

Interazione tra struttura in elevazione e fondazione durante i moti sismici.

J. F. FLEMING, F. N. SCREWVALA e R. L. KONDNER - *Foundation superstructure interaction under earthquake motion*. Proc. 3rd World Conference on Earthquake Engineering, vol. 1, New Zealand, 1965.

In questo studio viene affrontato per mezzo dell'analisi dinamica il problema delle mutue influenze tra fondazione e struttura in elevazione sotto l'azione di terremoti.

È stato a tali fini studiato un modello matematico in cui si tiene conto delle caratteristiche della struttura in elevazione e di quelle della fondazione (intesa come complesso costituito dalla fondazione vera e propria e dal terreno interessato) e che consente di calcolare la risposta sismica della struttura nel suo complesso. Il terremoto è schematizzato per mezzo di un'accelerazione orizzontale che agisce in un basamento lapideo posto ad una certa profondità sotto la superficie del suolo. La risposta della struttura può essere calcolata quando siano note le caratteristiche meccaniche del terreno compreso tra il basamento lapideo e la superficie del suolo.

Il modello matematico studiato è quello di un fabbricato ad N piani che vibra in un piano verticale. Le masse della struttura (M_i) sono concentrate in corrispondenza dei piani e sono collegate da elementi elastici caratterizzati da costanti elastiche b_{ij} (FL^{-1}) (fig. 1a e 1b). La massa della fondazione (M_1) è concentrata alla base della struttura e comprende la massa della fondazione vera e propria e la massa di quella parte di terreno che partecipa solidalmente al moto della fondazione stessa. Il terreno è schematizzato con elementi elastici che si oppongono agli spostamenti orizzontali ed alle rotazioni della fondazione. Le relazioni tra forza orizzontale e deformazione e tra momento e rotazione di questi elementi elastici riproducono il comportamento, in cam-

po elastico, del terreno sotto l'azione del terremoto. Le relazioni anzidette possono essere lineari o non lineari. La deformata del modello ad un tempo generico è riportata in fig 1c.

Ammettendo che nel basamento lapideo agisca un'accelerazione orizzontale di data intensità e trascurando lo smorzamento, le equazioni del moto sono date da:

$$F_i - R_i = M_i \ddot{x}_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

in cui M_i è il valore della massa concentrata nel piano i^{esimo} , $\ddot{x}_i = \ddot{x}_0 + \ddot{x}'_i$ è l'accelerazione orizzontale assoluta della massa i^{esima} , R_i è la forza resistente interna della struttura nel punto i ed F_i è la forza esterna agente sulla massa M_i .

Le forze resistenti interne possono essere scritte:

$$R_i = \sum_{j=2}^n [b_{ij} (x'_j - x'_i - h_{j1} \text{tg } \alpha)] + K$$

$$R_i = \sum_{j=2}^n [b_{ij} (x'_j - x'_i - h_{j1} \text{tg } \alpha)]$$

$$(i = 2, 3, \dots, n)$$

in cui b_{ij} sono le costanti elastiche degli elementi della struttura, h_{j1} è la

distanza tra le masse M_j e M_i ; K è la forza resistente totale del terreno. Quest'ultima dipende dalle caratteristiche del terreno stesso ed è, in generale, una funzione di x'_i ed \dot{x}'_i .

L'equazione della rotazione, ammettendo che l'angolo α sia piccolo, è

$$I_1 \ddot{\alpha} + R_\alpha = \sum_{j=2}^n [F_j - M_j (\ddot{x}_0 + \ddot{x}'_j)] h_{j1}$$

in cui I_1 è il momento di inerzia della fondazione rispetto al suo centro di gravità ed R_α è il momento resistente dovuto al terreno e che dipende dalle caratteristiche del terreno e dalla forma e dimensioni della fondazione.

Poiché di solito K ed R_α sono funzioni non lineari delle velocità degli spostamenti ed \ddot{x}_0 una funzione casuale del tempo, non è possibile trovare una soluzione generale esatta delle equazioni del moto del modello matematico. Può però trovarsi una soluzione approssimata con un metodo di integrazione numerica. I procedimenti di calcolo sono stati programmati per il calcolatore digitale IBM 709.

Con tali metodi è stata calcolata la risposta di un edificio a due piani (figura 2a) sotto l'azione di un terremoto. La massa della fondazione è stata considerata eguale a quella concentrata nei

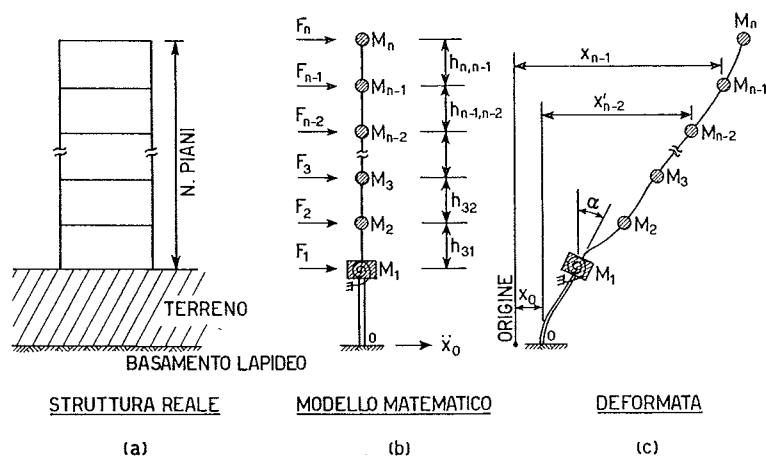


Fig. 1.

piani; il periodo proprio della struttura è 0,67 sec. Si è ammesso che l'accelerazione nel basamento lapideo sia una funzione periodica smorzata del tempo espressa dalla legge riportata in fig. 2c. Per analogia con alcuni terremoti reali, il periodo dell'accelerazione è 0.16 sec.

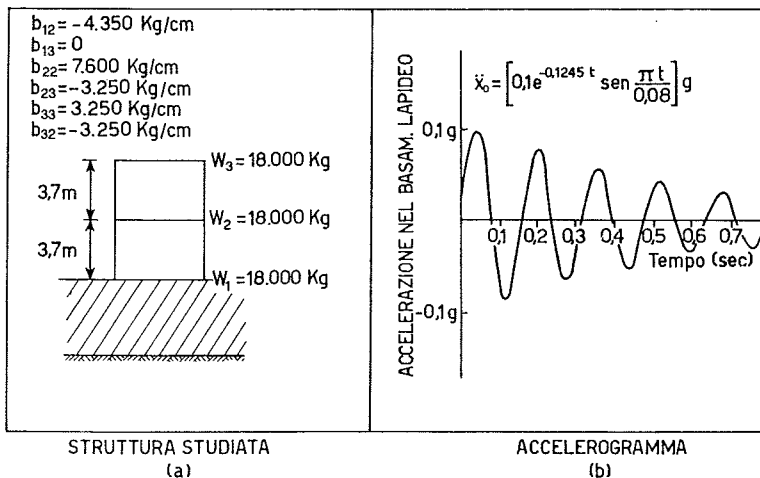


Fig. 2.

Per semplicità di calcolo si è supposto che la relazione tra deformazioni e forze nell'elemento elastico che riproduce il terreno sia lineare e si sono calcolate le risposte per tre valori della costante elastica di detto elemento (180, 18.000, 180.000 kg/cm); si è considerato anche il caso di terreno con costante elastica infinita (terreno indeformabile).

Nel caso di terreno di fondazione molto flessibile (costante elastica 180 kg/cm) gli spostamenti x'_1 della struttura, fondazione compresa, rispetto al basamento lapideo sono praticamente eguali tra loro (fig. 3). Gli spostamenti relativi tra i diversi piani sono piccoli e pertanto sono piccole le forze agenti nella struttura. Se può ammettersi che

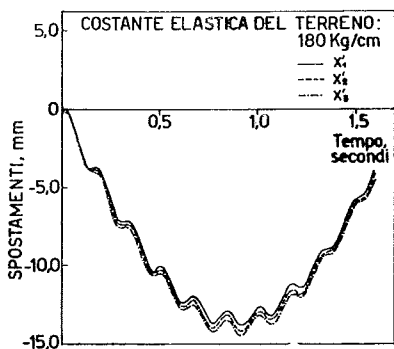


Fig. 3.

non si abbiano rotture del terreno di fondazione, risulta pertanto che un terreno di fondazione molto flessibile, in rapporto alla struttura, consente di assicurare la stabilità dell'opera.

Nel caso di terreno indeformabile (figura 6) lo spostamento della fondazione rispetto al basamento lapideo x'_1 è

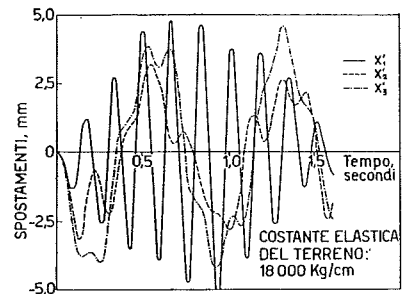


Fig. 4.

tevolmente gli spostamenti della struttura.

Lo studio del modello matematico della struttura dimostra per via analitica l'influenza della deformabilità della fondazione (intesa come complesso terreno-fondazione) sul comportamento delle strutture sottoposte all'azione dei terremoti.

Esso presenta anche un interesse immediato dal punto di vista pratico in quanto fornisce un metodo di progettazione antisismica che consente di tenere conto delle fondazioni.

Dal punto di vista geotecnico, suggerisce alcuni utili spunti per le ricerche sul comportamento dinamico delle fondazioni.

nullo mentre gli spostamenti della struttura in elevazione x'_2 e x'_3 sono grandi e pertanto sono elevate le forze agenti nella struttura stessa.

Un'identica risposta si ha nel caso di terreno con costante elastica eguale a 180.000 kg/cm (fig. 5); gli spostamenti della fondazione (x'_1) sono piccoli, mentre sono grandi quelli della struttura; può pertanto dirsi che, date le caratteristiche della struttura, una rigidità del terreno di 180.000 kg/cm corrisponde al caso di terreno indeformabile.

Per il valore intermedio della costante elastica (18.000 kg/cm) gli spostamenti della fondazione e della struttura sono grandi (fig. 4) e, di conseguenza, considerando l'entità degli spostamenti relativi tra le varie parti della struttura, sono grandi le forze agenti sulla struttura stessa. In questo caso il periodo proprio del sistema costituito dalla struttura in elevazione e dalla fondazione è di 0,14 sec ed è pertanto molto prossimo al periodo dell'accelerazione (0,16 sec); può cioè dirsi che si verificano condizioni di risonanza.

Nell'esempio studiato non si è tenuto conto dello smorzamento (funzione degli spostamenti, delle velocità e delle caratteristiche di forma della struttura nel suo complesso) che ridurrebbe no-

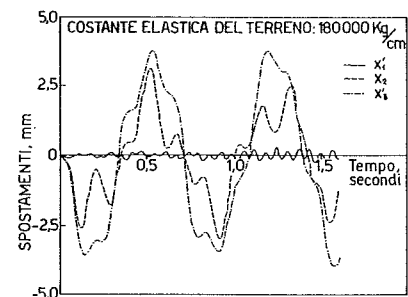


Fig. 5.

In particolare, per determinare la risposta in campo elastico ed in condizioni lontane dalla rottura del terreno per effetto di sollecitazioni dinamiche, le ricerche dovrebbero vertere su tre argomenti principali:

1) massa della fondazione per stabilire quale parte del terreno partecipi solidalmente al moto della struttura di fondazione;

2) valori delle « costanti elastiche » da attribuire agli elementi che riproducono il terreno nel modello; allo stato attuale può affermarsi che tali grandezze sono funzioni degli spostamenti e delle velocità nel terreno e dipendono dalle caratteristiche meccaniche di que-

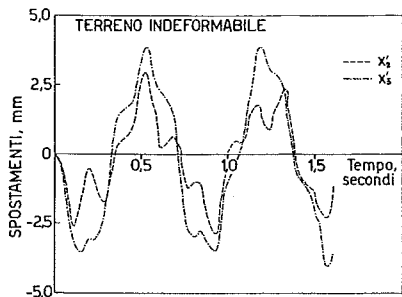


Fig. 6.

sto; non è, però, possibile, nella maggior parte dei casi, indicare procedimenti che consentano di ricavare dei valori attendibili di tali grandezze;

3) fattore di smorzamento del terreno: anche in questo caso, mentre è possibile dire che esso dipende dalle caratteristiche reologiche del terreno stesso non possono darsi delle espressioni quantitative.

Note tali caratteristiche, sarà possibile, con l'impiego di calcolatori analogici o digitali, determinare la risposta della struttura nel suo complesso e ricavare l'entità delle forze agenti per effetto di un terremoto.

(Franco Esu)

Notizie sulla diga di Mattmark.

Swiss National Committee on Large Dams: *Concrete and Earth dams in Switzerland today.*

La diga in materiali sciolti di Mattmark, con nucleo in terra inclinato a monte e rinfianco di valle in rock-fill, possiede le seguenti dimensioni caratteristiche fondamentali:

Altezza	120 m
Lunghezza al coronamento	770 m
Volume del rilevato	$10,4 \times 10^6 \text{ m}^3$
Volume del nucleo	$3,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
Volume del rock-fill	$5,3 \times 10^6 \text{ m}^3$
Capacità di invaso	$100 \times 10^6 \text{ m}^3$

Il rilevato appoggia nella parte più depressa della vallata su un potente banco alluvionale, mentre più in alto le sponde sono costituite da formazioni lapidee in posto; una morena laterale del ghiacciaio dell'Allalin, che dalla spalla sinistra raggiunge il fondovalle proprio in corrispondenza della diga, è inoltre incorporata nella zona di valle della diga.

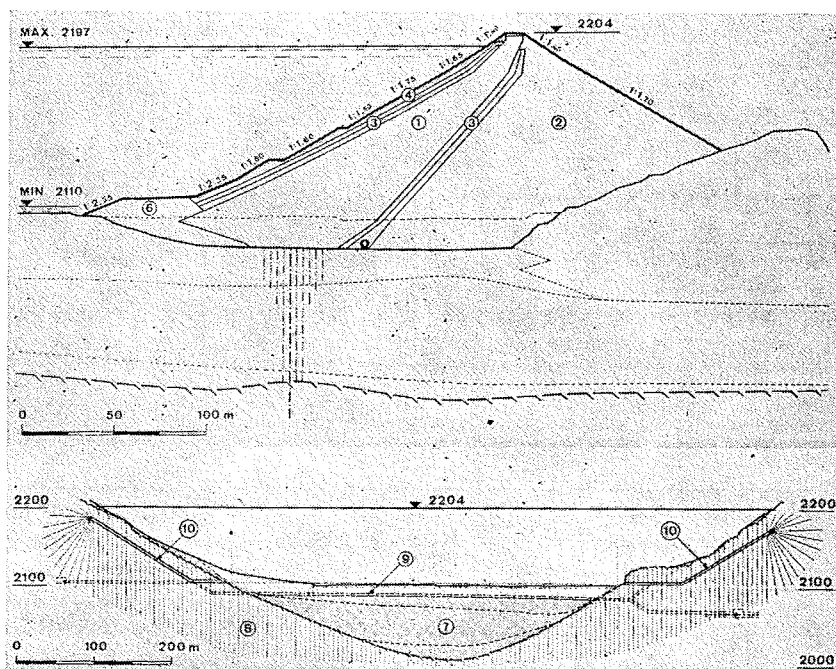
La costruzione del rilevato rappresenta un significativo esempio dell'integrale utilizzazione di un materiale naturale, poiché sia il nucleo che il rock-

fill provengono dalla medesima formazione morenica, differendo soltanto per le dimensioni massime degli elementi e per la diversa tecnica di posa in opera.

Il materiale da nucleo possiede dimensioni massime di 120 mm e presenta mediamente il 14 % di passante a 0,1 mm. Questo materiale, bene assortito sotto il profilo granulometrico e pressoché privo di coesione, è stato disposto a strati di 20 cm e compattato con un rullo gommato del peso di 80 ton. Il coefficiente di permeabilità è risultato dell'ordine di 10^{-5} cm/sec.

Tali sforzi sono stati evidenziati dalla formazione di fessure di distacco profonde alcuni metri; tuttavia, grazie all'ottimo assortimento naturale delle terre da nucleo il cui contenuto in fini conferisce all'ammasso una sia pur ridotta plasticità, tali fessure si sono automaticamente e rapidamente richiuse. La fondazione è stata trattata con iniezioni profonde di miscele di cemento e silicati, raggiungendo una riduzione del coefficiente di permeabilità a valori dell'ordine di $0,5 \cdot 10^{-4}$ cm/sec, in zone ove originariamente esso era di $10^{-1} \div 10^{-3}$ cm/sec.

(Antonio Chiari)



Sezione tipo e profilo longitudinale della diga di Mattmark. 1: nucleo - 2: rinfianco - 3: filtri - 4: rip-rap - 6: ricarica - 7: schermo di iniezioni nelle alluvioni - 8: schermo di iniezioni in roccia - 9: galleria di drenaggio - 10: galleria di iniezione.

Gli elementi di maggiori dimensioni (120 ÷ 800 mm) provenienti dallo scarico delle terre da nucleo sono stati addizionati al materiale morenico toutenant per l'ottenimento del rock-fill. Quest'ultimo, scaricato alla rinfusa in strati da 1,5 m e non sottoposto a particolare costipamento, presenta cedimenti alquanto notevoli, stimati nel 5 % dell'altezza al termine della costruzione.

Il nucleo inclinato, che considerato a sè stante presenterebbe per le sue caratteristiche i minori cedimenti, deve adattarsi ai maggiori assentamenti complessivi del rilevato. Inoltre, la circostanza che a sua volta l'intera diga debba seguire il cedimento della fondazione alluvionale ha creato degli sforzi di tensione, notevoli soprattutto al contatto tra il nucleo e le sponde val-

Notizie sulla diga in terra di Oroville (U.S.A.).

U. S. Committee on Large Dams - *U. S. selected examples of current design and construction practice. Sept. '67.*

La pubblicazione, distribuita dal Comitato statunitense al recente congresso delle grandi dighe, riferisce brevemente sulle caratteristiche di quattordici sbarramenti — scelti tra quelli recentemente ultimati o in via di avanzata costruzione negli U.S.A. — che meglio appaiono caratterizzare gli attuali indirizzi costruttivi di questo settore.

Delle quattordici dighe nove sono in materiali sciolti, e ben cinque di queste ultime superano i cento metri di altezza.