

INDICE

XIV *L'Editore ringrazia*

XV *Prefazione*

XVII *Introduzione*

1 *Capitolo 1* **I concetti di base**

- 1 1.1 Oggetto e obiettivi
- 2 1.2 Il modello geometrico
- 3 1.3 Il modello dei vincoli
- 5 1.4 Il modello delle azioni esterne
- 6 1.5 Il modello del materiale
- 7 1.6 Il modello della risposta strutturale

9 *Parte I* **I Corpi rigidi**

11 *Capitolo 2* **Cinematica dei corpi rigidi**

- 11 2.1 Obiettivi
- 11 2.2 Il modello di corpo rigido
- 11 2.3 Spostamenti rigidi
 - 2.3.1 Definizioni, 11
 - 2.3.2 Formula generale dello spostamento rigido infinitesimo, 13
 - 2.3.3 Rappresentazione scalare, 14
 - 2.3.4 Spostamenti rigidi piani, 15
 - 2.3.5 Sistemi di corpi rigidi, 16
- 16 2.4 Caratterizzazione cinematica dei vincoli
 - 2.4.1 Definizioni, 16
 - 2.4.2 Caratterizzazione cinematica dei vincoli esterni, 17
 - 2.4.3 Caratterizzazione cinematica dei vincoli interni, 19
 - 2.4.4 Cedimenti vincolari, 20
- 21 2.5 Il problema cinematico
 - 2.5.1 Posizione del problema, 21
 - 2.5.2 Classificazione cinematica per via analitica, 22
 - 2.5.3 Classificazione cinematica per via diretta, 22
- 24 2.6 Metodo grafico per la soluzione del problema cinematico
 - 2.6.1 Definizioni. Catene cinematiche, 24
 - 2.6.2 Procedura operativa, 26
- 28 2.7 Esercizi svolti
- 37 2.8 Esercizi proposti
- 38 2.9 Soluzioni

41	<i>Capitolo 3</i>	Statica dei corpi rigidi
41	3.1	Obiettivi
41	3.2	Le forze esterne
	3.2.1	Forza, momento di una forza, 41
	3.2.2	Sistemi di forze, 42
	3.2.3	Densità di forza, carichi distribuiti, 45
46	3.3	Caratterizzazione statica dei vincoli
	3.3.1	Definizioni, 46
	3.3.2	Caratterizzazione statica dei vincoli esterni, 46
	3.3.3	Caratterizzazione statica dei vincoli interni, 47
49	3.4	Il problema statico
	3.4.1	Equazioni cardinali della statica, 49
	3.4.2	Posizione del problema, 49
	3.4.3	Classificazione statica, 50
50	3.5	Dualità statico-cinematica
51	3.6	Esercizi svolti
59	3.7	Esercizi proposti
60	3.8	Soluzioni
63	3.9	I vincoli: quadro sintetico
	3.9.1	Vincoli esterni, 63
	3.9.2	Vincoli interni, 64
65	<i>Parte II</i>	<i>Le travi elastiche monodimensionali</i>
67	<i>Capitolo 4</i>	Modellazione
67	4.1	Obiettivi
68	4.2	Il modello geometrico
69	4.3	Il modello delle forze esterne
70	4.4	Il modello del materiale costitutivo
71	4.5	Il modello della risposta strutturale
	4.5.1	Spostamenti e deformazioni, 71
	4.5.2	Azioni interne, 71
	4.5.3	Problema elastico, 72
73	<i>Capitolo 5</i>	Cinematica della trave
73	5.1	Obiettivi
73	5.2	Processo deformativo
74	5.3	Spostamenti e rotazioni
	5.3.1	Spostamento, 74
	5.3.2	Rotazione delle sezioni, 75
	5.3.3	Ipotesi dei piccoli spostamenti, 76
	5.3.4	Condizioni al contorno su spostamenti e rotazioni, 76
76	5.4	Vincoli esterni: caratterizzazione cinematica
78	5.5	Misure di deformazione
	5.5.1	Premessa, 78
	5.5.2	Deformazione assiale, 78
	5.5.3	Scorrimento angolare, 79
	5.5.4	Curvatura flessionale, 80
81	5.6	Equazioni implicite di congruenza
	5.6.1	Modello di Timoshenko, 81

- 5.6.2 Modello di Eulero-Bernoulli, 82
- 5.6.3 Rappresentazione vettoriale, 82
- 5.6.4 Formule per il calcolo di spostamenti e rotazioni
in un punto assegnato, 82
- 83 5.7 Problema cinematico
- 85 5.8 Le discontinuità nel problema cinematico
- 85 5.9 Esercizi svolti
- 92 5.10 Esercizi proposti
- 93 5.11 Soluzioni
- 97 **Capitolo 6 Statica della trave**
- 97 6.1 Posizione del problema
 - 6.1.1 Obiettivi, 97
 - 6.1.2 Definizioni e ipotesi, 97
 - 6.1.3 Forze esterne, 97
 - 6.1.4 Azioni interne, 98
- 99 6.2 Equazioni indefinite di equilibrio
 - 6.2.1 Rappresentazione vettoriale, 101
- 101 6.3 Problema statico
- 101 6.4 Leggi e diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione
- 104 6.5 Le discontinuità nel problema statico
- 105 6.6 Regole generali per il tracciamento dei diagrammi delle caratteristiche
della sollecitazione
- 107 6.7 Esercizi svolti
- 119 6.8 Esercizi proposti
- 120 6.9 Soluzioni
- 123 **Capitolo 7 Materiale costitutivo**
- 123 7.1 Obiettivi
- 123 7.2 Fenomenologia
 - 7.2.1 La prova uniassiale, 123
 - 7.2.2 Comportamento elastico, 124
 - 7.2.3 Comportamento plastico e rottura, 125
 - 7.2.4 Materiali duttili e materiali fragili, 126
- 127 7.3 Legame elastico lineare per la trave monodimensionale
 - 7.3.1 Comportamento assiale, 127
 - 7.3.2 Comportamento flessionale, 128
 - 7.3.3 Comportamento a taglio, 128
- 128 7.4 Distorsioni termiche
 - 7.4.1 Variazione termica uniforme, 129
 - 7.4.2 Variazione termica *a farfalla*, 129
 - 7.4.3 Variazione termica lineare, 129
- 130 7.5 Equazioni costitutive per la trave monodimensionale
- 131 **Capitolo 8 Il problema elastico per la trave**
- 131 8.1 Obiettivi
- 131 8.2 Posizione del problema
 - 8.2.1 Dati, 131
 - 8.2.2 Incognite, 131
- 132 8.3 Formulazione analitica
 - 8.3.1 Ipotesi, 132

	8.3.2	Equazioni risolventi, 132
	8.3.3	Soluzione, 133
	8.3.4	Modello di Eulero-Bernoulli, 133
	8.3.5	Strategie risolutive, 134
134	8.4	Sistemi di travi
135	Capitolo 9 Metodo degli spostamenti: la linea elastica	
135	9.1	Obiettivi
135	9.2	Linea elastica
	9.2.1	Problema assiale, 135
	9.2.2	Problema flessionale: modello di Eulero-Bernoulli, 136
	9.2.3	Osservazioni, 137
	9.2.4	Problema flessionale: modello di Timoshenko, 138
	9.2.5	Osservazione, 138
139	9.3	Linea elastica nei sistemi di travi
	9.3.1	Prestazioni cinematiche e statiche dei vincoli interni, 139
141	9.4	Esercizi svolti
156	9.5	Esercizi proposti
157	9.6	Soluzioni
163	Capitolo 10 Identità dei lavori virtuali. Dualità	
163	10.1	Obiettivi
163	10.2	Definizioni
	10.2.1	Lavoro, 163
	10.2.2	Sistema congruente, 164
	10.2.3	Sistema equilibrato, 165
	10.2.4	Lavoro virtuale esterno, 166
	10.2.5	Lavoro virtuale interno, 166
168	10.3	Teorema dei lavori virtuali
	10.3.1	Enunciato e dimostrazione, 168
	10.3.2	Risvolti applicativi, 169
169	10.4	Calcolo di spostamenti e rotazioni in strutture isostatiche
170	10.5	Esercizi svolti
178	10.6	Esercizi proposti
179	10.7	Soluzioni
181	Capitolo 11 Metodo delle forze	
181	11.1	Obiettivi
181	11.2	Sistemi una volta iperstatici
	11.2.1	Procedura operativa, 181
	11.2.2	Esempio applicativo, 182
186	11.3	Sistemi più volte iperstatici
	11.3.1	Procedura operativa, 186
	11.3.2	Esempio applicativo, 187
190	11.4	Equazioni di Müller-Breslau
191	11.5	Esercizi svolti
205	11.6	Esercizi proposti
206	11.7	Soluzioni
207	Capitolo 12 Strutture reticolari. Travi continue	
207	12.1	Obiettivi

- 207 12.2 Le strutture reticolari
 - 12.2.1 Definizioni, 207
 - 12.2.2 Metodo dei nodi, 208
 - 12.2.3 Metodo delle sezioni di Ritter, 210
- 212 12.3 Le travi continue
 - 12.3.1 Definizioni, 212
 - 12.3.2 Equazione dei tre momenti, 213
- 215 12.4 Esercizi svolti
- 219 12.5 Esercizi proposti
- 220 12.6 Soluzioni

- 223 *Parte III Il Continuo tridimensionale*

- 225 *Capitolo 13 Il mezzo continuo: analisi della deformazione*
- 225 13.1 Obiettivi
- 226 13.2 Processo deformativo
- 227 13.3 Analisi della deformazione nell'intorno: tensore della deformazione
- 230 13.4 Interpretazione meccanica delle componenti di \mathbf{E}
 - 13.4.1 Significato delle componenti diagonali $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$, 230
 - 13.4.2 Significato delle componenti fuori diagonale $\gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$, 231
 - 13.4.3 Decomposizione del processo deformativo, 231
 - 13.4.4 Dilatazione cubica, 232
- 232 13.5 Formula di Cauchy per la deformazione – Direzioni principali della deformazione
 - 13.5.1 Stato di deformazione triassiale, 234
 - 13.5.2 Stato di deformazione cilindrico, 235
 - 13.5.3 Stato di deformazione sferico o idrostatico, 235
- 235 13.6 Riferimento principale – Circonferenze di Mohr
- 237 13.7 Equazioni di Congruenza

- 239 *Capitolo 14 Il mezzo continuo: analisi della tensione*
- 239 14.1 Obiettivi
- 239 14.2 Analisi della tensione
 - 14.2.1 La tensione di Cauchy, 239
 - 14.2.2 Lemma di Cauchy, 240
 - 14.2.3 Decomposizione del vettore tensione di Cauchy, 241
 - 14.2.4 Formula di Cauchy, 242
 - 14.2.5 Equazioni indefinite di equilibrio, 243
- 245 14.3 Tensioni e direzioni principali
 - 14.3.1 Definizioni, 245
 - 14.3.2 Riferimento principale, 247
 - 14.3.3 Stati di tensione, 247
 - 14.3.4 L'ellissoide di tensione di Lamé, 248
 - 14.3.5 Linee isostatiche, 249
- 251 14.4 Tensione media, deviatore di tensione e tensione ottaedrica
- 251 14.5 Cambiamento di coordinate
- 252 14.6 Circonferenze di Mohr
- 254 14.7 Applicazioni
 - 14.7.1 Stato di tensione piano o biassiale, 254
 - 14.7.2 Stato di tensione puramente tangenziale, 258
 - 14.7.3 Stato di tensione monoassiale, 261

- 263 *Capitolo 15* **Il legame elastico lineare**
- 263 15.1 Obiettivi
- 264 15.2 Determinazione sperimentale delle costanti elastiche
- 15.2.1 Prova a trazione, 264
- 15.2.2 Prova a torsione, 266
- 267 15.3 Materiali isotropi: la legge di Hooke generalizzata
- 270 15.4 Caratteristiche meccaniche di alcuni materiali
- 271 *Capitolo 16* **Il problema dell'equilibrio elastico: formulazione diretta e aspetti energetici**
- 271 16.1 Il problema dell'equilibrio elastico
- 274 16.2 Il Teorema dei Lavori Virtuali
- 16.2.1 Soluzioni parziali del problema dell'equilibrio elastico, 274
- 16.2.2 Enunciato, 275
- 275 16.3 Il Lavoro di deformazione
- 277 16.4 Il legame iperelastico diretto
- 280 16.5 Teoremi Energetici
- 16.5.1 Teorema di Clapeyron, 280
- 16.5.2 Teorema di Betti, 280
- 16.5.3 Teorema della minima energia potenziale totale, 281
- 16.5.4 Teorema della minima energia potenziale complementare totale, 281
- 283 *Parte IV* *Il Cilindro di Saint Venant*
- 285 *Capitolo 17* **Il problema di Saint Venant**
- 285 17.1 Obiettivi
- 285 17.2 Posizione del problema
- 287 17.3 Postulato di Saint Venant
- 17.3.1 Sollecitazioni semplici e composte, 288
- 289 17.4 Soluzione
- 17.4.1 Metodo semi-inverso, 289
- 17.4.2 Stato tensionale, 289
- 17.4.3 Equazioni indefinite di equilibrio, 290
- 17.4.4 Equazioni di congruenza e di legame costitutivo, 291
- 291 17.5 Equivalenza statica
- 293 *Capitolo 18* **Forza normale centrata. Flessione retta**
- 293 18.1 Obiettivi
- 293 18.2 Forza normale centrata
- 18.2.1 Posizione del problema, 293
- 18.2.2 Soluzione, 293
- 295 18.3 Flessione uniforme retta
- 18.3.1 Posizione del problema, 295
- 18.3.2 Soluzione, 296
- 18.3.3 Flessione retta M_y , 299
- 301 18.4 Esercizi svolti
- 305 18.5 Esercizi proposti
- 307 18.6 Soluzioni

- 311 **Capitolo 19 Flessione deviata. Tensoflessione, Pressoflessione**
- 311 19.1 Obiettivi
- 311 19.2 Flessione uniforme deviata
- 19.2.1 Posizione del problema, 311
- 19.2.2 Soluzione, 311
- 313 19.3 Presso (Tenso) flessione deviata. Forza normale eccentrica
- 19.3.1 Posizione del problema, 313
- 19.3.2 Soluzione, 313
- 19.3.3 Forza normale eccentrica, 314
- 19.3.4 Nocciolo centrale d'inerzia, 317
- 319 19.4 Osservazioni
- 322 19.5 Esercizi svolti
- 326 19.6 Esercizi proposti
- 329 19.7 Soluzioni
- 333 **Capitolo 20 Torsione uniforme**
- 333 20.1 Obiettivi
- 333 20.2 La torsione nelle sezioni circolari
- 20.2.1 La sezione circolare compatta, 333
- 20.2.2 La sezione circolare cava, 336
- 337 20.3 La torsione nelle sezioni compatte di forma qualsiasi
- 20.3.1 Il problema di Neumann, 337
- 20.3.2 Sezione ellittica, 340
- 20.3.3 Sezioni poligonali, 341
- 342 20.4 L'analogia idrodinamica per le tensioni tangenziali
- 343 20.5 Sezione rettangolare sottile
- 346 20.6 Sezioni aperte composte da rettangoli sottili
- 348 20.7 Sezioni cave a parete sottile: Teoria di Bredt
- 353 20.8 Sezioni sottili composte
- 355 20.9 Considerazioni riassuntive
- 357 20.10 Esercizi svolti
- 361 20.11 Esercizi proposti
- 363 20.12 Soluzioni
- 365 **Capitolo 21 Flessione e taglio**
- 365 21.1 Obiettivi
- 366 21.2 Distribuzione delle tensioni normali
- 366 21.3 Distribuzione delle tensioni tangenziali: trattazione approssimata di Jourawsky
- 21.3.1 Considerazioni intuitive, 366
- 21.3.2 Equazioni del problema, 367
- 21.3.3 La formula di Jourawsky, 367
- 21.3.4 Applicabilità della formula di Jourawsky, 370
- 371 21.4 Sezioni sottili aperte
- 21.4.1 Sezione rettangolare sottile, 371
- 21.4.2 Sezione sottile a doppio T, 373
- 21.4.3 Sezioni sottili a U e H , 374
- 21.4.4 Osservazioni generali, 375
- 376 21.5 Sezioni sottili chiuse
- 21.5.1 Sezione scatolare simmetrica, 376

377	21.6	Taglio retto secondo x
377	21.7	Taglio deviato
378	21.8	Sezioni compatte simmetriche
379	21.9	Sollecitazione composta di taglio retto e torsione
	21.9.1	Considerazioni intuitive, 379
	21.9.2	Il centro di taglio, 380
	21.9.3	Tensioni tangenziali di taglio e torsione, 381
	21.9.4	Determinazione del centro di taglio, 382
383	21.10	Esercizi svolti
388	21.11	Esercizi proposti
389	21.12	Soluzioni
393	<i>Parte V Analisi e Verifica Strutturale</i>	
395	Capitolo 22 I criteri di resistenza	
395	22.1	Generalità
396	22.2	Criteri di resistenza per materiali fragili
399	22.3	Criteri di resistenza per materiali duttili
403	Capitolo 23 Il fenomeno dell'instabilità strutturale	
403	23.1	Generalità
404	23.2	Definizioni e ipotesi
406	23.3	Analisi di stabilità in travi rigide con vincoli elastici
408	23.4	L'asta di Eulero
412	23.5	Curve di stabilità, snellezza
414	23.6	Esercizio svolto
417	Capitolo 24 La trave: analisi e verifica strutturale	
417	24.1	Obiettivi
418	24.2	La verifica delle travi in condizioni di esercizio
	24.2.1	Estensione della teoria di Saint Venant, 418
	24.2.2	Criteri di resistenza per il solido di Saint Venant, 418
	24.2.3	Procedura operativa, 420
421	24.3	Esempio di ricapitolazione
429	Capitolo 25 Cenni sul metodo degli elementi finiti	
429	25.1	Generalità
429	25.2	Metodo degli elementi finiti: approccio agli spostamenti
431	25.3	Elementi finiti <i>trave</i>
432	25.4	Elementi finiti piani triangolari
434	25.5	Metodo degli <i>EF</i> congruenti: formulazione
437	25.6	Considerazioni conclusive sul MEF congruenti
439	<i>Parte VI Appendici</i>	
441	Geometria delle aree	
441	A.1	Area e baricentro
442	A.2	Momenti di inerzia
443	A.3	Formule di trasporto e di rotazione

445	A.4	Momenti principali di inerzia
446	A.5	Ellisse centrale di inerzia
446	A.6	Casi notevoli
447	A.7	Esercizi svolti
451	A.8	Esercizi proposti
452	A.9	Soluzioni
455		Schemi statici ricorrenti
455	B.1	Mensola
456	B.2	Trave appoggiata
458	B.3	Trave incastro-appoggio
460	B.4	Trave incastrata ai due estremi
460	B.5	Trave continua
462	B.6	Telaio
465		Riferimenti bibliografici
467		Indice