

Metodi numerici per la risoluzione di mezzi discontinui.

BURMAN B. C.: *Development of a Numerical Model for Discontinua*. Australian Geomechanics Journal, vol. G 4, n. 1, 1974, p. 13-22.

Il metodo degli elementi finiti, che si è rapidamente diffuso con sì largo successo, ha avuto inizialmente il fine di approssimare, con calcoli numerici, il comportamento di sistemi continui di varia natura. Ci si è però già accorti che esso permette anche di investigare i fenomeni dei sistemi o mezzi discontinui, nei quali, cioè, l'esistenza di parti « discrete », o di « elementi », non necessariamente « piccoli », non è un artificio tollerato perché utile, ma rappresenta qualche intrinseco carattere del materiale studiato.

Nel lavoro di B. C. Burman, che si recensisce, viene esposto il trattamento di « mezzi discontinui a blocchi » (jointed media) immaginati come sistemi di porzioni discrete, ciascuna rigida o variamente elastica, fra di loro collegate con « giunti » di varia natura. Come esempio tipico potrebbe ad esempio riguardarsi il caso di un corpo roccioso, con fratturazione diffusa nel masso, o localizzata in determinate zone, e soggetto a forze esterne e interne.

Gli schemi che possono derivarsi per particolareggiamento di tali concetti sono diversi e numerosi, specie per quanto attiene al modo di simulare l'interazione fra blocchi adiacenti. Si può infatti pensare ad elementi intermedi di collegamento, aventi differenti proprietà elastiche o plastiche, od a connessioni rappresentate da molle ideali od altri simboli meccanici, e via dicendo. Si possono così investigare fenomeni concernenti il comportamento di materiali svariati, per es. rocce fratturate, stratificate, straterellate, scistose, assumendo per di più particolari ipotesi circa la linearità, od il tipo di non linearità, delle relazioni fra le deformazioni dei giunti ed i conseguenti sforzi mutui fra i blocchi.

L'articolo mostra in dettaglio il modo di esprimere nei calcoli le caratteristiche di rigidità dei giunti fra i blocchi; di passare dalle analisi elementari a quella complessiva o globale; e di ricavare le componenti locali delle deformazioni e delle tensioni. Particolarmente diffusa è la trattazione della maniera di simulare alcuni tipici casi di non linearità, mediante curve caratteristiche approssimate da adatte poligonali.

La traduzione di un metodo del genere in concreti programmi di calcolo automatico è un compito che richiede competenza specifica sia nel campo dei fenomeni elasto-plastici sia in quello programmatico. L'onere della redazione di programmi del genere è però compensato dal fatto che essi costituiscono validi strumenti per la trattazione dettagliata di sistemi assai svariati e complessi, attraverso una vera e propria « sperimentazione numerica ». Questa è tanto più indicata e vantaggiosa, in quanto la realizzazione di sistemi analogici, o di modelli a scala ridotta, urta spesso contro notevoli difficoltà di adeguata similarità matematica o dimensionale.

(Giuseppe Aprile)

Un manuale per il calcolo di fondazioni superficiali.

SHERIF G., KONIG G.: *Rafts and beams on compressible subsoil. Tables for the calculation of soil pressure, settlement, shear forces and moments according to the modulus of compressibility-method*. Springer-Verlag, 1975.

Non crediamo sia necessario sottolineare l'importanza che assume nella Geotecnica, e più in generale nell'Ingegneria Civile, il calcolo delle strutture di fondazione di un qualsiasi manufatto. L'argomento riassume in sé l'interesse teorico, proprio dello studioso, delle interazioni al contatto tra l'elemento di fondazione e il suolo, e l'interesse pratico del progettista, che intende risolvere tale problema nel modo più sicuro ed economico.

Il volume qui recensito si rivolge soprattutto, ma non solo, al progettista, dandogli la possibilità e i mezzi per risolvere il problema nel modo più rapido e semplice: ciò sulla base di una teoria che, svincolandosi dalle ipotesi classiche di Winkler, permette di schematizzare in modo più completo (anche se, si può obiettare, non ancora del tutto convincente) il comportamento dei terreni, e di realizzare, come dicevamo, opere sicure ed economiche.

Il tema dell'opera è il calcolo strutturale di alcuni tipi di fondazioni superficiali (in particolare platee e travi di fondazione).

Essa fornisce, in un gran numero di tabelle, i valori dei coefficienti d'influenza relativi ai parametri di maggiore interesse nel calcolo (distribuzione delle pressioni al contatto tra

struttura e terreno, cedimenti della struttura, distribuzione in essa delle caratteristiche di taglio e di momento flettente) per effetto dei carichi trasmessi dalla sovrastruttura, schematizzabili come forze concentrate, carichi uniformemente distribuiti e momenti flettenti.

L'ipotesi sul terreno è quella classica di semispazio elastico, omogeneo ed isotropo posta alla base della teoria di Boussinesq, supponendo che il modulo E_s di Young del terreno sia costante colla profondità. Viene inoltre trascurata la resistenza di attrito fra struttura e terreno e l'influenza, peraltro esigua, del modulo di Poisson del terreno stesso.

Passando alla struttura di fondazione, questa è supposta rigida nella direzione normale alla sezione su cui viene effettuato il calcolo. In tal modo si può pensare che tutte le sezioni parallele a quella di riferimento (si consiglia la sezione caratteristica) si inflettano nello stesso modo per effetto dei carichi applicati: ci si riconduce così ad un problema piano di deformazione.

Per questi motivi il criterio di calcolo aderisce in modo pieno al caso delle platee con muri irrigidenti trasversali, ma viene applicato soddisfacentemente (e ciò è mostrato negli esempi di calcolo riportati) anche alle travi di fondazione e ad altri casi illustrati nel testo.

Le tabelle, dal canto loro, sono precedute da una breve introduzione, riportata in quattro lingue (tedesco, inglese, francese e spagnolo), che illustra la teoria generale su cui esse si basano e i criteri seguiti nella loro realizzazione, il modo di farne uso, i limiti del calcolo.

Sono inoltre presentati, come illustravamo prima, una decina di esempi che coprono una gamma abbastanza ampia di situazioni in cui potrebbe essere di ausilio il metodo proposto e che, d'altra parte, chiariscono ulteriormente l'uso delle tabelle.

Sembra interessante illustrare qui il criterio, detto del modulo di compressibilità, sulla cui base viene impostato il calcolo.

Ci si riferisce, come è prassi nei problemi di deformazione piana, ad una striscia di larghezza unitaria in corrispondenza della sezione caratteristica della fondazione. Essa viene poi suddivisa in m conci (nelle tabelle si è posto $m = 20$), in corrispondenza delle cui mezzerie si impone siano uguali

i cedimenti del terreno e le deformazioni della struttura per effetto delle forze esterne applicate e delle pressioni al contatto tra struttura e terreno. Due equazioni globali di equilibrio (ad es. alla traslazione verticale e alla rotazione) sommate ad $m-2$ delle precedenti equazioni di congruenza delle deformazioni della struttura e del terreno, permettono di risolvere il problema della individuazione delle pressioni mutue nei punti cui si è fatto riferimento. Da tali valori è possibile risalire alla conoscenza dei cedimenti e delle caratteristiche di sollecitazione nella struttura.

La complessità delle equazioni risoltrici ha consigliato agli AA la elaborazione delle tabelle, che sono presenti nel testo in più di novecento pagine, ottenute coll'ausilio del calcolatore elettronico.

Esse, come precedentemente si accennava, contengono i valori dei coefficienti d'influenza che, inseriti in determinate semplici formule di calcolo (riportate nella Tab. 1), danno la possibilità di conoscere in un numero discreto di punti (individuati dal rapporto tra l'ascissa corrente X e la lunghezza della trave L) i parametri di maggior interesse nel calcolo.

Per entrare nelle tabelle è necessaria, comunque, la preliminare individuazione di alcuni parametri, e precisamente:

- i punti di applicazione delle forze esterne, se esse sono concentrate (o dei momenti flettenti), individuati dal rapporto XQ/L (o XM/L), ove XQ (o XM) è l'ascissa del punto di applicazione della forza (o del momento);
- il rapporto B/L tra le due dimensioni in pianta della struttura. Si tenga presente che si intende per larghezza B la dimensione secondo cui la struttura può considerarsi irrigidita;
- il rapporto $DS/B1$ tra la potenza dello strato di terreno compressibile e la minore dimensione in pianta della struttura;
- la rigidità relativa della struttura, intesa come:

$$KS = \frac{E_b d^3}{E_s L^3}$$

dove:

- E_b è il modulo di Young del calcestruzzo;
- E_s il modulo di Young del terreno;
- d lo spessore della fondazione;
- L la sua lunghezza.

Si consideri che, quando risulta necessario tenere in conto il contributo di una parte della sovrastruttura alla

TABELLA 1

	Carichi		Momento M_o (tm/m)
	C. uniforme q (t/m ²)	C. concentrato Q_o (t/m)	
Press. di contatto p (t/m ²)	$FP \cdot q$	$FP \cdot Q_o/L$	$FP \cdot M_o/L^2$
Cedimento s (m)	$FS \cdot q \cdot L/E_s$	$FS \cdot Q_o/E_s$	$FS \cdot M_o/L E_s$
Caratt. di taglio Q (t/m)	$FQ \cdot q \cdot L$	$FQ \cdot Q_o$	$FQ \cdot M_o/L$
Caratt. di momento M (tm/m)	$FM \cdot q \cdot L^2$	$FM \cdot Q_o \cdot L$	$FM \cdot M_o$

FP, FS, FQ e FM sono i citati coefficienti d'influenza.

rigidezza della fondazione, si sostituisce allo spessore effettivo lo spessore ideale d_i , inteso come:

$$d_i = \sqrt[3]{\frac{12 I}{B}}$$

dove:

- B è la larghezza della fondazione;
- I il momento d'inerzia del complesso

preso in esame e calcolato in vario modo, a seconda delle necessità.

Talvolta nel calcolo d è una incognita e non è possibile quindi entrare nelle tabelle non essendo noto KS . Per ovviare a questo inconveniente nella parte introduttiva dell'opera è contenuto un diagramma per il calcolo approssimato di tale parametro (Figura 1).

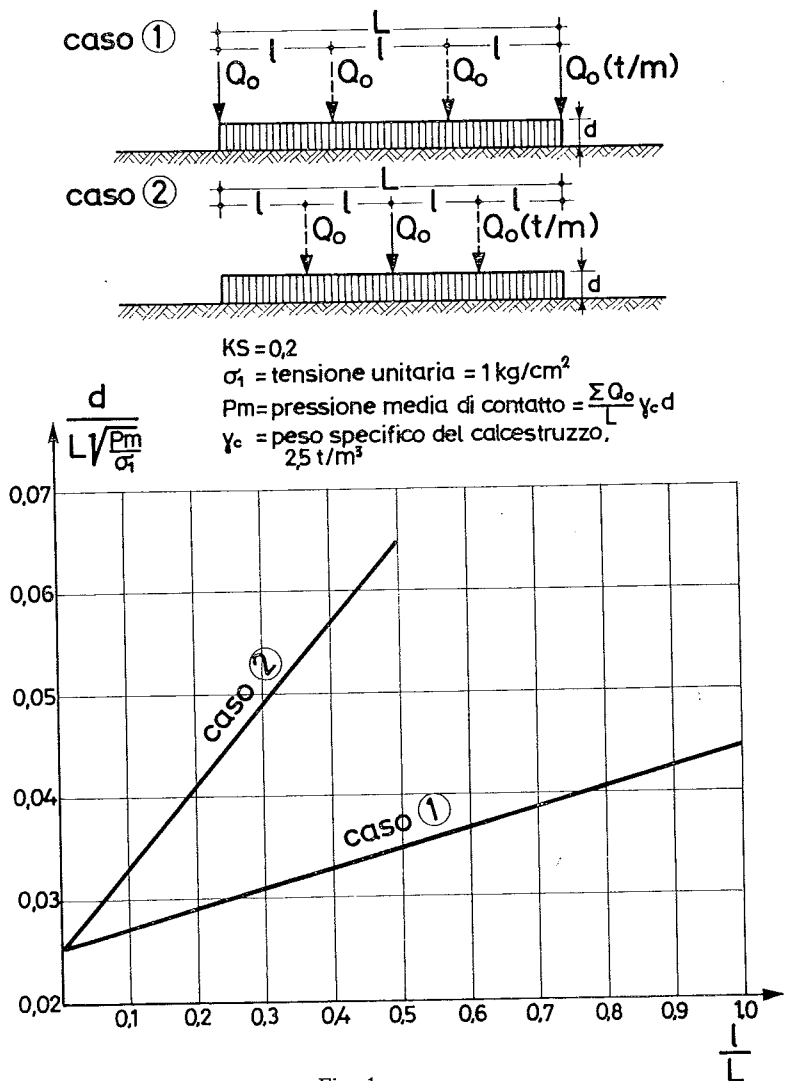


Fig. 1

E da tener presente che nella parte introduttiva sono consegnati inoltre alcuni valori del modulo di Young del calcestruzzo e dei principali tipi di terreno (per questi ultimi seguendo dei criteri di sicurezza).

Il testo contiene infine un criterio di interpolazione nell'uso delle tabelle.

È di seguito riportata, a titolo di esempio, una tipica tabella (Tab. 2).

« Presentando queste tavole diamo un aiuto agli ingegneri che fanno pratica. Coll'ausilio di esse è possibile calcolare platee e travi di fondazione non soltanto dal punto di vista della sicurezza, ma anche dal punto di vista dell'economia ».

Ci sembra che il giudizio su questo ottimo manuale sia sinteticamente espresso dagli stessi AA nella frase qui riportata e presente nell'introduzione dell'opera. Tre sono infatti le sue caratteristiche peculiari:

— la praticità, in quanto, piuttosto che sviluppare nei dettagli la trattazione teorica, si è voluta privilegiare la parte applicativa, fornendo agli ingegneri i mezzi necessari per il calcolo, in modo da consentire un calcolo più raffinato di quello che viene solitamente eseguito;

— la sicurezza del criterio, in quanto l'esperienza mostra che la progettazione basata sulla schematizzazione seguita è sempre stata al riparo da qualsiasi problema di rotture;

— l'economia, in quanto il presente criterio di calcolo è spesso più economico di altri.

Personalmente aggiungerei e sottolineeremo la estrema semplicità nell'uso delle tabelle, dato questo essenziale, in quanto rende agile e spedito il calcolo, e la chiara e piacevole veste tipografica.

TABELLA 2

B/L = .10; DS/B1 = 100.00; KS = .200; XQ/L = .10				
X/L	FP	FS	FQ	FM
.05	6.0762	.5928	.3038	.00760
.10	3.4926	.5410	— .5216	.02715
.15	2.8397	.4867	— .3796	.00462
.20	2.3023	.4304	— .2645	— .01148
.25	1.8530	.3745	— .1718	— .02238
.30	1.4679	.3212	— .0984	— .02914
.35	1.1387	.2719	— .0415	— .03264
.40	.8604	.2271	.0015	— .03364
.45	.6283	.1874	.0330	— .03277
.50	.4377	.1526	.0548	— .03058
.55	.2833	.1226	.0690	— .02748
.60	.1597	.0970	0.770	— .02383
.65	.0613	.0752	.0801	— .01991
.70	— .0172	.0567	.0792	— .01592
.75	— .0814	.0408	.0751	— .01207
.80	— .1369	.0271	.0683	— .00848
.85	— .1897	.0149	.0588	— .00530
.90	— .2480	.0038	.0464	— .00267
.95	— .3226	— .0068	.0303	— .00076
1.00	— .6053	— .0171	— .0000	— .00000

Se qualche incertezza può essere accampata, essa più che altro si riferisce allo schema teorico di base: è ovviamente molto approssimato lo schema di suolo elastico, omogeneo e isotropo; è ambiguo d'altra parte l'uso di un modulo di compressibilità costante colla profondità, soprattutto per fondazioni di notevoli dimensioni; non è inoltre in qualche modo inserito il problema del decorso dei cedimenti nel tempo (gli stessi esempi non forniscono chiarimenti, in quanto in nessuno di essi si fa cenno ad argille, che sono i terreni più strettamente legati a questo problema); in molti casi infine non è verificabile l'ipotesi di

stato piano di deformazione.

Questo è comunque un problema comune a tutti i manuali, che non vogliono essere altro che uno strumento, il più valido possibile, nella applicazione delle teorie generali via via elaborate dagli studiosi, senza peraltro entrarne nel merito. Sta naturalmente al progettista decidere se la via teorica ivi sviluppata sia la più congrua e la più vicina al proprio problema.

Non è quindi affatto toccata da queste considerazioni l'opera degli AA, già distintisi in altre analoghe fatiche, che merita senza dubbio un giudizio positivo.

(Luciano Picarelli)