

# Indice

<b>Prefazione</b>	<b>xv</b>
<b>I FONDAMENTI</b>	<b>1</b>
<b>1 I fondamenti della statica</b>	<b>3</b>
1.1 Le origini della meccanica . . . . .	3
1.1.1 Introduzione . . . . .	3
1.1.2 Cenni storici . . . . .	4
1.1.3 Le leggi della leva e del piano inclinato . . . . .	6
1.1.4 La decomposizione delle forze . . . . .	9
1.1.5 Il teorema di Varignon e il concetto di momento . . . . .	11
1.2 Le leggi dell'equilibrio dei solidi . . . . .	15
1.2.1 Forza, momento, lavoro, potenza . . . . .	15
1.2.2 Le equazioni cardinali della statica . . . . .	24
1.2.3 Operazioni sulle forze . . . . .	26
1.2.4 Statica grafica . . . . .	34
1.2.5 Baricentro e momento statico . . . . .	42
1.2.6 Baricentro di figure piane . . . . .	48
1.3 Il principio dei lavori virtuali . . . . .	54
1.4 Cinematica infinitesima . . . . .	58
1.5 Cinematica infinitesima del corpo rigido . . . . .	59
1.5.1 Moto di un punto, traiettoria, velocità . . . . .	59
1.5.2 Analisi del moto rigido . . . . .	60
1.5.3 Moto traslatorio e rotatorio . . . . .	64

1.5.4	Moto elicoidale; riduzione del moto rigido ad elicoidale . . . . .	66
1.5.5	Atto di moto rigido piano . . . . .	72
1.6	Deduzione delle equazioni cardinali della statica dal principio dei lavori virtuali . . . . .	74
1.7	Esercizi . . . . .	75
<b>2</b>	<b>I vincoli e le reazioni vincolari</b>	<b>77</b>
2.1	Introduzione . . . . .	77
2.2	Classificazione dei vincoli . . . . .	78
2.3	Schematizzazione dei vincoli . . . . .	81
2.4	Determinazione delle reazioni vincolari . . . . .	84
2.5	Equilibrio di sistemi di corpi . . . . .	95
2.5.1	Arco a tre cerniere . . . . .	95
2.6	Calcolo delle reazioni vincolari mediante il principio dei lavori virtuali . . . . .	100
2.7	Esercizi . . . . .	102
<b>3</b>	<b>Statica delle travi e dei sistemi di travi</b>	<b>105</b>
3.1	Introduzione . . . . .	105
3.2	Travi con asse rettilineo . . . . .	108
3.2.1	Equilibrio delle travi con asse rettilineo . . . . .	110
3.3	Sollecitazioni interne . . . . .	112
3.4	Grafici delle sollecitazioni . . . . .	114
3.4.1	Sollecitazioni piane . . . . .	114
3.4.2	Trave sollecitata solamente alle estremità . . . . .	117
3.4.3	Determinazione grafica delle reazioni vincolari e dei diagrammi di sollecitazione . . . . .	118
3.5	Equazioni indefinite dell'equilibrio . . . . .	121
3.6	Altri esempi . . . . .	123
3.6.1	Trave appoggiata . . . . .	124
3.6.2	Mensola . . . . .	128
3.6.3	Trave appoggiata con sbalzo . . . . .	131
3.6.4	Trave Gerber . . . . .	133
3.6.5	Travi inclinate . . . . .	137
3.7	Le travi curve . . . . .	143
3.7.1	La trave a spirale . . . . .	145
3.8	Esercizi . . . . .	152
<b>4</b>	<b>Le strutture reticolari e gli archi</b>	<b>155</b>
4.1	Introduzione . . . . .	155
4.2	Strutture reticolari . . . . .	156
4.2.1	Analisi delle strutture reticolari . . . . .	157
4.2.2	Il metodo dei nodi . . . . .	161
4.2.3	Metodi grafici: il poligono di equilibrio dei nodi . . . . .	165
4.2.4	Metodi grafici: Il cremoniano . . . . .	167
4.2.5	Il metodo delle sezioni di Ritter . . . . .	169

4.3	Le funi e gli archi . . . . .	172
4.3.1	Le funi . . . . .	172
4.3.2	L'arco . . . . .	182
4.3.3	Gli archi in pietra . . . . .	186
4.4	Esercizi . . . . .	192
<b>5</b>	<b>Il continuo tridimensionale: analisi della tensione</b>	<b>195</b>
5.1	Introduzione . . . . .	195
5.2	Forze interne . . . . .	200
5.3	Resistenza . . . . .	202
5.4	Tensione . . . . .	205
5.4.1	Equazione di Cauchy . . . . .	207
5.4.2	Equilibrio alla rotazione . . . . .	211
5.5	Cambiamento di riferimento . . . . .	212
5.6	Tensioni piane . . . . .	214
5.6.1	Circonferenza di Mohr . . . . .	215
5.6.2	Tensioni principali . . . . .	219
5.6.3	Linee isostatiche . . . . .	220
5.6.4	Tensioni principali in 3D . . . . .	220
5.7	Equazioni di equilibrio . . . . .	223
5.7.1	Equazioni sul contorno . . . . .	225
5.8	Conclusione . . . . .	225
5.9	Esercizi . . . . .	226
<b>6</b>	<b>Il continuo tridimensionale: analisi della deformazione</b>	<b>229</b>
6.1	Introduzione . . . . .	229
6.2	Moto rigido e deformazione . . . . .	231
6.3	Analisi delle piccole deformazioni . . . . .	232
6.3.1	Dilatazione . . . . .	232
6.3.2	Scorrimento . . . . .	234
6.3.3	Matrice delle deformazioni . . . . .	234
6.3.4	Dilatazione lungo una direzione arbitraria . . . . .	235
6.3.5	Scorrimento tra due direzioni ortogonali . . . . .	237
6.3.6	Cambiamento di riferimento . . . . .	238
6.3.7	Variazione di volume . . . . .	239
6.4	Equazioni di congruenza . . . . .	239
6.5	Deformazioni piane. Circonferenza di Mohr delle deformazioni	241
6.6	Misura della deformazione . . . . .	242
6.7	Esercizi . . . . .	246
<b>7</b>	<b>I materiali e le leggi costitutive</b>	<b>249</b>
7.1	Introduzione . . . . .	249
7.2	Prova di trazione di una barra di acciaio . . . . .	250
7.3	Legame elastico lineare . . . . .	252
7.3.1	Stati di tensione pluriassiali . . . . .	254
7.3.2	Deformabilità a taglio . . . . .	255

7.3.3	Modulo di deformabilità volumetrica . . . . .	259
7.3.4	Legge di Hooke generalizzata . . . . .	260
7.3.5	Costanti di Lamé . . . . .	261
7.3.6	Tensioni e deformazioni piane . . . . .	262
7.3.7	Unità di misura . . . . .	265
7.4	Lavoro di deformazione . . . . .	266
7.4.1	Energia potenziale elastica . . . . .	267
7.5	Lavoro virtuale . . . . .	268
7.6	Esercizi . . . . .	270
<b>8</b>	<b>Teoria elastica della trave</b>	<b>273</b>
8.1	Introduzione . . . . .	273
8.2	Le equazioni dei solidi elastici . . . . .	275
8.3	Il solido di Saint Venant . . . . .	278
8.3.1	Il postulato di Saint Venant . . . . .	280
8.4	Formulazione del problema di Saint Venant . . . . .	282
8.4.1	Ipotesi . . . . .	283
8.5	Forza normale e flessione . . . . .	287
8.5.1	Definizione del problema . . . . .	287
8.5.2	Forza normale centrata . . . . .	289
8.5.3	Flessione retta . . . . .	290
8.5.4	Conservazione delle sezioni piane . . . . .	293
8.5.5	Calcolo delle tensioni: esempi . . . . .	294
8.5.6	Lavoro di deformazione . . . . .	298
8.5.7	Asse neutro . . . . .	299
8.5.8	Nocciolo d'inerzia . . . . .	304
8.6	Torsione . . . . .	311
8.6.1	Formulazione generale . . . . .	311
8.6.2	Deformazione . . . . .	317
8.6.3	Casi particolari . . . . .	320
8.6.4	Soluzioni approssimate: profili aperti . . . . .	326
8.6.5	Soluzioni approssimate: sezioni tubolari di spessore sottile . . . . .	329
8.7	Flessione composta (taglio) . . . . .	338
8.7.1	Introduzione . . . . .	338
8.7.2	La soluzione di Jourawski per le sezioni simmetriche. . . . .	339
8.7.3	Sezioni asimmetriche, centro di taglio . . . . .	349
8.7.4	Deformazione dovuta al taglio . . . . .	351
8.8	Esercizi . . . . .	355
<b>9</b>	<b>Sistemi di travi</b>	<b>359</b>
9.1	Introduzione . . . . .	359
9.2	Analisi dei telai isostatici . . . . .	366
9.2.1	Metodo dell'equilibrio dei nodi . . . . .	369
9.2.2	Metodo «diretto» . . . . .	373
9.3	L'equazione della linea elastica e il calcolo degli spostamenti . . . . .	376

9.3.1	Integrazione dell'equazione della linea elastica . . . . .	376
9.3.2	Calcolo degli spostamenti con il PLV . . . . .	380
9.4	I telai iperstatici . . . . .	383
9.4.1	Trave incastro-appoggio . . . . .	384
9.4.2	Trave su tre appoggi . . . . .	386
9.4.3	Formulazione generale del metodo delle forze . . . . .	388
9.4.4	La trave doppiamente incastrata . . . . .	393
9.4.5	Significato dei momenti della trave incastrata . . . . .	395
9.4.6	La trave continua su più appoggi . . . . .	397
9.5	Cenni sui metodi dell'analisi strutturale . . . . .	402
9.6	Esercizi . . . . .	405
 <b>II Le strutture</b>		 <b>409</b>
<b>10 La sicurezza strutturale e le azioni sulle costruzioni</b>		<b>411</b>
10.1	La progettazione strutturale . . . . .	411
10.2	Il concetto di «stato limite» . . . . .	412
10.3	Determinismo e aleatorietà . . . . .	416
10.4	L'affidabilità strutturale e i codici normativi . . . . .	421
10.4.1	Probabilità e variabili aleatorie . . . . .	421
10.4.2	Valutazione probabilistica della sicurezza . . . . .	426
10.4.3	Il caso paradigmatico . . . . .	426
10.4.4	Il format dei codici . . . . .	429
10.5	Le azioni sulle costruzioni . . . . .	431
10.5.1	Le azioni gravitazionali . . . . .	432
10.5.2	Le azioni prodotte dall'ambiente (vento, neve, temperatura) . . . . .	434
10.5.3	Le azioni sismiche . . . . .	444
10.6	La combinazione delle azioni . . . . .	444
10.6.1	Verifiche agli stati limite ultimi . . . . .	445
10.6.2	Stati limite di esercizio . . . . .	447
10.7	Valutazione delle azioni . . . . .	448
10.8	Esercizi . . . . .	450
10.A	Tabelle pesi . . . . .	450
 <b>11 Le strutture in acciaio</b>		 <b>455</b>
11.1	Il materiale . . . . .	456
11.1.1	Classificazione degli acciai . . . . .	457
11.1.2	Legge costitutiva dell'acciaio . . . . .	459
11.2	Criteri di resistenza . . . . .	460
11.3	Dimensionamento degli elementi strutturali . . . . .	463
11.3.1	Aste tese . . . . .	464
11.3.2	Travi inflesse . . . . .	470
11.3.3	Sollecitazione di taglio . . . . .	480
11.3.4	Flessione e taglio . . . . .	481

11.3.5	Sezioni compresse . . . . .	484
11.3.6	Sezioni presso o tenso-inflesse . . . . .	484
11.3.7	Torsione . . . . .	488
11.4	La non linearità geometrica e l'instabilità . . . . .	488
11.4.1	Non linearità geometrica . . . . .	488
11.4.2	Stabilità dell'equilibrio . . . . .	491
11.4.3	Stabilità dell'equilibrio delle aste compresse: l'asta di Eulero . . . . .	496
11.4.4	Effetto delle imperfezioni . . . . .	501
11.4.5	Verifica delle aste snelle . . . . .	503
11.4.6	Verifica delle aste compresse secondo la normativa italiana . . . . .	506
11.4.7	Pilastri sollecitati a pressoflessione . . . . .	511
11.4.8	Effetto della deformabilità a taglio . . . . .	514
11.4.9	Instabilità delle aste composte . . . . .	515
11.4.10	Altre cause di instabilità . . . . .	525
11.5	Le unioni . . . . .	527
11.5.1	Unioni bullonate . . . . .	528
11.5.2	Unioni saldate . . . . .	547
11.6	Stati limite di esercizio . . . . .	551
11.7	Esercizi . . . . .	553
<b>12</b>	<b>Il cemento armato</b> . . . . .	<b>557</b>
12.1	Introduzione . . . . .	557
12.2	Il calcestruzzo . . . . .	559
12.2.1	Il cemento . . . . .	560
12.2.2	Gli aggregati . . . . .	561
12.2.3	L'acqua . . . . .	563
12.2.4	Composizione del calcestruzzo . . . . .	564
12.2.5	Caratteristiche del calcestruzzo fresco . . . . .	566
12.2.6	Proprietà del calcestruzzo indurito . . . . .	566
12.2.7	Comportamento del calcestruzzo nel tempo . . . . .	574
12.3	L'acciaio da cemento armato . . . . .	580
12.4	L'aderenza tra acciaio e calcestruzzo . . . . .	583
12.5	Leggi costitutive e normativa . . . . .	586
12.6	Il «sistema» cemento armato . . . . .	590
12.7	Esercizi . . . . .	593
<b>13</b>	<b>La trave in cemento armato: fase elastica</b> . . . . .	<b>595</b>
13.1	Calcestruzzo non fessurato, omogeneizzazione . . . . .	595
13.1.1	Il coefficiente di omogeneizzazione . . . . .	598
13.2	Il calcestruzzo fessurato . . . . .	603
13.3	Analisi elastica della sezione inflessa (fase II) . . . . .	607
13.3.1	Flessione retta . . . . .	612
13.3.2	Flessione retta della sezione rettangolare . . . . .	614
13.3.3	Flessione retta della sezione a T . . . . .	616
13.3.4	Dimensionamento delle sezioni inflesse . . . . .	619

13.4	Analisi elastica delle sezioni presso-inflesse . . . . .	621
13.4.1	Pressoflessione retta . . . . .	626
13.4.2	Pressoflessione retta della sezione rettangolare . . . . .	626
13.5	Analisi della fessurazione . . . . .	633
13.5.1	Formule empiriche . . . . .	636
13.6	Stati limite di esercizio . . . . .	637
13.6.1	Stato limite di fessurazione . . . . .	638
13.6.2	Stato limite delle tensioni di esercizio . . . . .	639
13.7	Esercizi . . . . .	641
<b>14</b>	<b>La trave in cemento armato: stato limite ultimo</b>	<b>643</b>
14.1	Analisi della sezione nello stato limite ultimo (fase III) . . . . .	643
14.2	Stato limite ultimo per tensioni normali (forza normale e flessione)	644
14.2.1	Campi di rottura . . . . .	648
14.2.2	Rottura per flessione retta . . . . .	650
14.2.3	Momento ultimo della sezione rettangolare . . . . .	654
14.2.4	Pressoflessione retta . . . . .	660
14.2.5	Verifica diretta della sezione presso-inflessa . . . . .	662
14.2.6	Verifica e progetto delle sezioni mediante abachi . . . . .	673
14.2.7	Pressoflessione deviata . . . . .	676
14.2.8	Instabilità dei pilastri in c.a. . . . .	677
14.2.9	Dettagli costruttivi per travi e pilastri . . . . .	682
14.3	Stato limite ultimo di taglio . . . . .	683
14.3.1	I meccanismi della resistenza al taglio in assenza d'armatura d'anima . . . . .	684
14.3.2	Resistenza a taglio delle travi con armatura d'anima . . . . .	691
14.3.3	Verifica a taglio delle travi in c.a. secondo la norma italiana	697
14.3.4	Dimensionamento delle armature . . . . .	698
14.4	Quantitativi minimi di armatura nelle travi e nei pilastri . . . . .	701
14.5	Stato limite ultimo di torsione . . . . .	702
14.5.1	Il meccanismo resistente . . . . .	702
14.5.2	Dimensionamento dell'armatura . . . . .	705
14.5.3	Interazione con forza normale flessione e taglio . . . . .	707
14.6	Disposizione delle armature nelle travi in c.a. . . . .	709
14.6.1	Ancoraggio delle armature . . . . .	709
14.6.2	Il diagramma dei momenti resistenti . . . . .	710
14.7	Esercizi . . . . .	717
<b>15</b>	<b>Il cemento armato precompresso</b>	<b>719</b>
15.1	Introduzione . . . . .	719
15.2	I materiali del c.a.p. . . . .	721
15.2.1	Il rilassamento degli acciai . . . . .	723
15.3	Tecnologia della precompressione . . . . .	724
15.4	Perdite di tensione . . . . .	727
15.4.1	Perdite istantanee della forza di precompressione . . . . .	728
15.4.2	Perdite differite nel tempo . . . . .	731

15.5	Verifiche delle travi precomprese . . . . .	734
15.5.1	Verifiche in esercizio . . . . .	734
15.5.2	Verifica allo SLU . . . . .	738
15.6	Dimensionamento delle travi in c.a.p. . . . .	743
15.6.1	Il cavo risultante . . . . .	743
15.6.2	Dimensionamento della sezione . . . . .	743
15.7	Disposizione dei cavi, fuso di Guyon . . . . .	748
15.8	Precompressione delle strutture iperstatiche, sistema equivalente	750
15.8.1	Il sistema equivalente alla precompressione . . . . .	751
15.9	Dettagli di armatura . . . . .	753
15.10	Esercizi . . . . .	753
 <b>III Appendici</b>		 <b>757</b>
<b>A Unità di misura</b>		<b>759</b>
A.1	Grandezze fondamentali e derivate . . . . .	759
A.2	Principali grandezze meccaniche derivate . . . . .	760
A.3	Multipli e sottomultipli . . . . .	761
A.4	Massa e peso . . . . .	762
 <b>B Elementi di algebra dei vettori</b>		 <b>765</b>
B.1	Definizione di vettore . . . . .	765
B.2	Operazioni sui vettori . . . . .	766
B.2.1	Somma di vettori . . . . .	766
B.2.2	Prodotto tra un vettore e un numero reale . . . . .	769
B.2.3	Prodotto tra vettori: prodotto scalare . . . . .	770
B.3	Componenti di un vettore; basi. . . . .	771
B.3.1	Prodotto vettoriale (o prodotto esterno) . . . . .	775
B.3.2	Prodotto misto . . . . .	779
B.4	Cenni sui campi vettoriali . . . . .	780
B.4.1	Campi scalari . . . . .	781
B.4.2	Campi vettoriali . . . . .	783
 <b>C Matrici e sistemi lineari</b>		 <b>785</b>
C.1	Definizioni e operazioni elementari . . . . .	785
C.1.1	Definizione di matrice . . . . .	785
C.1.2	Somma e prodotto . . . . .	785
C.1.3	Definizioni relative alle matrici . . . . .	786
C.2	Determinante . . . . .	787
C.3	Sistemi di equazioni lineari . . . . .	789
 <b>D Geometria delle aree</b>		 <b>793</b>
D.1	Baricentro e momento statico . . . . .	793
D.2	Momento d'inerzia . . . . .	794
D.2.1	Cambiamento dell'origine del riferimento . . . . .	794
D.2.2	Rotazione degli assi . . . . .	797



---

D.2.3	Assi principali d'inerzia . . . . .	798
D.2.4	Proprietà del momento d'inerzia . . . . .	799
D.2.5	Giratori d'inerzia . . . . .	801
<b>E</b>	<b>Integrazione per parti di integrali superficiali</b>	<b>803</b>
<b>F</b>	<b>Serie di Fourier</b>	<b>807</b>
	<b>Indice Analitico</b>	<b>813</b>