-042

FILIPPO ARREDI

Ordinario di Costruzioni Idrauliche nella Facoltà di Ingegneria della Università di Roma

COSTRUZIONI IDRAULICHE

Volume primo

Compendio di Idraulica. - Fondamenti della Teoria dell'Elasticità. Teoria delle lastre per le strutture idrauliche. - Elementi di Meccanica delle Terre. - Elementi della Analisi Statistica dei risultati delle osservazioni e delle esperienze.

Seconda edizione

UNIVERSITA' D. STUDI DI TORINO ★ BIBLIOTECA

UTET

INDICE

PREFAZIONE . . . . . *Pag.* V

PARTE PRIMA

COMPENDIO DI IDRAULICA

CAPITOLO I. — **Introduzione** . . . . . *Pag.* 3

1 - Preliminari . . . . . » 3
2 - Le pressioni . . . . . » 3

CAPITOLO II. — **Idrostatica** . . . . . » 5

1 - La distribuzione delle pressioni nei liquidi in quiete . . . » 5
2 - Spinte sulla superficie dei recipienti . . . . . » 7
3 - Spinte sui corpi immersi ed equilibrio dei galleggianti . . » 10

CAPITOLO III. — **Caratteri delle correnti** . . . . . » 12

1 - Caratteri cinematici . . . . . » 12
2 - Caratteri geometrici . . . . . » 13
3 - Classifica dei moti dei liquidi . . . . . » 15

CAPITOLO IV. — **Caratteri fisici del moto dei liquidi** . . . . . » 17

1 - Liquido perfetto . . . . . » 17
2 - Liquidi reali: regime viscoso . . . . . » 17
3 - Liquidi reali: regime turbolento . . . . . » 18

CAPITOLO V. — **Le equazioni generali del moto** . . . . . » 22

1 - La equazione di continuità . . . . . » 22
2 - Le forze di massa e le forze d'inerzia . . . . . » 24
3 - Le equazioni globali . . . . . » 27
4 - La equazione generale indefinita del moto lineare di un liquido perfetto . . . . . » 28
5 - La equazione generale di una corrente lineare di un liquido perfetto . . . . . » 30

6 - La equazione generale di una corrente lineare di un liquido reale . . . . . *Pag.* 32
7 - Moto permanente lineare: il teorema di Bernoulli . . . . » 34
8 - L'analisi dimensionale, la similitudine e i modelli . . . . » 38

CAPITOLO VI. — **Azioni delle correnti sulle superfici solide fisse** . » 44

1 - Spinte delle correnti in pressione sulle pareti . . . . . » 44
2 - Spinta dei getti su superfici fisse . . . . . » 50

CAPITOLO VII. — **Foronomia** . . . . . » 53

1 - Efflusso a battente . . . . . » 53
2 - Riempimento e vuotatura di recipienti dotati di bocche a battente . . . . . » 56
3 - Efflusso a stramazzo . . . . . » 58

CAPITOLO VIII. — **Il regime uniforme delle correnti in pressione** » 63

1 - Caratteri generali . . . . . » 63
2 - Regime viscoso . . . . . » 64
3 - Regime turbolento: leggi generali. . . . . » 66
4 - Regime turbolento: precisazioni delle leggi generali . . . » 71
5 - Regime turbolento: leggi empirico-sperimentali . . . . . » 75
6 - Sistemi di tubazioni in regime uniforme . . . . . » 77
7 - Alcune singolarità nelle correnti in pressione . . . . . » 83

CAPITOLO IX. — **Correnti a superficie libera in regime uniforme** » 86

1 - Le leggi del regime uniforme . . . . . » 86

CAPITOLO X. — **Correnti a superficie libera lineari in regime permanente: caratteri generali** . . . . . » 92

1 - Premessa sulla celerità di propagazione delle perturbazioni » 92
2 - La ripartizione dell'energia nella sezione di una corrente » 95
3 - Classifica degli alvei per il regime uniforme . . . . . » 99

CAPITOLO XI. — **Correnti a superficie libera lineari in regime permanente in alveo prismatico - I profili superficiali** . . » 102

1 - La equazione generale. . . . . » 102
2 - Analisi della forma dei profili . . . . . » 105
3 - Il tracciamento dei profili . . . . . » 114
4 - Il risalto idraulico . . . . . » 118
5 - Esempi di determinazione dei tipi di profili . . . . . » 124
6 - Variazioni graduali delle sezioni della corrente su brevi tratti . . . . . » 132
7 - Sfioratori laterali di canali. . . . . » 142

CAPITOLO XII. — **Correnti a superficie libera in moto vario** . . . » 149

1 - Il moto lentamente vario . . . . . » 149
2 - La propagazione di piccole intumescenze . . . . . » 152
3 - Le perturbazioni brusche di moti permanenti (onde di traslazione): caratteristiche e relazioni generali . . . . . » 154

4 - Le onde di traslazione negli alvei di sezione rettangolare *Pag.* 158
5 - Le onde di traslazione fra regimi uniformi . . . . . » 150
6 - La determinazione delle caratteristiche dell'onda . . . . . » 162

CAPITOLO XIII. — **Moti di filtrazione** . . . . . » 165

1 - La legge generale . . . . . » 165
2 - Alcuni casi particolari semplici . . . . . » 168
3 - Moti piani: caratteristiche generali . . . . . » 183
4 - La trasformazione conforme . . . . . » 193
5 - Azioni meccaniche della corrente filtrante sul materiale permeabile . . . . . » 197

Bibliografia . . . . . » 200

PARTE SECONDA

FONDAMENTI DELLA TEORIA DELL'ELASTICITÀ TEORIA DELLE LASTRE PER LE STRUTTURE IDRAULICHE

A) FONDAMENTI DELLA TEORIA DELL'ELASTICITÀ

CAPITOLO I. — **Generalità** . . . . . *Pag.* 203

1 - Le forze agenti sui corpi . . . . . » 203
2 - Spostamenti d'insieme e deformazioni dei corpi . . . . . » 203
3 - Caratteri fisici dei corpi solidi nei riguardi delle deformazioni . . . . . » 204
4 - I materiali sciolti . . . . . » 204
5 - Reazioni di appoggio - Strutture isostatiche e strutture iperstatiche . . . . . » 205
6 - Comportamento elastico proporzionale . . . . . » 206
7 - Le tensioni . . . . . » 206
8 - Le reazioni elastiche alle deformazioni derivanti da cause fisiche . . . . . » 207

CAPITOLO II. — **Lo stato di tensione** . . . . . » 209

1 - Le componenti della tensione . . . . . » 209
2 - Correlazioni fra le tensioni tangenziali . . . . . » 210
3 - Tensioni su un piano obliquo rispetto alla terna . . . . . » 211
4 - Tensioni principali ed invarianti delle tensioni . . . . . » 213
5 - Tensione media e tensioni deformanti . . . . . » 215
6 - Tensioni tangenziali principali . . . . . » 216
7 - Tensioni ottaedriche . . . . . » 217
8 - Rappresentazione della variabilità della tensione col variare della orientazione del relativo piano di applicazione. Quadrica delle tensioni . . . . . » 217
9 - Rappresentazione con i cerchi di Mohr del variare delle tensioni normali e tangenziali su un piano generico col variare della giacitura di esso . . . . . » 218

CAPITOLO III. — **Lo stato di deformazione** . . . . . *Pag.* 225

1 - La deformazione . . . . . » 225
2 - La dilatazione . . . . . » 226
3 - Deformazione intorno ad un punto e componenti di deformazione . . . . . » 227
4 - Direzioni principali e invarianti della deformazione. . . . » 229
5 - La dilatazione cubica . . . . . » 230
6 - La quadrica delle dilatazioni. . . . . » 231
7 - Le condizioni di compatibilità . . . . . » 231

CAPITOLO IV. — **Le correlazioni fra deformazioni e sollecitazioni** » 233

1 - Le relazioni di Lamé . . . . . » 233
2 - Le relazioni di Hooke . . . . . » 235
3 - Le relazioni fra gli invarianti della tensione e della deformazione . . . . . » 236
4 - L'energia di deformazione . . . . . » 237

CAPITOLO V. — **Le equazioni generali dello stato di tensione elastica** » 241

1 - Le condizioni al contorno . . . . . » 241
2 - Le equazioni indefinite di equilibrio delle forze elastiche . » 242
3 - Trasformazione delle condizioni di compatibilità . . . . . » 242
4 - Le equazioni dell'equilibrio elastico . . . . . » 243
5 - Le equazioni generali dello stato elastico in termini di spostamenti . . . . . » 244
6 - Gli effetti statici delle variazioni di temperatura. . . . . » 245
7 - Lo stato limite di elasticità . . . . . » 248

CAPITOLO VI. — **La elasticità piana** . . . . . » 251

1 - Generalità . . . . . » 251
2 - Lo stato di deformazione piano . . . . . » 251
3 - Lo stato di tensione piano . . . . . » 253
4 - La distribuzione delle sollecitazioni intorno ad un punto - Conica di Cauchy - Cerchio di Mohr . . . . . » 254
5 - Luoghi geometrici notevoli. . . . . » 262
6 - Le equazioni di equilibrio statico. . . . . » 263
7 - Le condizioni di compatibilità . . . . . » 263
8 - Risoluzione dei problemi piani con la funzione di Airy. . » 264
9 - Effetti statici delle variazioni di temperatura . . . . . » 266

CAPITOLO VII. — **Elasticità piana in coordinate polari** . . . . . » 270

1 - Le componenti di deformazione . . . . . » 270
2 - Le relazioni di Lamé e di Hooke . . . . . » 272
3 - Le equazioni indefinite di equilibrio delle forze elastiche . » 272
4 - La condizione di compatibilità . . . . . » 274
5 - La funzione di Airy. . . . . » 276
6 - Simmetria centrale . . . . . » 276
7 - Alcune applicazioni . . . . . » 277

B) TEORIA DELLE LASTRE PER LE STRUTTURE IDRAULICHE

CAPITOLO VIII. — **Il regime statico di membrana** . . . . . *Pag.* 288

1 - Le lastre e le membrane: campo dei problemi che verranno trattati . . . . . » 288

2 - Le sollecitazioni e gli sforzi . . . . . *Pag.* 290
3 - Il regime statico di membrana . . . . . » 293
4 - Lo stato di sforzo intorno ad un punto della membrana » 294
5 - Le superfici di rivoluzione . . . . . » 296
6 - Le azioni attive sulla membrana . . . . . » 298
7 - Le equazioni di equilibrio delle forze elastiche della membrana e la loro risoluzione . . . . . » 299
8 - Casi particolari: pressione normale uniforme o idrostatica, peso proprio; cilindro, cono, sfera . . . . . » 302
9 - La equazione globale d'equilibrio - Reazioni di sostegno . » 309
10 - Alcuni dettagli per la membrana sferica . . . . . » 312
11 - Le condizioni di equilibrio ai bordi ed il perturbamento del regime membrana . . . . . » 316
12 - Le caratteristiche della deformazione e le loro correlazioni con gli sforzi . . . . . » 320

CAPITOLO IX. — **Il regime elastico flessionale** . . . . . » 330

1 - La piastra circolare caricata con distribuzione simmetrica » 330
2 - Le equazioni di equilibrio in regime flessionale delle lastre di rivoluzione. . . . . » 336
3 - Osservazioni generali sulla soluzione del problema flessionale . . . . . » 338
4 - Metodo generale di integrazione . . . . . » 339
5 - La lastra cilindrica . . . . . » 343
6 - La lastra conica . . . . . » 352
7 - La lastra sferica . . . . . » 359
8 - Lastre di forme diverse dalla cilindrica, conica e sferica » 366
9 - Le condizioni di bordo . . . . . » 366
10 - Le travi ad anello . . . . . » 369
11 - Applicazioni numeriche . . . . . » 370

Bibliografia . . . . . » 386

PARTE TERZA

ELEMENTI DI MECCANICA DELLE TERRE

CAPITOLO I. — **Caratteristiche fisiche generali delle terre** . . . . . *Pag.* 389

1 - La genesi delle rocce sciolte . . . . . » 389
2 - La geotecnica . . . . . » 390
3 - Terre incoerenti e coerenti. . . . . » 391
4 - Le fasi costitutive delle terre . . . . . » 392
5 - I caratteri generali della fase solida . . . . . » 394

CAPITOLO II. — **Le terre plastiche** . . . . . » 400

1 - I materiali argillosi . . . . . » 400
2 - I minerali argillosi . . . . . » 401
3 - L'acqua adsorbita. . . . . » 408
4 - Gli ioni scambiabili . . . . . » 409
5 - Le forze fra le particelle . . . . . » 410
6 - La struttura . . . . . » 412

7 - Il ritiro . . . . . *Pag.* 413
8 - Il rigonfiamento . . . . . » 415
9 - La plasticità e la consistenza . . . . . » 416

CAPITOLO III. — **Le azioni meccaniche dell'acqua** . . . . . » 420

1 - La capillarità . . . . . » 420
2 - Le pressioni intergranulari e le pressioni interstiziali con acqua in quiete . . . . . » 425
3 - Le azioni dell'acqua in moto . . . . . » 428
4 - Le sovrapressioni interstiziali . . . . . » 429

CAPITOLO IV. — **Le deformazioni sotto carico** . . . . . » 435

1 - La comprimibilità . . . . . » 435
2 - La consolidazione dei materiali argillosi . . . . . » 436
3 - La teoria della consolidazione . . . . . » 443
4 - Il costipamento . . . . . » 450

CAPITOLO V. — **La resistenza al taglio** . . . . . » 454

1 - La legge di Coulomb . . . . . » 454
2 - La prova di taglio diretto . . . . . » 456
3 - La prova triassiale . . . . . » 458
4 - I caratteri generali di resistenza delle terre incoerenti . . » 460
5 - I caratteri generali di resistenza delle terre coerenti . . . 463
6 - L'effetto della preconsolidazione . . . . . » 469
7 - Le argille sensibili . . . . . » 470

CAPITOLO VI. — **Gli stati limiti di equilibrio di un ammasso semi-infinito** . . . . . » 472

1 - Le relazioni generali determinatrici degli stati di tensione e di deformazione di un mezzo continuo . . . . . » 472
2 - Gli stati limiti di equilibrio degli ammassi di terra . . . » 473
3 - Alcune osservazioni sul cerchio di Mohr . . . . . » 474
4 - Definizione degli stati critici in un punto . . . . . » 475
5 - Gli stati critici in un ammasso omogeneo seminfinito limitato da un piano . . . . . » 477
6 - Caso di piano limite orizzontale . . . . . » 480
7 - Caso di materiale incoerente (stati limiti lineari di Rankine) . . . . . » 480
8 - Caso di materiali coerenti . . . . . » 485
9 - Stati limiti contro una parete rigida con attrito . . . . . » 489
10 - Indeterminazione degli stati di equilibrio a riposo . . . . » 494

CAPITOLO VII. — **La stabilità dei rilevati** . . . . . » 495

1 - Le frane dei rilevati . . . . . » 495
2 - Basi generali delle analisi di stabilità dei rilevati . . . . » 496
3 - La forma della superficie di rottura, i metodi e l'indice di stabilità . . . . . » 497
4 - Il metodo per elementi . . . . . » 500
5 - Il metodo del circolo d'attrito (metodo globale). Impostazione . . . . . » 505
6 - Analisi delle forze . . . . . » 507
7 - Le relazioni risolutive . . . . . » 510

8 - Caso di scarpata rettilinea e di cerchio di scorrimento per il piede . . . . . *Pag.* 514
9 - Caso di materiale incoerente . . . . . » 516
10 - Caso di materiale senza attrito . . . . . » 517
11 - Esempio numerico . . . . . » 521
12 - Caso di rilevato eterogeneo . . . . . » 523
13 - Esempio numerico . . . . . » 527

CAPITOLO VIII. — **La spinta sui muri di sostegno** . . . . . » 530

1 - La teoria di Coulomb . . . . . » 530
2 - La teoria di Rankine . . . . . » 533
3 - La teoria di Terzaghi . . . . . » 534

Bibliografia . . . . . » 537

PARTE QUARTA

ELEMENTI DELLA ANALISI STATISTICA DEI RISULTATI DELLE OSSERVAZIONI E DELLE ESPERIENZE

CAPITOLO I. — **Introduzione** . . . . . *Pag.* 541

1 - I fenomeni . . . . . » 541
2 - La ricerca delle leggi dei fenomeni . . . . . » 542
3 - Il fattore casuale . . . . . » 543
4 - La rappresentazione e l'analisi statistica dei dati di osservazione . . . . . » 545

CAPITOLO II. — **Cenni di calcolo delle probabilità** . . . . . » 546

1 - Gli eventi casuali . . . . . » 546
2 - Le probabilità . . . . . » 548
3 - I princìpi della probabilità totale e della probabilità composta . . . . . » 550
4 - La formula di Bayes . . . . . » 555
5 - Le variabili casuali discrete . . . . . » 557
6 - La funzione di distribuzione . . . . . » 557
7 - Le misure della distribuzione della probabilità . . . . . » 559
8 - Il teorema di Bienaymé-Tchebycheff . . . . . » 562
9 - La variabile casuale di Bernoulli e la variabile casuale binomiale. La distribuzione di probabilità di Poisson. La distribuzione di probabilità ipergeometrica . . . . . » 562
10 - Il teorema di Bernoulli . . . . . » 566
11 - L'espressione asintotica della probabilità della variabile casuale binomiale . . . . . » 566
12 - Sistemi continui di eventi . . . . . » 570
13 - La variabile casuale continua . . . . . » 572
14 - La distribuzione normale unidimensionale . . . . . » 574
15 - Trasformazione di distribuzioni generiche in normali standardizzate. La distribuzione logaritmica normale. La distribuzione « gamma » . . . . . » 575
16 - Le variabili casuali pluridimensionali . . . . . » 579
17 - La variabile casuale bidimensionale . . . . . » 580

18 - I momenti della variabile casuale bidimensionale . . . . *Pag.* 584
19 - Alcune proprietà della media e della varianza della variabile casuale bidimensionale . . . . . » 586
20 - La distribuzione normale bidimensionale . . . . . » 588
21 - La variabile casuale multinomiale . . . . . » 591
22 - La variabile casuale chiquadro . . . . . » 592
23 - La variabile casuale « F » di Fisher . . . . . » 595
24 - La variabile casuale « t » di Student . . . . . » 597

CAPITOLO III. — **L'ordinamento e la descrizione statistica delle osservazioni** . . . . . » 600

1 - Le osservazioni dei fenomeni . . . . . » 600
2 - Le serie temporali . . . . . » 601
3 - Le frequenze . . . . . » 603
4 - Medie, varianze e covarianze . . . . . » 605
5 - Linee di frequenza . . . . . » 607
6 - Le frequenze cumulate, la funzione di distribuzione e la linea di graduazione . . . . . » 608
7 - La linea di concentrazione . . . . . » 610
8 - Gli indici statistici - Indici di posizione . . . . . » 613
9 - Indici di variabilità . . . . . » 614
10 - Regole pratiche per il calcolo della media, della varianza, delle concentrazioni . . . . . » 616

CAPITOLO IV. — **I campioni ed i tests statistici** . . . . . » 622

1 - La campionatura . . . . . » 622
2 - L'universo e i campioni . . . . . » 624
3 - I campioni come variabile casuale . . . . . » 626
4 - L'induzione statistica . . . . . » 631
5 - La stima dei parametri dell'universo . . . . . » 632
6 - I tests statistici . . . . . » 637
7 - Avvertenze particolari sui tests . . . . . » 648
8 - Il test della media per distribuzioni normali . . . . . » 649
9 - Il test della varianza per distribuzioni normali . . . . . » 654
10 - Confronto di due campioni in base alla varianza . . . . » 655
11 - Confronto di due campioni in base alle medie . . . . . » 656
12 - Il test di uguaglianza delle varianze di più universi . . . » 658
13 - I tests non parametrici. I tests basati sulle frequenze . . » 661
14 - Il test chiquadro sulla conformità ad una ipotesi di distribuzione . . . . . » 661
15 - Il test chiquadro sulla omogeneità di sequenze e sulla indipendenza di due variabili . . . . . » 668
16 - Il test chiquadro relativamente alla mediana . . . . . » 673
17 - Il test di Kolmogorov-Smirnov . . . . . » 675
18 - Il controllo della casualità; tests del numero di iterazioni, del numero dei punti di svolta e della media dei quadrati delle differenze successive . . . . . » 677
19 - I tests non parametrici relativi agli ordinamenti. I tests di controllo della omogeneità di campioni indipendenti; il test della somma dei ranghi, il test di Wald-Wolfowitz, il test di Mann-Whitney ed il test di Kruskal-Wallis . . . . » 684
20 - Controllo della omogeneità di campioni dipendenti; il test del segno delle differenze, il test di Wilcoxon e il test di Friedman . . . . . » 690

CAPITOLO V. — **La analisi della varianza - La analisi della regressione lineare** . . . . . *Pag.* 696

1 - L'analisi della varianza . . . . . » 696
2 - Test sulla uguaglianza delle medie di più universi normali di uguale varianza . . . . . » 699
3 - Test sulla uguaglianza delle medie di due gruppi di dati campionari . . . . . » 701
4 - Test di omogeneità con due fattori casuali . . . . . » 703
5 - Test di omogeneità con tre fattori casuali. . . . . » 704
6 - La correlazione. La regressione lineare con una variabile indipendente . . . . . » 707
7 - La regressione lineare con due variabili indipendenti . . . » 714

CAPITOLO VI. — **La analisi degli esperimenti su fattori** . . . . . » 719

1 - Gli esperimenti su fattori . . . . . » 719
2 - Il controllo dello schema dei fattori . . . . . » 720
3 - I trattamenti e le strutture delle risposte . . . . . » 721
4 - Caratteri dell'analisi degli esperimenti su fattori . . . . . » 722
5 - L'analisi delle medie. I confronti . . . . . » 723
6 - La formazione dei confronti per due sole modalità dei fattori . . . . . » 724
7 - L'ortogonalità dei confronti . . . . . » 731
8 - La formazione dei confronti con tre modalità dei fattori » 731
9 - La disposizione del calcolo per la determinazione algebrica dell'effetto dei fattori . . . . . » 735
10 - L'analisi degli effetti dei fattori con il test della « t » di Student . . . . . » 736
11 - Esempio di analisi delle medie con il test della « t » di Student . . . . . » 739
12 - La decomposizione della devianza per le classificazioni monovalenti. . . . . » 741
13 - La decomposizione della devianza per le classificazioni bivalenti. . . . . » 742
14 - La decomposizione della devianza per le classificazioni trivalenti. . . . . » 745
15 - La decomposizione della devianza per le classificazioni concatenate . . . . . » 746
16 - Esempi della disposizione dei calcoli per la decomposizione della devianza . . . . . » 747
17 - L'analisi della varianza col test della « F » di Fisher . . . » 754
18 - Esempio di analisi della varianza col test della « F » di Fisher . . . . . » 757

Bibliografia . . . . . » 761