

Un'indagine teorico sperimentale sull'influenza della eterogeneità del suolo sui cedimenti.

J. B. BURLAND, G. C. SILLS, R. E. GIBSON: *A Field and theoretical study of the influence of non-homogeneity on settlement*. Proc. 8th Int. Conf. Soil Mech Found Eng., Moscow 1973; vol. 1. 3, 39-46.

La nota è dedicata ad un confronto fra le deformazioni rilevate in una prova di carico in grande scala ed i valori delle stesse deformazioni calcolati sulla base di diversi modelli del sottosuolo; la prova di carico aveva lo scopo di indagare le caratteristiche del sottosuolo di una località, in Inghilterra, prescelta per la costruzione di un grande acceleratore di particelle. Il sottosuolo risultava costituito da un calcare tenero organogeno, il cosiddetto «chalk», che si presentava sensibilmente fratturato ed alterato nella parte superficiale e praticamente intatto ad una profondità di qualche decina di metri. Lo stato di degradazione di questa roccia, assai comune in Inghilterra, venne caratterizzato con 5 gradi; il V grado corrisponde alla massima alterazione, il I alla roccia intatta.

La prova di carico è stata condotta riempiendo di acqua un serbatoio metallico cilindrico di m 18,30 di dia-

metro ed altrettanti di altezza; in tal modo il piano di posa, ricavato direttamente nel calcare a circa 2 m di profondità, venne assoggettato ad un carico di 1,83 kg/cm².

Il sottosuolo era stato preventivamente strumentato con una serie di assestimetri posti al di sotto del serbatoio e al di fuori di esso, e spinti fino a circa 30 m di profondità; per i punti in superficie sono stati adottati assestimetri a vasi comunicanti, per quelli profondi trasduttori di tipo induttivo.

La fig. 1 illustra schematicamente l'installazione di misura in sezione; nella stessa figura è riportata la stratigrafia del sottosuolo. Maggiori dettagli sulla strumentazione, sulle caratteristiche dei terreni e sulla prova sono riportati in WARD *et al.* [1968].

La prova ha compreso un ciclo di carico della durata di una settimana, seguito da uno scarico e da un nuovo riempimento del serbatoio che è poi stato lasciato pieno per molti mesi per studiare il comportamento del sottosuolo a lungo termine. Nella nota che si recensisce, tuttavia, viene preso in esame solo il primo ciclo di carico. Nelle figure 2 e 3 e nella tabella I sono riportati alcuni dei dati osservati; risulta evidente la marcata linearità e reversibilità del comportamento del terreno.

Un comportamento analogo era stato osservato anche a mezzo di una serie di prove su piastra effettuate a varie profondità in fase di indagine.

I valori del modulo E ricavati da dette prove assumendo un coefficiente di Poisson $\nu = 0,1$ sono riportati in diagramma, in funzione della profondità, in fig. 4; sulla stessa figura sono riportati i valori di E dedotti dalle misure di spostamenti verticali sotto il centro del serbatoio, sempre assumendo $\nu = 0,1$.

La deformata della superficie del terreno è stata quindi calcolata con la teoria di Boussinesq, e cioè assimilando il sottosuolo ad un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo; assunto $E = 32500$ kg/cm² e $\nu = 0,1$ si ottiene coincidenza fra il valore del cedimento calcolato e misurato al centro del serbatoio $w = 2,6$ mm).

Tuttavia, come mostra la fig. 5 l'andamento della deformata della superficie del suolo calcolato con la teoria di Boussinesq si discosta sensibilmente da quello misurato, che risulta molto più concentrato.

Gli A.A. avanzano l'ipotesi che tale discordanza sia da addebitare al modello di mezzo omogeneo assunto per il sottosuolo e si propongono di verificare se la interpretazione delle misure risulti più soddisfacente quando, pur conservando le ipotesi di elasticità ed

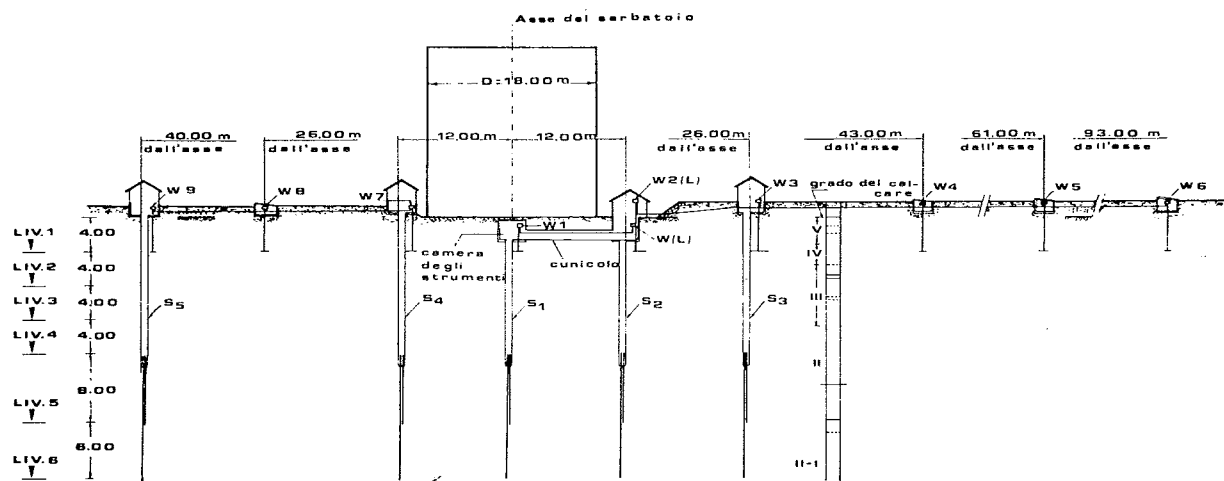


Fig. 1 - Sezione schematica dell'installazione di misura - w: assestimetri a vasi comunicanti; s: assestimetri a trasduttore.

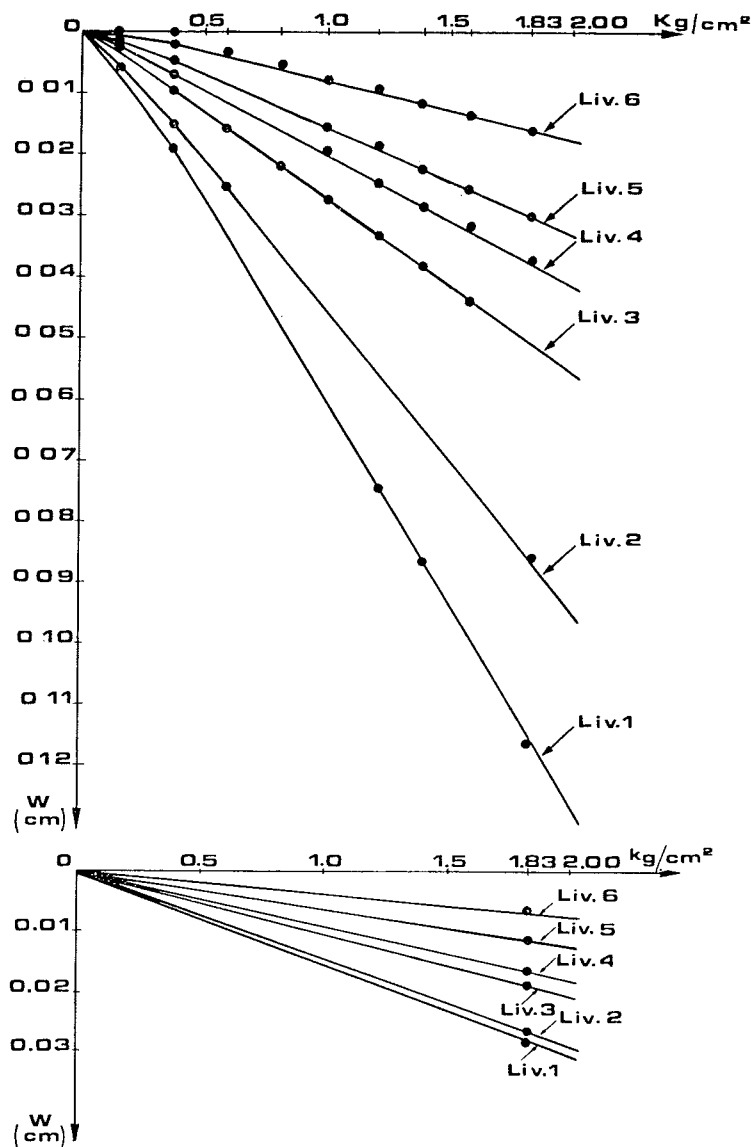


Fig. 2 - Relazioni tra carico applicato ed i cedimenti a vari livelli negli assestimetri S_1 ed S_4 .

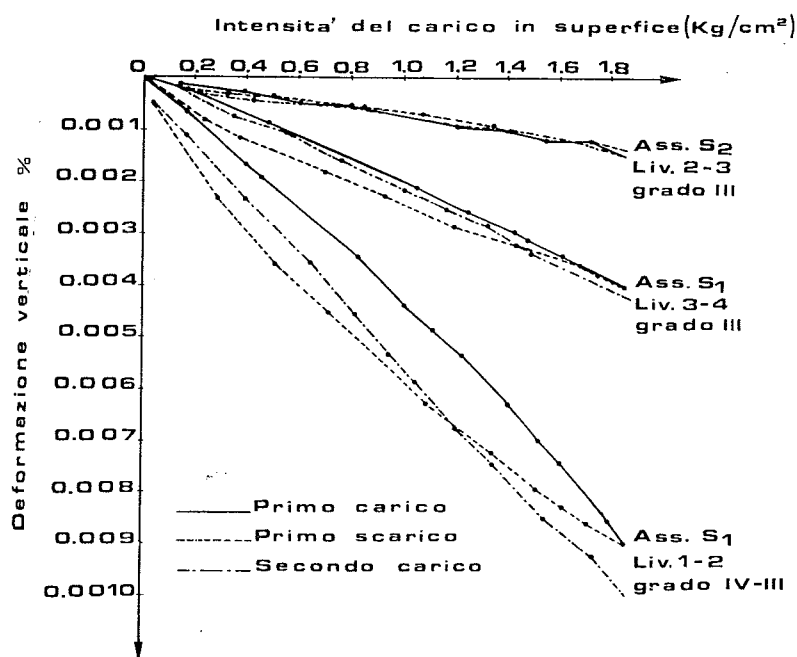


Fig. 3 - Relazioni tra il carico applicato ed i cedimenti a vari livelli negli assestimetri a -1 e 4 .

isotropia, si porti in conto la variazione del modulo E con la profondità. A tal fine ricorrono a due diversi procedimenti di calcolo.

Un primo procedimento consiste nell'effettuare un calcolo ad elementi finiti assumendo una distribuzione di E linearmente variabile secondo la legge $E = E_0 + \lambda z$ ed un valore di $\nu = 0,24$ derivante da prove di laboratorio.

Il calcolo è stato ripetuto fino a trovare, per tentativi, valori di E_0 e di λ che dessero luogo al migliore accordo con i cedimenti misurati lungo la verticale in asse al serbatoio; ne è risultata la distribuzione di E riportata con linea continua in fig. 4 caratterizzata da $E_0 = 6800 \text{ kg/cm}^2$; $\lambda = 15,5 \text{ kg/cm}^3$. Con tali valori l'accordo fra le deformazioni calcolate e misurate è estremamente stretto, come mostra la Figura 6, sia in profondità che in senso orizzontale.

Il secondo procedimento di calcolo adottato per la interpretazione dei dati misurati consiste nell'uso di una soluzione analitica rigorosa per il semispazio con modulo E linearmente variabile a partire da un valore nullo in superficie $E = \lambda z$. Per tale schema AWAJOBİ e GIBSON (1972) hanno fornito le espressioni dei cedimenti e delle tensioni indotte da un'area di carico circolare.

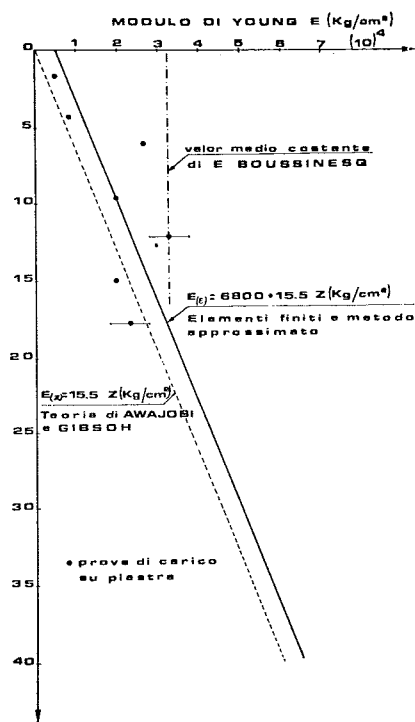


Fig. 4 - Modulo E in funzione della profondità: valori sperimentali ed assunzioni di calcolo.

TABELLA I

Livello	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6
Grado del calcare (Chalk)	V	IV - III	III	III - II	II	II
% della deformazione recuperabile (Immediata)	75.0	97.3	99.7	100	100	100

TABELLA II

Livello	Distanza media al di sotto del serbatoio (m)	Grado del calcare (Chalk)	Cedimenti verticali istantanei %		Modulo di Young E (Kg/cm ²)	
			1° ciclo di carico	2° ciclo di carico	1° ciclo di carico	2° ciclo di carico
0 1	1.91	V	0.04500	0.03650	3'700	4'600
1 2	5.57	IV - III	0.00877	0.00929	16'900	15'900
2 3	9.13	III	0.00715	0.00745	16'600	16'500
3 4	12.76	III - II	0.00381	0.00402	22'200	21'100
4 5	18.59	II	0.00117	0.00127	43'700	40'200
5 6	25.77	II	0.00065	0.00070	47'000	43'600

Il confronto è stato effettuato assumendo $\lambda = 15,5 \text{ kg/cm}^3$ e $\nu = 0,24$ (linea a tratti in fig. 4). È da precisare che la espressione di Awojobi e Gibson è ricavato per $\nu = 0,3$, tuttavia gli A.A. hanno mostrato che piccole variazioni di ν non influenzano i valori dei cedimenti.

Anche questo procedimento conduce a valori dei cedimenti calcolati in ottimo accordo con quelli misurati, salvo che sul piano di posa dove, secondo la teoria, il cedimento è infinito; si veda in proposito ancora la fig. 6.

Si può quindi concludere che l'eterogeneità del sottosuolo, almeno in questo caso, esercita una notevole influenza sul comportamento dello stesso; quindi solo tenendo conto di tale fattore è possibile interpretare in modo soddisfacente i risultati delle misure.

È forse il caso di aggiungere che di recente [ESPOSITO, NOBILE e VIGGIANI, 1975] è stato proposto un procedimento approssimato per il calcolo dei cedimenti in uno strato elastico con mo-

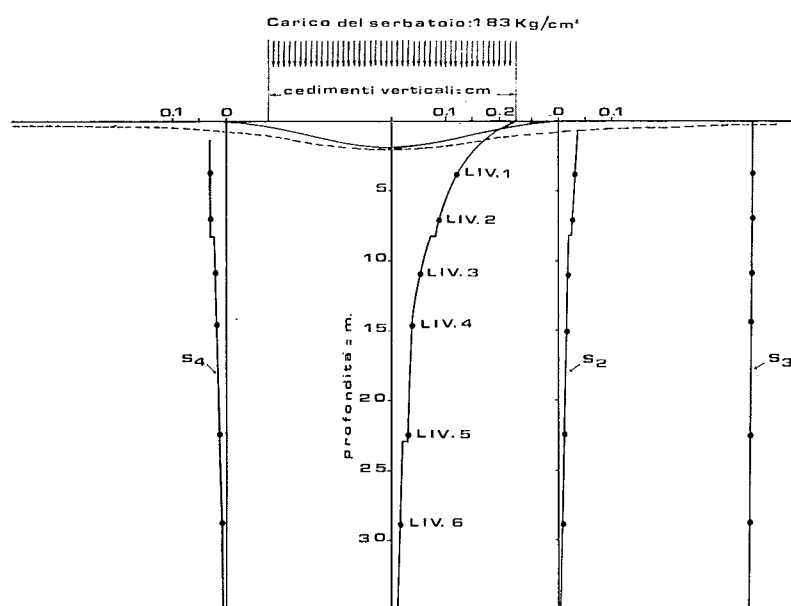


Fig. 5 - Spostamenti verticali misurati e deformata superficiale. ——— Deformata superficiale. ——— Deformata superficiale secondo la teoria di Boussinesq (E = cost. = 32500 kg/cm²).

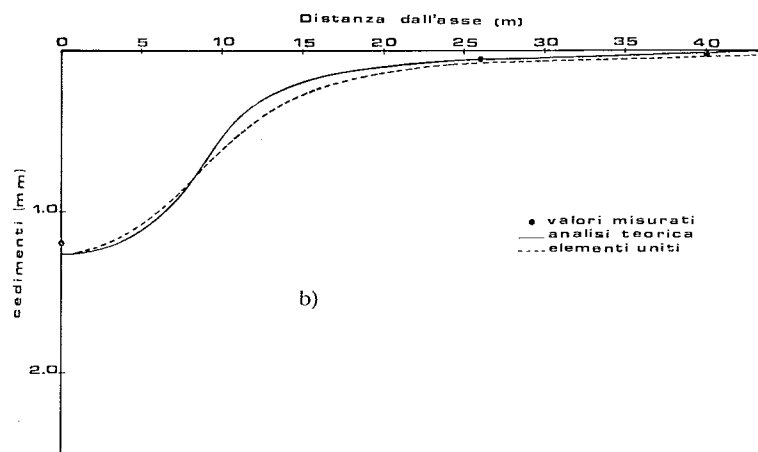
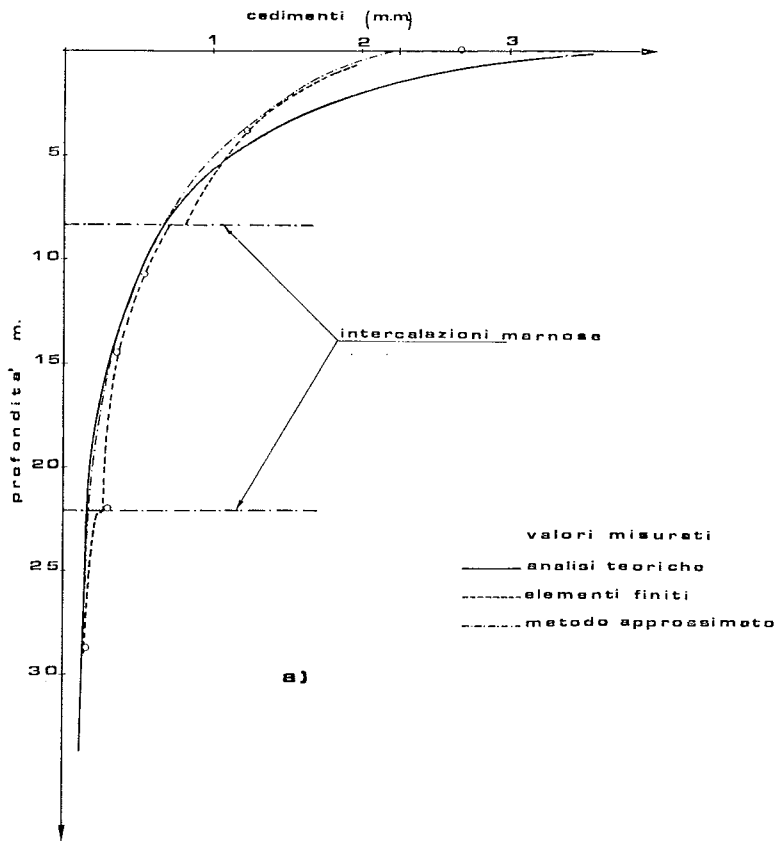


Fig. 6 - Paragone fra i valori sperimentali degli spostamenti e le precisioni teoriche: a) verticale in asse al serbatoio; b) livello di misura 1.

dulo crescente con la profondità secondo la legge $E = E + \lambda z$.

Il metodo, che rappresenta una estensione di quello di STEINBRENNER [1934], consiste nel calcolare i cedimenti riferendosi alle espressioni delle tensioni ottenute con il modello di Bousinesq di semispazio omogeneo, e tenendo conto della variabilità di E solo nelle deformazioni.

Lo scrivente ha calcolato, con tale metodo approssimativo assumendo ancora $E_0 = 6800 \text{ kg/cm}^2$; $\lambda = 15,5 \text{ kg/cm}^3$; $\nu = 0,24$, i cedimenti lungo la verticale in asse all'area di carico; i risultati sono riportati ancora in fig. 6, confermando la sostanziale validità del metodo stesso.

(Luigi Esposito)

BIBLIOGRAFIA

- AWOJOBI A. D., GIBSON R. E. (1972): *Plane strain and axially symmetric problems of a Linearly non homogeneous elastic half-space*. Quart. Journ. Mech. Appl. Math., Vol. XXVI, 285-302.
- ESPOSITO L., NOBILE L., VIGGIANI C. (1975): *An approximate solution for displacements in a non-homogeneous elastic layer*. Proc. Istanbul Conf. Soil Mech. Found.Eng., vol. I.
- STEINBRENNER W. (1934): *Tafeln für Setzungsberechnung*. Die Strasse, vol. I, 121-124.
- WARD W. H., BURLAND J. B., GALLOIS R. I. (1968): *Geotechnical assessment of a site at Mundford, Norfolk*. Geotechnique, vol. 18, pp. 399-431.