

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	
<b>1</b>	<b>Introduzione all'ingegneria geotecnica</b>	<b>1</b>
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
<b>2</b>	<b>Richiami di meccanica</b>	<b>15</b>
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
<b>3</b>	<b>Richiami sul comportamento meccanico dei materiali</b>	<b>29</b>
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
<b>4</b>	<b>La struttura della Terra</b>	<b>51</b>
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
<b>5</b>	<b>Classificazione dei terreni</b>	<b>63</b>
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
<b>6</b>	<b>Pressioni interstiziali, tensioni efficaci e condizioni di drenaggio</b>	<b>83</b>
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

<b>7</b>	<b>Prove di laboratorio</b>	<b>103</b>
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
<b>8</b>	<b>Compressione e rigonfiamento</b>	<b>129</b>
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
<b>9</b>	<b>Resistenza dei terreni allo stato critico</b>	<b>147</b>
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 $\lambda$ )	167
9.10.3	Posizione della linea di stato critico ( $\Gamma$ 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
<b>10</b>	<b>Condizioni di picco</b>	<b>177</b>
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
<b>11</b>	<b>Comportamento dei terreni prima della rottura</b>	<b>197</b>
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
<b>12</b>	<b>Modelli di comportamento meccanico Cam clay</b>	<b>217</b>
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
<b>13</b>	<b>Rigidezza</b>	<b>227</b>
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
<b>14</b>	<b>Consolidazione</b>	<b>241</b>
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
<b>15</b>	<b>Invecchiamento e struttura dei terreni naturali</b>	<b>261</b>
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
<b>16</b>	<b>Indagini</b>	<b>271</b>
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
<b>17</b>	<b>Moti di filtrazione stazionaria</b>	<b>289</b>
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
<b>18</b>	<b>Metodi dell'analisi limite</b>	<b>305</b>
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
<b>19</b>	<b>Equilibrio limite</b>	<b>337</b>
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
<b>20</b>	<b>Stabilità dei pendii</b>	<b>359</b>
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
<b>21</b>	<b>Spinta delle terre e stabilità delle strutture di sostegno</b>	<b>385</b>
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
<b>22</b>	<b>Carico limite e cedimenti delle fondazioni superficiali</b>	<b>407</b>
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
<b>23</b>	<b>Fondazioni su pali</b>	<b>429</b>
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
<b>24</b>	<b>Modelli geotecnici in centrifuga</b>	<b>439</b>
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
<b>25</b>	<b>Considerazioni conclusive</b>	<b>451</b>