

INDICE

INDICE	I
PRESENTAZIONE	IX
PREFAZIONE	XI

CAPITOLO 1

DESCRIZIONE GEOTECNICA E CLASSIFICAZIONE DELLE ROCCE	1
1. Introduzione	1
2. Caratteristiche del materiale roccioso	1
2.1 Definizione petrografica	1
2.2 Composizione mineralogica	4
2.3 Caratteristiche tessiturali	4
2.4 Grado di alterazione	4
2.5 Proprietà indice	5
3. Caratteristiche delle discontinuità	11
3.1 Giacitura	12
3.2 Sistematicità	15
3.3 Spaziatura	15
3.4 Estensione	18
3.5 Scabrezza	18
3.6 Apertura	19
3.7 Riempimento	19
3.8 Stato di alterazione delle pareti	20
3.9 Tecniche di rilievo strutturale in roccia	20
4. Classifiche tecniche degli ammassi rocciosi	21
4.1 Rock Quality Designation (RQD)	22
4.2 Velocità delle onde e rapporto di velocità	22
4.3 Rock Mass Rating (RMR)	23
4.4 NGI o Rock Quality Index (Q)	26
4.5 GSI (Geological Strength Index)	31
Bibliografia	37

CAPITOLO 2

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA E DEFORMABILITA' DELLE ROCCE	39
1. Introduzione	39
2. Prove di resistenza e deformabilità in laboratorio	41
2.1 Prova di compressione uniassiale	41
2.2 Prova di trazione	45
2.3 Prova di flessione	46
2.4 Prova di carico puntuale	48
2.5 Prova di compressione triassiale	49
3. Resistenza dei materiali rocciosi	51
3.1 Comportamento dei materiali rocciosi	51
3.2 Superfici limite di resistenza e di plasticizzazione	52
3.3 Criteri di resistenza	53
3.3.1 Criterio di resistenza di Griffith	54
3.3.2 Criterio di resistenza di Mohr-Coulomb	55

3.3.3	Criterio di resistenza di Hoek-Brown	57
3.3.4	Criteri di resistenza in condizioni residue	59
3.4	Criteri di resistenza e snervamento per rocce tenere	60
3.5	Influenza dell'acqua interstiziale	61
3.6	Rocce anisotrope	64
4.	Resistenza delle discontinuità	66
4.1	Prova di taglio	66
4.2	Comportamento di discontinuità senza riempimento	67
4.3	Criteri di resistenza di discontinuità scabre	69
4.3.1	Criterio di resistenza di Barton	71
4.3.2	Effetto scala	73
4.3.3	Modello costitutivo di Barton-Bandis	75
4.4	Comportamento di discontinuità con riempimento	77
4.5	Ondulazione	79
5.	Resistenza degli ammassi rocciosi	80
5.1	Comportamento degli ammassi rocciosi	80
5.2	Criteri di resistenza	83
5.2.1	Criteri di resistenza in condizioni residue	88
6.	Deformabilità dei materiali rocciosi	88
6.1	Rocce isotrope	88
6.2	Rocce anisotrope	90
7.	Deformabilità delle discontinuità	93
7.1	Deformabilità normale	94
7.2	Deformabilità a taglio	95
8.	Deformabilità degli ammassi rocciosi	95
8.1	Metodi di misura	95
8.2	Comportamento deformativo	99
8.2.1	Modelli di deformabilità anisotropa	101
8.2.2	Esempio di misure eseguite per lo scavo della caverna di S. Fiorano	103
8.3	Valutazione dei moduli dagli indici di qualità dell'ammasso roccioso	104
	Bibliografia	108

CAPITOLO 3

CARATTERISTICHE DINAMICHE DELLE ROCCE 113

1.	Introduzione	113
2.	Misura delle caratteristiche dinamiche in laboratorio	113
3.	Caratteristiche dinamiche dei materiali rocciosi	114
4.	Misura delle caratteristiche dinamiche in sito	116
5.	Caratteristiche dinamiche degli ammassi rocciosi	120
	Bibliografia	123

CAPITOLO 4

CARATTERISTICHE IDRAULICHE DELLE ROCCE 125

1.	Introduzione	125
2.	Flusso dell'acqua nei mezzi porosi o fratturati	125
3.	Misura della permeabilità	127
4.	Modelli di flusso negli ammassi rocciosi	129
5.	Influenza dello stato di sforzo	131
6.	Valori tipici della permeabilità	133
	Bibliografia	135

CAPITOLO 5

CARATTERISTICHE E METODI DI MISURA DELLO STATO DI SFORZO IN SITU

	137
1. Generalità sullo stato di sforzo naturale.....	137
2. Modello di terreno elastico	140
2.1 Piano campagna orizzontale.....	140
2.2 Piano campagna non orizzontale.....	141
3. Campo dei valori ammissibili dello sforzo naturale	142
3.1 Piano campagna orizzontale.....	142
3.2 Pendio indefinito	143
4. Metodi di misura dello stato tensionale in sito	144
4.1 Metodi di rilascio tensionale	145
4.1.1 Metodi di rilascio tensionale su parete.....	146
4.1.2 Metodi di rilascio tensionale in fori da sonda.....	148
4.1.3 Esempio di misure eseguite per lo scavo della caverna di S. Fiorano	150
4.2 Metodi di ripristino tensionale. Metodo del martinetto piatto.....	151
4.3 Fratturazione idraulica.....	153
4.4 Borehole breakouts.....	158
4.5 Altri metodi	159
4.6 Esempio di misure eseguite per lo scavo della caverna di S. Giacomo al Vomano	159
Bibliografia.....	161

CAPITOLO 6

MODELLI E METODI DI CALCOLO IN MECCANICA DELLE ROCCE

	163
1. Introduzione	163
2. Modelli costitutivi.....	165
2.1 Modelli elastici e pseudo-elastici	165
2.2 Modelli dipendenti dal tempo.....	166
2.3 Modelli elastoplastici.....	169
2.4 Modelli viscoplastici	172
3. Metodi per analisi tensio-deformative	174
3.1 Metodi analitici.....	174
3.2 Metodo degli elementi finiti (FEM)	175
3.2.1 Una analogia strutturale	175
3.2.2 Principi del metodo degli elementi finiti.....	177
3.2.3 Determinazione delle caratteristiche degli elementi	177
3.2.4 Campi di applicazione del metodo degli elementi finiti	180
3.2.4.1 Modelli elastici	180
3.2.4.2 Modelli lineari dipendenti dal tempo.....	180
3.2.4.3 Modelli non lineari	181
3.2.4.4 Modelli elastoplastici e viscoplastici.....	182
3.2.5 Problemi applicativi	182
3.2.6 Applicazione a problemi di filtrazione.....	184
3.3 Metodo degli elementi al contorno (BEM).....	186
3.4 Modelli e metodi di calcolo per mezzi discontinui	188
3.4.1 Metodo degli elementi distinti (DEM).....	188
3.4.2 Metodo dell'analisi delle deformazioni del discontinuo (DDA)	191
3.4.3 Modelli particellari.....	192

4.	Metodi per analisi di stabilità.....	194
4.1	Metodi dell'analisi limite	194
4.2	Metodi dell'equilibrio limite	196
4.3	Metodo delle caratteristiche	199
4.3.1	Equazioni differenziali dell'equilibrio plastico.....	201
4.3.2	Risoluzione numerica del problema.....	204
4.3.3	Esempi di applicazione	206
4.3.4	Determinazione del confine elastoplastico	208
5.	Modelli fisici.....	211
5.1	Principi teorici	211
5.2	Applicazioni pratiche.....	215
	Bibliografia.....	217

CAPITOLO 7

STABILITÀ DEI VERSANTI IN ROCCIA 219

1.	Introduzione	219
2.	Stabilità allo scivolamento	221
2.1	Metodi di calcolo	221
2.1.1	Metodi all'equilibrio limite	221
2.1.2	Metodi di analisi degli sforzi	222
2.2	Scivolamento in condizioni piane	224
2.2.1	Analisi generale.....	224
2.2.2	Influenza delle condizioni idrauliche	228
2.2.3	Posizione e caratteristiche della frattura di trazione	232
2.2.4	Scorrimento lungo giunti discontinui.....	233
2.2.5	Azione di tiranti o barre passive	234
2.2.6	Verifica delle condizioni di stabilità e progettazione degli interventi di rinforzo.....	236
2.2.7	Esempio di calcolo	237
2.2.8	Rottura su più piani di discontinuità: scivolamento secondo due sistemi coniugati.....	238
2.2.9	Rottura su più piani di discontinuità: rottura di cunei multipli	239
2.3	Problemi tridimensionali	242
2.3.1	Cuneo con due superfici libere.....	242
2.3.1.1	Schemi semplici.....	242
2.3.1.2	Analisi generale	246
2.3.1.3	Esempio di calcolo.....	252
2.3.2	Cunei con una faccia libera	254
3.	Stabilità al ribaltamento	256
3.1	Classificazione dei fenomeni di ribaltamento	257
3.2	Analisi del ribaltamento di blocco rigido su base rigida	258
3.3	Analisi di pendii costituiti da più blocchi.....	260
3.3.1	Analisi all'equilibrio limite di un sistema di blocchi rigidi	262
3.3.2	Analisi all'equilibrio limite del ribaltamento flessionale.....	265
3.4	Influenza delle condizioni idrauliche sul ribaltamento	267
3.5	Definizione del coefficiente di sicurezza	270
3.6	Interventi di stabilizzazione.....	270
4.	Instabilità flessionale	272
4.1	Analisi di stabilità.....	272
5.	Meccanismi di propagazione delle frane in roccia	275

5.1	Caduta di massi.....	276
5.1.1	Aspetti generali	276
5.1.2	Analisi del moto	276
5.1.3	Osservazioni in sito	279
5.1.4	Modelli analitici	280
5.1.5	Interventi di protezione	281
5.2	Valanghe di roccia.....	287
5.2.1	Metodi di previsione empirici	287
5.3	Metodi numerici	288
	Bibliografia.....	290

CAPITOLO 8

STATICA DELLE GALLERIE

293

1.	Introduzione	293
2.	Galleria circolare in un mezzo elastico	293
2.1	Stato di sforzo originario isotropo	294
2.2	Stato di sforzo originario non isotropo	297
3.	Galleria di forma diversa dalla circolare in un mezzo elastico	300
4.	Influenza dell'anisotropia elastica del terreno	303
5.	Stato di sforzo intorno ad una galleria in un mezzo a comportamento "no-tension"	306
6.	Galleria circolare in un mezzo elastoplastico	307
6.1	Stato di sforzo originario isotropo	307
6.1.1	Campo degli sforzi	307
6.1.2	Campo delle deformazioni e degli spostamenti	314
6.2	Influenza del peso proprio del terreno.....	319
6.2.1	Campo degli sforzi	319
6.2.2	Campo delle deformazioni e degli spostamenti	326
7.	Galleria sotto falda	327
7.1	Caso elastico	329
7.2	Caso elastoplastico	332
8.	Rocce a comportamento dipendente dal tempo	336
8.1	Modelli lineari	336
8.2	Modelli non lineari	338
9.	Vuoti sferici	340
10.	Analisi delle condizioni al fronte.....	343
10.1	Comportamento elastico	343
10.2	Comportamento elastoplastico	346
11.	Interazione tra terreno e rivestimento	347
11.1	Introduzione.....	347
11.2	Curva caratteristica del rivestimento	349
11.2.1	Rigidità del rivestimento	349
11.2.2	Anello continuo di calcestruzzo	350
11.2.3	Rivestimento in conci di calcestruzzo prefabbricato	352
11.2.4	Centine	352
11.2.5	Centine deformabili.....	353
11.2.6	Ancoraggi attivi.....	353
11.2.7	Ancoraggi passivi.....	355
11.3	Curva caratteristica della galleria	360
11.4	Calcolo delle condizioni di equilibrio	363
11.4.1	Procedimento generale	363

11.4.2	Mezzo a comportamento elastico	365
11.4.3	Mezzo a comportamento viscoelastico	366
11.4.4	Mezzo a comportamento viscoplastico	369
11.5	Sollecitazioni nel rivestimento nel caso di sforzo originario non isotropo	369
12.	Condizioni di stabilità	376
12.1	Situazione piana.....	379
12.2	Stabilità del fronte	380
12.3	Influenza delle pressioni interstiziali	383
12.4	Altri meccanismi di collasso	384
12.5	Stabilità di gallerie in ammassi rocciosi con modelli di discontinuo	384
	Bibliografia	386

CAPITOLO 9

INTERVENTI DI RINFORZO DEGLI AMMASSI ROCCIOSI 389

1.	Introduzione	389
1.1	Sistemi di rinforzo e sostegno	389
2.	Ancoraggi attivi operanti prevalentemente a trazione	390
2.1	Tiranti	390
2.1.1	Progetto di un sistema di tiranti	394
2.1.2	Verifiche statiche del singolo tirante	395
2.1.3	Valutazione della resistenza nominale di aderenza.....	398
2.1.4	Prove di carico sui tiranti	402
2.2	Bulloni ad ancoraggio puntuale.....	403
2.2.1	Bulloni ad ancoraggio meccanico	403
2.2.2	Bulloni ad ancoraggio puntuale realizzato con miscele cementizie o resine	406
3.	Ancoraggi passivi operanti a trazione, flessione e taglio.....	407
3.1	Tipi di elementi di rinforzo passivi	407
3.1.1	Barre integralmente cementate.....	408
3.1.2	Chiodi ad ancoraggio meccanico per attrito	409
3.1.3	Barre in vetroresina e cavi cementati	411
3.2	Interazione tra elemento di rinforzo e discontinuità in roccia	412
3.2.1	Forze agenti e contributo alla resistenza	414
3.2.2	Interazione a trazione tra rinforzo e giunto	416
3.2.3	Interazione a taglio tra rinforzo e giunto.....	417
3.2.4	Osservazioni sperimentali	418
3.2.5	Modelli teorici delle condizioni limite della barra	420
3.2.6	Valutazione del contributo limite della barra alla resistenza del giunto ..	423
3.3	Criteri di progetto e metodi di analisi.....	426
3.3.1	Stato limite di snervamento e di rottura degli elementi di rinforzo	426
3.3.2	Metodi di analisi all'equilibrio limite e coefficienti di sicurezza	428
3.3.3	Modelli per analisi tensio-deformative	431
	Bibliografia	433

APPENDICE A

EQUAZIONI FONDAMENTALI DELLA MECCANICA DEL CONTINUO 435

1.	Introduzione	435
1.1	Equazioni di equilibrio e congruenza	435
1.2	Equazioni costitutive del mezzo elastico.....	436
1.3	Stato di deformazione piano	438

1.4	Coordinate cilindriche	440
1.5	Influenza delle pressioni interstiziali	442
2.	Equazioni relative al flusso dell'acqua	444
2.1	Flusso permanente	444
2.2	Flusso transitorio	445

APPENDICE B

LE PROIEZIONI STEREOGRAFICHE IN MECCANICA DELLE ROCCE 447

1.	Individuazione di linee e piani nello spazio	447
2.	Proiezioni stereografiche	448
2.1	Principi generali	448
2.2	Reticoli stereografici	451
2.3	Rappresentazione di una retta e di un versore	453
2.4	Rappresentazione di un piano	454
3.	Rappresentazione completa della sfera di riferimento	455
4.	Applicazioni	457
4.1	Retta di intersezione tra due piani	457
4.2	Piano passante per due rette assegnate e angoli tra le due rette	457
4.3	Piano normale a due piani assegnati e angoli tra i due piani	458
4.4	Angolo tra due rette orientate o tra piani con normale orientata	459
4.5	Rappresentazione di un cono con asse passante per il centro della sfera	460
5.	Operazioni su vettori	461
5.1	Risultante di vettori	461
5.2	Scomposizione di un vettore secondo la normale a un piano	464
6.	Rappresentazione della densità dei poli	465
7.	Determinazione del polo medio	465
	Bibliografia	468