

a cura di

L U I S I . G O N Z Á L E Z D E V A L L E J O



G E O I N G E G N E R I A



Con la collaborazione
del Consiglio Nazionale dei Geologi

PEARSON
Prentice
Hall

SOMMARIO

PARTE I FONDAMENTI E METODI

1 INTRODUZIONE ALLA GEOINGEGNERIA

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | DEFINIZIONE E IMPORTANZA DELLA GEOINGEGNERIA | 4 |
| 1.2 | IL MEZZO GEOLOGICO ED I RAPPORTI CON L'INGEGNERIA | 7 |
| 1.3 | FATTORI GEOLOGICI E PROBLEMI GEOTECNICI | 9 |
| 1.4 | METODI E APPLICAZIONI IN GEOINGEGNERIA | 16 |
| 1.5 | FONTI DI INFORMAZIONI PER LA GEOINGEGNERIA | 17 |
| 1.6 | STRUTTURA DEL LIBRO | 18 |
| | BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA | 18 |

2 MECCANICA DEI TERRENI

| | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | INTRODUZIONE | 20 |
| | Origine e formazione delle terre | 20 |
| | I terreni in geoingegneria | 20 |
| 2.2 | DESCRIZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI | 22 |

| | | |
|--|-------------------------------------|----|
| | Tipi di terreni | 22 |
| | Distribuzione granulometrica | 24 |
| | Plasticità | 25 |
| | Condizioni dei terreni | 27 |

2.3 PERMEABILITÀ: FILTRAZIONE E RETI DI FLUSSO

| | | |
|--|--|----|
| | Carico totale. Teorema di Bernoulli | 29 |
| | L'acqua a riposo. | |
| | Pressioni idrostatiche | 30 |
| | Il flusso d'acqua nel terreno | 31 |
| | Concetti di base. | |
| | Perdite di carico e permeabilità | 31 |
| | Carico idraulico nel terreno. | |
| | Gradiente idraulico | 32 |
| | Legge di Darcy | 32 |
| | Flusso stazionario in mezzo isotropo | 33 |
| | Flusso stazionario in mezzo anisotropo | 38 |
| | Permeabilità e filtrazione nei terreni stratificati | 38 |

2.4 SFORZI EFFICACI

| | | |
|--|---|----|
| | Le fasi e la struttura del terreno | 41 |
| | Terreni saturi. Il principio degli sforzi efficaci | 43 |
| | Forze di filtrazione. Sifonamento | 46 |
| | Applicazione di carichi su terreni saturi | 52 |
| | Il concetto di consolidazione | 52 |
| | Condizioni di carico drenate e non drenate | 53 |
| | Tensioni indotte in un terreno saturo per applicazione di un carico in condizioni non drenate | 55 |

2.5 LA CONSOLIDAZIONE

| | | |
|--|---|----|
| | Terreni normalmente consolidati e terreni sovraconsolidati | 59 |
|--|---|----|

| | | | |
|--|-----|--|-----|
| Le tensioni orizzontali nel terreno | 66 | 2.9 PROBLEMI INGEGNERISTICI LEGATI AI TERRENI | 108 |
| Fattori complementari che influiscono sulla struttura e sul comportamento del terreno | 67 | Terreni con problematiche speciali | 108 |
| La prova edometrica | 67 | Argille rigonfianti | 109 |
| 2.6 RESISTENZA AL TAGLIO | 76 | Terreni dispersivi | 112 |
| Introduzione | 76 | Terreni salini e aggressivi | 112 |
| Criterio di rottura | 76 | «Permafrost» | 114 |
| La prova di taglio diretto | 77 | Fanghi e terreni soffici sensitivi | 115 |
| Comportamento dei terreni sottoposti a taglio | 80 | Terreni soggetti a liquefazione | 116 |
| Terreni granulari | 80 | BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA | 116 |
| Terreni argillosi | 83 | RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | 116 |
| La prova triassiale | 86 | | |
| Dispositivo di prova | 86 | 3 MECCANICA DELLE ROCCE | |
| Tipi di prova | 87 | | |
| La prova di compressione semplice | 91 | | |
| 2.7 INFLUENZA DELLA MINERALOGIA E DELLA STRUTTURA NELLE PROPRIETÀ GEOTECNICHE DEI TERRENI | 91 | 3.1 INTRODUZIONE | 120 |
| Minerali argillosi di interesse geotecnico | 92 | Definizioni, finalità e ambiti di studio | 120 |
| Proprietà fisico-chimiche | 94 | Rocce e terreni | 123 |
| Proprietà geotecniche e composizione mineralogica | 95 | Ammassi rocciosi | 123 |
| Microstruttura dei terreni argillosi | 96 | 3.2 PROPRIETÀ FISICHE E MECCANICHE DEI MATERIALI LAPIDEI | 127 |
| Proprietà geotecniche e microstruttura | 99 | Caratteristiche del mezzo roccioso | 127 |
| Riassunto | 100 | Proprietà fisiche della matrice rocciosa | 129 |
| 2.8 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI SEDIMENTI | 101 | Classificazione delle rocce a fini geotecnici | 134 |
| Depositi colluviali | 101 | Classificazione degli ammassi rocciosi | 134 |
| Depositi alluvionali | 102 | Alterazione meteorica dei materiali rocciosi | 136 |
| Depositi lacustri | 103 | Processi di meteorizzazione | 136 |
| Depositi litoranei | 103 | Alterazione meteorica della matrice rocciosa | 137 |
| Depositi glaciali | 104 | Alterazione meteorica degli ammassi rocciosi | 138 |
| Depositi di climi aridi e desertici | 104 | L'acqua sotterranea | 141 |
| Depositi evaporitici | 105 | Permeabilità e filtrazione d'acqua | 141 |
| Depositi dei climi tropicali | 106 | Effetti sulle proprietà degli ammassi rocciosi | 141 |
| Depositi di origine vulcanica | 106 | 3.3 TENSIONI E DEFORMAZIONI NELLE ROCCE | 143 |

| | | | |
|--|-----|---|-----|
| Forze e tensioni | 143 | Criteri di rottura per ammassi rocciosi isotropi | 195 |
| Tensioni su un piano | 145 | Criteri di rottura per ammassi rocciosi anisotropi | 201 |
| Tensioni in campo tridimensionale | 149 | Deformabilità degli ammassi rocciosi | 202 |
| Resistenza e rottura | 151 | Prove in sito per misurare la deformabilità | 203 |
| Concetti basilari | 151 | Metodi geofisici | 203 |
| Meccanismi di rottura | 153 | Correlazioni empiriche | 204 |
| Rapporti tenso-deformativi nelle rocce | 154 | Permeabilità e pressione dell'acqua | 207 |
| Criteri di resistenza | 158 | Effetto scala | 209 |
| | | | |
| 3.4 RESISTENZA E DEFORMABILITÀ DELLA MATRICE ROCCIOSA | 160 | | |
| Resistenza e parametri resistenti | 160 | 3.7 LE TENSIONI NATURALI | 216 |
| Effetto dell'anisotropia e della pressione dell'acqua sulla resistenza | 161 | Origine e natura delle tensioni | 216 |
| Criteri di rottura | 162 | Fattori geologici e morfologici che influiscono nello stato tensionale | 218 |
| Criterio di Mohr-Coulomb | 162 | Metodi di misura delle tensioni naturali | 220 |
| Criterio di Hoek e Brown | 163 | Misura della direzione degli sforzi (metodi geologici) | 220 |
| Deformabilità | 165 | Stima dell'intensità delle tensioni mediante correlazioni empiriche | 221 |
| Prove di laboratorio di resistenza e deformabilità | 165 | Metodi strumentali per misurare la direzione e l'intensità delle tensioni | 224 |
| Prova di compressione monoassiale o di compressione semplice | 167 | | |
| Prova di compressione triassiale | 172 | | |
| Prove di resistenza | 176 | 3.8 CLASSIFICAZIONI GEOMECCANICHE | 231 |
| Velocità delle onde soniche | 177 | Classificazione RMR | 232 |
| Limitazioni delle prove di laboratorio | 177 | Le classificazioni geomeccaniche nella pratica | 232 |
| | | | |
| 3.5 DISCONTINUITÀ | 178 | BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA | 236 |
| Influenza nel comportamento dell'ammasso roccioso | 178 | RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | 237 |
| Tipi di discontinuità | 180 | | |
| Caratteristiche delle discontinuità | 182 | | |
| Resistenza al taglio dei piani di discontinuità | 183 | | |
| Criterio di Barton e Choubey | 187 | | |
| Discontinuità con riempimento | 189 | | |
| Prova di resistenza al taglio in laboratorio | 189 | | |
| Permeabilità e pressione dell'acqua | 191 | | |
| | | | |
| 3.6 RESISTENZA E DEFORMABILITÀ DEGLI AMMASSI ROCCIOSI | 194 | | |
| Resistenza | 194 | | |
| | | | |
| | | 4 DESCRIZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI | |
| | | | |
| | | 4.1 METODOLOGIA E SISTEMATICA | 240 |
| | | 4.2 DESCRIZIONE E ZONAZIONE DELL'AFFIORAMENTO | 242 |

7 CARTE GEOTECNICHE

| | | |
|-----|---|-----|
| 7.1 | DEFINIZIONE | 378 |
| 7.2 | TIPOLOGIA DELLE CARTE | 378 |
| | Classificazione | 378 |
| | Contenuto delle carte geotecniche | 380 |
| | Classificazione e proprietà geotecniche del terreno e delle rocce | 380 |
| | Condizioni idrogeologiche | 383 |
| | Condizioni geomorfologiche | 384 |
| | Processi geodinamici | 384 |
| 7.3 | METODI CARTOGRAFICI | 384 |
| | Zonizzazione geotecnica | 384 |
| | Rappresentazione dei dati | 385 |
| | Cartografia informatizzata | 386 |
| | Sezioni geotecniche | 386 |
| 7.4 | RACCOLTA DI DATI | 387 |
| 7.5 | APPLICAZIONI | 388 |
| | Pianificazione | 388 |
| | Ingegneria | 391 |
| | BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA | 392 |
| | RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | 392 |

PARTE II APPLICAZIONI

8 FONDAZIONI

| | | |
|-----|---|-----|
| 8.1 | INTRODUZIONE | 396 |
| | Criteri generali di progettazione | 396 |
| | Fasi di studio | 397 |
| 8.2 | FONDAZIONI DIRETTE | 397 |
| | Tipi di fondazione | 397 |
| | Carico di rottura | 397 |
| | Definizioni di base | 399 |
| | Determinazione del carico di rottura | 400 |
| | Capacità portante in condizioni non drenate | 400 |
| | Fondazione nastriforme | 400 |
| | Fattori di correzione | 400 |
| | Capacità portante in condizioni drenate | 401 |
| | Coefficiente di sicurezza. Pressione ammissibile in relazione al cedimento | 402 |
| | Distribuzione delle pressioni alla base di una fondazione diretta | 402 |
| | Distribuzione delle tensioni nel terreno sotto aree caricate | 405 |
| | La stima dei cedimenti del terreno | 408 |
| | Considerazioni generali | 408 |
| | Cedimento immediato, di consolidazione primaria e di consolidazione secondaria | 409 |
| | Cedimento immediato e di consolidazione primaria in argille sature | 410 |
| | Cedimenti in terreni granulari | 411 |
| | Cedimenti in argille compatte | 412 |
| 8.3 | FONDAZIONI PROFONDE | 413 |
| | Tipologie di pali | 413 |
| | Palo isolato | 414 |
| | Calcolo della capacità portante di un palo | 417 |
| | Gruppo di pali | 419 |
| | Attrito negativo | 419 |
| | Spinte laterali del terreno sui pali | 420 |
| 8.4 | FONDAZIONI SUPERFICIALI SU ROCCIA | 421 |
| | Metodo di Serrano e Olalla | 421 |
| 8.5 | FONDAZIONI IN CONDIZIONI GEOLOGICHE COMPLESSE | 423 |
| | Terreni rigonfianti | 423 |
| | Terreni collassabili | 425 |
| | Cavità carsiche | 425 |

| | |
|----------------------------|-----|
| Cavità in rocce vulcaniche | 427 |
| Riporti artificiali | 427 |
| Terreni compressibili | 427 |
| 8.6 INDAGINI GEOTECNICHE | 427 |
| BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA | 430 |
| RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | 430 |

9 SCARPATE

| | |
|---|-----|
| 9.1 INTRODUZIONE | 432 |
| 9.2 INDAGINI IN SITO | 433 |
| 9.3 FATTORI CHE INFLUISCONO SULLA STABILITÀ | 434 |
| Stratigrafia e litologia | 435 |
| Struttura geologica e discontinuità | 435 |
| Condizioni idrogeologiche | 436 |
| Proprietà geomeccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi | 438 |
| Tensioni naturali | 440 |
| Altri fattori | 440 |
| 9.4 MECCANISMI DI ROTTURA | 441 |
| Scarpate in rocce sciolte | 441 |
| Scarpate in roccia | 442 |
| Rottura piana | 442 |
| Rottura a cuneo | 444 |
| Ribaltamento di strati | 445 |
| Rottura per pressoflessione | 445 |
| Rottura lungo superfici circolari | 446 |
| 9.5 ANALISI DI STABILITÀ | 447 |
| Introduzione | 447 |
| Metodi dell'equilibrio limite | 448 |
| Scarpate in materiali sciolti | 449 |
| Scarpate in roccia | 459 |
| Metodi di analisi numerica tenso-deformativa | 469 |
| Classificazione geomeccanica delle scarpate | 471 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| Indice SMR | 471 |
| 9.6 INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO | 472 |
| Introduzione | 472 |
| Metodi di consolidamento | 473 |
| Modifica della geometria | 473 |
| Drenaggi | 475 |
| Elementi strutturali resistenti | 476 |
| Muri ed elementi di contenimento | 480 |
| Opere di protezione superficiale | 481 |
| 9.7 STRUMENTAZIONE E MONITORAGGIO | 482 |
| 9.8 ESCAVAZIONI | 485 |
| Criteri di escavabilità | 486 |
| BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA | 488 |
| RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | 488 |

10 GALLERIE

| | |
|---|-----|
| 10.1 INTRODUZIONE | 490 |
| 10.2 INDAGINI IN SITO | 492 |
| 10.3 INFLUENZA DELLE CONDIZIONI GEOLOGICHE | 496 |
| Struttura geologica | 496 |
| Discontinuità | 497 |
| Resistenza della matrice rocciosa | 498 |
| Condizioni idrogeologiche | 499 |
| Struttura geologica | 501 |
| 10.4 PARAMETRI GEOMECCANICI DI PROGETTO | 502 |
| Dati geologici e geomeccanici | 502 |
| Resistenza e deformabilità | 503 |
| Entità e direzione delle tensioni naturali | 503 |
| Indice SRF | 504 |
| Metodo di Sheorey | 505 |

| | |
|--|-----|
| Portate e pressioni d'acqua | 506 |
| 10.5 CLASSIFICAZIONI GEOMECCANICHE | 510 |
| Classificazione Q | 510 |
| Struttura geologica | 510 |
| Criteri per l'applicazione delle classificazioni geomeccaniche | 516 |
| 10.6 DIMENSIONAMENTO DEI SOSTEGNI CON METODI EMPIRICI | 518 |
| Sostegni secondo l'indice RMR | 518 |
| Sostegni secondo l'indice Q | 518 |
| 10.7 CRITERI DI SCAVABILITÀ | 521 |
| 10.8 METODI DI SCAVO E DI SOSTEGNO PER GALLERIE IN ROCCIA | 523 |
| Metodi di scavo | 526 |
| Fasi di scavo | 528 |
| Elementi di sostegno | 528 |
| Il Nuovo Metodo Austriaco | 530 |
| Trattamenti speciali | 530 |
| Imbocchi | 531 |
| 10.9 METODI ESECUTIVI DI GALLERIE IN TERRENI SCIOLTI | 532 |
| Metodi non meccanizzati | 532 |
| Metodi semi-meccanici | 533 |
| Metodi di scavo meccanizzato | 534 |
| 10.10 CONSIDERAZIONI GEOLOGICO- GEOTECNICHE DURANTE LA COSTRUZIONE | 535 |
| Problemi geologico-geotecnici | 535 |
| Controllo geologico-geotecnico | 537 |
| Influenza dello scavo in strutture limitrofe | 538 |
| BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA | 540 |
| RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | 541 |

DIGHE

| | |
|---|-----|
| 11.1 INTRODUZIONE | 544 |
| 11.2 TIPOLOGIE DI DIGHE E STRUTTURE AUSILIARIE | 546 |
| Tipologie di dighe | 546 |
| Dighe in materiali sciolti | 546 |
| Dighe in muratura | 547 |
| Strutture ausiliarie | 549 |
| 11.3 GLI STUDI GEOLOGICO- GEOTECNICI: METODOLOGIA | 550 |
| 11.4 STUDI GEOLOGICI E INDAGINI IN SITO | 552 |
| 11.5 CRITERI GEOLOGICO- GEOTECNICI PER LA SCELTA DEL TIPO DI DIGA | 556 |
| Criteri generali | 556 |
| Caratteristiche dei terreni di fondazione | 557 |
| Rischio di erosione interna | 557 |
| Localazione delle strutture ausiliarie | 558 |
| Condizioni necessarie per l'esecuzione di dighe in terra | 558 |
| 11.6 MATERIALI GEOLOGICI PER LA COSTRUZIONE DI DIGHE | 560 |
| Indagine geologica per lo studio delle cave di prestito | 560 |
| Tipologia dei materiali | 560 |
| Nuclei impermeabili | 560 |
| Rinfianchi | 561 |
| Filtri e dreni | 562 |
| Inerti per calcestruzzo | 562 |
| 11.7 TENUTA IDRAULICA DEI BACINI | 563 |
| 11.8 PERMEABILITÀ DELLE SEZIONI DI SBARRAMENTO | 564 |
| Sottopressioni | 564 |
| Erosione interna | 565 |

Permeabilità e controllo della filtrazione 566

11.9 STABILITÀ DELLE SPONDE
DEI BACINI 567

11.10 CONDIZIONI GEOLOGICO-
GEOTECNICHE DEL TERRENO
DI FONDAZIONE DI UNA DIGA 569

Condizioni generali 569

Sollecitazioni prodotte 569

Distribuzione delle tensioni 572

Trattamenti 573

Problemi geologici e possibili soluzioni 576

11.11 NEOTETTONICA, SISMICITÀ
NATURALE E INDOTTA 578

BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA 581

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 581

12 STRUTTURE IN TERRA

12.1 INTRODUZIONE 582

12.2 CRITERI DI PROGETTAZIONE 583

12.3 MATERIALI 587

Rilevati 587

Rilevati in pietrame e misto granulare
(tout venant) 590

Scogliere 592

12.4 POSA IN OPERA
E CONTROLLO 592

12.5 RILEVATI SU TERRENI
COMPRESSIBILI 596

12.6 RILEVATI SU PENDIO 598

BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA 600

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 600

RIEPILOGO DELLA PARTE II 599

PARTE III RISCHI GEOLOGICI

13 PREVENZIONE DEI RISCHI GEOLOGICI

13.1 I RISCHI GEOLOGICI 610

13.2 PERICOLOSITÀ, RISCHIO
E VULNERABILITÀ 611

13.3 CRITERI DI SICUREZZA
IN GEOINGEGNERIA 615

13.4 PREVENZIONE E MITIGAZIONE
DEI RISCHI 617

13.5 CARTE DI PERICOLOSITÀ
E DI RISCHIO 618

BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA 621

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 622

14 SCIVOLAMENTI E ALTRI MOVIMENTI DI VERSANTE

14.1 INTRODUZIONE 624

14.2 MOVIMENTI DI VERSANTE 624

Tipi di movimento 625

Scivolamenti 625

Crolli 629

Valanghe di roccia 630

Espandimenti laterali 631

Cause dei movimenti di versante 631

Precipitazioni e condizioni climatiche 634

Tipo di movimento 636

Altri tipi di movimento 636

Variazioni del livello piezometrico 637

Processi erosivi 638

Terremoti 638

Fenomeni vulcanici 639

Azioni antropiche 640

| | | | |
|--|-----|---------------------------------------|-----|
| 14.3 INDAGINI SULLE FRANE | 640 | 15.3 ANALISI DELLA SISMICITÀ | 677 |
| Rilevamenti generali | 641 | 15.4 ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ | |
| Analisi dei fenomeni | 646 | SISMICA | 678 |
| Indagini di dettaglio | 647 | Metodo deterministico | 678 |
| Verifiche di stabilità | 651 | Metodi probabilistici | 680 |
| Strumentazione | 652 | 15.5 RISPOSTA SISMICA NEL SITO | 682 |
| Sistemi di allerta | 652 | Parametri sismici | |
| 14.4 MISURE DI INTERVENTO | 653 | del movimento del terreno | 682 |
| Stabilizzazione e protezione | | Terremoto di riferimento | 682 |
| da crolli rocciosi | 654 | Variazione del movimento | |
| 14.5 SPROFONDAMENTI | | del terreno per condizioni locali | 683 |
| E SUBSIDENZE | 657 | 15.6 EFFETTI INDOTTI DAI | |
| Tipi di movimento e cause | 657 | TERREMOTI NEL TERRENO | 685 |
| Sprofondamenti | 657 | Suscettività alla liquefazione | 686 |
| Subsidenze | 658 | Frane indotte da sismi | 687 |
| Indagine dei fenomeni | 661 | Rotture per faglia | 689 |
| 14.6 MISURE DI PREVENZIONE | | 15.7 APPLICAZIONI | |
| DEL RISCHIO DI FRANA | 662 | IN GEOINGEGNERIA | 690 |
| Misure di intervento | 662 | Studi di rischio sismico | |
| Carte di suscettività e di pericolosità | 663 | per la scelta dei siti | 691 |
| Carte della franosità | 664 | Microzonazione sismica | 691 |
| Carte degli sprofondamenti | | BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA | 696 |
| e delle subsidenze | 665 | RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | 696 |
| BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA | 666 | APPENDICE A | |
| RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | 666 | Tabella di conversione | |

15 RISCHIO SISMICO

| | | | |
|---|-----|-------------------------------------|-----|
| 15.1 INTRODUZIONE | 668 | Tabella di conversione | |
| 15.2 FAGLIE E TERREMOTI | 668 | delle unità di misura | |
| Le faglie come origine dei terremoti | 668 | della pressione | 697 |
| Il regime di stick-slip e il ciclo sismico | 669 | APPENDICE B | |
| Il modello delle faglie sismiche | 671 | Simboli e acronimi | 691 |
| Tassi di spostamento e periodo di ritorno | 671 | APPENDICE C | |
| Il controllo geologico dell'attività | | Permessi per la riproduzione | |
| delle faglie | 672 | delle figure | 691 |
| Lo studio delle faglie sismiche | 674 | INDICE ANALITICO | 709 |