

Indice

Prefazione	xvii
1 L'analisi e la progettazione strutturale	3
1.1 Le domande fondamentali	4
1.2 La fase di modellazione	5
1.2.1 La geometria della struttura	6
1.2.2 Le azioni interne	8
1.2.3 Le azioni ambientali	9
1.2.4 I materiali	9
1.3 La fase di calcolo	10
1.4 La fase di interpretazione	12
1.5 Domande di verifica	14
2 I concetti di base della cinematica	15
2.1 Il singolo punto materiale	16
2.1.1 Moto rettilineo	18
2.1.2 Moto di rotazione	20
2.2 I modelli strutturali discreti	24
2.2.1 Moto e spostamento nei modelli discreti	25
2.3 I modelli continui tridimensionali	27
2.3.1 Moto e spostamento nei modelli continui	27
2.3.2 Lo spostamento degli elementi materiali	29
2.3.3 Le deformazioni nei continui tridimensionali*	32

INDICE

2.4	I modelli continui monodimensionali	33
2.4.1	Il modello di trave deformabile a taglio.....	34
2.4.2	Il modello di asta.....	37
2.5	La cinematica dei movimenti rigidi	40
2.5.1	Moti rigidi di strutture continue.....	40
2.5.2	La formula dello spostamento rigido finito.....	43
2.5.3	Lo spostamento rigido infinitesimo.....	47
2.5.4	Il centro di rotazione.....	51
2.6	Domande di verifica	53
2.7	Esercizi	55
3	I vincoli e la congruenza esterna	57
3.1	La modellazione dei vincoli	57
3.1.1	La definizione cinematica dei vincoli.....	60
3.1.2	I vincoli esterni.....	60
3.1.3	Gli spostamenti relativi.....	64
3.1.4	I vincoli interni.....	65
3.2	Il problema cinematico esterno	68
3.2.1	Condizioni di vincolo ed equazioni di congruenza.....	69
3.3	Gli spostamenti rigidi delle strutture isostatiche	70
3.3.1	Il metodo analitico.....	70
3.3.2	Il metodo grafico.....	75
3.4	Le equazioni di congruenza esterna in forma compatta	83
3.5	La classificazione delle strutture	85
3.5.1	Strutture labili.....	85
3.5.2	Strutture isostatiche.....	86
3.5.3	Strutture iperstatiche.....	87
3.5.4	I vincoli malposti.....	88
3.5.5	Schemi statici tipici.....	90
3.5.6	La gerarchia strutturale.....	92
3.6	Domande di verifica	94
3.7	Esercizi	95

INDICE

4	Le deformazioni e la congruenza interna nelle travi	99
4.1	Le deformazioni nelle travi	99
4.1.1	La deformazione assiale	100
4.1.2	La deformazione angolare	101
4.1.3	La curvatura	102
4.2	Le deformazioni termiche	104
4.3	La congruenza interna	106
4.3.1	Deformazione e spostamento assiale	107
4.3.2	Distorsione angolare e spostamento trasversale	108
4.3.3	Curvatura e rotazione	109
4.3.4	Le equazioni di congruenza interna	110
4.3.5	Gli spostamenti rigidi	110
4.4	La trave indeformabile a taglio	111
4.5	Il problema cinematico nelle travi	112
4.5.1	Gli spostamenti prodotti dalle variazioni di temperatura nelle travi isostatiche	113
4.6	Domande di verifica	117
4.7	Esercizi	117
5	I concetti di base della dinamica	119
5.1	La dinamica del singolo punto	121
5.1.1	Il movimento in assenza di cause di movimento	121
5.1.2	La legge di Newton	122
5.1.3	L’influenza del sistema di riferimento	124
5.1.4	La rotazione in assenza di cause di rotazione	125
5.1.5	La legge di Newton per la rotazione	126
5.1.6	Il momento di una forza rispetto ad un punto	127
5.1.7	La legge di Newton in termini di quantità di moto	128
5.1.8	Il legame costitutivo per le forze	129
5.1.9	Il moto prodotto da una forza costante	130
5.1.10	Oscillazioni, vibrazioni ed azioni sismiche*	131
5.2	La dinamica delle strutture discrete	136
5.2.1	Il terzo principio della dinamica	136
5.2.2	Le leggi della dinamica per le strutture discrete	137

INDICE

5.3	La dinamica delle strutture continue	140
5.3.1	Sistemi di forze	141
5.3.2	Le forze interne ed il terzo principio	141
5.3.3	Le leggi di Eulero	142
5.3.4	Le tensioni nei continui tridimensionali*	143
5.3.5	L'equilibrio interno nei continui tridimensionali*	146
5.3.6	Le forze interne nelle travi	147
5.4	Domande di verifica	149
5.5	Esercizi	150
6	I concetti di base della statica	151
6.1	Le cause di movimento	151
6.1.1	Le forze, cause di traslazione	151
6.1.2	I momenti, cause di rotazione	152
6.1.3	I sistemi di forze	154
6.2	L'equilibrio e i principi della statica	155
6.2.1	L'equilibrio delle strutture deformabili	157
6.2.2	L'equilibrio nel caso di piccoli spostamenti	158
6.3	Il momento di una forza rispetto ad un punto	159
6.4	Le risultanti di un sistema di forze concentrate	162
6.4.1	Il trasporto del momento risultante	163
6.4.2	Il momento dei sistemi di forze a risultante nulla	165
6.5	La semplificazione dei sistemi di forze	166
6.5.1	Sistemi di forze equivalenti	166
6.5.2	La riduzione dei sistemi di forze	168
6.5.3	La riduzione a una sola forza	169
6.5.4	Trasformazioni dei sistemi di forze	171
6.6	Sistemi di forze ripartite	172
6.6.1	Le risultanti delle forze ripartite sulla lunghezza	173
6.6.2	La riduzione dei sistemi di forze ripartite	175
6.7	Sistemi di forze equilibrati	176
6.8	Domande di verifica	177
6.9	Esercizi	178

INDICE

7	Le reazioni vincolari e l'equilibrio esterno	181
7.1	Le reazioni vincolari	181
7.1.1	Condizioni statiche e cinematiche	181
7.1.2	Vincoli esterni	182
7.1.3	Vincoli interni	184
7.1.4	Il vincolo di continuità	187
7.1.5	Vincoli contemporaneamente interni ed esterni	189
7.1.6	L'utilità delle reazioni vincolari	189
7.2	Il problema statico esterno	190
7.2.1	Le equazioni di equilibrio della parte generica	191
7.2.2	I diagrammi di corpo libero	192
7.3	Le reazioni vincolari nelle strutture isostatiche	195
7.3.1	Il metodo canonico	196
7.3.2	Il metodo della ricerca delle equazioni	200
7.3.3	Le equazioni di equilibrio esterno in forma compatta	205
7.3.4	La dualità ed il numero di soluzioni del problema statico esterno	207
7.4	Le reazioni vincolari nelle strutture iperstatiche	207
7.5	Gli schemi statici tipici	209
7.6	La gerarchia strutturale	210
7.7	Domande di verifica	212
7.8	Esercizi	213
8	Le sollecitazioni e l'equilibrio interno nelle travi	217
8.1	Gli sforzi	217
8.1.1	Le sollecitazioni	219
8.2	La suddivisione in tratti	220
8.3	I carichi nelle travi	221
8.4	L'equilibrio interno	225
8.4.1	L'equilibrio in assenza di carichi ripartiti	227
8.4.2	Il segno delle sollecitazioni e le fibre tese	228
8.5	Il problema statico nelle travi	230
8.5.1	I diagrammi delle sollecitazioni	232
8.5.2	Il metodo delle sezioni generiche	233

INDICE

8.5.3	L'andamento delle sollecitazioni all'interno dei tratti	235
8.5.4	Il metodo dell'equilibrio dei tratti	236
8.6	Situazioni tipiche nel calcolo delle sollecitazioni	240
8.6.1	Carichi concentrati	240
8.6.2	La coerenza tra i diagrammi del taglio e del momento	243
8.6.3	Carichi ripartiti interrotti	246
8.6.4	Carichi ripartiti non uniformi	247
8.6.5	Sbalzi	248
8.6.6	Tratti inclinati	250
8.6.7	Angoli	252
8.6.8	Sezioni in cui confluiscono più di due tratti	253
8.7	Riepilogo del metodo dell'equilibrio dei tratti	255
8.8	Domande di verifica	258
8.9	Esercizi	259
9	Il comportamento dei materiali	263
9.1	Le prove sperimentali	263
9.1.1	La misura delle grandezze meccaniche	264
9.1.2	I diversi tipi di prove	265
9.1.3	La dipendenza dalla geometria e le tensioni	268
9.2	Il legame costitutivo del materiale	270
9.3	I comportamenti tipici	272
9.3.1	Elasticità	272
9.3.2	Plasticità	274
9.3.3	Viscosità	275
9.3.4	Dipendenza dal segno del carico	275
9.4	Le proprietà meccaniche dei materiali	276
9.4.1	Rigidezza	276
9.4.2	Limite elastico e resistenza	277
9.4.3	Duttilità	278
9.5	I materiali più comuni	279
9.5.1	Acciaio	279
9.5.2	Calcestruzzo	281
9.5.3	Muratura	283
9.5.4	Il legno	284

INDICE

9.6	Il legame costitutivo nelle travi	286
9.6.1	Il problema di de Saint-Venant.....	287
9.6.2	Legame costitutivo assiale	290
9.6.3	Legame costitutivo flessionale.....	290
9.6.4	Legame costitutivo tangenziale.....	291
9.7	Le deformazioni termiche	293
9.8	Domande di verifica	294
9.9	Esercizi	295
10	Dualità tra statica e cinematica	297
10.1	Dualità tra i problemi esterni	297
10.2	Dualità tra i problemi interni	298
10.2.1	Congruenza ed equilibrio interni in forma compatta*.....	299
10.2.2	Condizioni cinematiche e statiche alle estremità dei tratti ..	300
10.2.3	La relazione di dualità interna*.....	301
10.3	Energia	302
10.3.1	Energia cinetica	303
10.4	Lavoro e potenza	304
10.4.1	Il lavoro di rotazione.....	306
10.4.2	Il lavoro delle reazioni vincolari	307
10.4.3	Lavoro in uno spostamento rigido.....	308
10.4.4	Lavoro dei carichi ripartiti nelle travi	308
10.4.5	La conservazione dell'energia.....	309
10.4.6	La legge di Newton come conseguenza della conservazione dell'energia	310
10.4.7	Le forze dissipative	310
10.5	Teorema dei lavori virtuali	311
10.5.1	Il teorema dei lavori virtuali esterno	311
10.5.2	Il teorema dei lavori virtuali nelle travi.....	313
10.6	Le applicazioni del Teorema dei Lavori Virtuali	314
10.6.1	Il calcolo di reazioni vincolari con il Teorema dei Lavori Virtuali.....	315
10.6.2	La formula generale dello spostamento	318
10.7	Domande di verifica	325
10.8	Esercizi	326

INDICE

11 Il problema strutturale nelle travi	329
11.1 Le grandezze in gioco	330
11.1.1 Dati ed incognite	330
11.1.2 Gli strumenti	332
11.2 Il metodo degli spostamenti	333
11.2.1 La soluzione generale	335
11.2.2 Le condizioni al contorno	338
11.2.3 Il problema assiale	340
11.2.4 Il problema trasversale	343
11.2.5 La rigidezza di elemento	350
11.2.6 L'effetto delle deformazioni termiche	352
11.2.7 Le strutture a sezione variabile	355
11.2.8 L'effetto della deformabilità a taglio	355
11.2.9 Le strutture composte da più tratti	359
11.2.10 La discretizzazione	361
11.2.11 Il metodo degli elementi finiti	366
11.3 Il metodo delle forze	372
11.3.1 Il Metodo delle Forze per le strutture isostatiche	374
11.3.2 Il Metodo delle Forze per le strutture iperstatiche	376
11.4 Domande di verifica	379
11.5 Esercizi	380
12 Verifica e progetto	383
12.1 Le incertezze nell'analisi strutturale	384
12.2 Metodi di analisi strutturale	384
12.3 I fenomeni incerti	385
12.3.1 Il valore caratteristico della resistenza	387
12.3.2 Il valore caratteristico dei carichi	389
12.4 Il metodo semi-probabilistico	390
12.5 L'analisi dei carichi	391
12.5.1 La resistenza nelle travi	394
12.5.2 La resistenza assiale	394
12.5.3 La resistenza flessionale	395

INDICE

12.6 Le verifiche strutturali	398
12.6.1 La verifica di resistenza	398
12.6.2 La verifica di deformabilità	401
12.7 Il progetto strutturale	402
12.7.1 Il progetto per resistenza	402
12.7.2 Progetto della sezione per deformabilità	405
12.7.3 Il dimensionamento con profilati a doppia T	408
12.8 Domande di verifica	410
12.9 Esercizi	411
13 Le travi isostatiche	415
13.1 Le travi semplici	416
13.1.1 La mensola	416
13.1.2 La trave appoggiata	418
13.1.3 Confronto tra mensola e trave appoggiata	419
13.2 Portale isostatico	420
13.2.1 Carichi verticali	421
13.2.2 Carichi orizzontali	422
13.3 Arco a tre cerniere	425
13.3.1 Carichi verticali	425
13.3.2 Carichi orizzontali	427
13.4 L'effetto delle variazioni di temperatura	430
13.5 L'effetto dei cedimenti vincolari	431
13.6 Domande di verifica	432
13.7 Esercizi	433
14 Le travi iperstatiche	435
14.1 La ridondanza statica	435
14.1.1 Le cerniere plastiche	435
14.1.2 La redistribuzione delle sollecitazioni	436
14.2 Applicazioni del metodo delle forze	438
14.2.1 Un esempio tipico	438
14.2.2 La soluzione delle travi una volta iperstatiche	442
14.2.3 La scelta del sistema principale	443

INDICE

14.2.4	Le travi più volte iperstatiche.....	445
14.2.5	L'impiego del Teorema dei Lavori Virtuali all'interno del metodo delle forze	447
14.2.6	L'influenza delle diverse sollecitazioni	452
14.2.7	Le modalità operative del metodo delle forze	452
14.2.8	Il metodo delle forze in presenza di cedimenti vincolari	455
14.3	L'effetto dei rapporti di rigidezza sulle sollecitazioni nelle travi iperstatiche	457
14.4	L'effetto dei cedimenti vincolari nelle travi iperstatiche	460
14.5	L'effetto delle variazioni di temperatura nelle travi iperstatiche	462
14.6	Gli schemi iperstatici tipici	464
14.6.1	Travi semplici iperstatiche	464
14.6.2	Confronto tra travi semplici iso e iperstatiche	466
14.6.3	Il portale incernierato alla base	467
14.6.4	Portale incastrato alla base	468
14.6.5	Confronto tra i portali iso e iperstatici	469
14.6.6	Le travi continue	470
14.7	Domande di verifica	473
14.8	Esercizi	475
15	Le strutture reticolari	477
15.1	Cinematica delle strutture reticolari	478
15.1.1	La congruenza esterna	478
15.1.2	La congruenza interna	480
15.1.3	Il problema cinematico interno in forma compatta.....	482
15.1.4	Gli spostamenti indotti dalle deformazioni termiche	483
15.2	Statica delle strutture reticolari	486
15.2.1	I carichi	486
15.2.2	Le sollecitazioni.....	486
15.2.3	Il problema statico interno nelle strutture reticolari	487
15.2.4	Le sollecitazioni in alcune strutture reticolari isostatiche tipiche	490
15.2.5	Il metodo delle sezioni di Ritter.....	494
15.3	Il legame costitutivo	496
15.4	La dualità tra statica e cinematica	497
15.4.1	Il teorema dei lavori virtuali	498
15.4.2	La formula generale dello spostamento	500

INDICE

15.5	Il problema strutturale nelle strutture reticolari	503
15.5.1	Il metodo degli spostamenti	503
15.5.2	L’influenza della rigidezza sulle sollecitazioni	505
15.6	Domande di verifica	515
15.7	Esercizi	516
Appendice A - Richiami di matematica		519
Appendice B - Geometria delle masse e delle aree		535
1.1	La geometria delle aree	535
1.2	L’area	536
1.3	I momenti statici	537
1.4	I momenti d’inerzia	539
1.5	Le formule di trasporto	541
1.5.1	Trasporto tra assi paralleli	541
1.5.2	La sezione rettangolare rispetto ad assi paralleli ai lati	542
1.5.3	Le sezioni composte da rettangoli	543
1.5.4	La posizione del baricentro	545
1.5.5	Trasporto tra assi ruotati	546
1.5.6	La determinazione degli assi principali	547
1.6	I moduli di resistenza	549
1.7	Esempi di sezioni	550
1.7.1	Sezioni ad L	550
1.7.2	Sezioni scatolari	551
1.7.3	Sezioni a doppia T	552
1.7.4	Sezione circolare	552
1.7.5	Tubi	553
1.8	Domande di verifica	553
1.9	Esercizi	554
Appendice C - Profilati metallici		555
Bibliografia		561