

Fondazioni

Grazie alle differenti competenze degli Autori, quest'opera presenta in modo unitario i criteri, geotecnici e strutturali, di dimensionamento e verifica delle strutture di fondazione. Essa si rivolge sia agli studenti del corso di Ingegneria, sia ai professionisti che avvertono l'esigenza di avere un testo che tenga conto dei contributi più recenti in materia. Oltre agli argomenti tradizionalmente svolti nei corsi di Fondazioni, il testo presenta un capitolo dedicato alla patologia strutturale e numerosissime schede dedicate ai particolari costruttivi, nella convinzione che questi aspetti siano lo strumento più efficace per garantire la qualità del progetto e la durabilità delle opere.

Renato Lancellotta
è professore ordinario di Fondazioni presso il Politecnico di Torino.

Josè Calavera
è professore ordinario di Costruzioni e Prefabbricazione Edilizia presso l'Università di Madrid.

- ▶ Print On Demand **McGraw-Hill**
- ▶ www.mcgraw-hill.it
- ▶ www.ateneonline.it



€ 45,00 (i.i.)

In copertina: V. Stepanova, Disegno per stoffa, 1924 (particolari)

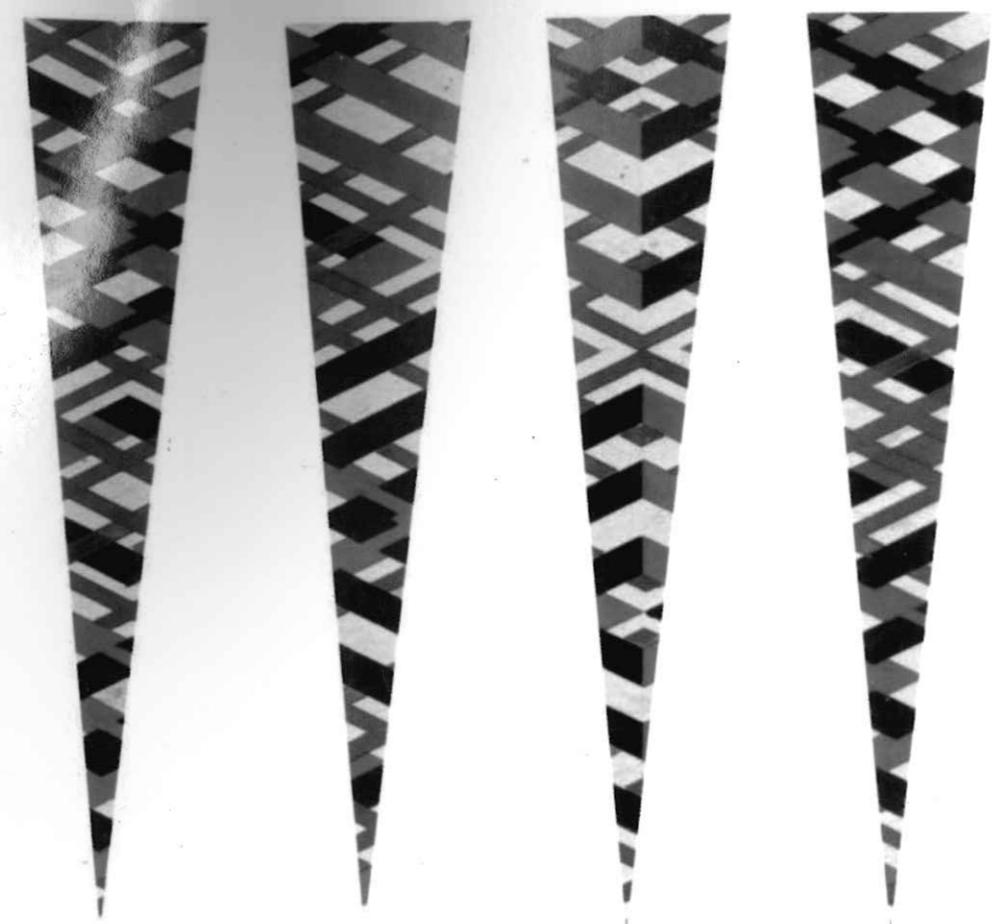
Ingegneria civile

Renato Lancellotta José Calavera
Fondazioni



Renato Lancellotta
José Calavera

Fondazioni



McGraw-Hill

collana di istruzione scientifica
serie di ingegneria civile

Renato Lancellotta
José Calavera

Fondazioni

McGraw-Hill

Milano • New York • San Francisco • Washington D.C. • Auckland
Bogotá • Lisboa • London • Madrid • Mexico City • Montreal
New Delhi • San Juan • Singapore • Sydney • Tokyo • Toronto

Indice

Gli Autori *XV*

Prefazione *XVII*

Ringraziamenti *XXI*

Guida all'uso del testo *XXIII*

Capitolo 1

Introduzione: requisiti di progetto, indagini, caratteri dei depositi naturali *1*

- 1.1 Introduzione *1*
- 1.2 Piano dell'opera *2*
- 1.2.1 Organizzazione del testo *3*
- 1.3 Requisiti di progetto *4*
- 1.4 Le indagini *5*
- 1.4.1 Estensione dell'indagine *6*
- 1.4.2 Profili e sezioni stratigrafiche *7*
- 1.5 Mezzi di indagine *11*
- 1.5.1 Trincee esplorative *12*
- 1.5.2 Sondaggi *12*
- 1.5.3 Sondaggi eseguiti con elica *12*
- 1.5.4 Sondaggi a percussione *14*
- 1.5.5 Sondaggi a rotazione *14*
- 1.5.6 Stabilizzazione del foro *15*
- 1.6 Prelievo di campioni *16*
- 1.6.1 Caratteristiche dei campionatori *16*
- 1.7 La misura della pressione dell'acqua interstiziale *20*
- 1.7.1 Principi di funzionamento e modalità di installazione dei piezometri *20*
- 1.7.2 Tempi di risposta dei piezometri *22*

Copyright © 1999 The McGraw-Hill Companies, S.r.l.
Publishing Group Italia
Via Ripamonti, 89 - 20139 Milano

I diritti di traduzione, di riproduzione, di memorizzazione elettronica e di adattamento totale e parziale con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche) sono riservati per tutti i Paesi.

McGraw-Hill



A Division of the McGraw-Hill Companies

Impaginazione: Danilo Facca
Grafica di copertina: 46 xy studio, Milano
Stampa: Prontostampa, Verdellino (BG)

ISBN 978-13-088-6921-6
1ª edizione novembre 1999
Printed in Italy

51
MGA 8-9-2020

- 1.7.3 Un esempio di misure sperimentali della pressione interstiziale 25
- 1.8 Le prove in sito 27
 - 1.8.1 Prove penetrometriche dinamiche 30
 - 1.8.2 Prove penetrometriche statiche 31
 - 1.8.3 Prove eseguite con il piezocono 33
 - 1.8.4 Prove dilatometriche 35
 - 1.8.5 Prove scissometriche 35
 - 1.8.6 Prove pressiometriche 36
 - 1.8.7 Prove di carico su piastra 37
 - 1.8.8 Prove cross-hole e down-hole 37
- 1.9 Caratteri dei depositi naturali 37
 - 1.9.1 Sedimentazione dei granuli argillosi 39
 - 1.9.2 Depositi marini 42
 - 1.9.3 Depositi alluvionali 43
 - 1.9.4 Depositi lacustri e palustri 43
 - 1.9.5 Depositi glaciali 43
 - 1.9.6 Depositi eolici 43
- Bibliografia essenziale 44

Appendice 1.A

**Un'applicazione della teoria dell'elasticità:
determinazione dello stato di sforzo in un mezzo omogeneo,
prodotto da carichi applicati alla frontiera 45**

- 1.A.1 Il problema di Boussinesq 45
- 1.A.2 Limiti del modello di semispazio omogeneo 53

Capitolo 2

Comportamento meccanico delle terre 55

- 2.1 Natura e composizione dei terreni 55
 - 2.1.1 Conseguenze della natura particellare dei terreni 56
 - 2.1.2 Identificazione e classificazione dei terreni 62
 - 2.1.3 Limiti di Atterberg 64
 - 2.1.4 Carta di plasticità di Casagrande 67
- 2.2 Pressione interstiziale e tensioni efficaci 68
 - 2.2.1 Pressione dell'acqua associata alla capillarità 73
- 2.3 Storia tensionale 76
 - 2.3.1 Depositi normalconsolidati 76
 - 2.3.2 Depositi preconsolidati 78
 - 2.3.3 Preconsolidazione dovuta a fenomeni viscosi 79
 - 2.3.4 Terreni sabbiosi 79
 - 2.3.5 Sequenza degli eventi 79
- 2.4 Rappresentazione dei percorsi tensionali 82

- 2.4.1 Condizioni idrauliche drenate e non drenate 84
- 2.5 Compressibilità 85
 - 2.5.1 Compressione isotropa 86
 - 2.5.2 Deformazioni elastiche e deformazioni plastiche 87
 - 2.5.3 Dipendenza della risposta meccanica dalle condizioni di stato 88
 - 2.5.4 Prove edometriche 89
 - 2.5.5 Compressibilità in sito 92
 - 2.5.6 Consolidazione secondaria 94
- 2.6 Resistenza al taglio 94
 - 2.6.1 Prova triassiale 95
 - 2.6.2 Superficie di snervamento 98
 - 2.6.3 Comportamento stabile, comportamento instabile, stato critico 99
 - 2.6.4 Criteri di normalizzazione dei risultati sperimentali 100
 - 2.6.5 Criterio di rottura di Mohr-Coulomb 101
 - 2.6.6 Resistenza al taglio delle sabbie 105
 - 2.6.7 Determinazione della densità relativa da prove in sito 105
 - 2.6.8 Resistenza al taglio delle argille tenere 108
 - 2.6.9 Condizioni di picco delle argille consistenti 110
 - 2.6.10 Instabilità meccanica delle argille molto consistenti 111
- 2.7 Resistenza al taglio non drenata 113
 - 2.7.1 Resistenza non drenata da prove in sito 115
- 2.8 Deformabilità 116
 - 2.8.1 Determinazione in sito del modulo G 118
 - 2.8.2 Modelli di comportamento per le analisi nella fase di esercizio 120
- Bibliografia essenziale 120

Capitolo 3

La misura della sicurezza e le basi del dimensionamento agli stati limite 123

- 3.1 La misura della sicurezza 123
 - 3.1.1 Grandezze aleatorie 124
 - 3.1.2 Indice di affidabilità 126
 - 3.1.3 Interpretazione geometrica dell'indice di affidabilità 130
 - 3.1.4 Gli Eurocodici 131
- 3.2 Le azioni 134
 - 3.2.1 Valore caratteristico delle azioni 135
- 3.3 Proprietà dei materiali 136
 - 3.3.1 Proprietà del calcestruzzo 136
 - 3.3.2 Specifiche relative al confezionamento del calcestruzzo 140
 - 3.3.3 Acciai per le strutture di calcestruzzo semplice armato 142

- 3.3.4 Classificazione degli acciai in base alla duttilità 144
- 3.3.5 Acciai per strutture di calcestruzzo armato precompresso 144
- 3.4 Requisiti di progetto delle strutture di fondazione 147
- 3.5 Il metodo degli stati limite 148
- 3.5.1 Basi generali del metodo 148
- 3.5.2 Definizione di stato limite 149
- 3.6 Applicazione del metodo degli stati limite 150
- 3.7 Combinazione delle azioni 153
- 3.8 Capacità resistente di una sezione di calcestruzzo armato allo stato limite ultimo per flessione e sforzo assiale 157
- 3.9 Capacità resistente delle sezioni precomprese 159
- 3.10 Alcune considerazioni sulla durabilità 159
- 3.10.1 Meccanismi di aggressione 160
- 3.10.2 Precauzioni 161
- Bibliografia essenziale 163

Appendice 3.A**Combinazione semplificata delle azioni agenti su strutture ordinarie 165**

- Stati limite ultimi 165
- Stati limite di esercizio 165

Appendice 3.B**Margini di sicurezza nei confronti di sovraccarichi 167****Capitolo 4****Spinta delle terre: applicazioni della teoria della plasticità e progetto delle strutture di sostegno 169**

- 4.1 Introduzione 169
- 4.2 I teoremi della plasticità 170
- 4.2.1 Teorema del limite superiore 171
- 4.2.2 Teorema del limite inferiore 173
- 4.2.3 Meccanismi di collasso 174
- 4.2.4 Energia dissipata 175
- 4.3 Discontinuità dello stato di sforzo 177
- 4.4 Sforzi coniugati in un pendio infinito 180
- 4.5 Strutture di sostegno e calcolo delle spinte 183
- 4.5.1 Il calcolo delle spinte: teoria di Rankine 184
- 4.5.2 La presenza della coesione 186
- 4.5.3 Analisi di stabilità in condizioni non drenate 187
- 4.5.4 La teoria di Coulomb 187

- 4.5.5 Metodo delle caratteristiche 188
- 4.5.6 Influenza dei movimenti della struttura sul regime di spinta 192
- 4.5.7 Spinte indotte da sovraccarichi 192
- 4.6 Influenza dell'acqua sul regime delle spinte e interventi di drenaggio 194
- 4.6.1 Condizioni di equilibrio in presenza di filtrazione 196
- 4.6.2 Gradiente idraulico critico 199
- 4.6.3 Equazione del moto stazionario 205
- 4.6.4 Condizioni al contorno 207
- 4.7 Le verifiche di sicurezza 211
- 4.7.1 Analisi di stabilità dei muri a gravità 211
- 4.7.2 Reazioni del terreno in condizioni di esercizio 213
- 4.7.3 Distribuzione delle reazioni del terreno nella configurazione di stato limite ultimo 215
- 4.7.4 Predimensionamento dei muri a gravità 215
- 4.8 I muri a mensola: abachi di predimensionamento 217
- 4.8.1 Verifiche di sicurezza e in fase di servizio dei muri a mensola 222
- 4.8.2 Dimensionamento e verifica degli elementi strutturali 223
- 4.9 Muri a contrafforti 231
- 4.9.1 Disposizioni generali 232
- 4.9.2 Il progetto strutturale 232
- 4.10 Criteri di dimensionamento e verifica dei diaframmi 239
- 4.10.1 Analisi dello stato di sollecitazione 243
- 4.10.2 Aspetti esecutivi 244
- 4.11 Scavi puntellati 244
- 4.12 Ulteriori considerazioni sulla misura della sicurezza 247
- Bibliografia essenziale 250

Capitolo 5**Fondazioni dirette: capacità portante, cedimenti, teoria della consolidazione 253**

- 5.1 Introduzione 253
- 5.2 Capacità portante in condizioni non drenate 253
- 5.3 Capacità portante in condizioni drenate 261
- 5.3.1 Valutazione del contributo dovuto al sovraccarico 263
- 5.3.2 Valutazione del contributo dovuto alla coesione 266
- 5.3.3 Valutazione del contributo dovuto al peso proprio 268
- 5.4 Analisi di routine in condizioni drenate 269
- 5.5 Analisi di routine in condizioni non drenate 271
- 5.6 Scelta dei parametri di resistenza al taglio 273
- 5.7 Le strutture nella fase di esercizio 275
- 5.7.1 Cedimenti delle fondazioni su argille 277
- 5.7.2 Cedimenti delle fondazioni su sabbie 282
- 5.7.3 Rotazione di una fondazione rigida 291

- 5.8 Il decorso dei cedimenti nel tempo 291
- 5.8.1 Teoria monodimensionale 292
- 5.9 Consolidazione in presenza di dreni verticali 295
- 5.9.1 Influenza del rimaneggiamento del terreno e della resistenza idraulica del dreno 298
- 5.9.2 Un esempio di applicazione della tecnica di precarico in presenza di dreni 299
- 5.10 Scavi sotto falda 302
- 5.10.1 Scavi aperti in terreni coesivi 303
- 5.10.2 Scavi aperti in terreni non coesivi 310
- 5.10.3 Dimensionamento del sistema idraulico per l'abbassamento della falda 312
- Bibliografia essenziale 315

Appendice 5.A Compattazione 316

Capitolo 6 Interazione struttura-terreno 319

- 6.1 Introduzione 319
- 6.2 La formulazione del problema di interazione e l'individuazione delle configurazioni limite 319
- 6.3 La trave su suolo elastico 322
- 6.3.1 Considerazioni sul modello del terreno 330
- 6.4 Le fondazioni a graticcio 331
- 6.5 Le piastre circolari 334
- 6.5.1 Mezzo elastico di spessore limitato 337
- 6.5.2 Mezzo eterogeneo 340
- 6.6 Le piastre rettangolari soggette a carico distribuito 342
- 6.6.1 Piastre rettangolari caricate lungo il bordo 345
- 6.7 La piastra di estensione infinita soggetta a un carico puntuale 348
- Bibliografia essenziale 350

Capitolo 7 Le fondazioni su pali 351

- 7.1 Introduzione 351
- 7.2 Carico limite di un palo 353
- 7.2.1 Pali in terreni coesivi: portata di base 354
- 7.2.2 Pali in terreni coesivi: portata per attrito laterale 355
- 7.2.3 Portata di base dei pali infissi in terreni sabbiosi 359
- 7.2.4 Attrito laterale dei pali infissi in sabbie 362

- 7.2.5 Portata di base dei pali trivellati 364
- 7.2.6 Portata per attrito laterale dei pali trivellati 365
- 7.3 Cedimento di un palo isolato 365
- 7.3.1 Palo rigido 366
- 7.3.2 Palo flessibile 367
- 7.4 Attrito negativo 369
- 7.5 Comportamento dei pali in gruppo 371
- 7.6 Pali sollecitati da forze ortogonali all'asse 373
- 7.7 Analisi delle palificate 375
- 7.8 Orientamenti attuali nel calcolo delle palificate 384
- 7.9 Micropali 386
- Bibliografia essenziale 392

Capitolo 8 Dimensionamento e verifica delle strutture di fondazione e aspetti esecutivi 395

- 8.1 Introduzione 395
- 8.2 Fondazioni nastriformi 395
- 8.2.1 Diagnosi dei principali meccanismi di rottura 397
- 8.2.2 Fondazioni rigide 398
- 8.2.3 Fondazioni flessibili 401
- 8.3 Criteri di dimensionamento dei plinti isolati 404
- 8.3.1 Dimensionamento dei plinti rigidi 405
- 8.3.2 Plinti flessibili 406
- 8.3.3 Plinti soggetti a carico eccentrico 409
- 8.3.4 Raccomandazioni esecutive 412
- 8.3.5 Travi di collegamento dei plinti 412
- 8.4 Fondazioni a plinto sul perimetro 416
- 8.4.1 Dimensionamento del plinto zoppo 418
- 8.4.2 Dimensionamento di un plinto zoppo con trave di centramento 419
- 8.5 Plinti di spigolo 422
- 8.6 Fondazione combinata 425
- 8.7 Travi continue 429
- 8.8 I graticci 432
- 8.9 Le platee 434
- 8.9.1 Distribuzione dell'armatura di flessione 438
- 8.9.2 Verifica a punzonamento 439
- 8.10 Fondazioni su pali 439
- 8.10.1 Pali eseguiti senza asportazione di terreno 439
- 8.10.2 Pali eseguiti con asportazione di terreno 440
- 8.11 Le strutture di collegamento dei pali: considerazioni preliminari 446
- 8.11.1 Dimensionamento dei plinti su pali 446
- Bibliografia essenziale 452

Capitolo 9**Patologia strutturale 455**

- 9.1 Introduzione 455
- 9.2 Valori di soglia dei cedimenti 455
- 9.3 Cedimenti differenziali dei serbatoi metallici 458
- 9.4 Erosione localizzata intorno alle pile dei ponti 462
- 9.5 Cedimenti prodotti da scavi in superficie 468
- 9.6 Cedimenti indotti da scavi in sotterraneo 469
- 9.7 Stabilità dell'equilibrio 474
- 9.8 Un esempio di particolare interesse:
la Cattedrale Metropolitana di Città del Messico 478
Bibliografia essenziale 494

Appendice 9.A**Schede di identificazione dei danni strutturali in alcuni casi ricorrenti 495****Appendice A****Richiami di meccanica dei mezzi continui 501**

- A.1 Premessa 501
- A.2 Simbologia 502
- A.3 Operazioni tra vettori e tensori 504
- A.4 Operazioni differenziali 508
- A.5 Relazioni generali 510

Appendice B**Descrizione macroscopica del mezzo poroso e teoria della consolidazione 517**

- B.1 Descrizione macroscopica del mezzo poroso 518
 - B.1.1 Bilancio di massa 518
 - B.1.2 Bilancio della quantità di moto 519
- B.2 Teoria tridimensionale di Biot 521
- B.3 Formulazione lagrangiana
della consolidazione monodimensionale 523
- B.4 Struttura dell'equazione della consolidazione 526
 - B.4.1 Soluzione dell'equazione della consolidazione 527
- B.5 Consolidazione in condizioni assialsimmetriche 530

Appendice C**Abachi e diagrammi 535****Appendice D****Dettagli costruttivi 547****Bibliografia generale 583**

- Meccanica teorica 586
- Il mezzo poroso: filtrazione stazionaria
e processi di consolidazione 589
- Indagini e prove in sito 591
- Studi sperimentali del comportamento meccanico delle terre 594
- Scavi, spinta delle terre, opere di sostegno 598
- Fondazioni dirette: interazione struttura-terreno, cedimenti
e capacità portante 599
- Fondazioni su pali 601
- Miglioramento dei terreni 604
- Stabilità dei pendii 604
- Analisi di affidabilità e aspetti strutturali 605
- Opere in vera grandezza, patologia, interventi di rinforzo 606

Indice analitico 609