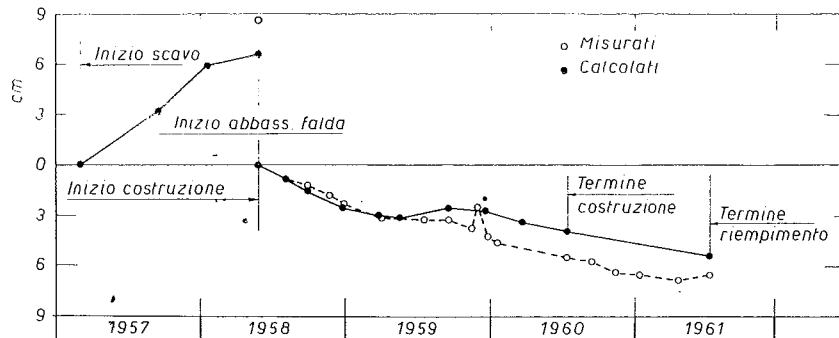


Fig. 4. - Valori misurati e calcolati degli spostamenti verticali in asse alla chiusa.

Poisson pari a 0,3. Apposite prove furono effettuate anche per determinare le caratteristiche di deformabilità del calcestruzzo armato costituente la

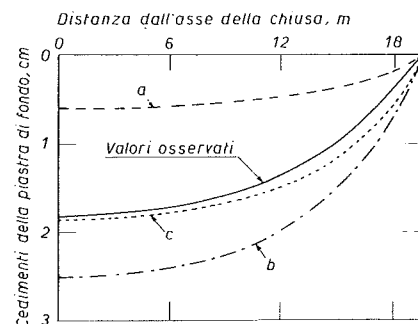


Fig. 5. - Deformazioni della piastra di fondo.

contemporaneo abbassamento della falda. Il getto della struttura, il rinterro, il ristabilimento del normale livello del-

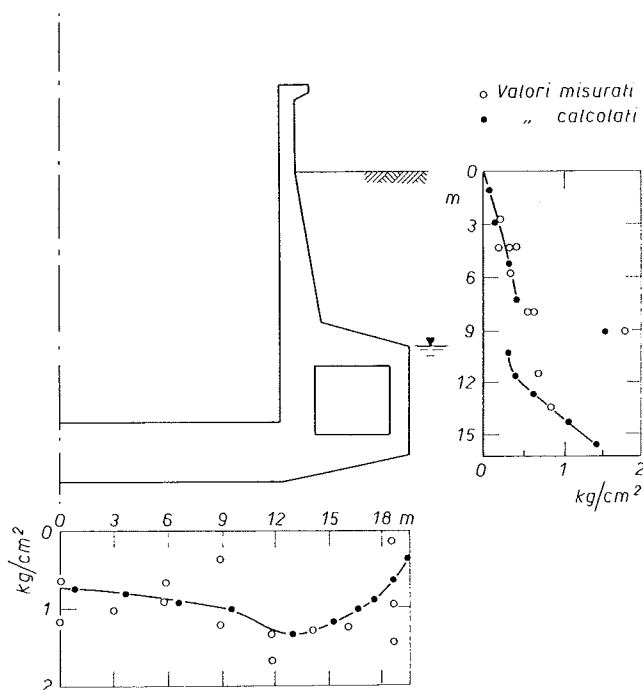


Fig. 6. - Deformazioni della struttura.

la falda ed infine il riempimento della chiusa con acqua furono simulati con le fasi riportate nella fig. 3.

I risultati dei calcoli ed il paragone con le misure sono sintetizzati nelle figure da 4 ad 8.

In fig. 4 sono riportati i valori del rigonfiamento causato dallo scavo e del successivo cedimento in asse alla chiusa. Secondo gli AA. le modeste differenze fra valori calcolati e misurati sono dovute a spostamenti dei capisaldi di livellazione causati dall'abbassamento della falda.

Particolarmente interessante è la figura 5, ove sono riportati i cedimenti calcolati e misurati della piastra di fondo al termine della costruzione. La costruzione stessa fu simulata nei calcoli in tre diversi modi, e cioè:

- Costruzione in un unico incremento, con le caratteristiche del calcestruzzo indurito (materiale rigido)
- Costruzione in un unico incremento di un materiale avente peso ma non rigidità (liquido pesante)
- Costruzione in due incrementi

con il metodo del liquido pesante, assumendo che il primo strato sia indurito all'atto della posa del secondo.

Come mostra la fig. 5 il procedimento c), che è quello che riproduce più fedelmente le effettive modalità di costruzione, dà luogo a risultati estremamente soddisfacenti.

In fig. 6 sono paragonati i valori calcolati e misurati di alcune caratteristiche deformazioni della struttura durante la costruzione. Anche in questo caso l'accordo è praticamente perfetto.

Nelle fig. 7 ed 8 sono infine riportati alcuni risultati relativi alle misure di pressioni al contatto fra struttura e terreno, durante la costruzione ed al suo termine.

I risultati qui riportati danno un'idea abbastanza concreta del grado di precisione ottenibile nell'interpretare il comportamento di una struttura come la chiusa di Port Allen, utilizzando in maniera molto spinta ed estesa i più moderni mezzi di calcolo e la strumentazione in sito. A giudizio di chi scrive l'interesse di questo lavoro va oltre le conclusioni specifiche relative alla struttura esaminata, e risiede soprattutto nelle indicazioni di carattere metodologico che se ne possono trarre.

(Carlo Viggiani)

BIBLIOGRAFIA

- DUNCAN J. M., CHANG C. Y. (1970) - *Non linear analysis of stress and strain in soils*. Journ. Soil Mech. Found. Div., Proc. ASCE, vol. 96, SM 5.
- KAUFMAN R. I., SHERMAN W. C. (1964) - *Engineering measurements for Port Allen Lock*. Journ. Soil Mech. Found. Div., Proc. ASCE, vol. 90, SM 5.
- MANSUR C. I., KAUFMAN R. I. (1961) - *Dewatering Port Allen Lock excavation*. Trans. ASCE, vol. 126, Part I, Paper 3215.

Un prototipo di prova su modello in centrifuga

H. Q. GOLDBERGER - *Correspondence*. Geotechnique, vol. XXI, n. 3, 1971.

Prendendo lo spunto da una nota di LYNDON e SCHOFIELD [1970] dedicata allo studio su modello della stabilità di una scarpata in argilla mediante una centrifuga, l'Autore descrive molto gustosamente una «esperienza» dello stesso tipo effettuata nel 1937 alla Building Research Station.

Nel corso di un'indagine sulla rottura di una diga in terra [COOLING, GOLDBERGER, 1942] venne in discussione la possi-

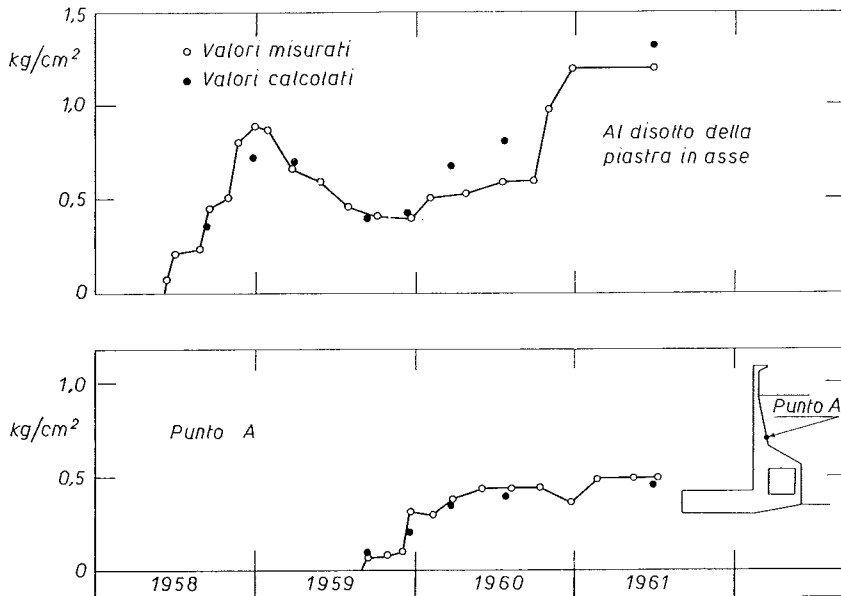


Fig. 7. - Pressioni di contatto in alcuni punti caratteristici.

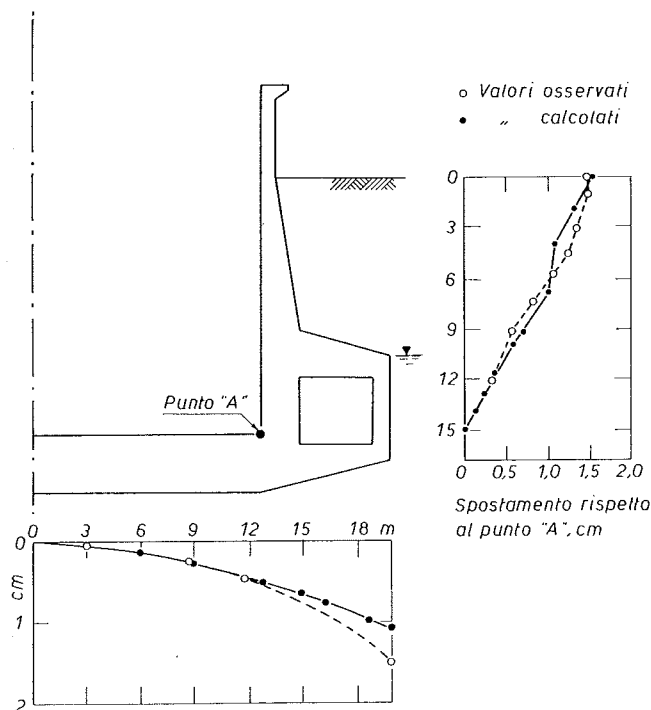


Fig. 8. - Distribuzione delle pressioni di contatto al termine della costruzione.