

leone corradi dell'acqua

**meccanica delle strutture**  
la valutazione  
della capacità portante

**McGraw-Hill Libri Italia s.p.a.**

---

Milano • New York • St. Louis • San Francisco • Oklahoma City • Auckland  
Bogotá • Caracas • Hamburg • Liaoyang • London • Madrid • Montreal • New Delhi  
Paris • San Juan • São Paulo • Singapore • Sydney • Tokyo • Toronto

## Premessa 1

## Notazione e simbologia 3

- 0.1 Notazione e matriciale 3
- 0.2 Notazione tensoriale 4
- 0.3 Operazioni tensoriali in notazione matriciale 7

## Capitolo 13 Il calcolo a rottura 9

- 13.1 Considerazioni introduttive 9
  - 13.1.1 Il comportamento idealmente plastico 9
  - 13.1.2 Il collasso plastico 12
- 13.2 Il collasso plastico di travi inflesse 18
  - 13.2.1 L'ipotesi di cerniera plastica 18
    - 13.2.1.1 Il modello 18
    - 13.2.1.2 Calcolo del momento limite di sezioni simmetriche 22
    - 13.2.1.3 Sollecitazioni composte 25
  - 13.2.2 Analisi evolutiva di travi idealmente elasto-plastiche 28
  - 13.2.3 Il meccanismo di collasso 35
  - 13.2.4 I teoremi fondamentali del calcolo a rottura 37
    - 13.2.4.1 Definizioni e dimostrazioni 37
    - 13.2.4.2 Calcolo del moltiplicatore di collasso 39
    - 13.2.4.3 Attendibilità del moltiplicatore di collasso 45
  - 13.2.5 Osservazioni conclusive 49
- 13.3 Formulazione generale dei teoremi fondamentali 52
  - 13.3.1 Solidi tridimensionali 52
    - 13.3.1.1 Il comportamento idealmente rigido-plastico 52
    - 13.3.1.2 I teoremi fondamentali 53
    - 13.3.1.3 Significato del moltiplicatore di collasso 55
    - 13.3.1.4 Osservazioni e corollari 58
    - 13.3.1.5 Unicità della soluzione a collasso 59
  - 13.3.2 Problemi piani nelle deformazioni 59
    - 13.3.2.1 Considerazioni generali 59
    - 13.3.2.2 Soluzioni con discontinuità 65
  - 13.3.3 Le piastre inflesse 71
    - 13.3.3.1 Il legame idealmente plastico per la piastra di Kirchhoff 71
    - 13.3.3.2 Valutazione del moltiplicatore di collasso 76
- 13.4 Metodi numerici per il calcolo del moltiplicatore di collasso 86

- 13.4.1 Il calcolo a rottura come problema di ottimizzazione vincolata 86
- 13.4.2 Metodi di programmazione matematica 90
  - 13.4.2.1 Programmazione lineare 90
  - 13.4.2.2 Strutture reticolari 92
  - 13.4.2.3 Generalizzazioni e commenti 95
- Esercizi 97
- Bibliografia 104

## Capitolo 14 Crisi sotto carichi ripetuti 107

- 14.1 Strutture idealmente elasto-plastiche soggette a carichi ciclici 107
  - 14.1.1 Adattamento, collasso incrementale, plasticità alternata 107
  - 14.1.2 Cicli a regime 126
- 14.2 Le condizioni di adattamento 130
  - 14.2.1 Dominio dei carichi 130
  - 14.2.2 I teoremi di adattamento 131
    - 14.2.2.1 Considerazioni preliminari 131
    - 14.2.2.2 Il teorema di Bleich e Melan 133
    - 14.2.2.3 Il teorema di Koiter 135
  - 14.2.3 Valutazione del limite di adattamento 137
  - 14.2.4 Osservazioni e commenti 146
    - 14.2.4.1 Significato della condizione di adattamento 146
    - 14.2.4.2 Limitazioni della teoria 148
- 14.3 Comportamento di strutture incrudenti 149
- 14.4 Cenni ai fenomeni di fatica 159
  - Esercizi 165
  - Bibliografia 167

## Capitolo 15 L'instabilità Euleriana 169

- 15.1 Crisi per perdita di rigidità 169
- 15.2 Sistemi discreti 175
  - 15.2.1 Considerazioni preliminari 175
  - 15.2.2 Stazionarietà e minimo dell'energia potenziale totale 181
  - 15.2.3 Teoria del secondo ordine 188
  - 15.2.4 Problemi Euleriani di instabilità 194
    - 15.2.4.1 Definizione del problema 194
    - 15.2.4.2 Il carico critico Euleriano 194
      - 15.2.4.2.1 Considerazioni preliminari 194
      - 15.2.4.2.2 Il metodo energetico 195
      - 15.2.4.2.3 Il metodo statico 198
      - 15.2.4.2.4 Considerazioni sul significato di carico critico 200
    - 15.2.4.3 Influenza della deformabilità assiale e considerazioni conclusive 201
- 15.3 Instabilità flessionale di aste compresse 205
  - 15.3.1 Energia potenziale totale di travi caricate assialmente 205

- 15.3.2 Il carico critico di aste compresse 213
- 15.3.3 Aste uniformemente compresse di sezione costante 216
  - 15.3.3.1 I casi fondamentali 216
  - 15.3.3.2 Aste elasticamente vincolate 222
  - 15.3.3.3 Influenza della deformabilità a taglio 225
- 15.3.4 Aste di sezione variabile o soggette a carichi distribuiti 228
- 15.4 Instabilità flessio-torsionale di travi di sezione aperta e parete sottile 230
  - 15.4.1 Energia di deformazione flessio-torsionale 230
  - 15.4.2 Aste compresse 235
    - 15.4.2.1 Formulazione del problema 235
    - 15.4.2.2 Sezioni doppiamente simmetriche 236
    - 15.4.2.3 Interazione tra flessione e torsione 239
  - 15.4.3 Instabilità laterale di travi inflesse in un piano di simmetria 245
- 15.5 Instabilità di lastre piane 251
  - 15.5.1 Formulazione del problema 251
  - 15.5.2 Soluzioni di problemi particolari 257
    - 15.5.2.1 Lastre semplicemente appoggiate e uniformemente compresse 257
    - 15.5.2.2 Altre condizioni di vincolo 262
    - 15.5.2.3 Piastre soggette ad azioni taglianti 263
- 15.6 Calcolo del carico critico Euleriano 265
  - 15.6.1 Il rapporto di Rayleigh 265
  - 15.6.2 Procedimenti di discretizzazione 268
    - 15.6.2.1 Il metodo di Rayleigh-Ritz 268
    - 15.6.2.2 Il metodo degli elementi finiti 275
      - 15.6.2.2.1 Formulazione per sistemi di travi 275
      - 15.6.2.2.2 Criteri di suddivisione 280
      - 15.6.2.2.3 Condensazione di gradi di libertà 281
  - 15.6.3 Il problema Euleriano come problema di autovalori 285
    - 15.6.3.1 Problemi lineari di autovalori 285
    - 15.6.3.2 Soluzioni mediante sviluppi di autofunzioni 287
    - 15.6.3.3 Metodi di soluzione numerica 291
- 15.7 Considerazioni conclusive 293
  - Esercizi 297
  - Bibliografia 304

## Capitolo 16 Il collasso per instabilità 305

- 16.1 Influenza del comportamento post-critico 305
  - 16.1.1 I comportamenti fondamentali 305
  - 16.1.2 Valutazione del comportamento post-critico iniziale 312
    - 16.1.2.1 Sistemi a un grado di libertà 312
    - 16.1.2.2 Sistemi a più gradi di libertà e strutture continue 313
  - 16.1.3 Valutazione della capacità portante di strutture reali 318
- 16.2 Aste compresse 319
  - 16.2.1 Curva di stabilità teorica 319
    - 16.2.1.1 Effetti della non-linearità del comportamento sul carico critico 319

- 16.2.1.2 Instabilità in campo inelastico 323
- 16.2.2 Effetti di imperfezioni sulla capacità portante di aste compresse 329
  - 16.2.2.1 Comportamento elastico di un'asta imperfetta 329
  - 16.2.2.2 Limite elastico e collasso 330
    - 16.2.2.2.1 Sezione a parete ideale 330
    - 16.2.2.2.2 Influenza della redistribuzione degli sforzi sulla sezione 333
  - 16.2.2.3 Effetti di autotensioni 337
  - 16.2.2.4 Curve di stabilità per aste reali 338
- 16.2.3 Travi presso-inflesse 341
  - 16.2.3.1 Comportamento elastico 341
  - 16.2.3.2 Capacità portante di travi presso-inflesse 350
- 16.3 Risorse post-critiche di lastre caricate nel loro piano 354
- 16.4 Capacità portante di strutture sensibili alle imperfezioni 362
  - 16.4.1 Valutazione del carico di collasso per instabilità 362
  - 16.4.2 Interazione tra modi associati ad autovalori coincidenti 371
  - 16.4.3 Considerazioni conclusive 376
- Esercizi 378
- Bibliografia 381

## Capitolo 17 Problemi non Euleriani 383

- 17.1 Introduzione 383
- 17.2 Sistemi conservativi non lineari in fase pre-critica 384
  - 17.2.1 Un esempio introduttivo 384
  - 17.2.2 Influenza della nonlinearietà pre-critica sul fenomeno di instabilità 390
- 17.3 Stabilità di telai 400
  - 17.3.1 Considerazioni introduttive 400
  - 17.3.2 Telai piani simmetrici e simmetricamente caricati 401
    - 17.3.2.1 Due casi elementari 401
    - 17.3.2.2 Telai inflessi nella configurazione fondamentale 407
  - 17.3.3 Calcolo del carico critico di telai non controventati 412
    - 17.3.3.1 Telai simmetrici 412
    - 17.3.3.2 Procedimenti approssimati per telai non simmetrici 416
  - 17.3.4 Capacità portante di telai elasto-plastici 418
    - 17.3.4.1 Collasso di telai non controventati soggetti a concomitanti carichi verticali e trasversali 418
    - 17.3.4.2 Valutazione approssimata del carico di collasso 422
  - 17.3.5 Conclusioni e commenti 424
- 17.4 Introduzione all'instabilità dinamica 426
  - 17.4.1 L'instabilità dell'equilibrio come problema dinamico 426
    - 17.4.1.1 Premessa 426
    - 17.4.1.2 Risposta dinamica di strutture perturbate dalla loro configurazione di equilibrio 427

- 17.4.1.3 Divergenza, flutter e altre forme di instabilità dinamica 435
- 17.4.2 La teoria generale della stabilità del moto 439
  - 17.4.2.1 Definizione di stabilità 439
  - 17.4.2.2 I teoremi di stabilità 443
  - 17.4.2.3 Strutture soggette a forze conservative e dissipative 446
    - 17.4.2.3.1 Equazioni del moto per sistemi conservativi 446
    - 17.4.2.3.2 Sistemi non conservativi 448
    - 17.4.2.3.3 Il teorema di Lagrange-Dirichlet 449
- 17.4.3 Analisi linearizzata di stabilità 451
- 17.5 L'instabilità strutturale: considerazioni conclusive 455
  - Esercizi 458
  - Bibliografia 460

**Appendice A Soluzioni degli esercizi proposti 463**

**Indice analitico 481**