

ASSOCIAZIONE MINERARIA  
SUBALPINA



G.P. Gianì

QUADERNI DI STUDI E  
DI DOCUMENTAZIONE

8

(9)

**ANALISI DI STABILITÀ DEI PENDII  
PARTE I: CLASSIFICAZIONE DEI FENOMENI  
DI INSTABILITÀ, PENDII NATURALI  
E FRONTI DI SCAVO IN ROCCIA**

DIPARTIMENTO INGEGNERIA STRUTTURALE  
POLITECNICO DI TORINO  
BIBLIOTECA  
N. inventario 1449 NL  
Collocazione 06.09/N.88

Supplemento al *BOLLETTINO*



## INDICE

1.	<b>Definizione del problema, classificazione dei movimenti franosi</b> .....	Pag. 11
1.1	Pendii naturali .....	Pag. 11
1.2	Pendii artificiali .....	Pag. 14
	a) <i>Fronti di scavo</i> .....	Pag. 14
	b) <i>Rilevati e dighe</i> .....	Pag. 16
	c) <i>Discariche</i> .....	Pag. 16
1.3	Scopi delle analisi di stabilità .....	Pag. 17
1.4	Classificazione dei fenomeni di instabilità .....	Pag. 18
1.5	Tipi di movimenti franosi .....	Pag. 21
	a) <i>Frane da crollo</i> .....	Pag. 21
	b) <i>Frane da ribaltamento</i> .....	Pag. 21
	c) <i>Scivolamenti</i> .....	Pag. 21
	d) <i>Espansioni laterali</i> .....	Pag. 31
	e) <i>Colamenti</i> .....	Pag. 31
	f) <i>Movimenti complessi</i> .....	Pag. 37
2.	<b>Ingegneria dei pendii in roccia</b> .....	Pag. 39
2.1	Introduzione e scopi .....	Pag. 39
2.2	Definizione del problema .....	Pag. 39
2.3	Metodi di analisi di stabilità .....	Pag. 44
2.4	Analisi statiche ed analisi dinamiche .....	Pag. 46
2.5	Fattore di sicurezza e metodo dell'equilibrio limite .....	Pag. 48
2.6	Presenza dell'acqua nelle discontinuità .....	Pag. 50
2.7	Principali fattori nello studio della stabilità di pendii in roccia .....	Pag. 51
3.	<b>Caratterizzazione geomeccanica delle discontinuità</b> .....	Pag. 53
3.1	Classificazione delle discontinuità .....	Pag. 53
3.2	Orientamento delle discontinuità .....	Pag. 54
	a) <i>Definizione degli angoli</i> .....	Pag. 54
	b) <i>Rappresentazione dei piani di discontinuità sotto forma di proiezione stereografica</i> .....	Pag. 56
	c) <i>Analisi ed interpretazione del rilievo delle orientazioni delle discontinuità</i> .....	Pag. 63
	d) <i>Interpretazione statistica dei dati di orientamento di un rilievo strutturale</i> .....	Pag. 66
3.3	Continuità e dimensioni delle discontinuità .....	Pag. 69
	a) <i>Definizioni</i> .....	Pag. 69
	b) <i>Rilievo</i> .....	Pag. 71
	c) <i>Procedimento di calcolo delle lunghezze</i> .....	Pag. 71
3.4	Spaziatura delle discontinuità .....	Pag. 74
	a) <i>Generalità</i> .....	Pag. 74
	b) <i>Precisione della spaziatura media e frequenza delle discontinuità</i> .....	Pag. 74
3.5	Rugosità .....	Pag. 78
3.6	Apertura .....	Pag. 80
3.7	Riempimento .....	Pag. 81
3.8	Caratterizzazione delle discontinuità attraverso l'interpretazione dei sondaggi .....	Pag. 81

4. Resistenza al taglio .....	Pag. 83
4.1 Resistenza al taglio della matrice rocciosa .....	Pag. 83
a) <i>Inviluppo di rottura per la roccia intatta</i> .....	Pag. 83
b) <i>Criterio di resistenza al taglio di Coulomb</i> .....	Pag. 84
4.2 Resistenza al taglio su discontinuità .....	Pag. 88
a) <i>Superfici di discontinuità piane</i> .....	Pag. 88
b) <i>Superfici di discontinuità inclinate</i> .....	Pag. 89
c) <i>Superfici di discontinuità con inclinazioni multiple</i> .....	Pag. 89
d) <i>Superfici rugose</i> .....	Pag. 91
e) <i>Criterio di Ladanyj ed Archambault</i> .....	Pag. 91
f) <i>Criterio di Barton</i> .....	Pag. 95
g) <i>Influenza della scala</i> .....	Pag. 96
e) <i>Determinazione di JRC da prove di rotazione e di tiro</i> .....	Pag. 97
f) <i>Determinazione di JCS con il martello di Schmidt</i> .....	Pag. 102
g) <i>Rigidezza delle discontinuità</i> .....	Pag. 102
h) <i>Discontinuità con riempimento</i> .....	Pag. 103
4.3 Resistenza al taglio della massa rocciosa (Giunti ravvicinati) .....	Pag. 104
5. Flusso dell'acqua nelle discontinuità .....	Pag. 109
5.1 Introduzione .....	Pag. 109
5.2 Moto dell'acqua in mezzi discontinui .....	Pag. 109
5.3 Coefficiente di permeabilità .....	Pag. 109
5.4 Conduttività idraulica di una singola discontinuità .....	Pag. 110
5.5 Conduttività idraulica di un sistema di discontinuità .....	Pag. 112
5.6 Caratterizzazione dei parametri di conduttività .....	Pag. 113
5.7 Analisi di flusso nei mezzi rocciosi .....	Pag. 117
5.8 Schemi semplificati per le analisi di stabilità .....	Pag. 117
5.9 Progetto di una rete di drenaggio .....	Pag. 118
6. Modello geomeccanico .....	Pag. 123
6.1 Introduzione .....	Pag. 123
6.2 Distribuzione di aree e volumi di blocchi di roccia .....	Pag. 123
a) <i>Frequenza delle aree</i> .....	Pag. 123
b) <i>Distribuzione delle aree per due sistemi di discontinuità</i> .....	Pag. 123
c) <i>Distribuzione dei volumi dei blocchi per tre sistemi di discontinuità</i> .....	Pag. 124
d) <i>Analogia tra le distribuzioni dei volumi dei blocchi di roccia e le distribuzioni granulometriche dei terreni</i> .....	Pag. 126
e) <i>Misure e dati sperimentali necessari per determinare la distribuzione dei volumi dei blocchi</i> .....	Pag. 127
6.3 Determinazione dei possibili fenomeni di instabilità .....	Pag. 128
a) <i>Aree di progetto</i> .....	Pag. 130
b) <i>Modelli geostatistici</i> .....	Pag. 132
7. Crolli, ribaltamenti, instabilità flessionali .....	Pag. 137
7.1 Caduta blocchi .....	Pag. 137
a) <i>Metodi rigorosi</i> .....	Pag. 137
b) <i>Metodi lumped-mass</i> .....	Pag. 139
c) <i>Modelli SASS e MASSI</i> .....	Pag. 140
7.1.1 Equazioni .....	Pag. 143
a) <i>Caduta libera</i> .....	Pag. 143
b) <i>Fasi di scivolamento e rotolamento</i> .....	Pag. 144
c) <i>Fase di impatto</i> .....	Pag. 145

7.1.2	Parametri per la modellazione della caduta di blocchi .....	Pag. 146
7.2	Ribaltamento .....	Pag. 147
	a) <i>Ribaltamento flessionale</i> .....	Pag. 147
	b) <i>Ribaltamento blocchi</i> .....	Pag. 149
	c) <i>Ribaltamento flessionale di blocchi</i> .....	Pag. 149
	d) <i>Fenomeni di ribaltamento di tipo secondario</i> .....	Pag. 150
7.2.1	Analisi di stabilità al ribaltamento .....	Pag. 150
	a) <i>Analisi con l'equilibrio limite di ribaltamento di blocchi poggianti su una base a gradini</i> .....	Pag. 150
	b) <i>Determinazione del valore di <math>\phi</math> cui corrisponde la condizione di equilibrio limite</i> .....	Pag. 156
7.3	Instabilità flessionale .....	Pag. 157
	a) <i>Instabilità flessionale di una lastra piana</i> .....	Pag. 157
	b) <i>Modello di instabilità di lastra piana a tre cerniere</i> .....	Pag. 159
	c) <i>Modello di instabilità di una lastra curva e tre cerniere</i> .....	Pag. 161
8.	<b>Analisi dei fenomeni di scivolamento</b> .....	Pag. 165
8.1	Equilibrio limite .....	Pag. 165
8.1.1	Tipi di fenomeni di instabilità per scivolamento .....	Pag. 165
	a) <i>Scivolamento su superficie piana</i> .....	Pag. 165
	b) <i>Scivolamento sulla linea di intersezione di due piani</i> .....	Pag. 166
8.1.2	Scivolamento su superficie piana .....	Pag. 168
	a) <i>Piano di scivolamento continuo</i> .....	Pag. 168
	b) <i>Piano di scivolamento intersecato da un piano di trazione</i> .....	Pag. 169
	c) <i>Superficie di scivolamento a gradini</i> .....	Pag. 171
	d) <i>Superficie di scivolamento poligonale</i> .....	Pag. 172
8.1.3	Scivolamento sulla linea di intersezione di due piani .....	Pag. 175
	a)-b) <i>Scivolamento di un solido tetraedrico</i> .....	Pag. 175
	c) <i>Solido di forma tetraedrica con superfici di scivolamento a gradini</i> .....	Pag. 182
	d) <i>Scivolamento di una massa rocciosa formata da più blocchi che scivolano sulla linea di intersezione</i> .....	Pag. 183
8.2	Teoria dei blocchi di Goodman e Shi .....	Pag. 183
	a) <i>Generalità</i> .....	Pag. 183
	b) <i>Proiezione stereografica equiangola</i> .....	Pag. 183
	c) <i>Costruzione della proiezione stereografica equiangola di un piano</i> ..	Pag. 186
	d) <i>Geometria e rimuovibilità dei blocchi</i> .....	Pag. 186
	e) <i>Analisi cinematica dei blocchi rimuovibili</i> .....	Pag. 189
	f) <i>Regioni di equilibrio ed analisi statiche</i> .....	Pag. 191
	g) <i>Esempio di applicazione</i> .....	Pag. 195
8.3	Metodi probabilistici .....	Pag. 198
	a) <i>Introduzione</i> .....	Pag. 198
	b) <i>Indici di stabilità</i> .....	Pag. 199
	c) <i>Il Metodo Monte Carlo</i> .....	Pag. 200
	d) <i>Metodo dei punti di stima di Rosembueth</i> .....	Pag. 202
	e) <i>Esempio di applicazione</i> .....	Pag. 202
	f) <i>Probabilità condizionata e teorema di Bayes</i> .....	Pag. 203
	g) <i>Esempio di applicazione</i> .....	Pag. 205
	e) <i>Teoria della serie « fuzzy »</i> .....	Pag. 206
	h) <i>Applicazione alla verifica di stabilità di un pendio in roccia</i> .....	Pag. 207
8.4	Considerazioni conclusive sui metodi di analisi di scivolamento .....	Pag. 209

9. Metodi dinamici di analisi di stabilità .....	Pag. 213
9.1 Metodo degli elementi distinti .....	Pag. 213
a) Introduzione .....	Pag. 213
b) Formulazione teorica del metodo .....	Pag. 214
c) Legge di comportamento delle discontinuità .....	Pag. 216
d) Equazioni del moto .....	Pag. 218
e) Sequenza di calcolo .....	Pag. 220
f) Analisi statiche .....	Pag. 221
g) Rappresentazione degli elementi di contorno per le zone distanti dall'area di indagine .....	Pag. 222
h) Problemi accoppiati .....	Pag. 222
i) Altre principali applicazioni del metodo .....	Pag. 224
9.2 Analisi in presenza di eventi sismici .....	Pag. 224
9.2.1 Metodo pseudostatico .....	Pag. 224
9.2.2 Metodo dello spostamento globale .....	Pag. 225
10. Metodi di consolidamento e di protezione .....	Pag. 231
10.1 Introduzione .....	Pag. 231
10.2 Scavi .....	Pag. 231
a) Gradonatura .....	Pag. 232
b) Profilature e disgiaggi .....	Pag. 234
c) Metodi di abbattimento con esplosivo .....	Pag. 235
10.3 Drenaggi .....	Pag. 238
a) Drenaggi superficiali .....	Pag. 238
b) Drenaggi profondi .....	Pag. 239
10.4 Calcestruzzo proiettato .....	Pag. 242
10.5 Opere di rinforzo e di sostegno .....	Pag. 244
a) Muri a gravità .....	Pag. 245
b) Muri di ritenuta .....	Pag. 245
c) Armature metalliche .....	Pag. 246
10.6 Metodi di protezione .....	Pag. 250
Fonti bibliografiche .....	Pag. 255