

INDICE

Premessa

XIII

Parte I - Idrogeologia applicata

Capitolo 1 - Principi di idrogeologia 2

1.1	Elementi fondamentali del bilancio idrico	2
1.2	Delimitazione del bacino idrogeologico	3
1.3	Strutture acquifere	5
1.4	Distribuzione delle risorse idriche in Italia	8
1.5	Esempi di sistemi acquiferi significativi	11
1.5.1	Sistema idrogeologico del Gran Sasso	11
1.5.2	Sorgente Nossana	11
1.6	Proprietà idrogeologiche	13
1.6.1	Porosità totale	13
1.6.2	Porosità efficace e capacità di ritenzione	15
1.6.3	Permeabilità	17
1.6.4	Trasmissività	18
1.6.5	Portata specifica e portata unitaria	19
1.6.6	Velocità di filtrazione	19
1.6.7	Coefficiente di immagazzinamento	19
1.7	Moto delle falde	20
1.7.1	Moto laminare e moto turbolento	20
1.7.2	Falde cilindriche e falde radiali	21
1.8	Leggi della circolazione idrica sotterranea per falde cilindriche	22
1.9	Leggi della circolazione idrica sotterranea per falde radiali	22
1.9.1	Effetti prodotti da un pozzo in pompaggio	23
1.9.2	Legge d'afflusso a un pozzo in regime permanente	23
1.9.3	Legge d'afflusso a un pozzo in regime transitorio	25
1.9.4	Afflusso a più pozzi	27
1.10	Leggi della circolazione idrica sotterranea per falde radiali inclinate	27
	Bibliografia	29

Capitolo 2 - Circolazione idrica nelle pianure alluvionali 30

2.1	Rappresentazione degli acquiferi alluvionali	30
2.2	Struttura idrogeologica della Pianura Padana	31
2.3	Determinazione della permeabilità di un acquifero alluvionale	34
2.3.1	Metodo granulometrico	35
2.3.2	Metodo con permeametri	36
2.3.3	Metodo Lefranc	36
2.3.4	Metodo con prove di pompaggio	37
2.4	Determinazione della trasmissività tramite prove di pompaggio	38
2.4.1	Prova a portata costante in regime permanente	38
2.4.2	Prova a portata costante in regime transitorio	39
2.4.3	Prova di risalita	41

2.5	Studi idrogeologici per lo sfruttamento degli acquiferi alluvionali	42
	Bibliografia	43

Capitolo 3 - Circolazione idrica nelle zone montane 44

3.1	Elementi peculiari della circolazione idrica nelle rocce	44
3.2	Schema della circolazione carsica	47
3.3	Parametri caratteristici dei mezzi fessurati	49
3.3.1	Orientazione	49
3.3.2	Grado di fratturazione	50
3.3.3	Persistenza e interconnessione delle discontinuità	53
3.3.4	Apertura, rugosità e riempimento	54
3.4	Determinazione della permeabilità di un ammasso roccioso	56
3.4.1	Caratterizzazione idraulica di un ammasso roccioso fessurato	57
3.4.2	Prove di permeabilità in sito	60
3.4.3	Metodi idrogeochimici	65
3.5	Definizione del modello concettuale	66
3.6	Studio idrogeologico delle sorgenti	68
3.6.1	Valutazione della potenzialità dell'acquifero	70
3.6.2	Regime sorgivo	72
3.6.3	Rinnovamento e regolazione delle riserve idriche	74
3.6.4	Esempi di sorgenti in Lombardia	75
3.6.5	Sorgente Nossana	77
	Bibliografia	80

Capitolo 4 - Modellazione numerica degli acquiferi 82

4.1	Principi fondamentali	82
4.2	Dal modello concettuale al modello matematico	84
4.3	Implementazione e calibrazione di un modello	86
4.4	Esempi di modellazione numerica dei mezzi continui	94
4.4.1	Acquiferi in materiali alluvionali	94
4.4.2	Acquiferi in ammassi rocciosi	97
4.5	Esempi di modellazione numerica dei mezzi discontinui	100
4.6	Esempi di modelli a doppia porosità/permeabilità	100
	Bibliografia	104

Capitolo 5 - Protezione delle risorse idriche sotterranee 106

5.1	Monitoraggio degli acquiferi	107
5.2	Vulnerabilità degli acquiferi	112
5.3	Delimitazione delle zone di salvaguardia	118
5.3.1	Pozzi negli acquiferi alluvionali	122
5.3.2	Sorgenti negli acquiferi carsici e fratturati	123
5.4	Esempi di delimitazione delle zone di salvaguardia	130
5.4.1	Sorgente Nossana	130
5.4.2	Zona di recapito dell'acquifero del Gran Sasso	131
5.5	Studio e gestione delle aree contaminate	135
	Bibliografia	137

Parte II - Dinamica dei versanti

Capitolo 6 - Classificazione, riconoscimento e cause delle frane 140

6.1	Nomenclatura delle frane	140
6.2	Classificazione delle frane	143
6.2.1	Frane per crollo (<i>falls</i>)	148
6.2.2	Frane per ribaltamento (<i>topples</i>)	150

6.2.3	Frane per scorrimento (<i>slides</i>)	150
6.2.4	Frane per espansione laterale (<i>lateral spreads</i>)	152
6.2.5	Frane per colamento (<i>flows</i>)	152
6.2.6	Frane complesse (<i>complex</i>)	158
6.2.7	Fenomeni superficiali	158
6.2.8	Fenomeni di erosione superficiale e accelerata	160
6.2.9	Deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV)	162
6.3	Cause di franamento	166
6.3.1	Fattori che contribuiscono all'aumento degli sforzi tangenziali mobilitati	166
6.3.2	Fattori che contribuiscono alla diminuzione della resistenza al taglio del materiale	168
	Bibliografia	168

Capitolo 7 - Indagini da eseguire in aree franose

7.1	Rilievi di superficie	170
7.1.1	Definizione dell'assetto litostratigrafico e strutturale dell'ammasso roccioso	171
7.1.2	Definizione della forma e dell'estensione dei dissesti	171
7.1.3	Definizione dei cinematismi	173
7.2	Indagini profonde	174
7.3	Caratterizzazione tecnica dei materiali	174
7.4	Criteri di rottura per terreni e rocce	176
7.4.1	Criterio di rottura di Mohr-Coulomb	176
7.4.2	Criterio di rottura di Hoek e Brown per roccia intatta	178
7.4.3	Criterio di rottura di Hoek e Brown per ammasso roccioso	179
7.5	Criteri di rottura per le discontinuità	182
7.5.1	Criterio di Patton	183
7.5.2	Relazione di Barton	184
7.5.3	Criterio di Ladanyi e Archambault	186
7.6	Esempio di ricostruzione del modello concettuale di una frana: Maierato, 2010	187
7.6.1	Rilievi di superficie	188
7.6.2	Indagini profonde e prove di laboratorio	191
7.6.3	Modello concettuale della frana	191
	Bibliografia	194

Capitolo 8 - Studio delle condizioni di stabilità dei versanti

8.1	Metodi di analisi	195
8.1.1	Metodi all'equilibrio limite	195
8.1.2	Metodi numerici	196
8.2	Analisi di stabilità per scivolamenti traslazionali nei terreni	197
8.3	Analisi di stabilità per scivolamenti traslazionali nelle rocce	199
8.3.1	Scivolamento di un blocco isolato	200
8.3.2	Scivolamento di un blocco intatto di roccia lungo una superficie piana	201
8.4	Analisi di stabilità per scivolamenti a cuneo	207
8.4.1	Analisi frizionale in condizioni asciutte	207
8.4.2	Analisi in presenza di coesione e acqua	212
8.5	Analisi di stabilità per ribaltamento	213
8.5.1	Analisi di stabilità al ribaltamento di singoli blocchi	215
8.6	Analisi di stabilità per scivolamenti rotazionali	219
8.6.1	Analisi in condizioni non drenate per materiali omogenei	219
8.6.2	Analisi in condizioni drenate per materiali omogenei	220
8.6.3	Analisi per casi complessi	222
8.7	Analisi della dinamica evolutiva dei crolli in roccia	227
8.7.1	Dinamica del fenomeno	227
8.7.2	Cause del distacco	228
8.7.3	Caduta libera	230

8.7.4	Impatto e rimbalzo	231
8.7.5	Rotolamento e scivolamento	234
8.8	Analisi delle condizioni di innesco, propagazione e arresto delle colate detritiche	235
8.8.1	Formazione di un debris flow	235
8.8.2	Propagazione dei debris flow	238
8.8.3	Arresto dei debris flow	239
	Bibliografia	241

Capitolo 9 - Principi e metodi per l'analisi del rischio di franamento

		243
9.1	Definizioni	243
9.2	Delimitazione delle aree a rischio geologico	245
9.2.1	Acquisizione dati	245
9.2.2	Organizzazione e gestione dei dati	247
9.3	Metodologie per la valutazione del rischio	248
9.3.1	Valutazione dell'intensità del fenomeno	248
9.3.2	Valutazione della pericolosità	251
9.3.3	Metodi per la valutazione della pericolosità a scala regionale	252
9.3.4	Metodi per la valutazione della pericolosità a scala di versante	255
9.3.5	Valutazione degli elementi a rischio	257
9.3.6	Valutazione della vulnerabilità	257
9.4	Gestione e mitigazione del rischio	260
9.5	Esempio di valutazione della pericolosità di frana a scala provinciale	262
	Bibliografia	269

Capitolo 10 - Opere di stabilizzazione e sistemazione dei pendii

		270
10.1	Interventi sulla geometria del pendio	271
10.2	Opere per ridurre l'erosione al piede dei versanti da parte dei corsi d'acqua	272
10.2.1	Opere longitudinali	272
10.2.2	Opere trasversali	272
10.3	Opere di sostegno	274
10.4	Opere di drenaggio	280
10.4.1	Opere di drenaggio superficiali	281
10.4.2	Opere di drenaggio profonde	282
10.5	Trattamenti del terreno	287
10.6	Interventi di rinforzo	292
10.7	Interventi di stabilizzazione superficiale	295
10.8	Opere di protezione passiva	296
	Bibliografia	298

Capitolo 11 - Monitoraggio delle frane

		299
11.1	Grandezze da misurare, frequenza e tipologia di misure	300
11.2	Ubicazione e distribuzione dei punti di monitoraggio	303
11.3	Monitoraggio geodetico	304
11.3.1	Misure puntuali	305
11.3.2	Misure distribuite	308
11.4	Monitoraggio geotecnico	310
11.4.1	Strumenti per la misura degli spostamenti in superficie	310
11.4.2	Strumenti per la misura degli spostamenti in profondità	312
11.4.3	Strumenti per la misura delle pressioni neutre e del livello di falda	315
11.4.4	Piezometri idraulici a tubo aperto	316
11.4.5	Piezometri idraulici a circuito chiuso	317
11.5	Monitoraggio idrometeorologico	317
11.6	Esempio di monitoraggio: la frana di crollo del San Martino, Lecco	318

11.6.1	Interventi di mitigazione del rischio e monitoraggio	319
11.7	Considerazioni conclusive sul monitoraggio	322
	Bibliografia	323

Parte III - Aspetti geologici legati alla progettazione di opere

Capitolo 12 - Strade: problemi geologici e opere di difesa 326

12.1	Scelta del tracciato e studio della sede stradale	326
12.1.1	Studio geologico in fase di progetto di fattibilità	326
12.1.2	Studio geologico in fase di progetto preliminare	327
12.1.3	Studio geologico-tecnico in fase di progetto definitivo	328
12.2	Classificazione e modalità costruttive delle strade	328
12.2.1	Strade in trincea	328
12.2.2	Strade in rilevato	329
12.2.3	Strade su viadotto o in galleria	330
12.3	Principali fattori di instabilità di una strada	330
12.3.1	Condizioni geologiche	330
12.3.2	Idrogeologia	331
12.3.3	Idrologia	331
12.3.4	Realizzazione di opere	332
12.4	Problemi geologici tipici delle strade in aree di pianura	332
12.4.1	Rischi di esondazione	332
12.4.2	Rischi di cedimenti	332
12.4.3	Scarsa soggiacenza della falda	333
12.4.4	Attraversamento di terreni ferrettizzati e colluvi	333
12.4.5	Attraversamento di archi morenici	334
12.5	Problemi geologici tipici delle strade in aree montuose	335
12.5.1	Strade di fondovalle	336
12.5.2	Strade a mezzacosta	336
12.6	Cenni all'impatto ambientale delle strade	338
12.7	Opere di difesa di una strada	338
12.7.1	Interventi di consolidamento	339
12.7.2	Interventi a protezione del solido stradale	344
12.8	Individuazione delle priorità di intervento lungo una strada	345
	Bibliografia	350

Capitolo 13 - Opere in sottoterraneo: problemi geologici 352

13.1	Terminologia	352
13.2	Introduzione ai problemi geologici tipici delle gallerie	354
13.3	Caratteristiche litologiche e strutturali	354
13.3.1	Caratteristiche litologiche	355
13.3.2	Caratteristiche strutturali	356
13.4	Assetto tettonico	358
13.4.1	Faglie	358
13.4.2	Pieghe	359
13.5	Stato di sforzo <i>in situ</i>	359
13.6	Condizioni morfologiche	360
13.6.1	Opere in sottoterraneo superficiali, parietali, profonde	360
13.6.2	Imbocchi	361
13.7	Assetto idrogeologico	363
13.7.1	Acque aggressive	364
13.8	Fenomeni di alterazione (<i>weathering</i>) e rigonfiamento (<i>swelling</i>)	365
13.8.1	Alterazione	365
13.8.2	Rigonfiamento	365

13.9	Gradiente geotermico.....	366
13.10	Aspetti sismici.....	366
13.11	Gas, radioattività e materiali pericolosi.....	367
13.11.1	Gas.....	367
13.11.2	Radon.....	368
13.11.3	Amianto.....	369
	Bibliografia.....	370

Capitolo 14 - Opere in sottterraneo: problemi ambientali..... 371

14.1	Cedimenti superficiali.....	372
14.2	Stabilità dei versanti.....	372
14.3	Interazione con le acque sotterranee.....	373
14.4	Smaltimento degli inerti.....	377
14.5	Rumore e vibrazioni durante lo scavo.....	379
	Bibliografia.....	380

Capitolo 15 - Opere in sottterraneo: indagini e classificazioni geomeccaniche..... 382

15.1	Studi geologici e indagini geognostiche.....	383
15.1.1	Caratterizzazione delle tratte a bassa copertura.....	383
15.1.2	Caratterizzazione delle tratte a copertura medio-alta.....	384
15.1.3	Indagini idrogeologiche.....	384
15.2	Caratterizzazione geologico-tecnica.....	387
15.3	Classificazioni geomeccaniche.....	388
15.3.1	Classificazione di Bieniawski (o dell'indice <i>RMR</i> , applicabile ai soli ammassi rocciosi).....	389
15.3.2	Indice <i>RME</i> (<i>Rock Mass Excavability</i>).....	390
15.3.3	Classificazione <i>Q-System</i> di Barton.....	394
15.3.4	Classificazione <i>Q_{TBM}</i>	396
15.4	Considerazioni finali sul modello concettuale di riferimento.....	399
	Bibliografia.....	400

Capitolo 16 - Opere in sottterraneo: comportamento allo scavo di terre e rocce..... 402

16.1	Concetti di base.....	402
16.1.1	Effetto scala.....	402
16.1.2	Mezzo discontinuo e mezzo continuo equivalente.....	402
16.1.3	Convergenza e confinamento.....	404
16.1.4	Profondità di escavazione.....	405
16.2	Metodi di analisi.....	406
16.2.1	<i>Block Theory</i>	406
16.2.2	Linee caratteristiche.....	408
16.2.3	Metodi numerici.....	409
16.3	Comportamento spingente (<i>squeezing</i>).....	410
16.4	Colpi di montagna (<i>rock bursts</i>).....	411
16.5	Valutazione delle venute d'acqua.....	414
	Bibliografia.....	419

Capitolo 17 - Opere in sottterraneo: metodologie di scavo e di avanzamento..... 422

17.1	Metodi di scavo.....	422
17.1.1	Metodi di scavo tradizionali.....	422
17.1.2	Metodi di scavo non tradizionali.....	425
17.2	Metodologie di avanzamento.....	429
17.2.1	Scavo a foro cieco.....	429

17.2.2 Scavo a cielo aperto.....	430
Bibliografia.....	431

Capitolo 18 - Opere in sottterraneo: metodi di consolidamento..... 432

18.1 Iniezioni.....	433
18.2 <i>Jet-grouting</i>	434
18.3 Congelamento.....	436
18.3.1 Metodo diretto.....	437
18.3.2 Metodo indiretto.....	437
18.3.3 Metodo misto.....	438
18.4 <i>Cutter Soil Mix</i> (CSM).....	439
18.5 Ancoraggi.....	441
18.5.1 Chiodi.....	441
18.5.2 Bulloni.....	444
18.5.3 Tiranti.....	445
18.6 Drenaggi.....	445
18.7 <i>Reinforced Protective Umbrella Method</i> (RPUM).....	446
18.7.1 Infilaggi.....	447
18.7.2 Volta di <i>jet-grouting</i>	447
18.7.3 Pretaglio.....	448
18.7.4 Pretunnel.....	448
18.8 Rivestimenti.....	449
18.8.1 Rivestimento di prima fase.....	450
18.8.2 Rivestimento definitivo.....	454
18.9 Arco cellulare.....	457
Bibliografia.....	459

Capitolo 19 - Opere in sottterraneo: monitoraggio e verifica del progetto..... 461

19.1 Rilevamenti geomeccanici/geotecnici.....	462
19.2 Misure di convergenza.....	462
19.3 Misure di deformazioni dell'ammasso.....	462
19.3.1 Estrusione del fronte.....	462
19.3.2 Deformazioni radiali.....	463
19.4 Misure sui rivestimenti.....	464
19.4.1 Barrette estensimetriche (<i>strain gauges</i>).....	464
19.4.2 Monitoraggio dello stato tensionale.....	464
19.5 Misure di pressione e portata d'acqua.....	465
19.5.1 Piezometri.....	466
19.6 Misure di emissioni acustiche.....	467
19.7 Monitoraggio nel caso di scavo con TBM.....	467
19.8 Monitoraggio delle zone esterne alle gallerie.....	468
19.9 Considerazioni finali sulla progettazione delle gallerie.....	468
19.9.1 Principi di resistenza ed evasione.....	468
19.9.2 Metodo A.DE.CO.R.S.....	470
Bibliografia.....	472

Capitolo 20 - Dighe: problemi e indagini geologiche..... 473

20.1 Scelta dell'ubicazione di una diga.....	474
20.2 Problemi geologici relativi alle dighe.....	474
20.2.1 Impermeabilità dell'invaso.....	475
20.2.2 Stabilità delle sponde e dei versanti che sovrastano l'invaso e lo sbarramento.....	478
20.2.3 Interrimento dell'invaso.....	479
20.2.4 Stabilità del substrato di fondazione della diga.....	481

20.2.5	Impermeabilità della soglia sulla quale va ubicata la diga.....	483
20.2.6	Reperimento di inerti da costruzione.....	485
20.2.7	Condizioni geologiche inerenti alle opere ausiliarie.....	486
20.3	Problemi geologici relativi alle dighe di subalveo.....	486
20.4	Problemi geologici relativi alle dighe in materiale sciolto.....	489
20.4.1	Dighe a scogliera e in pietrame a secco.....	489
20.4.2	Dighe in terra.....	490
20.5	Studi e indagini che vengono effettuati per la realizzazione di una diga.....	491
	Bibliografia.....	492
	Indice analitico.....	493