

INDICE

Prefazione	XV
Introduzione	XVII
1 I concetti di base	1
1.1 Oggetto e obiettivi	1
1.2 Il modello geometrico	2
1.3 Il modello dei vincoli	3
1.4 Il modello delle azioni esterne	5
1.5 Il modello del materiale	6
1.6 Il modello della risposta strutturale	7

Parte I I Corpi rigidi

2 Cinematica dei corpi rigidi	11
2.1 Obiettivi	11
2.2 Il modello di corpo rigido	11
2.3 Spostamenti rigidi	11
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
2.4 Caratterizzazione cinematica dei vincoli	16
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
2.5 Il problema cinematico	21
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
2.6 Esercizi svolti	24
2.7 Esercizi proposti	29
2.8 Soluzioni	30

3	Statica dei corpi rigidi	31
3.1	Obiettivi	31
3.2	Le forze esterne	31
3.2.1	Forza, momento di una forza	31
3.2.2	Sistemi di forze	32
3.2.3	Densità di forza, carichi distribuiti	35
3.3	Caratterizzazione statica dei vincoli	36
3.3.1	Definizioni	36
3.3.2	Caratterizzazione statica dei vincoli esterni	36
3.3.3	Caratterizzazione statica dei vincoli interni	37
3.4	Il problema statico	39
3.4.1	Equazioni cardinali della statica	39
3.4.2	Posizione del problema	39
3.4.3	Classificazione statica	40
3.5	Dualità statico-cinematica	40
3.6	Esercizi svolti	41
3.7	Esercizi proposti	45
3.8	Soluzioni	46
3.9	I vincoli: quadro sintetico	47
3.9.1	Vincoli esterni	47
3.9.2	Vincoli interni	48

Parte II Le travi elastiche monodimensionali

4	Modellazione	51
4.1	Obiettivi	51
4.2	Il modello geometrico	52
4.3	Il modello delle forze esterne	53
4.4	Il modello del materiale costitutivo	54
4.5	Il modello della risposta strutturale	55
4.5.1	Spostamenti e deformazioni	55
4.5.2	Azioni interne	55
4.5.3	Problema elastico	56
5	Cinematica della trave	57
5.1	Obiettivi	57
5.2	Processo deformativo	57
5.3	Spostamenti e rotazioni	58
5.3.1	Spostamento	58
5.3.2	Rotazione delle sezioni	59
5.3.3	Ipotesi dei piccoli spostamenti	60
5.3.4	Condizioni al contorno su spostamenti e rotazioni	60
5.4	Vincoli esterni: caratterizzazione cinematica	60
5.5	Misure di deformazione	62
5.5.1	Premessa	62
5.5.2	Deformazione assiale	62
5.5.3	Scorrimento angolare	63
5.5.4	Curvatura flessionale	64

5.6	Equazioni implicite di congruenza	65
5.6.1	Modello di Timoshenko	65
5.6.2	Modello di Eulero-Bernoulli	66
5.6.3	Rappresentazione vettoriale	66
5.7	Problema cinematico	66
5.8	Le discontinuità nel problema cinematico	68
5.9	Esercizi svolti	68
6	Statica della trave	75
6.1	Posizione del problema	75
6.1.1	Obiettivi	75
6.1.2	Definizioni e ipotesi	75
6.1.3	Forze esterne	75
6.1.4	Azioni interne	76
6.2	Equazioni indefinite di equilibrio	77
6.2.1	Rappresentazione vettoriale	79
6.3	Problema statico	79
6.4	Leggi e diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione	79
6.5	Le discontinuità nel problema statico	82
6.6	Esercizi svolti	83
6.7	Esercizi proposti	89
6.8	Soluzioni	89
7	Materiale costitutivo	91
7.1	Obiettivi	91
7.2	Fenomenologia	91
7.2.1	La prova uniassiale	91
7.2.2	Comportamento elastico	92
7.2.3	Comportamento plastico e rottura	93
7.2.4	Materiali duttili e materiali fragili	94
7.3	Legame elastico lineare per la trave monodimensionale	95
7.3.1	Comportamento assiale	95
7.3.2	Comportamento flessionale	96
7.3.3	Comportamento a taglio	96
7.4	Distorsioni termiche	96
7.4.1	Variazione termica uniforme	97
7.4.2	Variazione termica <i>a farfalla</i>	97
7.4.3	Variazione termica lineare	97
7.5	Equazioni costitutive per la trave monodimensionale	98
8	Il problema elastico per la trave	99
8.1	Obiettivi	99
8.2	Posizione del problema	99
8.2.1	Dati	99
8.2.2	Incognite	99
8.3	Formulazione analitica	100
8.3.1	Ipotesi	100
8.3.2	Equazioni risolventi	100
8.3.3	Soluzione	101

8.3.4	Modello di Eulero-Bernoulli	101
8.3.5	Strategie risolutive	102
8.4	Sistemi di travi	102
9	Metodo degli spostamenti: la linea elastica	103
9.1	Obiettivi	103
9.2	Linea elastica	103
9.2.1	Problema assiale	103
9.2.2	Problema flessionale: modello di Eulero-Bernoulli	104
9.2.3	Osservazioni	105
9.2.4	Problema flessionale: modello di Timoshenko	106
9.2.5	Osservazione	106
9.3	Linea elastica nei sistemi di travi	107
9.3.1	Prestazioni cinematiche e statiche dei vincoli interni	107
9.4	Esercizi svolti	109
10	Identità dei lavori virtuali. Dualità	123
10.1	Obiettivi	123
10.2	Definizioni	123
10.2.1	Lavoro	123
10.2.2	Sistema congruente	124
10.2.3	Sistema equilibrato	125
10.2.4	Lavoro virtuale esterno	126
10.2.5	Lavoro virtuale interno	126
10.3	Teorema dei lavori virtuali	128
10.3.1	Enunciato e dimostrazione	128
10.3.2	Risvolti applicativi	129
10.4	Calcolo di spostamenti e rotazioni in strutture isostatiche	129
10.5	Esercizi svolti	130
10.6	Esercizi proposti	138
10.7	Soluzioni	139
11	Metodo delle forze	141
11.1	Obiettivi	141
11.2	Sistemi una volta iperstatici	141
11.2.1	Procedura operativa	141
11.2.2	Esempio applicativo	142
11.3	Sistemi più volte iperstatici	146
11.3.1	Procedura operativa	146
11.3.2	Esempio applicativo	147
11.4	Equazioni di Müller-Breslau	150
11.5	Esercizi svolti	151
11.6	Esercizi proposti	163
11.7	Soluzioni	164
12	Strutture reticolari. Travi continue	165
12.1	Obiettivi	165
12.2	Le strutture reticolari	165
12.2.1	Definizioni	165

12.2.2 Metodo dei nodi	166
12.2.3 Metodo delle sezioni di Ritter	168
12.3 Le travi continue.	170
12.3.1 Definizioni	170
12.3.2 Equazione dei tre momenti	171
12.4 Esercizi svolti	173

Parte III Il Continuo tridimensionale

13 Il mezzo continuo: analisi della deformazione	181
13.1 Obiettivi	181
13.2 Processo deformativo	182
13.3 Analisi della deformazione nell'intorno: tensore della deformazione	183
13.4 Interpretazione meccanica delle componenti di \mathbf{E}	186
13.4.1 Significato delle componenti diagonali $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$	186
13.4.2 Significato delle componenti fuori diagonale $\gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$	187
13.4.3 Decomposizione del processo deformativo	187
13.4.4 Dilatazione cubica	188
13.5 Formula di Cauchy per la Deformazione – direzioni principali della deformazione.	188
13.5.1 Stato di deformazione triassiale	190
13.5.2 Stato di deformazione cilindrico	191
13.5.3 Stato di deformazione sferico o idrostatico	191
13.6 Riferimento principale – Circonferenze di Mohr	191
13.7 Equazioni di Congruenza	193
14 Il mezzo continuo: analisi della tensione.	195
14.1 Obiettivi	195
14.2 Analisi della tensione	195
14.2.1 La tensione di Cauchy	195
14.2.2 Lemma di Cauchy	196
14.2.3 Decomposizione del vettore tensione di Cauchy	197
14.2.4 Formula di Cauchy	198
14.2.5 Equazioni indefinite di equilibrio.	199
14.3 Tensioni e direzioni principali	201
14.3.1 Definizioni	201
14.3.2 Riferimento principale	203
14.3.3 Stati di tensione	203
14.3.4 L'ellissoide di tensione di Lamé	204
14.3.5 Linee isostatiche.	205
14.4 Tensione media, deviatore di tensione e tensione ottaedrica	207
14.5 Cambiamento di coordinate	207
14.6 Circonferenze di Mohr	208
14.7 Applicazioni	210
14.7.1 Stato di tensione piano o biassiale	210
14.7.2 Stato di tensione puramente tangenziale	214
14.7.3 Stato di tensione monoassiale.	217

15	Il legame elastico lineare	219
15.1	Obiettivi	219
15.2	Determinazione sperimentale delle costanti elastiche	220
15.2.1	Prova a trazione	220
15.2.2	Prova a torsione	222
15.3	Materiali isotropi: la legge di Hooke generalizzata	223
15.4	Caratteristiche meccaniche di alcuni materiali	226
16	Il problema dell'equilibrio elastico: formulazione diretta e aspetti energetici	227
16.1	Il problema dell'equilibrio elastico	227
16.2	Il Teorema dei Lavori Virtuali	230
16.2.1	Soluzioni parziali del problema dell'equilibrio elastico	230
16.2.2	Enunciato	231
16.3	Il Lavoro di deformazione	231
16.4	Il legame iperelastico diretto	233
16.5	Teoremi Energetici	236
16.5.1	Teorema di Clapeyron	236
16.5.2	Teorema di Betti	236
16.5.3	Teorema della minima energia potenziale totale	237
16.5.4	Teorema della minima energia potenziale complementare totale	237

Parte IV Il Cilindro di Saint Venant

17	Il problema di Saint Venant.	241
17.1	Obiettivi	241
17.2	Posizione del problema	241
17.3	Postulato di Saint Venant	243
17.3.1	Sollecitazioni semplici e composte	244
17.4	Soluzione	245
17.4.1	Metodo semi-inverso	245
17.4.2	Stato tensionale	245
17.4.3	Equazioni indefinite di equilibrio	246
17.4.4	Equazioni di congruenza e di legame costitutivo	247
17.5	Equivalenza statica	247
18	Forza normale centrata. Flessione retta	249
18.1	Obiettivi	249
18.2	Forza normale centrata	249
18.2.1	Posizione del problema	249
18.2.2	Soluzione	249
18.3	Flessione uniforme retta	251
18.3.1	Posizione del problema	251
18.3.2	Soluzione	252
18.3.3	Flessione retta M_y	255
18.4	Esercizi svolti	257
18.5	Esercizi proposti	261
18.6	Soluzioni	262

19	Flessione deviata. Tensoflessione, Pressoflessione	265
19.1	Obiettivi	265
19.2	Flessione uniforme deviata.	265
19.2.1	Posizione del problema	265
19.2.2	Soluzione	265
19.3	Presso (Tenso) flessione deviata. Forza normale eccentrica.	267
19.3.1	Posizione del problema	267
19.3.2	Soluzione	267
19.3.3	Forza normale eccentrica	268
19.3.4	Nocciolo centrale d'inerzia.	271
19.4	Osservazioni.	273
19.5	Esercizi svolti.	276
19.6	Esercizi proposti.	280
19.7	Soluzioni	282
20	Torsione uniforme	285
20.1	Obiettivi	285
20.2	La torsione nelle sezioni circolari	285
20.2.1	La sezione circolare compatta	285
20.2.2	La sezione circolare cava	288
20.3	La torsione nelle sezioni compatte di forma qualsiasi	289
20.3.1	Il problema di Neumann	289
20.3.2	Sezione ellittica	292
20.3.3	Sezioni poligonali	293
20.4	L'analogia idrodinamica per le tensioni tangenziali	294
20.5	Sezione rettangolare sottile	295
20.6	Sezioni aperte composte da rettangoli sottili	298
20.7	Sezioni cave a parete sottile: Teoria di Bredt.	300
20.8	Sezioni sottili composte	305
20.9	Considerazioni riassuntive.	307
20.10	Esercizi svolti.	309
20.11	Esercizi proposti.	313
20.12	Soluzioni	315
21	Flessione e taglio	317
21.1	Obiettivi	317
21.2	Distribuzione delle tensioni normali.	318
21.3	Distribuzione delle tensioni tangenziali: trattazione approssimata di Jourawsky.	318
21.3.1	Considerazioni intuitive	318
21.3.2	Equazioni del problema	319
21.3.3	La formula di Jourawsky	319
21.3.4	Applicabilità della formula di Jourawsky.	322
21.4	Sezioni sottili aperte.	323
21.4.1	Sezione rettangolare sottile	323
21.4.2	Sezione sottile a doppio T	325
21.4.3	Sezioni sottili a U e H.	326
21.4.4	Osservazioni generali	327
21.5	Sezioni sottili chiuse.	328
21.5.1	Sezione scatolare simmetrica	328

21.6	Taglio retto secondo x	329
21.7	Taglio deviato	329
21.8	Sezioni compatte simmetriche	330
21.9	Sollecitazione composta di taglio retto e torsione	331
	21.9.1 Considerazioni intuitive	331
	21.9.2 Il centro di taglio	332
	21.9.3 Tensioni tangenziali di taglio e torsione	333
	21.9.4 Determinazione del centro di taglio	334
21.10	Esercizi svolti	335
21.11	Esercizi proposti	340
21.12	Soluzioni	340
<hr/>		
Parte V Analisi e Verifica Strutturale		
<hr/>		
22	I criteri di resistenza	345
22.1	Generalità	345
22.2	Criteri di resistenza per materiali fragili	346
22.3	Criteri di resistenza per materiali duttili	349
23	Il fenomeno dell'instabilità strutturale	353
23.1	Generalità	353
23.2	Definizioni e ipotesi	354
23.3	Analisi di stabilità in travi rigide con vincoli elastici	356
23.4	L'asta di Eulero	358
23.5	Curve di stabilità, snellezza	362
23.6	Esercizio svolto	364
24	La trave: analisi e verifica strutturale	367
24.1	Obiettivi	367
24.2	La verifica delle travi in condizioni di esercizio	368
	24.2.1 Estensione della teoria di Saint Venant	368
	24.2.2 Criteri di resistenza per il solido di Saint Venant	368
	24.2.3 Procedura operativa	370
24.3	Esempio di ricapitolazione	371
25	Cenni sul metodo degli elementi finiti	379
25.1	Generalità	379
25.2	Metodo degli elementi finiti: approccio agli spostamenti	379
25.3	Elementi finiti <i>trave</i>	381
25.4	Elementi finiti piani triangolari	382
25.5	Metodo degli <i>EF</i> congruenti: formulazione	384
25.6	Considerazioni conclusive sul MEF congruenti	387
<hr/>		
Parte VI Appendici		
<hr/>		
	Geometria delle aree	391
A.1	Area e baricentro	391
A.2	Momenti di inerzia	392
A.3	Formule di trasporto e di rotazione	393

A.4	Momenti principali di inerzia	395
A.5	Ellisse centrale di inerzia	396
A.6	Casi notevoli	396
A.7	Esercizi svolti	397
A.8	Esercizi proposti	401
A.9	Soluzioni	402
Schemi statici ricorrenti		403
B.1	Mensola	403
B.2	Trave appoggiata	404
B.3	Trave incastro-appoggio	406
B.4	Trave incastrata ai due estremi	408
B.5	Trave continua	408
B.6	Telaio	410
Riferimenti bibliografici		413
Indice		415