

john atkinson



geotecnica

meccanica delle terre e fondazioni

McGraw-Hill Libri Italia srl

Milano • New York • St. Louis • San Francisco • Oklahoma City • Auckland
Bogotá • Caracas • Hamburg • Lisboa • London • Madrid • Montreal • New Delhi Pa-
ris • San Juan • São Paulo • Singapore • Sydney • Tokyo • Toronto

| | | |
|--------------------------------------|---|-----------|
| Presentazione dell'edizione italiana | XIII | |
| Prefazione | XVII | |
| Nota sulle unità di misura | XIX | |
| Glossario dei simboli | XX | |
| L'alfabeto greco | XXIV | |
| 1 | Introduzione all'ingegneria geotecnica | 1 |
| 1.1 | Che cos'è l'ingegneria geotecnica? | 1 |
| 1.2 | Ruolo dell'ingegneria | 3 |
| 1.3 | Settori della meccanica | 4 |
| 1.4 | Relazioni costitutive | 6 |
| 1.5 | Peculiarità del comportamento dei terreni | 8 |
| 1.6 | Opere geotecniche | 9 |
| 1.7 | Coefficienti di sicurezza | 10 |
| 1.8 | Sommario | 12 |
| 2 | Richiami di meccanica | 15 |
| 2.1 | Introduzione | 15 |
| 2.2 | Tensioni e deformazioni | 16 |
| 2.3 | Deformazione piana e simmetria assiale | 17 |
| 2.4 | Meccanica del corpo rigido | 18 |
| 2.5 | Analisi degli stati di tensione | 20 |
| 2.6 | Analisi degli stati di deformazione | 21 |
| 2.7 | Angolo d'attrito mobilitato e dilatanza | 23 |
| 2.8 | Superfici di scorrimento | 25 |
| 2.9 | Sommario | 26 |
| 3 | Richiami sul comportamento meccanico dei materiali | 29 |
| 3.1 | Legame tensioni-deformazioni, rigidezza e resistenza | 29 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.2 | Scelta dei parametri di tensione e deformazione | 31 |
| 3.3 | Relazioni costitutive | 34 |
| 3.4 | Resistenza | 35 |
| 3.5 | Elasticità | 38 |
| 3.6 | Plasticità perfetta | 39 |
| 3.7 | Comportamento combinato elasto-plastico | 42 |
| 3.8 | Effetti del tempo e della velocità di deformazione | 46 |
| 3.9 | Sommario | 47 |
| 4 | La struttura della Terra | 51 |
| 4.1 | Introduzione | 51 |
| 4.2 | La crosta terrestre | 51 |
| 4.3 | Processi geologici | 53 |
| 4.4 | Stratigrafia ed età dei terreni e delle rocce | 54 |
| 4.5 | Ambiente di deposizione | 56 |
| 4.6 | Eventi geologici recenti | 58 |
| 4.7 | Importanza della geologia nell'ingegneria geotecnica | 60 |
| 5 | Classificazione dei terreni | 63 |
| 5.1 | Identificazione e classificazione | 63 |
| 5.2 | Identificazione dei terreni | 64 |
| 5.3 | Forma e dimensioni delle particelle, curva granulometrica | 67 |
| 5.4 | Proprietà dei terreni a grana fina | 69 |
| 5.5 | Volume specifico, contenuto d'acqua e peso dell'unità di volume | 70 |
| 5.6 | Limiti di consistenza = <i>Atterberg</i> | 72 |
| 5.7 | Stato di addensamento e consistenza | 73 |
| 5.8 | Origine dei terreni | 75 |
| 5.9 | Semplici esercizi pratici | 76 |
| 5.10 | Sommario | 76 |
| 6 | Pressioni interstiziali, tensioni efficaci e condizioni di drenaggio | 83 |
| 6.1 | Introduzione | 83 |
| 6.2 | Tensioni nel terreno | 83 |
| 6.3 | Regime di falda e pressioni interstiziali | 84 |
| 6.4 | Tensioni efficaci | 86 |
| 6.5 | Importanza delle tensioni efficaci | 88 |
| 6.6 | Influenza delle tensioni efficaci | 89 |
| 6.7 | Variazioni di volume e condizioni di drenaggio | 91 |
| 6.8 | Condizioni drenate, condizioni non drenate e consolidazione | 92 |
| 6.9 | Velocità di applicazione dei carichi e condizioni di drenaggio | 95 |
| 6.10 | Sommario | 98 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 7 | Prove di laboratorio | 103 |
| 7.1 | Scopo della sperimentazione in laboratorio | 103 |
| 7.2 | Prove standard specifiche | 104 |
| 7.3 | Prove di classificazione | 105 |
| 7.3.1 | Determinazione della curva granulometrica | 105 |
| 7.3.2 | Misura del contenuto d'acqua e del peso specifico | 106 |
| 7.3.3 | Determinazione dei limiti di <i>Atterberg</i> | 106 |
| 7.4 | Misura del coefficiente di permeabilità | 108 |
| 7.4.1 | Prova di permeabilità a carico costante | 108 |
| 7.4.2 | Prova di permeabilità a carico variabile | 109 |
| 7.5 | Principali caratteristiche delle prove meccaniche | 110 |
| 7.6 | Prova di compressione monodimensionale e consolidazione (prova edometrica) | 112 |
| 7.7 | Prove di taglio | 113 |
| 7.8 | Prova di compressione triassiale convenzionale | 115 |
| 7.9 | Cella triassiale idraulica - prove a percorso di sollecitazione controllato | 117 |
| 7.10 | Alcuni commenti sulle prove di laboratorio | 120 |
| 7.11 | Sommario | 121 |
| 8 | Compressione e rigonfiamento | 129 |
| 8.1 | Introduzione | 129 |
| 8.2 | Compressione e rigonfiamento isotropi | 130 |
| 8.3 | Sovraconsolidazione | 133 |
| 8.4 | Stati a sinistra e a destra della linea di stato critico | 135 |
| 8.5 | Compressione e rigonfiamento monodimensionali | 137 |
| 8.6 | Esperienze di laboratorio sulla compressione e il rigonfiamento | 142 |
| 8.7 | Sommario | 142 |
| 9 | Resistenza dei terreni allo stato critico | 147 |
| 9.1 | Comportamento dei terreni in prove di taglio | 147 |
| 9.2 | Resistenza di picco, ultima e residua | 150 |
| 9.3 | Stato critico | 151 |
| 9.4 | Resistenza non drenata | 153 |
| 9.5 | Normalizzazioni | 155 |
| 9.6 | Resistenza dei terreni in condizioni di stato critico - prove triassiali | 157 |
| 9.7 | Relazioni tra la resistenza misurata in prove di taglio e in prove triassiali | 162 |
| 9.8 | Semplici esperimenti per la determinazione della resistenza dei terreni in condizioni di stato critico | 163 |
| 9.9 | La coesione nei terreni | 165 |
| 9.10 | Stima dei parametri di stato critico da prove di identificazione | 166 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 9.10.1 | Limiti di consistenza, resistenza non drenata e contenuto d'acqua | 166 |
| 9.10.2 | Compressibilità (C_c o λ) | 167 |
| 9.10.3 | Posizione della linea di stato critico (Γ o e_F) | 168 |
| 9.10.4 | Angolo d'attrito in condizioni di stato critico | 169 |
| 9.10.5 | Rigonfiamento e ricomprensione | 169 |
| 9.11 | Sommario | 170 |
| 10 | Condizioni di picco | 177 |
| 10.1 | Introduzione | 177 |
| 10.2 | Criterio di resistenza di Mohr-Coulomb – prove di taglio | 178 |
| 10.3 | Criterio di resistenza di Mohr-Coulomb – prove triassiali | 181 |
| 10.4 | Criterio di resistenza curvilineo | 183 |
| 10.5 | Condizioni di picco e dilatanza | 184 |
| 10.6 | Variazione delle condizioni di picco al variare delle condizioni iniziali | 188 |
| 10.7 | Sommario | 191 |
| 11 | Comportamento dei terreni prima della rottura | 197 |
| 11.1 | Introduzione | 197 |
| 11.2 | Stati a destra e a sinistra della retta di stato critico | 198 |
| 11.3 | La superficie limite di stato | 201 |
| 11.4 | Comportamento elastico e stati all'interno della superficie di stato | 203 |
| 11.5 | Carico non drenato sulla superficie di stato | 206 |
| 11.6 | Rapporto delle tensioni e dilatanza | 209 |
| 11.7 | Comportamento rammollente e bande di taglio | 210 |
| 11.8 | Sommario | 211 |
| 12 | Modelli di comportamento meccanico Cam clay | 217 |
| 12.1 | Introduzione | 217 |
| 12.2 | Caratteristiche essenziali dei modelli della famiglia di Cam clay | 218 |
| 12.3 | La superficie di stato nel modello Cam clay iniziale | 218 |
| 12.4 | Calcolo delle deformazioni plastiche | 220 |
| 12.5 | Snervamento e incrudimento | 222 |
| 12.6 | Equazioni costitutive del modello Cam clay | 223 |
| 12.7 | Applicazioni del modello Cam clay ai problemi di ingegneria geotecnica | 224 |
| 12.8 | Sommario | 224 |
| 13 | Rigidezza | 227 |
| 13.1 | Introduzione | 227 |
| 13.2 | Rigidezza dei terreni e modello Cam clay | 227 |
| 13.3 | Rigidezza dei terreni e livello di deformazione | 229 |
| 13.4 | Deformazioni del terreno in sito | 232 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 13.5 | Misura della rigidezza dei terreni in prove di laboratorio | 233 |
| 13.6 | Rigidezza dei terreni a deformazioni piccole e molto piccole | 236 |
| 13.6.1 | Rigidezza dei terreni a deformazioni molto piccole | 236 |
| 13.6.2 | Rigidezza dei terreni a piccole deformazioni | 237 |
| 13.7 | Modellazione numerica | 238 |
| 13.8 | Sommario | 239 |
| 14 | Consolidazione | 241 |
| 14.1 | Processi di consolidazione | 241 |
| 14.2 | Teoria della consolidazione unidimensionale | 242 |
| 14.3 | Isocrone | 244 |
| 14.4 | Proprietà delle isocrone | 245 |
| 14.5 | Soluzione della consolidazione unidimensionale con isocrone paraboliche | 247 |
| 14.5.1 | Caso $t = t_n < t_c$ | 247 |
| 14.5.2 | Caso $t = t_m > t_c$ | 249 |
| 14.6 | Altre soluzioni per la consolidazione unidimensionale | 251 |
| 14.7 | Determinazione di c_v da prove edometriche | 252 |
| 14.7.1 | Metodo della radice quadrata del tempo | 252 |
| 14.7.2 | Metodo del logaritmo decimale del tempo | 253 |
| 14.8 | Applicazione dei carichi con continuità e consolidazione | 254 |
| 14.9 | Sommario | 256 |
| 15 | Invecchiamento e struttura dei terreni naturali | 261 |
| 15.1 | Caratteristiche dei terreni naturali | 261 |
| 15.2 | Formazione dei terreni naturali: consolidazione e rigonfiamento unidimensionali | 262 |
| 15.3 | Invecchiamento | 265 |
| 15.4 | Vibrazione e compattazione | 265 |
| 15.5 | Deformazioni viscosse (CAEEP) | 266 |
| 15.6 | Cementazione | 267 |
| 15.7 | Alterazione | 269 |
| 15.8 | Variazioni di salinità | 269 |
| 15.9 | Sommario | 270 |
| 16 | Indagini | 271 |
| 16.1 | Introduzione | 271 |
| 16.2 | Obiettivi delle indagini geotecniche | 272 |
| 16.3 | Pianificazione e conduzione delle indagini | 274 |
| 16.3.1 | Studio a tavolino | 274 |
| 16.3.2 | Indagine preliminare | 274 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 16.3.3 | Indagine di dettaglio | 275 |
| 16.4 | Scavi di saggio, perforazioni e campionamento | 275 |
| 16.4.1 | Trincee di saggio | 275 |
| 16.4.2 | Perforazioni e sondaggio | 276 |
| 16.4.3 | Campionamento | 277 |
| 16.5 | Prove in sito | 278 |
| 16.5.1 | Prove penetrometriche | 279 |
| 16.5.2 | Prove di carico | 280 |
| 16.6 | Stati del terreno nel sottosuolo | 282 |
| 16.7 | Rilievo della falda e misure di permeabilità | 283 |
| 16.8 | Presentazione dei risultati dell'indagine | 283 |
| 16.8.1 | Rendiconto delle operazioni | 286 |
| 16.8.2 | Relazione interpretativa | 286 |
| 16.9 | Sommario | 289 |
| 17 | Moti di filtrazione stazionaria | 289 |
| 17.1 | Regime di falda | 289 |
| 17.1.1 | Condizioni idrostatiche | 289 |
| 17.1.2 | Condizioni di flusso stazionario | 290 |
| 17.1.3 | Processi di consolidazione | 290 |
| 17.2 | Problemi pratici di filtrazione | 292 |
| 17.3 | Moti di filtrazione in regime stazionario | 294 |
| 17.4 | Flusso piano attraverso una rete idrodinamica elementare | 296 |
| 17.5 | Reti idrodinamiche per moti di filtrazione piana | 299 |
| 17.6 | Sifonamento ed erosione | 301 |
| 17.7 | Filtrazione in un mezzo poroso anisotropo | 301 |
| 17.8 | Sommario | 305 |
| 18 | Metodi dell'analisi limite | 305 |
| 18.1 | Introduzione | 306 |
| 18.2 | I teoremi dell'analisi limite | 308 |
| 18.3 | Cinematismi di collasso compatibili | 310 |
| 18.4 | Lavoro degli sforzi interni e delle forze esterne | 313 |
| 18.5 | Applicazioni del teorema dell'estremo superiore al calcolo del carico limite di una fondazione superficiale | 315 |
| 18.6 | Discontinuità statiche | 318 |
| 18.7 | Applicazione del teorema dell'estremo inferiore al calcolo del carico limite di una fondazione superficiale | 321 |
| 18.8 | Ventagli di discontinuità cinematiche e statiche | 325 |
| 18.9 | Applicazione dei teoremi dell'analisi limite al calcolo del carico limite di una fondazione superficiale utilizzando ventagli di discontinuità statiche e cinematiche | 325 |
| 18.9.1 | Estremo superiore ottenuto utilizzando un ventaglio di discontinuità cinematiche | 326 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 18.9.2 | Estremo inferiore ottenuto utilizzando un ventaglio di discontinuità statiche | 326 |
| 18.10 | Sommario | 327 |
| 19 | Equilibrio limite | 337 |
| 19.1 | Metodo dell'equilibrio limite | 338 |
| 19.2 | Semplici soluzioni ottenute con il metodo dell'equilibrio limite | 340 |
| 19.3 | Analisi del cuneo di Coulomb | 345 |
| 19.4 | Superficie di scorrimento circolare in condizioni non drenate | 346 |
| 19.5 | Superficie di scorrimento circolare in condizioni drenate - metodo dei conci | 348 |
| 19.5.1 | Metodo svedese | 349 |
| 19.5.2 | Il metodo di Bishop | 350 |
| 19.6 | Altre applicazioni del metodo dell'equilibrio limite | 351 |
| 19.7 | Considerazioni conclusive | 352 |
| 19.8 | Sommario | 359 |
| 20 | Stabilità dei pendii | 359 |
| 20.1 | Introduzione | 360 |
| 20.2 | Tipi di frane | 361 |
| 20.3 | Modifiche dello stato tensionale nei pendii | 364 |
| 20.4 | Influenza della falda sulla stabilità dei pendii | 366 |
| 20.5 | Scelta dei parametri di resistenza e del coefficiente di sicurezza | 369 |
| 20.6 | Stabilità di un pendio indefinito | 369 |
| 20.6.1 | Condizioni non drenate | 372 |
| 20.6.2 | Condizioni drenate in assenza di filtrazione (pendio asciutto) | 374 |
| 20.6.3 | Condizioni drenate - Flusso stazionario | 376 |
| 20.7 | Stabilità di un fronte di scavo verticale | 378 |
| 20.8 | Abachi di stabilità | 379 |
| 20.8.1 | Numero di stabilità in condizioni non drenate | 379 |
| 20.8.2 | Numero di stabilità in condizioni drenate | 380 |
| 20.9 | Comportamento di scavi di piccole dimensioni | 382 |
| 20.10 | Sommario | 385 |
| 21 | Spinta delle terre e stabilità delle strutture di sostegno | 385 |
| 21.1 | Introduzione | 386 |
| 21.2 | Tipi di strutture di sostegno | 387 |
| 21.3 | Meccanismi di collasso delle strutture di sostegno | 388 |
| 21.4 | Variazioni di stato tensionale nel terreno adiacente a una struttura di sostegno | 392 |
| 21.5 | Influenza dell'acqua sulla stabilità delle opere di sostegno | 393 |
| 21.6 | Calcolo della spinta del terreno - condizioni drenate | 393 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 21.7 | Calcolo della spinta del terreno – condizioni non drenate | 394 |
| 21.8 | Stabilità globale | 396 |
| 21.8.1 | Paratie ancorate | 397 |
| 21.8.2 | Paratie a sbalzo | 398 |
| 21.8.3 | Muri di sostegno a gravità | 399 |
| 21.9 | Scelta dei parametri di resistenza e del coefficiente di sicurezza | 400 |
| 21.10 | Sommario | 401 |
| 22 | Carico limite e cedimenti delle fondazioni superficiali | 407 |
| 22.1 | Tipi di fondazioni | 407 |
| 22.2 | Comportamento delle fondazioni | 409 |
| 22.3 | Variazione dello stato tensionale in prossimità di una fondazione | 411 |
| 22.4 | Carico limite delle fondazioni superficiali | 412 |
| 22.4.1 | Carico limite in condizioni non drenate | 412 |
| 22.4.2 | Carico limite in condizioni drenate | 413 |
| 22.5 | Scelta dei parametri di resistenza e del coefficiente di sicurezza per le fondazioni | 415 |
| 22.6 | Fondazioni superficiali su sabbia | 416 |
| 22.7 | Fondazioni su suolo elastico | 417 |
| 22.8 | Cedimenti delle fondazioni - caso unidimensionale | 421 |
| 22.9 | Sommario | 423 |
| 23 | Fondazioni su pali | 429 |
| 23.1 | Tipi di fondazioni su pali | 429 |
| 23.2 | Resistenza alla punta del palo singolo | 431 |
| 23.3 | Resistenza laterale del palo singolo | 432 |
| 23.4 | Prove di carico su pali e formule dinamiche | 434 |
| 23.5 | Carico limite di pali in gruppo | 435 |
| 23.6 | Sommario | 436 |
| 24 | Modelli geotecnici in centrifuga | 439 |
| 24.1 | I modelli fisici in ingegneria | 439 |
| 24.2 | Criteri di similitudine e analisi dimensionale | 440 |
| 24.3 | Scala dei modelli in geotecnica | 440 |
| 24.4 | Scopi della modellazione fisica | 444 |
| 24.4.1 | Studio di meccanismi di collasso | 444 |
| 24.4.2 | Validazione di analisi numeriche | 444 |
| 24.4.3 | Studi parametrici | 445 |
| 24.4.4 | Studio di casi particolari | 445 |
| 24.5 | Centrifughe geotecniche | 445 |
| 24.6 | Sistemi di controllo e strumentazione | 448 |
| 24.7 | Sommario | 448 |
| 25 | Considerazioni conclusive | 451 |