

Claudio Franciosi

Elementi finiti e strutture

Sistemi monodimensionali

Liguori editore

ISBN 88-207-2401-4

Printed in Italy, Officine Grafiche Liguori, Napoli

Le cifre sulla destra indicano il numero e l'anno dell'ultima ristampa effettuata

2002 2001 2000 1999 1998 1997 1996 1995

9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

Prima edizione italiana Aprile 1995

I diritti di traduzione, riproduzione e adattamento, totale o parziale, sono riservati per tutti i Paesi. Nessuna parte di questo volume può essere riprodotta, registrata o trasmessa con qualsiasi mezzo: elettronico, elettrostatico, meccanico, fotografico, ottico o magnetico (comprese copie fotostatiche, microfilm e microfiches).

© Liguori Editore, S.r.l., 1995

Pubblicato da Liguori Editore
Via Mezzocannone 19, 80134 Napoli

0000335

CLAUDIO FRANCIOSI
ELEMENTI FINITI E
STRUTTURE
LIGUORI EDITORE
NR

A mio Padre

Indice

Prefazione	9
Introduzione	11
1. Notazioni e preliminari	15
Matrici	15
Matrici speciali	15
Operazioni su matrici	16
Cambiamento di riferimento	17
Le forme quadratiche	19
Note bibliografiche	19
2. Metodi variazionali in teoria dell'elasticità	21
Cenni storici	21
I problemi ai limiti e le soluzioni classiche	22
Il principio dei lavori virtuali	26
Il principio degli spostamenti virtuali	28
Il principio delle forze virtuali	29
Il potenziale elastico	30
Il principio di minimo dell'energia potenziale totale	32
Il principio di minimo dell'energia complementare totale	33
Alcuni confronti	34
I teoremi di Castigliano	35
I funzionali ibridi	36
Sviluppi recenti	39
Esempi	41
Note bibliografiche	47
3. Il metodo delle forze ed il metodo dei cedimenti.	49
Cenni storici	49

6 *Indice*

I carichi nodali	50
Flessibilità	52
Rigidezze	57
Il metodo delle forze	61
Il metodo dei cedimenti	65
Il metodo delle forze: aspetti computazionali	67
Il metodo integrale delle forze	70
4. Le travature reticolari piane e spaziali	75
La matrice di rigidezza elementare in riferimento locale	75
La matrice di rigidezza elementare in coordinate globali	79
Il calcolo delle forze nodali equivalenti	82
Le forze nodali equivalenti ad una variazione termica	86
Il caso della travatura spaziale	87
Il calcolo delle equazioni di equilibrio	88
La soluzione del sistema di equazioni	91
Il calcolo delle caratteristiche	93
5. Le strutture intelaiate piane	95
La matrice di rigidezza elementare dell'elemento di trave	95
Un approccio alternativo	100
Gli elementi trave a sezione variabile	103
L'effetto delle deformazioni da taglio	107
La matrice di rigidezza per suolo elastico alla Winkler	111
La trave su suolo elastico a 2 parametri	116
La trave ad estremi flessibili	123
Il caso dell'elemento non ortodosso	124
I carichi nodali equivalenti	127
La matrice di rigidezza in riferimento globale	135
I carichi nodali in riferimento globale	138
Il calcolo delle caratteristiche	138
Note bibliografiche	138
6. Le strutture intelaiate spaziali	141
La matrice di rigidezza elementare	141
La matrice di rigidezza in coordinate globali	147
Note bibliografiche	154
7. I metodi variazionali diretti	157

Il metodo di Rayleigh–Ritz nell’analisi statica	157
Esempi	158
Il metodo di Rayleigh–Ritz per il calcolo dei carichi critici	174
L’uso dei quozienti di Rayleigh e Timoshenko	177
Il metodo di Rayleigh–Schmidt	180
Il metodo dei minimi quadrati ed il metodo di Galerkin	182
Il metodo di Galerkin–Schmidt	188
Note bibliografiche	189
8. Gli elementi finiti monodimensionali di base	191
Introduzione	191
L’elemento asta di base: l’approccio alla Ritz	193
L’elemento asta di base: l’approccio alla Galerkin	197
L’elemento trave snella di base: l’approccio alla Ritz	198
L’elemento trave snella di base: l’approccio alla Galerkin	203
I carichi esterni	204
L’assemblaggio della matrice globale di rigidezza	210
Le condizioni ai limiti	211
Il calcolo delle tensioni	213
Un esempio numerico	213
Il problema della conformità: problemi C^0 e C^1	215
9. Gli elementi finiti monodimensionali più raffinati	221
Gli elementi finiti asta a sezione variabile	221
L’elemento trave a sezione variabile	223
Gli elementi asta più raffinati	224
Gli elementi trave più raffinati	230
La famiglia lagrangiana per gli elementi asta	236
La famiglia hermitiana per gli elementi trave	237
Le coordinate naturali (o coordinate lunghezza)	241
10. Le travi ad asse curvo per l’analisi degli archi	245
L’energia di deformazione	246
La soluzione esatta per l’elemento circolare	248
Le soluzioni approssimate per gli archi rialzati	253
Le integrazioni numeriche	261
Il problema del ‘membrane locking’ ed i campi consistenti	267
Note bibliografiche	270
Appendici	273

11. Le travi alte	299
La teoria di Timoshenko per le travi alte	299
L'elemento finito di base ed i problemi di 'shear locking'	301
Modifiche all'elemento finito di base	305
Gli elementi di ordine superiore	308
Gli elementi vincolati	321
Note bibliografiche	330
Appendici	333
12. Problemi speciali	357
Le travi snelle a vincoli elasticamente cedevoli	357
Le travi tozze a vincoli elasticamente cedevoli	362
Le travi su suolo elastico	364
Le travi snelle su suolo elastico	367
Le travi alte su suolo elastico	368
Esempi numerici	375
Bibliografia	379
Indice dei nomi	395
Indice analitico	399

Prefazione

Ancora un libro di teoria delle strutture? potrebbe chiedersi il lettore, dopo aver velocemente sfogliato il volume, ed in realtà esistono innumerevoli trattati sull'argomento, sì da obbligarmi a precisare fin dall'inizio gli scopi ed i limiti del presente testo.

Il mio obiettivo, nello scrivere queste pagine, è fornire, al lettore interessato all'argomento, un compendio delle tecniche strutturali che facciano uso di mezzi di calcolo di livello 'medio', ossia, per intendersi, di un personal computer con disco fisso.

Sono perciò esclusi da un lato i metodi manuali, che non si prestino ad automatizzazioni convenienti, e dall'altro non sono descritte tutte le tecniche computazionali sviluppate *ad hoc* per i potenti mainframe (ad esempio le tecniche per i cosiddetti calcolatori paralleli). Non si pensi però che questa scelta abbia comportato molte rinunce, attesa l'elevata potenza degli attuali calcolatori di medio livello: ad esempio, si è fatto largo uso del calcolo simbolico, utilizzando il programma MATHEMATICA.

Per alcuni degli argomenti trattati, è possibile adoperare ben noti programmi di calcolo che sfruttano la metodologia degli elementi finiti; per la maggioranza di essi, però, è necessario definire una nuova matrice di rigidezza o un nuovo vettore dei carichi nodali equivalenti, e diviene quindi indispensabile un programma che permetta una simile operazione (ad esempio ABAQUS).

È mia convinzione che saper creare e modificare piccoli programmi di calcolo sia molto più proficuo - a livello di reale comprensione del problema strutturale - che non saper utilizzare con destrezza grandi programmi scritti da altri. È in quest'ottica che vanno lette e studiate queste pagine.

Lacedonia, 2 settembre 1993

Claudio Franciosi