

MAURIZIO TANZINI



# FENOMENI FRANOSI

E OPERE DI STABILIZZAZIONE



---

## INDICE

---

### I - INTRODUZIONE

1.1. Generalità .....	pag. 9
1.2. Alcuni dei tipi più frequenti di dissesto .....	» 10
1.3. La frana del Vajont .....	» 14
1.3.1. Introduzione .....	» 14
1.3.2. Aspetti generali .....	» 14
1.3.3. Inquadramento geologico .....	» 20
1.3.4. Eventi e caratteristiche che hanno influenzato la stabilità dei versanti del serbatoio .....	» 21
1.3.5. Cause della frana .....	» 24
1.3.6. Considerazioni geomeccaniche sulla frana .....	» 26
1.3.7. Lezioni apprese .....	» 42
1.3.8. Riferimenti bibliografici .....	» 44

### II - GENERALITÀ E DEFINIZIONI

2.1. Criteri di classificazione .....	» 45
2.2. Riferimenti bibliografici .....	» 54

### III - VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FRANE

3.1. Definizioni e determinazione del rischio.....	» 55
3.2. Riferimenti bibliografici .....	» 62

### IV - L'INDAGINE GEOTECNICA

4.1. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area .....	» 63
4.2. Indagini geotecniche e prove in situ .....	» 65
4.2.1. Sondaggi .....	» 70
4.2.2. Diagrafie .....	» 74
4.2.3. Prove penetrometriche statiche e piezocono .....	» 76
4.2.4. Prove penetrometriche dinamiche .....	» 81
4.3. Strumentazione geotecnica di monitoraggio .....	» 82
4.4. Riferimenti bibliografici .....	» 83

### V - CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

5.1. Natura dei terreni .....	» 85
5.2. Struttura dei terreni .....	» 86
5.3. Caratterizzazione fisica del terreno .....	» 87
5.3.1. Relazione fra le fasi .....	» 87
5.3.2. Analisi granulometrica .....	» 89
5.3.3. Limiti di Atterberg .....	» 90
5.3.4. Sistemi di classificazione .....	» 90
5.4. Analisi in sforzi efficaci o totali .....	» 92
5.5. Stati tensionali e percorsi di sollecitazione .....	» 93
5.6. Relazioni sforzi-deformazioni .....	» 94
5.7. Influenza della velocità di applicazione del carico .....	» 95
5.8. Principi di comportamento meccanico dei terreni .....	» 95
5.8.1. Terreni non coesivi saturi .....	» 96
5.8.2. Argille normalconsolidate o leggermente sovraconsolidate e limi argillosi .....	» 99
5.8.3. Argille sovraconsolidate .....	» 102
5.8.4. Argille sensitive .....	» 106
5.9. Prove di laboratorio .....	» 106
5.9.1. Prova edometrica .....	» 107

5.9.2. Prova di taglio diretto .....	pag. 109
5.9.3. Prova triassiale .....	» 110
5.10. Prove in situ .....	» 111
5.10.1. Prove penetrometriche statiche .....	» 111
5.10.1.1. Identificazione dei terreni .....	» 111
5.10.1.2. Terreni coesivi .....	» 115
5.10.1.3. Terreni non coesivi .....	» 121
5.10.2. Prove penetrometriche dinamiche .....	» 124
5.10.2.1. Terreni coesivi .....	» 124
5.10.2.2. Terreni non coesivi .....	» 124
5.10.3. Correlazione fra prove penetrometriche dinamiche SPT e statiche .....	» 127
5.11. Riferimenti bibliografici .....	» 128

## **VI - CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA**

6.1. Introduzione .....	» 131
6.2. Resistenza al taglio dei giunti .....	» 138
6.2.1. Angolo di attrito di superfici piane .....	» 138
6.2.2. Giunti scabri .....	» 138
6.2.3. Misura della scabrezza dei giunti .....	» 141
6.2.4. Giunti con materiale di riempimento .....	» 142
6.2.4.1. Fratture che hanno subito movimenti recenti .....	» 143
6.2.4.2. Fratture che non hanno subito spostamenti .....	» 144
6.2.5. Effetto dell'acqua sulla resistenza al taglio .....	» 144
6.3. Prove di laboratorio per la determinazione della resistenza al taglio .....	» 144
6.4. Resistenza al taglio di ammassi rocciosi fratturati .....	» 146
6.4.1. Determinazione della resistenza mediante analisi a ritroso di avvenute rotture .....	» 146
6.4.2. Criterio di rottura di Hoek-Brown per ammassi rocciosi fratturati .....	» 148
6.5. Riferimenti bibliografici .....	» 160

## **VII - ANALISI DI STABILITÀ DEI PENDII NATURALI IN TERRENI**

7.1. Introduzione .....	» 161
7.2. Analisi all'equilibrio limite globale .....	» 161
7.3. Soluzioni grafiche .....	» 164
7.3.1. Definizione della pendenza media del pendio, della resistenza al taglio e del peso di volume .....	» 165
7.3.2. Analisi di stabilità di un pendio indefinito .....	» 168
7.4. Calcoli manuali .....	» 169
7.5. Analisi di stabilità con programmi di calcolo .....	» 172
7.6. Analisi di pendii rinforzati .....	» 173
7.7. Analisi tridimensionali di stabilità dei pendii .....	» 175
7.8. Analisi deformazionali .....	» 176
7.9. Analisi di stabilità in condizioni sismiche .....	» 176
7.10. Riferimenti bibliografici .....	» 179

## **VIII - STABILITÀ DEI PENDII NATURALI IN ARGILLE SOVRACONSOLIDATE**

8.1. Introduzione .....	» 181
8.2. Definizioni e simboli .....	» 181
8.3. Argille sovracconsolidate .....	» 183
8.3.1. Evoluzione degli spostamenti in funzione dello sforzo di taglio. ....	» 190
8.3.2. Resistenza residua .....	» 192
8.3.3. Relazione tra la resistenza residua e la frazione argillosa .....	» 195
8.3.4. Influenza della struttura sul comportamento meccanico di una argilla naturale .....	» 197
8.3.5. Un'interessante approccio proposto da Mesri e Abdel-Ghaffar (1993) .....	» 210
8.3.6. Formazioni strutturalmente complesse a grana fine .....	» 215

8.4.	Alcuni esempi .....	pag. 220
8.4.1.	Frana di Jackfield .....	» 221
8.4.2.	Colllasso di Kensal Green (1941) .....	» 224
8.4.3.	Stabilità di alcuni pendii situati nella formazione delle argille sovraconsolidate di Lugagnano .....	» 225
8.4.4.	Stabilità a lungo termine di alcune scarpate artificiali in una argilla sovraconsolidata canadese .....	» 227
8.4.5.	Analisi deformazionale di una frana nell'argilla di Londra .....	» 232
8.5.	Riferimenti bibliografici .....	» 233

## **IX - ANALISI DI STABILITÀ DEI PENDII ROCCIOSI**

9.1.	Introduzione .....	» 235
9.2.	Rottura lungo un'unica discontinuità .....	» 239
9.2.1.	Analisi cinematica .....	» 239
9.2.2.	Analisi di stabilità .....	» 239
9.2.3.	Esempio di analisi di stabilità .....	» 241
9.3.	Stabilità di un cuneo di roccia di forma tetraedrica .....	» 244
9.3.1.	Analisi cinematica .....	» 244
9.3.2.	Analisi di stabilità .....	» 245
9.3.3.	Esempio di analisi di stabilità .....	» 246
9.4.	Dissesti per ribaltamento .....	» 248
9.4.1.	Analisi cinematica .....	» 249
9.4.2.	Analisi di stabilità .....	» 250
9.5.	Riferimenti bibliografici .....	» 252

## **X - STABILIZZAZIONE DEI PENDII IN TERRENI**

10.1.	Introduzione .....	» 253
10.2.	Interventi che permettono di ridurre le forze agenti sul pendio .....	» 253
10.2.1.	Modifica della geometria del pendio .....	» 254
10.2.2.	Drenaggi .....	» 255
10.2.2.1.	Drenaggio superficiale .....	» 255
10.2.2.2.	Drenaggio profondo .....	» 256
10.3.	Interventi che permettono di aumentare le forze resistenti .....	» 261
10.3.1.	Applicazione di forze esterne .....	» 261
10.3.1.1.	Contrafforti, berme al piede .....	» 261
10.3.1.2.	Opere di sostegno .....	» 262
10.4.	Interventi che permettono di migliorare le proprietà meccaniche .....	» 267
10.4.1.	Rinforzo dei terreni .....	» 267
10.4.2.	Stabilizzazione dei terreni mediante tecniche di ingegneria naturalistica .....	» 270
10.5.	Riferimenti bibliografici .....	» 271

## **XI - STABILIZZAZIONE DEI PENDII IN ROCCIA**

11.1	Introduzione .....	» 273
11.2.	Interventi di stabilizzazione .....	» 274
11.2.1.	Interventi di disgaggio .....	» 274
11.2.2.	Interventi di rinforzo .....	» 275
11.2.2.1.	Tipologie degli ancoraggi .....	» 277
11.2.2.2.	Criteri di progettazione dei tiranti di ancoraggio .....	» 280
11.2.2.3.	Dimensionamento degli ancoraggi passivi in barra .....	» 287
11.3.	Interventi di protezione .....	» 290
11.4.	Riferimenti bibliografici .....	» 291