

Giuseppe Gisotti

Il dissesto idrogeologico

Previsione, prevenzione e mitigazione del rischio



Dario Flaccovio Editore



COLLANA SIGEA
DI GEOLOGIA
AMBIENTALE

Scheda sul sito



- Definizioni fondamentali, classificazioni dei terreni ✓
- Fattori generali e diffusi, conoscenza dei fenomeni ✓
- Erosione superficiale, frane, alluvioni, erosione delle coste, valanghe ✓
- Quadro normativo, dati quantitativi: le vittime, i danni, i costi ✓

GIUSEPPE GISOTTI

IL DISSESTO IDROGEOLOGICO

PREVISIONE, PREVENZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO



Dario Flaccovio Editore

Giuseppe Gisotti

IL DISSESTO IDROGEOLOGICO

ISBN 978-88-579-0132-9

© 2012 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: luglio 2012

Gisotti, Giuseppe <1936->

Il dissesto idrogeologico : previsione, prevenzione e mitigazione del rischio / Giuseppe

Gisotti. - Palermo : D. Flaccovio, 2012.

ISBN 978-88-579-0132-9

1. Geoidrologia – Frane.

551.48CDD-22

SBN Pal0244047

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, luglio 2012

RINGRAZIAMENTI

L'autore ringrazia sentitamente i seguenti colleghi per i contributi di conoscenza delle varie problematiche interdisciplinari presenti in questo lavoro e per la revisione critica dei testi.

Il geol. Marco Amanti, dell'ISPRa – Servizio geologico, Roma, per il capitolo sulle frane.

L'ing. Marcello Benedini, già CNR IRSA e attualmente della AII, Roma, per il capitolo sulla conoscenza dei fenomeni e per quello sulle alluvioni.

Il geol. Giovanni Bertolini, della Regione Emilia Romagna, per aver fornito l'immagine di copertina.

L'ing. Federico Boccalaro, dell'Italferr, Roma, per il paragrafo sulla Ingegneria naturalistica.

La dott.ssa Maria Teresa Brunetti, del CNR IRPI di Perugia, per il paragrafo sulla previsione temporale della pericolosità da frana.

La dott.ssa Laura Carbognin, già dirigente di ricerca CNR presso l'Istituto di Scienze marine (ISMAR) di Venezia, ex Istituto per lo Studio della Dinamica delle grandi masse (ISDGM).

Il prof. Aldo Clerici, dell'Università di Pavia, per il paragrafo sui principali metodi per definire e mappare la pericolosità da frana (previsione spaziale).

L'ing. Paolo Cornelini, dell'AIPIN, Roma, per il paragrafo sulla Ingegneria naturalistica.

L'ing. Andrea Ferrante, del Consiglio superiore dei lavori pubblici, per il capitolo sulla erosione costiera.

L'ing. Carlo Ferranti, dell'Autorità di Bacino del Tevere, Roma, per la nota sulla normativa.

L'ing. Salvatore Gabriele, del CNR IRPI di Cosenza, per il paragrafo sui rapporti fra precipitazioni e dissesti.

La dott.ssa Raffaella Lovreglio, dell'Università di Sassari, per il paragrafo sugli effetti degli incendi della vegetazione.

La geol. Claudia Meisina, dell'Università di Pavia, autrice del paragrafo sul ritiro-rigonfiamento dei terreni argillosi.

L'ing. Francesca Moro, dell'Università di Padova, per il capitolo sulle valanghe.

L'ing. Adriano Murachelli, dell'I.S.I. Ingegneria e ambiente di Pistoia, per il capitolo sulle alluvioni.

Il geol. Mario Parise, del CNR IRPI di Bari, per il paragrafo sulle DGPV e per quello sui *sinkholes*.

Il dott. Vincenzo Romeo, Responsabile nazionale Meteomont del Corpo forestale dello Stato, per il paragrafo sul Meteomont.

Il geol. Tommaso Simonelli, dell'Autorità di bacino del fiume Po, per il paragrafo sulla valutazione del rischio di inondazione.

Il geol. Marino Sorriso Valvo, già direttore del CNR IRPI, per il paragrafo sulle DGPV.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

INDICE

Elenco delle sigle di enti e associazioni usate nel testo.....	pag. 11
Introduzione.....	» 13

Parte Prima – Il dissesto idrogeologico**1. Definizioni fondamentali**

1.1. Definizioni.....	» 19
1.2. Il ciclo del disastro.....	» 22
1.3. Concetto di rischio idrogeologico.....	» 23
1.3.1. Definizione di rischio ambientale.....	» 23
1.4. Previsione e prevenzione del rischio idrogeologico.....	» 26
1.4.1. <i>Early warning</i> e riduzione dei rischi in tempo reale. Presidi territoriali.....	» 29
1.5. La metodologia seguita nel testo.....	» 30
1.6. Glossario ragionato dei termini inerenti ai rischi naturali.....	» 32

2. Le classificazioni dei terreni

2.1. Definizioni.....	» 39
2.2. L'analisi dei terreni e la loro classificazione geologico-tecnica.....	» 39
2.2.1. Le condizioni geologiche.....	» 39
2.2.2. La classificazione litologica delle rocce e delle terre.....	» 41
2.2.3. La classificazione geologico-tecnica dei terreni.....	» 41
2.2.3.1. Gli ammassi rocciosi.....	» 41
2.2.3.2. Le terre.....	» 46
2.2.3.2.1. Classificazione delle terre.....	» 46

3. Fattori generali e diffusi del dissesto idrogeologico

3.1. Premessa.....	» 51
3.2. I fattori naturali del dissesto.....	» 53
3.2.1. Il comportamento delle rocce in rapporto al clima.....	» 53
3.2.2. Il ruolo degli eventi meteorologici nell'origine dei dissesti.....	» 55
3.2.2.1. La distribuzione degli eventi pluviometrici estremi in Italia: piogge convettive e piogge stratiformi.....	» 56
3.3. I fattori antropici dei dissesti.....	» 61
3.3.1. Rilevanti trasformazioni del territorio, concentrate o sparse, e loro conseguenze.....	» 61
3.3.2. Effetti indotti dalle infrastrutture e dagli insediamenti sul regime idraulico e idrogeologico.....	» 62
3.3.2.1. Gli effetti degli interventi antropici nelle fasce costiere.....	» 65
3.3.2.2. L'attività estrattiva.....	» 66
3.3.2.3. L'espansione degli insediamenti.....	» 67
3.3.3. Effetti indotti dalle modifiche dirette del regime idraulico.....	» 68
3.3.3.1. Laghetti collinari.....	» 68
3.3.3.2. Serbatoi (laghi artificiali).....	» 69
3.3.3.3. Traverse fluviali.....	» 71
3.3.3.4. Opere di presa.....	» 72
3.3.3.5. Opere di restituzione.....	» 72
3.3.3.6. Grandi trasporti d'acqua.....	» 73

3.3.3.7. Interventi sulle acque sotterranee.....	»	74
3.3.3.8. Irrigidimento del sistema idrografico.....	»	74
3.3.4. Effetti indotti dall'abbandono delle opere di stabilizzazione dei pendii, dalle tecniche agricole improprie e dalle modifiche della copertura vegetale...	»	75
3.3.4.1. Abbandono delle opere di stabilizzazione dei pendii.....	»	75
3.3.4.2. Errata lavorazione dei terreni acclivi con i mezzi attuali e inadeguatezza delle reti scolanti.....	»	76
3.3.4.3. Il disboscamento come concausa del dissesto idrogeologico.....	»	77
3.3.4.4. La distruzione della cotica erbosa.....	»	80
3.3.5. Effetti degli incendi della vegetazione.....	»	81
3.3.5.1. Effetti del fuoco sulle proprietà del terreno.....	»	84
 4. La conoscenza dei fenomeni		
4.1. Lo stato della ricerca e degli strumenti conoscitivi.....	»	89
4.1.1. Le conoscenze idrologiche.....	»	91
4.1.1.1. Principali parametri idrologici di interesse per la difesa del suolo....	»	93
4.1.1.1.1. Tempo di corrivazione, pioggia critica.....	»	94
4.1.1.1.2. Portata di massima piena.....	»	94
4.1.2. La cartografia tematica.....	»	95
4.1.3. I modelli di simulazione.....	»	97
4.1.3.1. Modelli fisici (o idraulici).....	»	98
4.1.3.2. Modelli matematici.....	»	99
4.1.3.3. Modelli per lo studio delle frane.....	»	102
4.1.3.4. Modelli matematici di ottimizzazione.....	»	102
4.1.4. Le banche di dati.....	»	103
4.1.5. La pianificazione integrata e il ruolo dell'informatica.....	»	105
4.1.6. I sistemi georeferenziati.....	»	106
4.2. Le strutture operative per il rilevamento dei dati e la ricerca finalizzata.....	»	108
4.2.1. I Servizi tecnici nazionali.....	»	108
4.2.1.1. Il Gruppo nazionale per la difesa dalle catastrofi idrogeologiche del CNR (GNDCI).....	»	108
4.2.1.2. Il progetto AVI.....	»	109
4.2.1.3. Il Servizio Meteomont.....	»	109
4.3. La raccolta dei dati.....	»	111
4.3.1. La misura della precipitazione.....	»	111
4.3.2. Le misure nei corsi d'acqua.....	»	114
4.3.3. La misura diretta del trasporto solido.....	»	116
4.3.4. Le misure nei laghi e nei serbatoi.....	»	117
4.3.5. Le misure sui litorali.....	»	118
4.3.6. Il telerilevamento.....	»	119
4.3.7. Il monitoraggio.....	»	120

Parte Seconda – I rischi idrogeologici: previsione, prevenzione, mitigazione

5. L'erosione superficiale

5.1. Processi, manifestazioni, cause, classificazione.....	»	125
5.1.1. Introduzione.....	»	125
5.1.1.1. Cause antropiche dell'erosione.....	»	126
5.1.1.2. Il controllo dell'erosione.....	»	127
5.1.2. Erosione idrometeorica. Azione delle acque correnti.....	»	128

5.1.2.1. Le conoidi e il rischio di alluvione	» 131
5.2. Le indagini indirizzate al pericolo d'erosione	» 133
5.3. I metodi di previsione dell'erosione superficiale	» 134
5.3.1. Modelli previsionali	» 135
5.3.1.1. Modelli basati su parametri climatici	» 136
5.3.1.2. Modelli multiparametrici	» 136
5.3.1.3. Metodi basati sulla stima del trasporto solido	» 139
5.3.1.4. Modelli fisicamente basati	» 139
5.3.1.5. Limiti e applicabilità dei metodi per la previsione dell'erosione	» 140
5.3.2. Valutazione dell'erosione e pianificazione della difesa del suolo	» 142
5.3.3. Applicazione dei metodi per la stima della perdita di suolo	» 143
5.3.4. Determinazione sperimentale della degradazione specifica	» 144
5.3.5. Cartografia del rischio di erosione	» 144
5.3.6. Stima della pericolosità dei conoidi di deiezione	» 145
5.4. Le sistemazioni idraulico-forestali (sistemazione dei bacini torrentizi montani e collinari)	» 146
5.4.1. Obiettivi e criteri delle sistemazioni idraulico-forestali	» 147
5.4.1.1. Obiettivi	» 147
5.4.1.2. Criteri	» 148
5.4.2. Classificazione e descrizione delle opere di sistemazione idraulico-forestale	» 150
5.4.2.1. Opere estensive	» 151
5.4.2.1.1. Rivestimento vegetale	» 151
5.4.2.1.2. Opere estensive minori	» 151
5.4.2.1.3. Opere contro la caduta dei massi e dello sfasciume	» 156
5.4.2.2. Opere intensive (correzione dei torrenti)	» 156
5.4.2.2.1. Torrenti di trasporto e torrenti di scavo	» 156
5.4.2.2.2. Le briglie e le soglie	» 157
5.4.2.2.3. Sistemazione a gradinata (briglie in serie)	» 161
5.4.2.2.3.1. Dimensionamento delle briglie	» 164
5.4.2.2.3.2. Strutture per la risalita dei pesci	» 164
5.4.2.2.4. Sistemazione a cunetta (rivestimento dell'alveo)	» 167
5.4.2.2.5. Difesa dall'erosione laterale (difese di sponda)	» 168
5.4.2.2.6. Drenaggi	» 170
5.4.2.2.7. Sistemazione dei calanchi	» 170
5.5. La difesa del suolo con l'uso delle piante. L'Ingegneria naturalistica	» 172
5.5.1. Il ruolo delle piante nella protezione idrogeologica	» 172
5.5.1.1. Processi meccanici e idrologici	» 172
5.5.1.2. La capacità stabilizzante dell'apparato radicale	» 173
5.5.2. L'Ingegneria naturalistica	» 177
5.5.2.1. Definizione, settori d'intervento e finalità	» 177
5.5.2.2. Il materiale da costruzione: le piante	» 178
5.5.2.3. Interventi di IN nelle sistemazioni idrogeologiche	» 179
5.6. Scelta e dosaggio delle opere di sistemazione	» 181
6. Le frane	
6.1. Cenni introduttivi	» 183
6.2. Processi, fattori e cause delle frane	» 183
6.2.1. Processi	» 183
6.2.1.1. Le condizioni di stabilità dei pendii (parametri geologico-tecnici della stabilità)	» 185

6.2.1.2.	Le forze che influenzano la stabilità dei pendii.....	» 186
6.2.2.	I fattori e le cause della franosità	» 188
6.2.2.1.	I fattori della franosità	» 189
6.2.2.2.	Le cause delle frane (incremento delle forze di taglio e riduzione della resistenza al taglio).....	» 190
6.2.2.3.	Classificazione delle cause: predisponenti e innescanti.....	» 193
6.2.2.4.	Casi particolari di cause della franosità	» 194
6.2.2.4.1.	Relazione tra frane e precipitazioni	» 195
6.2.2.4.2.	Relazione tra frane e fenomeni sismici	» 198
6.2.2.4.3.	Liquefazione e rapido abbassamento del livello dei bacini idrici.....	» 199
6.3.	Identificazione e classificazione dei fenomeni franosi	» 200
6.3.1.	I parametri, i tipi di materiali e i tipi di movimento utilizzati per la classificazione.....	» 200
6.3.1.1.	I parametri principali (velocità e attività).....	» 200
6.3.1.2.	Tipi di materiale	» 203
6.3.1.3.	Tipi di movimento	» 203
6.3.1.3.1.	Crollo (<i>fall</i>)	» 203
6.3.1.3.2.	Ribaltamento (<i>topple</i>)	» 205
6.3.1.3.3.	Scivolamento (o scorrimento) rotazionale, scivolamento traslativo (<i>rotational slide, translational slide</i>)	» 205
6.3.1.3.4.	Espansione laterale (<i>lateral spreading</i>).....	» 209
6.3.1.3.5.	Colamento o colata (<i>flow</i>).....	» 210
6.3.2.	Fenomeni franosi particolari: le frane costiere e le DGPV	» 218
6.3.2.1.	Frane costiere	» 218
6.3.2.2.	Deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV).....	» 222
6.3.2.2.1.	<i>Sackung-sturzstrom</i>	» 223
6.3.2.2.2.	Scorrimento.....	» 225
6.3.2.2.3.	Espandimento laterale.....	» 226
6.4.	Le indagini.....	» 227
6.4.1.	Il censimento dei fenomeni franosi e la loro archiviazione	» 229
6.5.	La valutazione del pericolo di frana a carattere locale	» 230
6.5.1.	Metodi di valutazione del pericolo di frana a carattere locale.....	» 231
6.5.1.1.	Le condizioni di stabilità dei pendii	» 231
6.5.1.1.1.	Indagini geologico-tecniche.....	» 232
6.5.1.2.	I metodi dell'equilibrio limite nell'analisi di stabilità dei pendii.....	» 233
6.5.1.2.1.	Superficie di scorrimento piana.....	» 235
6.5.1.2.1.1.	Analisi del pendio indefinito	» 235
6.5.1.2.2.	Superficie di scorrimento curva.....	» 237
6.5.1.2.2.1.	Il metodo $\varphi_u = 0$	» 237
6.5.1.2.2.2.	I metodi delle strisce	» 238
6.5.1.3.	I metodi speditivi. Il metodo di Hoek.....	» 240
6.6.	La valutazione del pericolo e del rischio di frana a carattere regionale	» 244
6.6.1.	Criteri generali	» 244
6.6.2.	Inquadramento del problema	» 245
6.6.3.	La previsione spaziale della pericolosità e della suscettibilità da frana. La scala di lavoro.....	» 245
6.6.3.1.	I principali metodi per definire e mappare la pericolosità da frana (previsione spaziale)	» 247

6.6.3.1.1. I metodi euristici	» 250
6.6.3.1.2. I metodi deterministici	» 251
6.6.3.1.3. I metodi statistici	» 251
6.6.3.1.4. Le reti neurali.....	» 254
6.6.3.1.5. Osservazioni	» 259
6.6.4. La previsione temporale della pericolosità.....	» 260
6.6.4.1. L'analisi delle serie temporali degli eventi franosi.....	» 261
6.6.4.2. L'analisi delle serie temporali dei fattori di innesco	» 261
6.6.4.2.1. I fattori di innesco: le precipitazioni	» 262
6.6.4.2.2. I fattori di innesco: i terremoti.....	» 264
6.6.4.3. I monitoraggi.....	» 265
6.6.4.3.1. Sistemi di allarme dell'imminenza di frane	» 269
6.6.4.3.2. Segni precursori e previsione: la strumentazione	» 271
6.6.4.3.3. Le reti GPS per il monitoraggio di versanti in frana	» 272
6.6.5. La valutazione del valore, della vulnerabilità e del rischio di frana.....	» 273
6.7. La gestione e la mitigazione del rischio di frana	» 274
6.7.1. La mitigazione del rischio: la prevenzione	» 274
6.7.1.1. Interventi finalizzati alla riduzione della vulnerabilità.....	» 276
6.7.2. Osservazioni e applicazioni della gestione e mitigazione del rischio di frana»	277
6.7.2.1. Comunicazione dei risultati.....	» 277
6.7.2.2. Le mappe del pericolo e del rischio di frana per la pianificazione del territorio.....	» 277
6.7.2.3. La valutazione del rischio di frana applicata ai territori non urbanizzati.....	» 278
6.7.2.4. La valutazione del rischio di frana applicata ai territori urbanizzati.....	» 279
6.7.2.5. Programmazione della mitigazione del rischio: alcuni interventi non strutturali.....	» 281
6.7.2.6. Scelte dei decisori tra gestione sostenibile del territorio e sistemi di monitoraggio e allarme	» 282
6.7.2.7. Selezione dei temi di studio più urgenti da sviluppare	» 283
6.8. Interventi strutturali (criteri, metodi e tecniche di stabilizzazione delle aree franose)	» 284
6.8.1. Classificazione delle opere (protezione passiva, riduzione delle forze destabilizzanti, incremento forze resistenti).....	» 286
6.8.2. Rimodellamento del pendio	» 289
6.8.3. Strutture di sostegno	» 291
6.8.3.1. Strutture a gravità	» 292
6.8.3.2. Strutture in cemento armato	» 294
6.8.3.3. Strutture speciali	» 294
6.8.4. Strutture di rinforzo interne.....	» 297
6.8.5. Miglioramento delle caratteristiche meccaniche del materiale ("indurimento" del materiale in frana).....	» 304
6.8.6. Drenaggi: regimazione delle acque superficiali, drenaggi subsuperficiali e drenaggi profondi	» 307
6.8.6.1. Regimazione delle acque superficiali	» 307
6.8.6.2. Drenaggi subsuperficiali e drenaggi profondi.....	» 309
6.8.6.2.1. Interventi di drenaggio subsuperficiale	» 310
6.8.6.2.2. Interventi di drenaggio profondo.....	» 314
6.8.6.3. Trattamenti elettrici. Geosintetici.....	» 317

6.8.7. Sistemazione delle frane per erosione al piede delle sponde	» 317
6.9. Fenomeni assimilabili alle frane: i <i>sinkholes</i> e il ritiro-rigonfiamento dei terreni argillosi	» 319
6.9.1. <i>Sinkholes</i>	» 319
6.9.2. Ritiro-rigonfiamento dei terreni argillosi.....	» 325
6.9.2.1. Meccanismi del fenomeno di ritiro-rigonfiamento	» 325
6.9.2.2. Cause e fattori del ritiro-rigonfiamento.....	» 326
6.9.2.3. Caratteristiche dei terreni soggetti a variazioni di volume.....	» 328
6.9.2.4. Problematiche connesse al fenomeno	» 328
6.9.2.5. Metodi di studio del ritiro-rigonfiamento dei terreni argillosi	» 331
6.9.2.6. Metodi di prevenzione del fenomeno	» 333
7. Le alluvioni	
7.1. Processi, manifestazioni e cause, previsione.....	» 337
7.1.1. Il comportamento delle acque superficiali: la formazione delle piene	» 337
7.1.1.1. Calcolo delle portate di massima piena	» 343
7.1.2. Il comportamento della piena.....	» 348
7.1.3. Trasporto solido e configurazione dei corsi d'acqua.....	» 349
7.1.4. Le alluvioni e i loro effetti	» 351
7.2. Valutazione del rischio di inondazione. Interventi non strutturali nei corsi d'acqua di pianura.....	» 353
7.2.1. Classificazione e pianificazione territoriale: individuazione delle aree a rischio idraulico.....	» 354
7.2.2. Sistemi di previsione e di allerta in tempo reale	» 357
7.3. Difesa dalle alluvioni. Interventi strutturali nei corsi d'acqua di pianura	» 359
7.3.1. Interventi per aumentare la capacità di deflusso in alveo o per ridurre la portata di piena	» 359
7.3.1.1. Interventi di tipo A: canalizzazione	» 361
7.3.1.1.1. Introduzione.....	» 361
7.3.1.1.2. Argini	» 361
7.3.1.1.3. Drizzagni.....	» 371
7.3.1.2. Interventi di tipo B: scolmatori e diversivi.....	» 374
7.3.1.3. Interventi di tipo C: difesa con invasi o laminazione della piena	» 379
7.3.1.3.1. Invasi di laminazione	» 379
7.3.1.3.1.1. Eventi di progetto.....	» 380
7.3.1.3.1.2. Equazione di base.....	» 380
7.3.1.3.1.3. Casse di espansione	» 381
7.3.1.3.2. Casse d'espansione in derivazione	» 382
7.3.1.3.2.1. Caratteristiche generali	» 382
7.3.1.3.2.2. Descrizione delle opere	» 384
7.3.1.3.3. Casse d'espansione in linea.....	» 388
7.3.1.3.3.1. Caratteristiche generali	» 388
7.3.1.3.3.2. Descrizione delle opere.....	» 389
7.3.1.3.4. Serbatoi a usi multipli	» 390
7.3.1.3.4.1. Caratteristiche generali	» 390
7.3.1.4. Interventi di tipo D: interventi su corsi d'acqua montani e collinari con tecniche miste	» 392
7.3.2. Interventi sulle rotte	» 393
7.3.3. Bonifica idraulica di pianura.....	» 394

7.3.4. La regolazione dei fiumi.....	» 395
7.3.5. Le tecniche costruttive anti-inondazione. <i>Flood proofing</i>	» 396
7.3.6. Integrazione tra difesa passiva e difesa attiva.....	» 398
8. Erosione delle coste basse (perturbazione dello stato di equilibrio dei litorali sabbiosi)	
8.1. Aspetti generali delle coste italiane.....	» 401
8.2. Definizioni, processi, manifestazioni e cause.....	» 403
8.2.1. Piattaforma litoranea e movimento dei materiali.....	» 404
8.2.2. I materiali litoranei.....	» 404
8.2.3. Le cause dell'evoluzione dei litorali.....	» 405
8.2.4. Il meccanismo dell'evoluzione dei litorali.....	» 405
8.3. Le indagini relative al trasporto solido litoraneo.....	» 407
8.3.1. Rilievo dell'assetto attuale del litorale e della sua tendenza evolutiva.....	» 408
8.3.2. Individuazione della dinamica della spiaggia.....	» 409
8.4. La previsione della evoluzione della dinamica costiera.....	» 410
8.4.1. Valutazione del rischio di allagamento del litorale.....	» 413
8.5. Difesa delle coste.....	» 415
8.5.1. Criteri generali.....	» 415
8.5.2. Valutazione dell'equilibrio dei litorali. Criteri di difesa. Classificazione delle opere.....	» 416
8.5.2.1. Opere di difesa longitudinali (frangiflutti foranei).....	» 418
8.5.2.2. Opere di difesa trasversali (pennelli).....	» 419
8.5.2.3. Difese aderenti.....	» 421
8.5.2.4. Ripascimenti e spiagge artificiali.....	» 424
8.5.2.5. La gestione sostenibile dei sedimenti.....	» 429
8.5.2.6. Dune e argini a mare.....	» 430
8.5.2.7. Sistemi di difesa con opere non tradizionali.....	» 431
8.5.2.8. Scelta del tipo di opera.....	» 435
8.5.3. Metodologie di valutazione dell'efficacia degli interventi di difesa.....	» 437
8.5.4. La gestione integrata delle zone costiere – GIZC.....	» 441
9. La subsidenza	
9.1. Definizione, processo, manifestazione e cause.....	» 443
9.1.1. La subsidenza antropica.....	» 444
9.1.2. Prelievo di acque sotterranee, variazione del livello piezometrico e subsidenza.....	» 446
9.1.2.1. I danni indotti da estrazioni di acqua.....	» 447
9.1.3. Estrazione di idrocarburi.....	» 448
9.1.4. Estrazione di sostanze minerali.....	» 451
9.2. Le strategie per la corretta gestione delle risorse idriche sotterranee. Le indagini indirizzate al controllo della subsidenza.....	» 453
9.3. La previsione della subsidenza.....	» 455
9.4. Prevenzione e lotta alla subsidenza antropo-indotta.....	» 456
9.5. La subsidenza in Italia.....	» 457
10. Le valanghe	
10.1. Definizioni.....	» 467
10.2. Processi, manifestazioni, cause e classificazione delle valanghe.....	» 467
10.2.1. La stratificazione del manto nevoso.....	» 467

Il dissesto idrogeologico

10.2.1.1. Parametri che concorrono alla formazione degli strati compatti.....	» 468
10.2.1.2. Parametri che concorrono alla formazione di strati a debole coesione	» 469
10.2.2. Tensioni e fratture del manto nevoso.....	» 469
10.2.3. Le indagini: osservazioni del manto nevoso	» 471
10.2.4. Classificazione delle valanghe	» 473
10.2.5. La dinamica del distacco delle valanghe	» 474
10.2.5.1. Valanga di neve sciolta	» 476
10.2.5.2. Valanga di lastroni.....	» 477
10.2.6. Condizioni ambientali alle quali si verificano le valanghe	» 479
10.2.7. Geomorfologia nivale.....	» 480
10.3. Prevenzione e opere di difesa.....	» 481
10.3.1. La previsione e la prevenzione del rischio valanghe.....	» 481
10.3.1.1. La previsione: condizioni necessarie e sufficienti per il distacco di valanghe	» 481
10.3.1.2. La prevenzione: la valutazione della pericolosità delle valanghe	» 482
10.3.1.2.1. La scala europea del pericolo valanghe	» 484
10.3.1.2.2. Il catasto valanghe e la carta di localizzazione probabile delle valanghe.....	» 486
10.3.1.2.3. I piani delle zone esposte al pericolo di valanghe.....	» 487
10.3.1.2.4. Le carte del rischio	» 488
10.3.1.2.5. La scala d'intensità valanghe per la definizione dei danni	» 488
10.3.2. La mitigazione del rischio valanghivo. La difesa dalle valanghe	» 489
10.3.2.1. Difesa attiva.....	» 489
10.3.2.2. Difesa passiva.....	» 492
11. Quadro normativo	
11.1. Cenni introduttivi	» 497
11.2. Alcune norme storiche.....	» 497
11.3. La legge quadro 183/1989 sulla difesa del suolo.....	» 499
11.4. I decreti Sarno e Soverato	» 501
11.5. Le nuove norme in materia di difesa del suolo introdotte col D.Lgs. 152/2006 e col D.Lgs. 49/2010 (in ossequio alle Direttive comunitarie Acque e Alluvioni)	» 502
12. I dati quantitativi del dissesto idrogeologico. Inventari dei dissesti. Le vittime, i danni, i costi	
12.1. Cenni introduttivi.....	» 507
12.2. Inventari dei dissesti	» 507
12.2.1. Frane	» 507
12.2.2. Erosione superficiale	» 512
12.2.3. Piene e alluvioni	» 513
12.2.4. Erosione delle coste basse	» 513
12.2.5. Incendi della vegetazione.....	» 514
12.2.6. Le aree ad alta criticità idrogeologica.....	» 515
12.2.7. La subsidenza	» 515
12.3. Le vittime.....	» 516
12.4. I danni economici	» 516
12.5. Le spese previste per la prevenzione e la mitigazione del rischio idrogeologico. Il fabbisogno	» 516
12.6. Conclusioni	» 517
Bibliografia	» 593

ELENCO DELLE SIGLE DI ENTI E ASSOCIAZIONI USATE NEL TESTO

AAA	Associazione analisti ambientali
AGI	Associazione geotecnica italiana
AIAPP	Associazione italiana di architettura del paesaggio
AIGA	Associazione italiana di geologia applicata e ambientale
AII	Associazione idrotecnica italiana
AINEVA	Associazione interregionale neve e valanghe
AIPIN	Associazione italiana per l'Ingegneria naturalistica
AIPO	Agenzia interregionale per il fiume Po
AITEC	Associazione italiana tecnico economica del cemento
ALPS	Alpine Landslide Practical Seminar
ANDIL	Associazione nazionale degli industriali dei laterizi
ANEPLA	Associazione nazionale estrattori produttori lapidei ed affini
ANGI	Associazione nazionale geologi italiani
ANIM	Associazione nazionale ingegneri minerari
ANPA	Agenzia nazionale per l'ambiente
ARPA	Agenzia regionale per la protezione ambientale
APAT	Agenzia per l'ambiente e i servizi tecnici
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASSOMINERARIA	Associazione mineraria italiana per l'industria mineraria e petrolifera
ATO	Ambito territoriale ottimale
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CAGEMA	Associazione dell'industria italiana della calce, del gesso e relativi manufatti e delle malte
CE	Comunità europea
CEC	Commission of European Communities
CEE	Commissione economica europea
CIRF	Centro italiano per la riqualificazione fluviale
CNG	Consiglio nazionale dei geologi
CNR	Consiglio nazionale delle ricerche
CSIR	Council of the Scientific and Industrial Research
DGPV	Deformazioni gravitative profonde di versante
D.L.	Decreto legge
D.Lgs.	Decreto legislativo
D.M.	Decreto ministeriale
D.P.C.M.	Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri
DSS	Sistema di supporto alle decisioni
DSTN	Dipartimento per i servizi tecnici nazionali
DTM	Digital Terrain Model
EC	European Community
EEA	European Environment Agency (Agenzia europea per l'ambiente)
ENEA	Ente nazionale per le energie alternative
ENEL	Ente nazionale per l'energia elettrica
ENI	Ente nazionale idrocarburi
EPA	Environment Protection Agency (Stati Uniti d'America)
FAO	Food and Agriculture Organisation
FEMA	Federal Emergency Management Agency
FISRWG	Federal Interagency Stream Restoration Working Group
FORMEZ	Centro di formazione e studi per il Mezzogiorno
GEAM	Associazione georisorse e ambiente
GHG	GreenHouse Gas, gas serra
GIS	Geographic Information Systems, Sistemi informativi geografici
GNDCI	Gruppo nazionale per la difesa dalle catastrofi idrogeologiche (CNR)
GNGFG	Gruppo nazionale geografia fisica e geomorfologia
GNDT	Gruppo nazionale per la difesa dai terremoti (CNR)
GNGTS	Gruppo nazionale di geofisica della terra solida
GNV	Gruppo nazionale per la vulcanologia (CNR)

GPS	Global Positioning Systems
GSA	Geological Society of America
IAEG	International Association of Engineering Geology
IAH	International Association of Hydrogeologists
IAHR	International Association for Hydraulic Research
IAHS	International Association of Hydrological Sciences
ICEM	International Centre for Environmental Management
IFFI	Inventario fenomeni franosi italiani
INGV	Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia
IGM	Istituto geografico militare
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPZS	Istituto poligrafico e Zecca dello Stato
IRPI	Istituto di ricerca per la protezione idrogeologica (CNR)
IRSA	Istituto di ricerca sulle acque (CNR)
ISMAR	Istituto di Scienze marine (CNR)
ISPRA	Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale
ISRM	International Society for Rock Mechanics
ISSMGE	International Society for Soil Mechanics & Geotechnical Engineering
ISTAT	Istituto centrale di statistica
IUGS	International Union of Geological Sciences
JTC 1	ISSMGE, ISRM and IAEG Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LIPU	Lega italiana protezione degli uccelli
LSPN	Ligue Suisse pour la Protection de la Nature
MIT	Massachusetts Institute of Technology
OCDE	Organisation for Economic Co-operation and Development
OCSE	Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (cfr. OCDE)
O.M.	Ordinanza ministeriale
OMS	Organizzazione mondiale della sanità
ONG	Ordine nazionale dei geologi
ONU	Organizzazione delle Nazioni Unite
PAI	Piani stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico
P.C.M.	Presidenza del Consiglio dei Ministri
PIL	Prodotto interno lordo (vedi GNP)
PRAE	Piano regionale per le attività estrattive
REDA	Ramo editoriale degli agricoltori
PRG	Piano regolatore generale
R.D.	Regio decreto
RSA	Rapporto sullo stato dell'ambiente
SBI	Società botanica Italiana
SGN	Servizio geologico nazionale
SIGEA	Società italiana di geologia ambientale
SIMN	Servizio idrografico e mareografico nazionale
SISS	Società italiana della Scienza del suolo
SIT	Sistemi informativi territoriali
SNPC	Servizio nazionale di Protezione civile
UE	Unione europea
UNEP	United Nations Environment Programme
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UN-ISDR	United Nations/Inter-Agency Secretariat for Disaster Reduction
USACE	United States Army Corps of Engineers
USDA	United States Department of Agriculture
USGS	United States Geological Survey
USEPA	cfr. EPA
VIA	Valutazione d'impatto ambientale
WWF	Fondo mondiale per la natura

INTRODUZIONE

Sui fenomeni del *dissesto idrogeologico*, che nel nostro Paese lamentiamo per le manifestazioni impetuose e rapide ad andamento catastrofico, da lungo tempo si discute in tutto il mondo, richiamando l'attenzione di pubblici amministratori, politici, scienziati, tecnici e pubblico.

Nella loro virulenta forma presente, fenomeni come le frane, le inondazioni, l'erosione costiera sono stati definiti come *malattia della civilizzazione*, perché è la civiltà dell'uomo, o meglio ancora il suo progresso tecnologico, con lo sconvolgimento apportato al tanto più lento decorso dei fenomeni naturali, che ne ha accelerato il ritmo in maniera travolgente e preoccupante.

Va comunque detto che questi fenomeni sono antichi come la Terra (Ippolito, 1971).

Si tratta in effetti di eventi naturali quali possono essere, ad esempio, il sollevamento rapido di alcune parti delle catene montuose italiane, e in particolare di quella appenninica; il franamento di interi versanti; lo spostamento delle linee di riva; la rapida erosione e il trasporto a valle e in definitiva verso il mare dei prodotti dell'erosione; la formazione di pianure alluvionali attraverso fenomeni anche parossistici come le inondazioni; la divagazione dei meandri fluviali; il rapido abbassamento del suolo in seguito a compattezza di depositi organici.

Tali fenomeni fanno parte della dinamica terrestre e quindi non sono che gli episodi rilevabili di movimenti ben più cospicui, sebbene di solito lentissimi, contro i quali l'azione umana è impotente e vana. Ciò che è possibile attuare è soltanto un'opera di "rallentamento", tale, cioè, da rendere "stabili" ai soli fini umani e talvolta solo per la durata di qualche generazione – cioè per attimi del tempo geologico – talune aree di crosta terrestre partecipi di più vasti fenomeni.

Ciò, peraltro, non deve scoraggiarci, perché da un canto rallentare fino a rendere, sul piano pratico, nulli per vari decenni i fenomeni alterativi dell'assetto geomorfologico di una zona è già un risultato altamente proficuo; dall'altro perché il riconoscere l'entità e lo svilupparsi nel tempo di taluni fenomeni permette di prendere tutte quelle decisioni operative atte ad annullare o limitare danni materiali e umani. Infatti non va sottovalutato che tutte le opere che noi realizziamo hanno una durata, e altresì un periodo di ammortamento, che non va oltre qualche generazione.

Però va anche detto che in molti casi l'uomo, nei tempi passati ma specialmente oggi, ha accelerato o innescato tali processi naturali catastrofici, oppure ha trasformato il territorio rendendolo molto vulnerabile a questi processi.

Infatti i principali fattori generatori dei dissesti, in particolare delle alluvioni e delle frane, sono tre: il regime delle piogge, la componente geologica e morfologica (la pen-

denza), le opere umane. I più gravi disastri avvengono laddove questi tre fattori entrano in sinergia.

Svariati sono gli interventi umani che hanno causato dissesti, come il sovraccarico delle pendici mediante manufatti, oppure gli sbancamenti al piede dei versanti, o il prelievo eccessivo di fluidi o di minerali dal sottosuolo; d'altra parte le calamità, anche quelle che hanno origine del tutto naturale, potrebbero avere effetti contenuti se, ad esempio, l'acqua caduta in quantità "eccezionale" trovasse a riceverla un suolo ben difeso da boschi o da opere idrauliche efficaci e opportunamente disposte oppure se non si fosse costruito negli alvei di piena. Pertanto questi processi, specialmente quando si manifestano sotto forma di eventi catastrofici, non sempre si possono definire naturali, o almeno non del tutto tali, ed è quindi irresponsabile giustificarli come "ineluttabili", in particolare laddove si ripresentino sistematicamente a colpire il territorio e l'uomo stesso (Roubault, 1973; Botta, 1977; Migliorini, 1981; Catenacci, 1992; Vallario, 1992). Quegli eventi naturali, che si trasformano in tragedie umane a causa dell'intervento errato, inopportuno o addirittura per il mancato intervento preventivo da parte dell'uomo (ad esempio la mancata manutenzione del territorio), vengono definiti come *calamità naturali indotte* (dall'uomo).

Se quindi l'uomo è spesso artefice o concausa di eventi catastrofici, ne deriva che la difesa dai rischi idrogeologici, anche da quelli su cui l'uomo non può incidere, si impone nei termini di *previsione, prevenzione e mitigazione*. La prima per individuare e censire le aree potenzialmente soggette al rischio, per coprire il territorio con una rete di stazioni di rilevamento dei parametri fisici che influiscono sui dissesti; la seconda per predisporre idonee misure preventive, legislative e tecniche, allo scopo di contenere il rischio a livelli accettabili; la terza per applicare la protezione idrogeologica al territorio a rischio. È necessario quindi conoscere le cause e i meccanismi dei dissesti idrogeologici, non solo allo scopo di prevederli (quando è possibile) e prevenirli, ma anche per poter intervenire con opere sistematorie quando essi si siano già manifestati.

Se i processi naturali e le attività umane producono modificazioni catastrofiche della superficie terrestre sulla quale noi viviamo, ossia esercitano "pressioni" insostenibili sull'ambiente naturale e umano, per parte sua la società civile tende a bilanciare tali pressioni con opportune "risposte", che nella fattispecie costituiscono le varie fasi di previsione, prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico, inquadrate nell'attività di protezione civile, e che nel senso più ampio corrispondono alla politica di *difesa del suolo* da parte delle istituzioni.

L'obiettivo della difesa del suolo è la limitazione del dissesto del suolo e del sottosuolo, intesi sia come risorse naturali che come luogo di impianto e di sviluppo delle attività umane.

L'importanza economica dei processi relativi allo squilibrio, al dissesto del sistema suolo/sottosuolo è fondamentale, anche se spesso sottovalutata. Infatti, a seguito di tali processi si verifica non solo la perdita della risorsa, ma anche danni alle colture agrarie e ai boschi, agli ecosistemi, agli insediamenti e alle infrastrutture e in genere alle attività umane. Né vanno dimenticati i danni indiretti, come quelli dovuti al maggior percorso che gli autoveicoli o i treni sono costretti a compiere, a causa delle numerose interruzioni della sede stradale o ferroviaria dovute ai dissesti, che talvolta durano per lunghi periodi, o come quelli dovuti all'interruzione dell'attività produttiva; di solito nella stima

dei danni all'indomani di una catastrofe non si tiene conto di questi danni indiretti. Tali processi di dissesto, quando si manifestano come fenomeni subitanei, possono condurre anche alla perdita di vite umane¹.

Se ne deduce che la politica per la difesa del suolo costituisce un investimento produttivo, anche se in gran parte a lungo termine, in quanto evita o limita i successivi danni al territorio, alle cose e alle persone. Infatti, è ormai pacificamente stabilito che il costo per realizzare gli interventi di prevenzione può essere varie volte minore dell'ammontare del danno economico e dell'importo delle opere di sistemazione del territorio e delle cose danneggiate. E si va facendo strada, nelle recenti norme in materia di difesa del suolo e quindi nel convincimento di molti tecnici e politici, un'altra verità. Se alcuni anni fa era possibile pensare che interventi strutturali, di carattere essenzialmente ingegneristico, potessero risolvere il problema del dissesto idrogeologico (fermando le frane e impedendo ai fiumi di straripare), è ormai chiaro che, visto il gran numero di località colpite e la ripetitività degli eventi, ciò non è economicamente ancorché tecnicamente fattibile; in un Paese con una densità abitativa pari a 189 abitanti per km², con molte città situate lungo i fiumi e con paesi disseminati sulle colline, è ragionevole pensare solo in termini di difesa passiva: mettendo cioè in opera tutte le misure (del resto previste per legge) di pianificazione territoriale e di protezione civile (Guzzetti, Siccardi, 1999).

Infatti la difesa del suolo presuppone un approccio multilaterale e interdisciplinare che riguarda i settori idraulico, agricolo e forestale, la bonifica montana e di pianura, la regimazione e l'uso plurimo delle acque nonché la loro tutela dall'inquinamento, la salvaguardia delle coste, la localizzazione degli insediamenti produttivi e di quelli abitativi, in una parola, la pianificazione del territorio. Ne deriva che la difesa del suolo si deve coordinare con la pianificazione territoriale (in senso lato, da quella urbanistica a quella di protezione civile, da quella ambientale a quella di settore): anzi, considerato che il nostro Paese scarseggia di risorse minerali e in genere naturali, uno dei cardini della pianificazione territoriale deve essere proprio la pianificazione della difesa del suolo.

¹ Per quanto concerne la perdita di vite umane in seguito a dissesti, si può fare riferimento alla "Serie storica dei principali dissesti idrogeologici" in questo volume, dove vengono ricordati anche i danni e le vittime.

PARTE PRIMA
Il dissesto idrogeologico

1. DEFINIZIONI FONDAMENTALI

1.1. Definizioni

Per *suolo* si intende quel corpo dinamico naturale che costituisce la parte superficiale della crosta terrestre e che è interessato di norma dagli apparati radicali; esso deriva dall'azione integrata del clima, della morfologia, della roccia madre e degli organismi in un arco di tempo più o meno lungo (figura 1.1)¹.

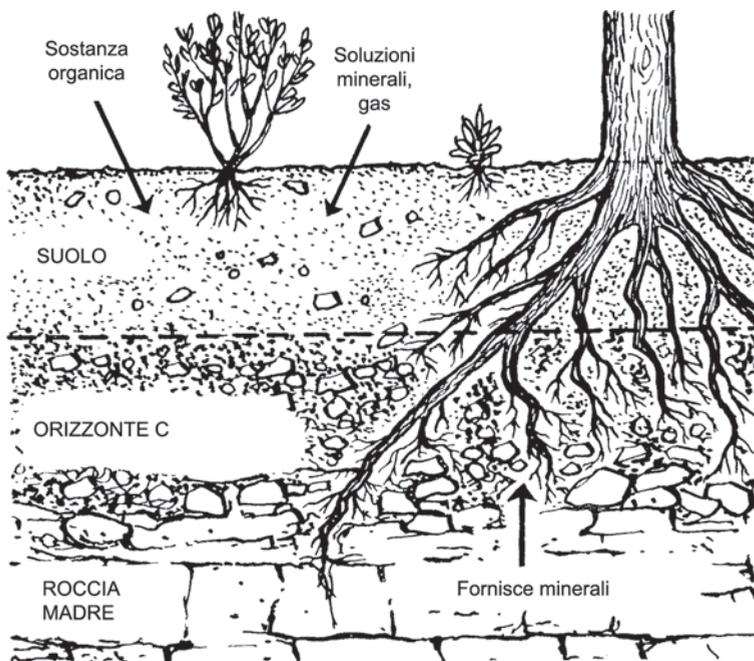


Figura 1.1. Profilo del suolo e suoi principali orizzonti (fonte: Money, 1974)

¹ Il suolo ha spessore variabile, da qualche decimetro a qualche metro, ma può anche mancare, ad esempio quando è stato asportato dall'erosione. La scienza che studia il suolo, in particolare sotto l'aspetto produttivo, è la pedologia o scienza del suolo.

Composizione del profilo di un suolo agrario e di un suolo non coltivato

Suolo naturale (non coltivato)	Suolo agrario
Orizzonte A	Strato attivo o arabile o lavorato (fino a 40-60 cm di profondità)
Orizzonte B	Strato inerte
Substrato pedogenetico C	Sottosuolo
Roccia madre R (sinonimi: substrato geologico, roccia in posto, <i>bedrock</i>)	
N.B. Non esiste necessariamente corrispondenza tra orizzonte A e strato attivo, né tra orizzonte B e strato inerte. Non tutti i suoli hanno i suddetti orizzonti, ma ogni suolo ne ha qualcuno.	

Quando si forma un suolo si ha un susseguirsi di processi di alterazione. La prima serie di questi interessa la “roccia madre” e dà origine a un materiale detto *substrato pedogenetico*; questo subisce a sua volta varie trasformazioni per cui si differenziano in esso alcuni orizzonti (strati), il cui numero dipende dal grado di evoluzione del profilo: solo a questo stadio si può parlare di “suolo”. Gli orizzonti A e B, che si sono originati dai processi della pedogenesi (formazione del suolo), costituiscono il suolo vero e proprio o “solum”, mentre il substrato pedogenetico C è derivato quasi esclusivamente dai processi geologici di alterazione chimica e fisica. L’orizzonte superiore A è quello più ricco di humus e che viene impregnato dalle acque di pioggia; nell’orizzonte B si accumula una parte delle sostanze dilavate dall’orizzonte soprastante A.

Dove si realizzano fabbricati e in generale costruzioni, le loro fondazioni di norma vengono appoggiate direttamente sulla roccia madre (se a profondità economicamente raggiungibile), in quanto offre, rispetto al suolo, maggiore resistenza alla compressione; in tal caso la roccia madre costituisce il terreno di fondazione e il suolo viene asportato in corrispondenza delle fondazioni o dell’intero manufatto.

Un profilo completo di un suolo evoluto è composto da cinque orizzonti principali indicati con le lettere: O, A, E, B, C, oltre alla roccia madre contraddistinta con la lettera R.

Le funzioni principali del suolo sono la nutrizione e il supporto per le piante, la regimazione dei deflussi idrici, l’assimilazione e la trasformazione degli scarichi liquidi e solidi (Floccia, Gisotti, Sanna, 1985; Gisotti, 1988; Gisotti, 2011). Il suolo è considerato una “risorsa naturale rinnovabile” ma esso è molto fragile, poiché se sono necessari secoli o millenni per la sua formazione, l’erosione e il diretto intervento umano possono distruggerlo in pochi anni, addirittura in ore.

Al di sotto del suolo troviamo il *sottosuolo* (in senso geologico), che è la roccia, sciolta oppure lapidea, dalla quale si è originato il suolo. Le rocce, o meglio le formazioni geologiche, comprese quelle dei fondali marini, oltre ad espletare alcune funzioni del suolo già accennate, sono sede di risorse idriche, minerarie, energetiche che possono venire estratte; inoltre le formazioni geologiche e i processi geomorfici costituiscono le linee essenziali del paesaggio, che possiamo far confluire nella categoria delle citate risorse geologiche. Infine l’ambiente geologico è all’origine dei pericoli geologici ma può essere anche “elemento a rischio”.

Con riferimento alle sue interazioni con l’ambiente antropico, il sistema suolo/sottosuolo viene inteso come spazio fisico indispensabile all’impianto e allo sviluppo delle attività umane; a questo riguardo la legge 183/1989 sulla difesa del suolo amplia il concetto di suolo, inteso come “il territorio, il suolo, il sottosuolo, gli abitati e le opere infrastrutturali”.

Per *difesa del suolo*, secondo la relazione finale della Commissione De Marchi (1970)² si deve intendere “ogni attività di conservazione dinamica del suolo, considerato nella sua continua evoluzione per cause di natura fisica e antropica, e ogni attività di preservazione e di salvaguardia di esso, della sua attitudine alla produzione e delle installazioni che vi insistono, da cause straordinarie di aggressione dovute alle acque meteoriche, fluviali e marine o di altri fattori meteorici”.

Alquanto diverso è il concetto di *conservazione del suolo*, che è l’insieme delle azioni o modi per mantenere integre (o eventualmente migliorare) le sue caratteristiche: fisiche e meccaniche, chimiche, biologiche e in genere pedologiche.

In altre parole, la difesa del suolo consiste nell’insieme di quegli interventi che tendono a proteggerlo contro gli atti aggressivi esterni, naturali e artificiali (erosioni accelerate, alluvionamenti, ecc.), e in particolare contro gli eventi calamitosi, in quelle zone che sono già state danneggiate o sono in procinto di esserlo. Invece rientrano nella conservazione del suolo, ad esempio, quelle azioni integrative volte a evitarne l’impoverimento e altre sue forme di degradazione, quali l’idonea concimazione, la correzione della qualità del suolo con speciali pratiche agronomiche, ecc. Va da sé che i due concetti sono strettamente interdipendenti, né esiste una netta separazione tra essi, tanto che oggi si tende ad accomunarli, come, ad esempio, nella dizione “ricerca per la difesa e la conservazione del suolo”.

Il *territorio* è una porzione di superficie terrestre riferita al suolo e al sottosuolo, definibile sia in senso fisico che in senso politico e amministrativo, luogo di trasformazioni naturali o dovute all’attività umana. Il territorio inteso in senso fisico comprende non solo il suolo e il sottosuolo, ma anche le altre risorse naturali non viventi (aria, acqua) e viventi (flora e fauna).

Il bacino idrografico, la zona dolomitica, la pianura padana, ecc. sono territori delimitati con un criterio fisico: il Comune o la Provincia sono territori definiti in senso amministrativo, il territorio nazionale in senso politico.

La *difesa del territorio* può intendersi come un insieme articolato di azioni che vanno dalla ricerca (strumento di conoscenza) ai provvedimenti operativi (strumenti di intervento). In tal senso lo studio sistematico dei parametri climatici e idrologici, delle condizioni geologiche e geomorfologiche e l’inquadramento di queste conoscenze nelle vicende e nei provvedimenti attraverso i quali la società organizza il territorio costituiscono le necessarie premesse alla difesa del territorio intesa nella sua ampia accezione. Questi studi consentono poi di dotare il territorio stesso delle infrastrutture necessarie all’ordinato e organico sviluppo delle attività umane. Questa definizione di difesa del territorio è stata poi ripresa dalla legge 183/1989, per cui il concetto di difesa del suolo in sostanza coincide con quello di difesa del territorio.

Per *dissesto idrogeologico* la Commissione De Marchi intendeva l’insieme di “quei pro-

² La Commissione interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo è meglio nota col nome del suo presidente, professor Giulio De Marchi, uno dei più noti studiosi di idraulica che abbia avuto l’Italia. Tale Commissione di studio veniva istituita all’indomani delle catastrofiche alluvioni del 1966, con la legge 632/1967: i lavori della Commissione interministeriale non rappresentano solamente un’utile lettura per tecnici e operatori della difesa del suolo, ma costituiscono un pilastro tecnico, amministrativo e professionale, la cui scuola e osservanza sono ancora oggi doverose allorché si intende mettere mano alla sistemazione del territorio.

cessi che vanno dalle erosioni contenute e lente alle forme più consistenti della degradazione superficiale e sottosuperficiale dei versanti, fino alle forme imponenti e gravi delle frane”.

In seguito, la creazione del Gruppo nazionale per la difesa dalle catastrofi idrogeologiche (GNDCI) istituito nel 1984 dal Ministro per la ricerca scientifica e tecnologica e la normativa in materia di difesa del suolo hanno istituzionalizzato il termine “dissesto idrogeologico”, che viene definito come “qualsiasi disordine o situazione di squilibrio che l’acqua produce nel suolo e/o nel sottosuolo”. La legge-quadro sulla difesa del suolo (183/1989) e le sue modificazioni successive ribadiscono quel significato del termine, per cui attualmente i fenomeni ricadenti nel dissesto idrogeologico sono l’erosione idrica diffusa e quella profonda (frane, comprese le DGPV), l’arretramento dei litorali (o erosione costiera), le alluvioni, la subsidenza indotta dall’uomo e le valanghe. In questo testo si segue tale classificazione e inoltre vengono riconosciuti alcuni fenomeni quali i *sinkholes* e il *ritiro-rigonfiamento dei terreni argillosi* (o *suoli espandibili*), che per aderenza delle fenomenologie vengono inquadrati tra le frane. Forse meriterebbe essere incluso, tra i fenomeni ricadenti nel dissesto, il problema delle variazioni idrogeomorfiche degli alvei fluviali, che talora sono all’origine di danni alle infrastrutture e agli insediamenti ricadenti nelle aree di influenza della dinamica fluviale; ma considerati la relativa marginalità della morfologia e della dinamica fluviale rispetto al dissesto e lo spazio disponibile in questo volume, è sembrato opportuno tralasciare questo aspetto, per rimandare ad altri testi nei quali esso è stato trattato, quali Petts e Calow (1996), Gisotti e Benedini (2000), Gisotti e Zarlega (2004).

Un termine da usarsi più correttamente, secondo alcuni studiosi, sarebbe quello di dissesto “geomorfologico”, poiché i citati fenomeni sono studiati anche da quella branca delle Scienze della Terra chiamata Geomorfologia, mentre “idrogeologico” sarebbe da riferire allo studio delle acque sotterranee, di cui si occupa appunto l’Idrogeologia.

In conclusione, per restare più aderenti agli obiettivi del presente volume, si può affermare che la difesa del suolo ha come principale scopo la lotta al dissesto idrogeologico, ossia la previsione, la prevenzione e la mitigazione del rischio idrogeologico.

Al termine *protezione idrogeologica* si dà correntemente il significato di insieme di interventi che hanno l’obiettivo di proteggere il territorio contro le calamità idrauliche e geologiche di ricorrenza singolare e sistematica; per gli Istituti del CNR che si occupano di questa problematica è stato adottato questo termine (IRPI, Istituto di ricerca per la protezione idrogeologica).

Con *rischio naturale* si intende la probabilità con cui un determinato fenomeno può manifestarsi in un certo territorio, provocando effetti catastrofici. I più comuni rischi naturali sono i rischi geologici, i maremoti, le cadute di meteoriti, i tifoni e gli uragani, gli estesi incendi della vegetazione.

Tra i *rischi geologici* cui l’attività umana è esposta (con le sue implicazioni socio-economiche) ci sono il rischio sismico, il rischio vulcanico e il rischio idrogeologico, riferendosi con quest’ultimo termine ai fenomeni già enunciati del dissesto idrogeologico.

1.2. Il ciclo del disastro

L’ipotesi della ripetitività degli eventi calamitosi (in questo testo il termine evento ca-

lamitoso o calamità equivale a quelli di catastrofe o disastro) porta a schematizzare, secondo Alexander (2002), il ciclo di attività legate alla loro gestione in quattro fasi che, a partire dal superamento dell'emergenza, si distinguono in: recupero, mitigazione, preparazione e risposta (figura. 1.2).

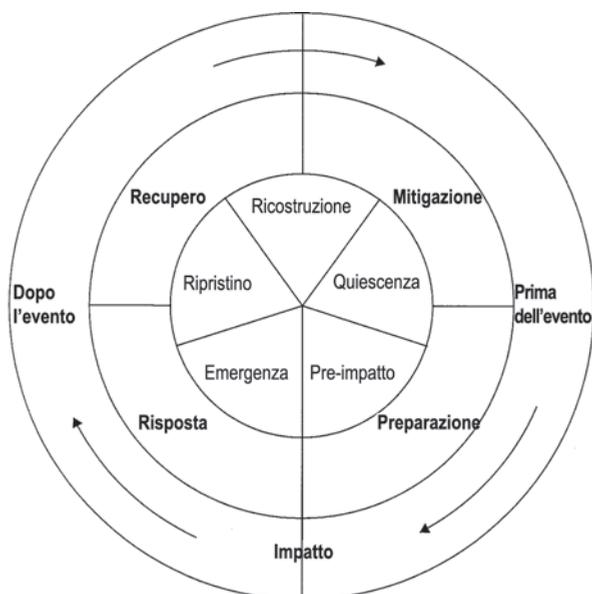


Figura 1.2. Il ciclo del disastro (fonte: Alexander, 2002)

Il *recupero* è la fase di ricostruzione che può anche durare molti anni. La fase di *mitigazione* comprende tutte le azioni pensate per ridurre l'impatto (in questo testo il termine impatto equivale a quelli di effetto negativo o danno) dei futuri eventi, attraverso *interventi strutturali e non strutturali*. La *preparazione* si riferisce ad azioni che riducono l'impatto quando gli eventi potenzialmente rischiosi sono imminenti e comprende le misure di sicurezza come l'evacuazione. La *risposta* è la messa in atto di azioni durante l'evento o immediatamente dopo e ha lo scopo essenziale di salvare vite umane.

La *previsione*, intesa come attività di conoscenza degli eventi calamitosi e tentativo di prevedere in termini quantitativi le possibilità/probabilità di accadimento, unita alla funzione di diffusione delle conoscenze, fa parte della fase di mitigazione, mentre le misure di *prevenzione* appartengono sia alla fase di mitigazione sia a quella di preparazione; ambedue afferiscono alla fase generale di attività pre-impatto.

1.3. Concetto di rischio idrogeologico

1.3.1. Definizione di rischio ambientale

Merita accennare al concetto di *rischio ambientale*, in quanto i rischi geologici (sismico, vulcanico, idrogeologico) rientrano nella categoria più ampia di tale rischio.

Nel concetto di rischio sono presenti diverse componenti: l'evento che può accadere, il

suo contesto ambientale, il danno che esso può produrre, l'incertezza relativa all'evento stesso. Si può dire che è l'incertezza la caratteristica fondamentale del "rischio", quella cioè che lo distingue dal "danno" o dall'"impatto", reali o sicuramente prevedibili (Malcevski, Marchetti, 1988).

Poiché vi sono varie definizioni (e numerosi metodi per valutare il rischio), merita chiarire il significato di questi termini, rifacendosi alla procedura dell'Unesco (Varnes, Jaeg, 1984). *Pericolosità o pericolo (hazard) (H)* esprime la probabilità che in una zona si verifichi un potenziale evento dannoso con una certa intensità entro un dato periodo di tempo (che può essere il "tempo di ritorno"); la pericolosità è quindi funzione anche della frequenza dell'evento. Nello sforzo di prevedere l'evento dannoso, si cerca pertanto non solo la previsione spaziale dell'evento ma anche quella temporale.

Il potenziale evento dannoso può essere un fenomeno sia naturale (terremoto, eruzione vulcanica, inondazione, subsidenza indotta, erosione costiera, fenomeni meteorologici quali uragani, incendi naturali, ecc.) che di origine antropica (incidente nucleare, incidente industriale come quello di Seveso, inquinamento di una falda idrica, ecc.).

Un aspetto importante della pericolosità di un evento è la sua *intensità*, termine generale che in alcuni casi viene sostituito da *magnitudo*. La magnitudo e l'intensità descrivono la grandezza, l'importanza dell'evento, ma i due termini poi si differenziano. Nel caso dei terremoti la magnitudo descrive le dimensioni dell'evento in funzione dell'energia totale rilasciata: ad esempio la scala Richter è una scala di magnitudo. L'intensità è correlata agli effetti in superficie e quindi ai danni e alle vittime causate dall'evento: ad esempio l'intensità di un terremoto descrive quanto il terreno subisce scuotimento sismico in un dato punto della superficie terrestre, ma essa non descrive realmente quanto violento sia stato il terremoto.

La valutazione della pericolosità si basa soprattutto sull'assunzione che eventi di uno stesso tipo che hanno già interessato determinate aree si possano ripetere nel futuro, nella stessa area, con modalità e frequenze analoghe.

In base alla citata definizione di pericolosità vi possono essere aree interessate, ad esempio, da intensi processi geodinamici (terremoti, frane, ecc.) che non comportano però nessun problema all'uomo e alle attività umane: il pericolo è elevato, ma il rischio è nullo o quasi. Questo si verifica per zone non antropizzate, a meno che gli effetti di tali processi non si possano trasmettere, entro tempi più o meno brevi, in aree adiacenti antropizzate. Ne consegue che il fenomeno fisico espresso attraverso la pericolosità, perché sia dannoso, deve essere confrontato con ciò che è presente sul territorio in termini di presenze umane, attività, infrastrutture, ecc. Tutto questo è esprimibile attraverso altri due parametri: la vulnerabilità e il valore (esposizione).

La *vulnerabilità (vulnerability) (V)* esprime l'attitudine di un determinato "elemento" (popolazione umana, edifici, infrastrutture, attività economiche, servizi sociali, risorse naturali, ecc.) a sopportare gli effetti in funzione dell'intensità dell'evento. In altre parole la vulnerabilità esprime il grado di perdite di un dato elemento o di una serie di elementi risultante dal verificarsi di un fenomeno di una data *magnitudo*, espressa in una scala da zero (nessun danno) a uno (distruzione totale).

Il *valore o esposizione degli elementi a rischio (exposure) (E)* si riferisce all'elemento a rischio (*element at risk*) che deve sopportare l'evento e può essere espresso dal numero di presenze umane o dal valore di una proprietà (terreno, costruzioni, ecc.) o dalla capacità

produttiva (industrie, aziende agricole, ecc.) o da una risorsa naturale (acqua, suolo, bosco, ecc.) utilizzata o utilizzabile dalla società umana, esposti a un determinato pericolo.

Il prodotto vulnerabilità (V) per valore (E) esprime quindi il danno (D), ossia le conseguenze derivanti all'uomo, in termini di perdite di vite umane, danni materiali, perdita di efficienza e funzionalità di infrastrutture, in seguito al manifestarsi di eventi dannosi ($V \cdot E = D$); quantifica cioè quello che l'uomo ha realizzato sul territorio e la severità delle conseguenze che un determinato fenomeno può provocare.

Attraverso la pericolosità, la vulnerabilità e il valore si può poi definire il rischio.

Il *rischio* (*risk*) (R) esprime il numero atteso di perdite di vite umane, di feriti, di danni a proprietà, di distruzione di attività economiche o di risorse naturali, dovuto a un particolare evento dannoso.

Può pertanto essere definita la funzione:

$$\text{Rischio} = \text{Pericolosità} \cdot \text{Esposizione} \cdot \text{Vulnerabilità}$$

In sintesi, il rischio è il prodotto delle dimensioni del danno atteso per la probabilità che l'evento accada. Gli *elementi a rischio* da considerarsi possono essere (D.P.C.M. 29 settembre 1998):

- l'incolumità delle persone;
- gli agglomerati urbani comprese le zone di espansione urbanistica;
- le aree su cui insistono insediamenti produttivi, impianti tecnologici di rilievo, in particolare quelli definiti a rischio ai sensi di legge;
- le infrastrutture a rete e le vie di comunicazione di rilevanza strategica, anche a livello locale;
- il patrimonio ambientale e i beni culturali d'interesse rilevante;
- le aree sede di servizi pubblici e privati, di impianti sportivi e ricreativi, strutture ricettive e infrastrutture primarie.

Restringendo l'interesse al campo dei fenomeni naturali, la definizione di rischio presuppone l'individuazione del fenomeno naturale e i danni temuti al manifestarsi del fenomeno qualora questo raggiunga una definita soglia di intensità.

I rischi geologici rivestono importanza preminente nella redazione di piani e progetti, negli studi d'impatto ambientale, ecc., secondo due approcci in un certo senso inversi (Gisotti, Bruschi, 1990). Infatti l'opera può provocare, in fase di costruzione e di esercizio, dissesti idrogeologici (quali frane innescate da apertura di cave o da sovraccarico di manufatti sul terreno, erosione di litorali causata da porti, ecc.) o microsismi indotti da grandi bacini artificiali; in generale l'opera può incrementare i pericoli per l'ambiente naturale e la comunità umana, rimuovendo barriere naturali, modificando la morfologia dei luoghi e la permeabilità del suolo, eliminando la vegetazione. In questo caso le risorse geologiche si pongono in una prospettiva "passiva" rispetto al progetto, in quanto la realizzazione di questo può alterarle o distruggerle. Viceversa i pericoli geologici presenti nel sito che dovrebbe ospitare l'opera possono manifestarsi durante la sua costruzione o gestione, trasformandosi in danni e perfino in totale distruzione dell'opera stessa. In questo caso i pericoli geologici si pongono in una prospettiva "attiva" rispetto al progetto, in quanto possono costituire limitazioni più o meno gravi per la realizzazione dell'opera stessa.

La massima attenzione deve quindi essere rivolta alla preventiva valutazione e quindi alla riduzione dei rischi geologici.

1.4. Previsione e prevenzione del rischio idrogeologico

Si premette che in questo testo non verrà trattata la teoria della valutazione, mitigazione e gestione del rischio, per cui si rimanda a testi specialistici³, peraltro si intende ispirarsi a tale teoria adeguandosi alle principali fasi del procedimento, che verranno seguite nella trattazione di ciascuno degli aspetti del dissesto idrogeologico.

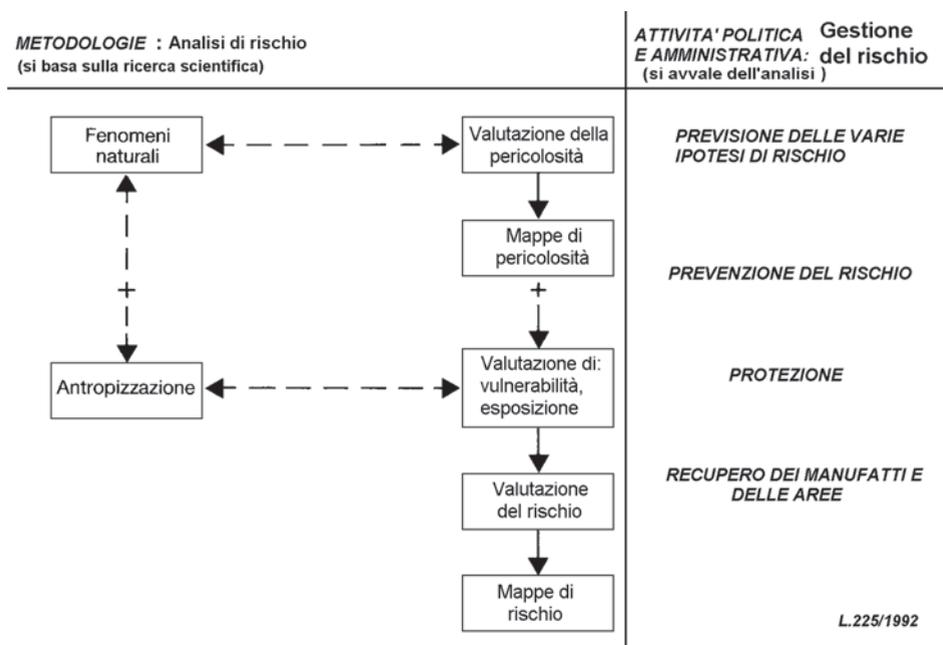


Figura 1.3. Percorso metodologico relativo alla determinazione del rischio

La lotta al (o il controllo del) dissesto idrogeologico viene individuata in due momenti fondamentali: la previsione e la prevenzione.

Secondo l'art. 3 della legge 225/1992, *Istituzione del Servizio nazionale della protezione civile*, la *previsione* delle varie ipotesi di rischio “consiste nelle attività dirette allo studio ed alla determinazione delle cause dei fenomeni calamitosi, alla identificazione dei rischi ed alla individuazione delle zone del territorio soggette ai rischi stessi”.

Sviluppando tale definizione, si può dire che la previsione consiste nelle attività dirette allo studio e alla determinazione delle cause e dei meccanismi degli eventi calamitosi, alla previsione degli eventi stessi sia come area soggetta al probabile evento che come momento dell'evento stesso; le citate attività permettono di redigere le “mappe di rischio” del territorio individuato, mappe ottenute incrociando le carte dell'intensità e della pericolosità con quella del danno atteso e degli elementi a rischio.

La previsione così intesa si basa sul supporto conoscitivo fornito dalla ricerca scientifica e tecnologica e dalla gestione delle reti di monitoraggio che consentono di controllare

³ Si può fare riferimento ad Aleotti, Polloni (2005) per la valutazione e mitigazione del rischio frane e a Murachelli, Riboni (2010) per il rischio idraulico.

con continuità gli eventi possibili, nonché dalle banche dati inerenti agli eventi calamitosi. Momento importante delle varie fasi di conoscenza del rischio è quello relativo all'*analisi del rischio*, basata sulla ricerca scientifica, da cui discende la *gestione del rischio*, processo sistematico volto all'attuazione di scelte politiche e strategiche per la riduzione del rischio stesso, come sinteticamente illustrato nella figura 1.3.

Sempre secondo l'art. 3 della legge 225/1992, la *prevenzione* "consiste nelle attività volte ad evitare o ridurre al minimo la possibilità che si verifichino danni conseguenti agli eventi di cui all'art. 2 [calamità, catastrofi naturali o connesse con l'attività dell'uomo] anche sulla base delle conoscenze acquisite per effetto delle attività di previsione".

Sviluppando tale definizione, si può dire che la prevenzione discende dalla previsione poiché, una volta stilate le mappe di rischio, ossia individuato il rischio, si passa all'adozione di interventi per la sua attenuazione (non essendo possibile eliminare completamente il rischio), per cui la prevenzione interviene ai vari livelli, sia con misure non strutturali che strutturali, e cioè:

- con misure non strutturali:
 - a livello normativo, stabilendo prescrizioni tecniche che impongano di realizzare servizi, abitazioni, infrastrutture con caratteristiche capaci di resistere all'evento, o quanto meno di minimizzare i danni conseguenti all'evento stesso;
 - a livello di pianificazione, redigendo piani regolatori, di fabbricazione e altri strumenti di programmazione socio-economica compatibili con le mappe di rischio, nonché adottando i "piani stralcio di bacino" e le "misure di salvaguardia" di cui rispettivamente ai commi 6-bis e 6-ter dell'art. 17 della legge 183/1989; nell'attività pianificatoria si considera anche l'apposizione di vincoli, temporanei o non, all'uso del territorio e l'eventuale applicazione di misure di delocalizzazione di insediamenti e infrastrutture (D.P.C.M. 29 settembre 1998);
 - a livello tecnico-scientifico, ricercando ad esempio soluzioni che rendano apparecchiature e impianti il più sicuri possibile, o effettuando studi e ricerche sui materiali e sulle tecniche per realizzare le opere più idonee per ridurre il rischio;
 - a livello informativo, educando, formando e informando amministratori, operatori e popolazioni per affrontare, nel modo più opportuno e sicuro, i vari rischi.
- a livello di misure strutturali ("prevenzione strutturale"), realizzando opere con le quali si riduce la probabilità del verificarsi dell'evento calamitoso, ad esempio alzando gli argini fluviali o costruendo opere di laminazione delle piene a monte dei siti a rischio di alluvione o realizzando drenaggi a monte di aree predisposte ai fenomeni franosi; la razionalizzazione delle pratiche agricole e di uso del suolo può essere considerata una misura strutturale.

Nella tabella 1.1 si illustrano gli argomenti citati.

Merita accennare che le attività di previsione e prevenzione del rischio vengono spesso inquadrate in interventi (o mezzi o misure) *strutturali* e interventi *non strutturali*.

I primi si riferiscono alle opere (strutture) destinate alla messa in sicurezza del territorio e delle popolazioni, quali sistemazioni idraulico-forestali e consolidamento dei versanti. I secondi sono ascrivibili ai vincoli inibitori e cautelativi relativi all'uso del suolo e alla costruzione di manufatti, imposti dalle norme sulla difesa del suolo e dai piani di protezione civile.

Tabella 1.1a. Gli stadi della previsione del rischio idrogeologico

Previsione	Mezzi	Scopi	Obiettivo
Individuare il tipo di rischio cui il territorio è soggetto, per poter predisporre le misure di attenuazione del rischio stesso	Ricerca scientifica e tecnologica mirata alla conoscenza dei meccanismi e delle cause del dissesto idrogeologico, alla elaborazione di modelli previsionali, ecc. Reti di monitoraggio, stazioni di rilevamento per controllare con continuità gli eventi possibili Banche dati, serie storiche Potenziamento delle strutture tecniche pubbliche per la difesa del suolo (Servizi tecnici, Autorità di bacino, ecc.) Coinvolgimento delle imprese nelle attività sopra descritte	Previsione p.d. dell'evento calamitoso: <ul style="list-style-type: none"> • fase propedeutica, ossia individuazione e censimento delle aree dissestate conosciute, indicando tipologia, attività, ecc. a varie scale (locale, regionale, nazionale) • localizzazione del probabile evento ("dove") • individuazione del momento in cui si manifesterà l'evento ("quando") • previsione delle conseguenze dell'evento 	Redazione delle mappe di rischio, di cui le mappe di pericolosità sono quelle propedeutiche

Tabella 1.1b. Gli stadi della prevenzione del rischio idrogeologico

Prevenzione	Livello normativo-tecnico	Livello di pianificazione	Livello tecnico-scientifico	Livello informativo
In teoria la prevenzione dovrebbe seguire la redazione delle mappe di rischio, laddove queste esistano; in generale la prevenzione consiste nell'adozione di misure di attenuazione del rischio, consistenti in interventi strutturali e non strutturali, che possono essere inquadrati in 4 livelli	Stabilendo norme per il controllo del dissesto idrogeologico del territorio Stabilendo prescrizioni tecniche relative alla tipologia delle nuove costruzioni, capaci di resistere meglio all'evento	Redigendo piani urbanistici, territoriali, di settore, ecc. compatibili con le mappe di rischio Adottando i piani stralcio di bacino Adottando le misure di salvaguardia Redigendo i programmi di previsione e prevenzione (L. 225/1992 e seguenti) Intervenendo sulle cause della pericolosità con interventi strutturali Realizzando e gestendo sistemi di allertamento	Sviluppando le conoscenze Ricercando soluzioni che rendano apparecchiature e impianti il più sicuri possibile Effettuando studi sui materiali e sulle tecniche più idonei per ridurre il rischio	Educando, formando e informando amministratori pubblici, operatori e popolazioni ad affrontare il rischio nel modo più opportuno e sicuro

In linea di massima, gli interventi strutturali tendono alla riduzione della pericolosità H^A , mentre gli interventi non strutturali tendono a ridurre l'esposizione E . Si può affermare che in linea generale gli interventi non strutturali richiedono risorse economiche molto più contenute rispetto a quelli strutturali.

Esempi di misure non strutturali per la riduzione del rischio sono i seguenti:

- norme per la difesa del suolo e sulla protezione civile;
- piani di emergenza;
- assicurazione contro i rischi di catastrofe;
- delocalizzazione di insediamenti e infrastrutture;
- monitoraggio dei fenomeni;

⁴ Definizioni delle due categorie di interventi sono espresse nel D.P.C.M. 29 settembre 1998, Allegato D.

- sistemi di preavviso e allerta;
- presidi territoriali;
- comunicazione e consapevolezza del rischio;
- coinvolgimento della popolazione nelle azioni di difesa (anche attraverso i “contratti di fiume”⁵).

Le norme generali sulla difesa del suolo e sulla protezione civile rappresentano leggi quadro che vanno nella direzione della previsione, prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico.

Gli esempi citati di misure non strutturali vengono esaminati nel seguito di questo volume; merita accennare ai sistemi di allerta precoce, che riguardano le varie tipologie di dissesto idrogeologico.

1.4.1. *Early warning e riduzione dei rischi in tempo reale. Presidi territoriali*

Con il termine *allerta precoce (early warning)* vengono indicati allarmi (*warnings*) che vengono diffusi nell’intervallo di tempo intercorrente tra il momento in cui vengono osservati fenomeni indicanti la generazione di un evento potenzialmente pericoloso e il momento in cui l’evento colpisce una determinata località. Le scale temporali caratteristiche dell’*early warning* sono diverse per le varie tipologie di evento:

- da secondi a decine di secondi per i terremoti;
- da minuti a ore per gli tsunami;
- da ore a giorni per gli eventi meteorologici;
- da ore a giorni per alluvioni e frane;
- da ore a settimane per le eruzioni vulcaniche.

L’adozione dei sistemi di allerta è considerata essenziale per fronteggiare le catastrofi (non solo naturali) in un mondo in cui la popolazione non solo è in continuo aumento, ma si va concentrando in megalopoli di diversi milioni o decine di milioni di abitanti. Infatti l’*early warning (EW)* appare come parola chiave in tutti i documenti che affrontano il problema della riduzione dei rischi, sia a livello di Nazioni Unite, sia a livello di Comunità Europea, che a livello nazionale (vedi le linee guida per la programmazione 2007-13 della Regione Campania).

L’implementazione di *early warning systems* per la mitigazione in tempo reale dei disastri è tecnicamente fattibile ed è uno strumento efficace anche per la riduzione dei rischi legati ad eventi innescati.

Le metodologie EW non sono un classico metodo di predizione deterministico, ma possono fornire la probabilità che un evento già iniziato o per la cui genesi si stanno creando condizioni favorevoli colpisca una determinata località.

Per poter essere efficacemente applicato, un *early warning* dovrebbe essere sempre dato in termini probabilistici e dovrebbe contenere una stima della probabilità di falso allarme. Di tale metodologia si accennerà in particolare nei capitoli sulle frane e sulle alluvioni. Un altro elemento necessario per la prevenzione è la rete dei Presidi territoriali di pro-

⁵ Si può fare riferimento a Bastiani (2011).

tezione civile, unità operanti nel territorio (della Regione, ecc.), in relazione al livello di criticità⁶ prevista o in atto: questi organi sono costituiti da personale qualificato e provvedono a fronteggiare la situazione di rischio negli ambiti territoriali di loro competenza. Ad esempio il Presidio idraulico è una struttura atta a provvedere ai monitoraggi in tempo reale nonché ad attivare le iniziative di propria competenza per il contrasto della pericolosità e degli effetti conseguenti al manifestarsi di eventi di piena che potrebbero dare origine a episodi alluvionali. Uno dei principali problemi da affrontare nel corso di una emergenza è rappresentato dalla qualità e dalla disponibilità, in tempo reale, dei dati territoriali di supporto alle decisioni di protezione civile. Uno dei compiti dei Presidi territoriali è quello della archiviazione, sistematizzazione e diffusione dei dati pertinenti, che possano consentire di rendere immediatamente disponibili a tutti gli operatori gli elaborati testuali, fotografici e cartografici prodotti, con immediati benefici per le attività di coordinamento e di supporto alle decisioni operative; ad esempio una tipica attività del Presidio territoriale è il supporto alla gestione dei Piani di emergenza.

Il Presidio territoriale ha quindi la duplice funzione di:

- definire, in tempo di “pace”, gli scenari di evento e gli scenari di rischio;
- osservare, in corso di evento, l’evoluzione del fenomeno segnalando tempestivamente l’insorgere di potenziali criticità (frane, alluvioni, ecc.).

1.5. La metodologia seguita nel testo

Una recente definizione di *dissesto idrogeologico* è la seguente: “la condizione che caratterizza aree ove processi naturali o antropici, relativi alla dinamica dei corpi idrici, del suolo o dei versanti, determinano condizioni di rischio sul territorio” (art. 54 del Decreto Legislativo 152/06).

Come si può notare, la definizione di dissesto idrogeologico (e dei termini correlati) diventa sempre più ampia man mano che la legislazione pone mano a questa materia, sotto l’influsso sia dei fenomeni catastrofici che si verificano che dell’avanzamento delle conoscenze tecnico-scientifiche e giuridiche. Oltre alle normative citate (legge 183/1989, legge 225/1992, Decreto Legge 180/1998, D.P.C.M. 29 settembre 1998, Decreto Legislativo 152/06) negli ultimi tempi ne sono state emanate altre che approfondiscono, rendono più sistematiche e complesse le procedure in materia: una di queste è la Direttiva del Presidente del Consiglio dei ministri del 27 febbraio 2004 *Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale, statale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile*.

Al fine di inquadrare le varie problematiche relative al dissesto per quanto riguarda l’approccio che abbiamo usato in questo testo, all’inizio della trattazione presentiamo la metodologia seguita.

Anzitutto è necessario affermare che in geomorfologia l’evoluzione del rilievo terrestre viene affrontato attraverso due processi fondamentali: la *degradazione*, intesa come ab-

⁶ “La criticità di una data realtà ambientale esprime il complesso delle caratteristiche che ne rendono la situazione precaria, suscettibile di degradi irreversibili” (Malcevski, 1991).

bassamento del rilievo terrestre a causa dei vari processi di demolizione fisici, chimici, biologici, e la *aggradazione*, ossia il colmamento delle bassure (quindi accumulo), per cui il materiale alterato e disgregato, derivato dalla degradazione, tende a portarsi a una posizione a più bassa energia potenziale.

La degradazione così definita coincide concettualmente con il termine *erosione*, mentre il complesso dei fenomeni che portano alla demolizione dei rilievi, al trasporto verso il basso dei materiali così prodotti e al loro accumulo viene definito come *ciclo dell'erosione*.

I materiali coinvolti nel ciclo dell'erosione sono, in sostanza, le rocce (litoidi o sciolte, detriti o suolo inteso in senso pedologico) e l'acqua (sotterranea o superficiale, immobile o fluente), mentre l'energia che mette in moto le masse è quella della forza di gravità, alla quale bisogna aggiungere il calore solare.

Venendo a come vogliamo trattare il dissesto idrogeologico, in sintesi possiamo affermare che i fenomeni di interesse sono il *deflusso incontrollato delle acque* e l'*instabilità dei versanti*.

Per cui possiamo così individuare ai fini pratici, e in base a una prassi consolidata sia dalla legislazione che dalle tipologie di opere mirate a contrastare detti fenomeni, le categorie di processi che intendiamo trattare e le opere o azioni destinate a contrastarli, generalmente diversi a seconda del tipo di dissesto (fra parentesi e in corsivo):

- erosione⁷, scindendola in erosione superficiale (*sistemazioni idraulico-forestali*) ed erosione profonda o frane, comprese le DGPV (*muri di sostegno, drenaggi, chiodature, iniezioni, ecc.*);
- *sinkholes* (*coltivazione dei minerali col metodo dei pozzi singoli, ecc.*) e i suoli espandibili (*drenaggi, ecc.*); queste due tipologie potrebbero essere studiate a parte, ma allo scopo di concentrare gli argomenti si preferisce inserirle nella categoria “frane”, poiché è quella più vicina sia nelle manifestazioni che nella tipologia di danni;
- alluvioni (*argini, scolmatori, casse di espansione, ecc.*);
- erosione costiera (*pennelli, frangiflutti, ripascimenti artificiali, ecc.*);
- valanghe (*cunei spartivalanghe, ponti da neve, ecc.*);
- subsidenza, in particolare quella indotta dall'uomo e in genere quella che provoca danni (*cessazione della estrazione di fluidi o solidi dal sottosuolo, ricarica artificiale delle falde, ecc.*).

Infatti la suddivisione in queste grandi categorie di dissesti non è certamente scientifica: ad esempio erosione superficiale, frane ed erosione costiera sono accomunate dagli stessi processi evolutivi e in teoria andrebbero studiate nell'ambito della stessa materia, però tendono ad essere studiate in diverse discipline applicative e sotto diversi approcci per quanto riguarda gli interventi di mitigazione del pericolo. Peraltro, gli interventi di sistemazione possono essere molto simili: ad esempio per sistemare un'area in frana può essere utile ricorrere alle briglie di correzione dei torrenti utilizzate nelle sistemazioni idraulico-forestali.

A dimostrazione del fatto che le diverse tipologie di opere e di azioni vengono studiate

⁷ Erosione è un termine ritenuto da alcuni Autori troppo generale e preferiscono usare altri per illustrare gli stessi processi, quali degradazione, denudazione, demolizione dei rilievi.

da diverse materie applicative ma vanno sempre inquadrare in un ambito sistematico più comprensivo, quale è appunto la difesa del suolo che si esplica nello stesso bacino idrografico (o, secondo la Direttiva comunitaria 2007/60/CE, nel Distretto), valga il quadro esplicativo della figura 1.4 relativa alle tipologie di opere di sistemazione, dove alcune tipologie sono funzionali sia per la difesa dall'erosione superficiale che per la stabilizzazione dei versanti in frana.

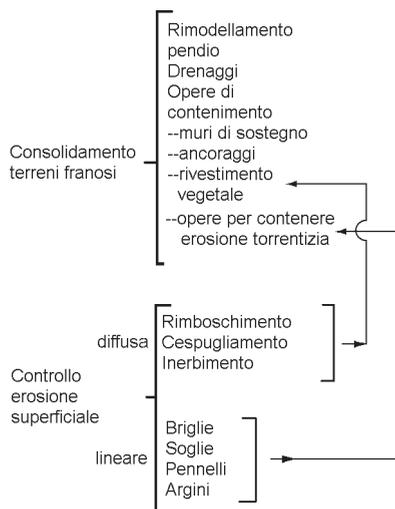


Figura 1.4. Schema delle opere per il controllo dell'erosione superficiale (in primis sistemazioni idraulico-forestali) e della bonifica delle aree franose (opere per la stabilizzazione dei pendii)

1.6. Glossario ragionato dei termini inerenti ai rischi naturali

Di seguito vengono riportati i principali termini inerenti ai rischi naturali, con l'intento di rendere sistematico l'utilizzo dei numerosi vocaboli usati in precedenza, i quali talora, a seconda degli autori, vengono impiegati con significati diversi.

Il glossario è stato elaborato da Arpa Piemonte (2005), sulla base dei lavori delle Nazioni Unite (UN-ISDR, 2002) e di Varnes, IAEG (1984) e riferendosi alla normativa sui rischi naturali, quali il D.P.C.M. del 29/09/1998 e la Legge n. 225 del 24/02/1992 sulla Protezione Civile.

A

Allertamento (o sistemi di allerta)

Insieme di procedure che fornisce in modo tempestivo (tempo reale) ed efficace informazioni che permettono preventivamente alle istituzioni e alla popolazione coinvolta in un evento naturale di reagire alla situazione di rischio.

L'allertamento è composto da quattro elementi principali:

- monitoraggio della situazione;
- previsione degli eventi imminenti (elaborazione dati e applicazione di modelli previsionali);

- diffusione dei codici di allerta alle istituzioni e alla popolazione;
- azioni di risposta (protezione e/o evacuazione).

Analisi di pericolosità

Identificazione e valutazione degli elementi caratteristici che definiscono la pericolosità, ovvero tipologia del processo, intensità, area coinvolta e probabilità di accadimento. Tali elementi possono essere descritti in termini qualitativi, quantitativi o semi-quantitativi.

Analisi di rischio

Identificazione ed elaborazione di tutte le informazioni inerenti il rischio sulla base dei risultati dell'analisi di pericolosità. L'analisi di rischio comprende le seguenti fasi:

- analisi di pericolosità;
- identificazione e valutazione degli elementi a rischio (persone, beni, ecc.);
- valutazione della vulnerabilità;
- valutazione del danno atteso;
- definizione del rischio.

Area coinvolta (o area colpita)

Area interessata dall'evoluzione di un fenomeno. Essa comprende sia le aree di innesco sia le aree di propagazione di un fenomeno.

C

Calamità (o evento calamitoso)

Distruzione su vasta scala che causa elevate perdite umane, materiali, economiche e ambientali. I danni superano la capacità della comunità coinvolta di far fronte alle difficoltà con le proprie risorse.

Catastrofe naturale

Evento naturale disastroso che determina il passaggio da una condizione di benessere a una di rovina e di miseria. Termine utilizzato spesso come sinonimo di calamità o disastro naturale.

D

Danno atteso (o danno potenziale)

Entità delle perdite potenziali nel caso di un evento con una certa intensità. Convenzionalmente, il danno atteso (D) viene espresso come il prodotto del valore dell'elemento a rischio (E) per la vulnerabilità (V):

$$D = E \cdot V$$

L'unità di misura con cui si indica il danno dipende dall'unità di misura utilizzata per indicare il valore.

Disastro (o evento disastroso)

Vedi *Calamità* e *Catastrofe naturale*.

E**Emergenza**

Situazione critica legata a un evento naturale (imminente, in corso o appena avvenuto) che impone interventi urgenti e straordinari finalizzati alla riduzione del danno.

Elementi a rischio (o elementi esposti al rischio)

Entità (quali persone, proprietà, attività economiche, servizi e infrastrutture, beni ambientali, ecc.) ricadenti all'interno dell'area coinvolta.

Evento calamitoso

Vedi *Calamità*.

Evento disastroso

Vedi *Calamità* e *Catastrofe naturale*.

Evento naturale

Processo o fenomeno di origine:

- geologica (terremoti, maremoti, attività vulcanica, movimenti gravitativi di versante, subsidenza, ecc.);
- idro-meteorologica (processi fluviali e torrentizi, valanghe di neve, cicloni, precipitazioni, siccità, ecc.);
- biologica (epidemie, diffusionsi floro-faunistiche, ecc.).

In genere si attribuisce agli eventi naturali un significato negativo, intendendo quei fenomeni che possono produrre danni per il sistema antropico (vedi anche *Pericolo*). È importante precisare, però, che tali eventi sono i normali processi di evoluzione nella biosfera che intervengono per lo più in modo indipendente dalla presenza umana e non sempre con effetti negativi sull'uomo (si pensi, ad esempio, alle inondazioni fluviali in grado di fertilizzare il terreno).

G**Gestione dell'emergenza**

Organizzazione delle competenze/responsabilità e delle risorse in relazione a tutti gli aspetti riguardanti l'emergenza (evento in corso o appena esaurito). La gestione dell'emergenza integra, in un limitato intervallo temporale, strutture e procedure speciali, riunendo e coordinando attività ordinarie di enti pubblici e privati (istituzionali e/o volontari).

Gestione del rischio

Processo sistematico riguardante l'analisi e il controllo del rischio volto all'attuazione di scelte politiche e strategiche per la riduzione del rischio stesso. La gestione del rischio consiste in decisioni amministrative, organizzative e operative basate sulle valutazioni derivanti dall'analisi di rischio e sulle competenze e responsabilità delle forze coinvolte (enti pubblici, privati e volontari).

Intensità

Severità geometrica e meccanica di un fenomeno. Può essere espressa in una scala re-

lativa oppure in termini di una o più grandezze caratteristiche del fenomeno (volume, velocità, energia, ecc.).

M

Magnitudo

Misura dell'intensità di alcuni fenomeni naturali. In particolare, nell'ambito dei rischi naturali, si utilizza il termine magnitudo per esprimere l'energia di un terremoto e il volume delle colate detritiche.

Misure non strutturali

Strumenti di pianificazione in grado di ridurre il livello di rischio. Queste misure non cercano di contrastare fisicamente il processo naturale, quanto piuttosto di monitorarne l'evoluzione affinché sia possibile gestire più razionalmente la risposta delle persone coinvolte da un evento (ad esempio piani di protezione civile). Tradizionalmente, gli interventi di tipo non strutturale venivano presi in considerazione qualora la realizzazione di misure strutturali risultasse inefficace, impossibile o troppo onerosa. Oggi, la tendenza di chi gestisce il rischio è quella di considerare contemporaneamente la possibilità di realizzare interventi strutturali e non strutturali, in combinazione tra loro.

Misure strutturali

Opere in grado di svolgere un'azione attiva o passiva nei confronti del processo naturale che devono contrastare: attiva, quando le opere evitano l'innescare del fenomeno; passiva quando le opere ne evitano la propagazione. La scelta tra un tipo di intervento attivo o passivo o una combinazione dei due dipende molto dalle caratteristiche del processo, dalle possibilità operative per realizzare le opere e dal rapporto costi/benefici.

Per dimensionare un'opera, ovvero per definirne le caratteristiche geometriche e strutturali, è necessario conoscere l'intensità del processo che solleciterà il manufatto: tanto maggiore è l'intensità del processo tanto più resistente deve essere l'opera che la deve contrastare e, generalmente, opere con maggiori prestazioni sono anche più costose.

Mitigazione

È una delle importanti fasi della gestione del rischio che viene condotta continuamente e progressivamente sia in tempi di non emergenza sia di emergenza, e consiste nella limitazione del danno atteso attraverso l'utilizzo di misure strutturali e non strutturali. Le scelte d'azione possono essere dirette in tre direzioni: verso una diminuzione della pericolosità, verso una riduzione del rischio o verso una riduzione di entrambi. Diminuire la pericolosità significa diminuire la probabilità di accadimento o l'intensità di un evento. Diminuire il rischio significa, invece, ridurre la vulnerabilità o il numero degli elementi esposti, siano essi persone o beni (edifici, infrastrutture, ecc.).

P

Percezione del rischio

Valutazione soggettiva del rischio da parte di un individuo o di una comunità.

Pericolo (naturale)

Processo naturale potenziale o in evoluzione che può produrre effetti negativi per l'uo-

mo o per l'ambiente. Il pericolo è rappresentato dall'intensità del processo e dall'area coinvolta.

Pericolosità

Probabilità temporale che un evento di data intensità interessi una certa area in un determinato intervallo di tempo. La pericolosità include condizioni latenti rappresentanti una futura minaccia per l'uomo e l'ambiente e generalmente viene espressa in termini di probabilità annua.

Piani di protezione civile

Misure non strutturali finalizzate alla riduzione del rischio sociale, attraverso l'individuazione delle aree a rischio e alla programmazione e organizzazione di interventi di emergenza.

I Piani prendono in considerazione numerosi scenari di rischio e per ciascuno scenario individuano aree coinvolte e aree sicure, numero di persone da allertare ed eventualmente da evacuare, logistica e organizzazione dei soccorsi in fase di emergenza. Il grande vantaggio di questi piani è di essere relativamente poco costosi e di poter essere approntati e collaudati prima di un evento. Un piano di protezione civile deve essere abbinato a un sistema di monitoraggio e allertamento.

Pianificazione territoriale

Programmazione delle diverse destinazioni d'uso del suolo (produttivo, residenziale, agricolo, ecc.). Una corretta pianificazione, che avviene a diverse scale territoriali e amministrative, bilancia la distribuzione degli insediamenti umani nell'ambiente naturale tenendo conto dell'armonico sviluppo delle attività antropiche (economiche, sociali, produttive, culturali, ecc.) e delle necessità ambientali. Una programmazione razionale del territorio fornisce un sostanziale aiuto alla riduzione del rischio in quanto regola l'espansione antropica nelle aree potenzialmente coinvolte da eventi naturali (ad esempio impedendo la creazione di nuovi insediamenti in aree inondabili o definendo le caratteristiche costruttive degli edifici in aree sismiche).

Prevenzione

Insieme di attività volte a ridurre o ad annullare il livello di rischio. Fanno parte delle azioni di prevenzione:

- sviluppo delle conoscenze (studi e ricerche);
- diffusione delle informazioni (sensibilizzazione verso una "cultura della prevenzione");
- pianificazione degli interventi di contrasto (misure di mitigazione);
- realizzazione e gestione del sistema di allertamento (monitoraggio, previsione, protezione civile).

Previsione

Indicazione precisa o stimata statisticamente sull'accadimento di un evento futuro. Questo termine, che assume una vasta gamma di significati a seconda delle discipline in cui viene utilizzato, racchiude numerose implicazioni di carattere terminologico. Infatti, la previsione riguarda diversi aspetti:

- previsione del tipo di evento;
- previsione in termini temporali;
- previsione spaziale;
- previsione delle conseguenze.

Preparazione

Attività e misure approntate in anticipo per fornire una risposta efficace all'impatto di eventi naturali, comprendenti l'emissione tempestiva dei codici di allerta e della eventuale evacuazione provvisoria della popolazione dalle aree a rischio.

R

Ricostruzione

Azioni svolte in seguito a un evento per riportare le aree coinvolte nelle condizioni di vita pre-evento, con particolare riguardo alla riduzione del rischio. Vengono in genere distinte due fasi principali: una prima fase di ripristino, anche provvisorio, delle infrastrutture più importanti (telecomunicazioni, energia, viabilità strategica, ecc.) in corso d'evento o nell'immediato post-evento; una seconda fase di ricostruzione che deve essere pianificata e che riguarda tutte le strutture e infrastrutture con durata indeterminata nel tempo.

Riduzione del rischio

Sistematico sviluppo e applicazione di politiche, strategie e procedure rivolte alla riduzione della vulnerabilità, impedendo (prevenzione) o limitando (mitigazione e preparazione) l'impatto negativo degli eventi naturali.

La riduzione del rischio comprende:

- conoscenza e valutazione del rischio (analisi di pericolosità e rischio);
- diffusione delle informazioni (formazione e divulgazione tecnico-scientifica);
- azione politica istituzionale (legislazione, organizzazione, finanziamento);
- applicazione di misure attive (pianificazione, realizzazione di opere strutturali, evacuazione, ecc.);
- realizzazione di sistemi di allertamento (previsione, codici di allerta, risposta coordinata).

Rischio

Probabilità che si verifichino conseguenze negative (per la vita umana, per i beni e le risorse, per le attività economiche o per l'ambiente) derivanti dall'interazione tra l'evoluzione di eventi naturali e le aree antropizzate. Convenzionalmente il rischio (R) è espresso come moltiplicazione della pericolosità (P) per il danno atteso (D):

$$R = P \cdot D = P \cdot E \cdot V$$

Il rischio viene generalmente espresso, analogamente alla pericolosità, in termini temporali di probabilità annua.

Rischio accettabile

Corrisponde al livello di perdite che una comunità considera accettabile in relazione a

pre-esistenti condizioni sociali, economiche, politiche, culturali e tecniche. In altri termini è il livello di rischio oltre il/al di sotto del quale una società non intende investire risorse per una sua riduzione (ad esempio perché gli investimenti superano i benefici).

Rischio residuo

Aliquota di rischio che persiste malgrado o in seguito a una riduzione del rischio.

Risposta

Interventi e assistenza forniti alle popolazioni colpite durante o immediatamente dopo un evento. Tali azioni sono volte in modo specifico alla sicurezza delle vite umane e alla fornitura delle prime necessità di sussistenza e hanno generalmente breve durata.

S**Scenario**

Descrizione quantitativa, qualitativa o semi-quantitativa di una situazione di pericolosità o di rischio. Lo scenario di rischio comprende la descrizione del danno in relazione a uno scenario di pericolosità, il quale a sua volta comprende la descrizione del pericolo e la relativa probabilità di accadimento.

Sistemi di allerta

Vedi *Allertamento*.

V**Valore degli elementi a rischio**

Quantificazione degli elementi a rischio, attraverso l'attribuzione di una valutazione quantitativa (valore economico, numero di entità), semi-quantitativa o qualitativa (valore alto, medio, basso). L'attribuzione di un valore agli elementi a rischio è un aspetto controverso dell'analisi di rischio in quanto risulta difficile esprimerlo univocamente. Infatti, se ad esempio è possibile attribuire un valore monetario alle attività economiche o alle proprietà, ciò risulta difficile nel caso delle persone o dei beni ambientali. Inoltre, la valutazione degli elementi a rischio è fortemente legata al contesto politico, sociale, culturale e religioso in cui viene condotta l'analisi di rischio.

Nell'ambito del Progetto europeo IMIRILAND (Bonnard *et al.*, 2004) è stata proposta una metodologia secondo la quale vengono individuate quattro categorie di valore (fisico, economico, sociale e ambientale) e per ciascuna di esse viene condotta una distinta analisi di rischio.

Vulnerabilità

Grado di perdita di un certo elemento a rischio, o gruppo di elementi, a causa dell'impatto con un fenomeno naturale di una data intensità. È espressa in termini qualitativi o quantitativi in una scala da 0 (nessuna perdita) a 1 (perdita totale) ed è funzione dell'intensità del processo agente e della tipologia dell'elemento a rischio.

2. LE CLASSIFICAZIONI DEI TERRENI

2.1. Definizioni

In geologia si definisce *roccia* un “aggregato di minerali, formatosi in seguito a processi naturali e facente parte della crosta terrestre sotto forma di massa geologicamente indipendente”; secondo questa definizione quindi sono rocce sia quelle litoidi (lapidee), come il calcare o il granito che formano una montagna, sia quelle sciolte, come la sabbia di una spiaggia. In geologia inoltre si usa spesso il termine generico *terreno* come sinonimo di roccia, ad esempio si parla di terreni calcarei, di terreni sabbiosi facendo riferimento alla litologia, oppure di terreni eocenici, giurassici, ecc. riferendosi all’età. Dal punto di vista della geologia tecnica si definiscono *rocce* i materiali lapidei e *terre* i materiali sciolti, come meglio verrà precisato nei paragrafi seguenti; sia le prime che le seconde vengono chiamate *terreni* e con questi significati useremo in questo volume i termini citati. Alcuni Autori invece del termine terra usano quello di *suolo*, traducendo in questo senso il termine della lingua inglese *soil*.

Il termine *suolo* ha un significato diverso a seconda delle varie scienze o applicazioni. In pedologia (scienza del suolo) s’intende per suolo “lo strato superiore della crosta terrestre, costituito da componenti minerali, organiche, acqua, aria e organismi viventi; esso rappresenta l’interfaccia tra terra, aria e acqua e ospita gran parte della biosfera” (Gisotti, 2011).

In urbanistica ha il significato di supporto degli insediamenti e in genere delle attività umane. In cartografia si usa il termine *uso del suolo* nel senso di occupazione dello spazio terrestre da parte dei consorzi vegetali e delle attività antropiche. Infine nel termine *difesa del suolo* quest’ultimo ha il significato di territorio.

Nel seguito si riportano alcune informazioni sulla classificazione geologico-tecnica dei terreni, particolarmente utile per la comprensione dei processi trattati in questo volume, mentre si rimanda alle pubblicazioni specialistiche per altre classificazioni, relative ad esempio alla litologia, alla permeabilità, alla erodibilità della rocce.

2.2. L’analisi dei terreni e la loro classificazione geologico-tecnica¹

2.2.1. Le condizioni geologiche

Lo studio dei terreni dissestati presuppone un’attenta conoscenza della materia sulla

¹ Per un approfondimento in questa materia si rimanda a testi specialistici generali, quali Cestelli Guidi, 1987-1991; Lancellotta, 1987; Ventura, 2011.

quale si intende operare. Una prima necessità è quella di disporre di una cartografia di base geologica, da definire prima di qualunque ulteriore approfondimento di ordine specifico (carte tematiche di dettaglio su problematiche di tipo geomorfologico, geotecnico, clivometrico, ecc.). Il supporto geologico è infatti la base per lo studio della dinamica territoriale, anche se non costituisce di per sé un documento conclusivo per la definizione di problematiche e poi per l'eventuale loro risoluzione.

Un primo approccio a tematiche di stabilità risulta pertanto una carta geologica generale dell'area, che descriva la distribuzione delle varie formazioni e in particolare dei litotipi presenti, le faglie e le fratture e la struttura tettonica.

I risultati della raccolta di dati geologici generali sono comunemente mostrati attraverso mappe e sezioni che illustrano graficamente aspetti del tipo (Canuti *et al.*, 1992):

- limiti areali delle unità formazionali o litologiche, correlazioni di età e giacitura;
- maggiori faglie e zone di taglio presenti;
- orientazione delle discontinuità;
- manifestazioni di acqua.

Uno degli obiettivi di tale supporto cartografico è quello di renderlo il più omogeneo possibile e con caratteristiche di “leggibilità” univoche da parte di coloro che ne usufruiranno. La notevole variabilità e talvolta complessità delle realtà geologiche non consentono di fornire regole certe e definitive sulla loro interpretazione; da ciò emerge la necessità di lasciare un buon margine alla esperienza geologica del rilevatore-redattore. Peraltro è opportuno riportare una definizione delle caratteristiche da analizzare così da rendere univoca l'interpretazione dei termini utilizzati. L'analisi geologica (ma a questo punto, trattandosi di preparare un elaborato che ha come scopo lo studio del dissesto idrogeologico, si può parlare di analisi geologico-tecnica) del terreno prevede approcci e tecniche differenti a seconda che si prendano in considerazione materiali sciolti (terre) o lapidei (rocce). Infatti la netta differenza di comportamento meccanico di questi due tipi di materiale induce, già nelle fasi preliminari, a prevedere metodologie di studio e rilevamento che puntualizzino aspetti diversi. Esistono infine materiali e situazioni che non rientrano specificamente in una delle due classi ora indicate e che, trovandosi in una posizione intermedia, utilizzano le tecniche di studio di entrambe.

Al fine di realizzare una forma di schematizzazione che consenta di giungere a metodologie di ordine generale, verranno di seguito analizzate le due condizioni estreme di terra e roccia, lasciando allo specialista la possibilità di una opportuna “miscelazione”. Attraverso le notizie disponibili in letteratura (ricordiamo che l'intero territorio nazionale è coperto da una cartografia geologica in scala 1:100.000 e che è in fase di redazione una cartografia geologica nazionale a scala 1:50.000) è possibile effettuare un primo inquadramento generale che consenta di predisporre le indagini successive, atte a redigere la cartografia geologica di dettaglio, che fungerà da base per gli ulteriori approfondimenti tematici.

Sarà così possibile effettuare una suddivisione dell'area di studio in settori o “domini” ove le caratteristiche macroscopiche possono essere ragionevolmente ritenute costanti. Tale zonazione preliminare può essere per esempio basata sui primi dati geologici quali la litologia (quindi la natura dei materiali), la giacitura, il grado di fratturazione, ecc. Il passaggio successivo diviene pertanto un approfondimento nella descrizione geologica e possibilmente geotecnica o geomeccanica.

Come già osservato le tecniche e le classificazioni si presentano nettamente distinte, entrando nel dettaglio necessario, nei due casi di roccia o terra.

Infatti per quanto riguarda la descrizione della litologia, dal punto di vista strettamente geologico, tutti i materiali della crosta terrestre vengono definiti *rocce*, indipendentemente dalle loro caratteristiche meccaniche. Se però si ritiene utile anche una prima indicazione sul loro comportamento meccanico, si deve distinguere la roccia (igneo, metamorfica, sedimentaria) dalla terra, che rappresenta il prodotto della sua alterazione e disgregazione da parte di agenti esterni quali il ghiaccio, la temperatura, la gravità, il vento e la pioggia. La descrizione geologica dell'ammasso roccioso o della terra deve quindi comprendere informazioni non solo sulla litologia, ma anche sul grado di consistenza dei materiali e sulla natura e geometria delle discontinuità presenti. Infatti la struttura complessiva del materiale che forma l'ammasso controlla il comportamento del materiale stesso, e in particolare la resistenza meccanica e la permeabilità. Pertanto, oltre alle "classiche" informazioni di un rilievo di tipo geologico (limiti formazionali, giacitura, spessore degli strati, zone di taglio, ecc.) dovranno essere analizzati altri aspetti, descritti in sintesi successivamente.

2.2.2. La classificazione litologica delle rocce e delle terre

Il primo passo dell'analisi geologica è la descrizione litologica del materiale in studio. L'importanza della definizione della litologia, comprendente sia gli aspetti propriamente mineralogici che quelli dello stato di aggregazione delle particelle (roccia litoide o sciolta), è legata a tre principali aspetti:

- l'esistenza, per ogni tipo di materiale, di un intervallo di valori relativo ad alcune proprietà meccaniche (peso specifico apparente, angolo di attrito interno, coesione);
- la presenza di precise relazioni che sussistono fra tessitura, struttura e anisotropia strutturale in materiali con una particolare origine;
- l'associazione che può esserci fra certi tipi di materiali e alcune caratteristiche geomorfologiche (ad esempio rocce carbonatiche che possono presentare cavità carsiche, oppure basalti che producono una fessurazione caratterizzata da giunti colonnari).

La descrizione e la classificazione litologica dei materiali è basata in sostanza sull'analisi della composizione mineralogica e delle caratteristiche macroscopiche (struttura e tessitura): per questo argomento si rimanda ad altri testi (GSEGW, 1972; Canuti *et al.*, 1992; Bosellini *et al.*, 1989; AA.VV., 1972; Whitten, Brooks, 1978).

Nelle prossime pagine si illustrerà brevemente una classificazione geologico-tecnica dei terreni, che è particolarmente aderente agli obiettivi del presente volume.

2.2.3. La classificazione geologico-tecnica dei terreni

2.2.3.1. Gli ammassi rocciosi²

Roccia, al contrario di terreno sciolto (terra), è sinonimo di stabilità e di resistenza, al-

² L'*ammasso roccioso* è costituito da volumi rocciosi elementari separati da discontinuità che rappresentano piani e/o superfici di debolezza, talora interessati da un piccolo spessore di materiale (*riempimento*) avente caratteristiche fisico-meccaniche diverse da quelle dei volumi rocciosi anzidetti. Esso comprende la roccia intesa come materiale (*matrice rocciosa*) e le discontinuità, che contribuiscono entrambe alla definizione del suo comportamento globale.

meno nel linguaggio corrente. In realtà quando si considera la roccia nelle dimensioni di grande massa, si ha invece un materiale discontinuo, suddiviso in volumi rocciosi elementari, con caratteristiche di resistenza che, globalmente intese, sono notevolmente ridotte per la presenza di giunti³ e discontinuità⁴ di diverso tipo. Il comportamento di un ammasso roccioso soggetto a un cambiamento del campo degli sforzi è guidato sia dalle proprietà meccaniche del materiale roccioso intatto che dal numero e dalla natura delle discontinuità presenti nell'ammasso. Pertanto l'inquadrimento geomeccanico di un ammasso roccioso prevede sia una caratterizzazione litologica della "matrice" (o roccia intatta) che il rilevamento delle proprietà relative alle discontinuità. Poiché le caratteristiche intrinseche di una formazione rocciosa, analizzata a scopi geologici e ingegneristici, non possono essere individuate mediante un solo parametro geomeccanico, occorre definirne più di uno per avere una cognizione di insieme sufficientemente esauriente: è evidente che non tutti i parametri indagati sono ugualmente importanti, per cui, ove si volesse giungere a classificare una formazione o meglio una unità geotecnica o geologico-tecnica⁵, combinando opportunamente più parametri, si dovrebbe attribuire a ciascuno di essi un appropriato coefficiente di importanza, come avviene nelle varie classificazioni qualitative, fra le quali le più usate sono quella di Barton (Barton, Choubey, 1977) e di Bieniawski (1976).

LE PROPRIETÀ MECCANICHE E LA DESCRIZIONE DELLE DISCONTINUITÀ

Come già ricordato, la definizione delle proprietà meccaniche delle rocce comprende la valutazione di resistenza della matrice e la descrizione delle discontinuità presenti nell'ammasso. Appare opportuno ribadire come in questo contesto la caratterizzazione meccanica della roccia non sia finalizzata a una cartografia geologica di elevato dettaglio (scala progettuale), pertanto verranno analizzati i procedimenti "descrittivi" diretti che necessitano di informazioni derivanti da una campagna geognostica speditiva (Canuti *et al.*, 1992): la raccolta di dati meccanici attraverso complessi procedimenti *in situ* o prove di laboratorio che richiedono particolari attrezzature fa parte di una fase progettuale successiva che non rientra nel compito conoscitivo del presente volume.

RESISTENZA MECCANICA DELLA MATRICE ROCCIOSA

Per quanto riguarda la resistenza meccanica della matrice rocciosa, si può fare ricorso in prima approssimazione a tabelle basate sulla litologia (vedasi ad esempio Hoek, Bray, 1977; Canuti *et al.*, 1992; Gisotti, Benedini, 2000) oppure servirsi di prove *in situ* e di laboratorio molto elementari che utilizzano i valori di compressione uniassiale ad espansione laterale libera (vedasi ISRM, 1978; AGI, 1977; Gisotti, Benedini, 2000).

Un test speditivo di campagna, facilmente eseguibile sia su porzioni di carota derivanti

³ Un *giunto* rappresenta una soluzione di origine geologica nella continuità di un corpo roccioso lungo la quale non è visibile dislocazione (movimento relativo delle due parti). Un insieme di giunti paralleli è chiamato *famiglia* e le famiglie si intersecano fra loro per dar luogo a un "sistema" di giunti.

⁴ Le *discontinuità* sono zone di minor resistenza con origine e caratteristiche legate alle modalità di genesi e messa in posto delle formazioni geologiche. Si distinguono in grandi discontinuità (faglie, fratture rilevanti) e famiglie o sistemi di discontinuità che si sovrappongono alle precedenti.

⁵ Per *unità geotecnica o geologico-tecnica* si intende un insieme di rocce che: *a*) hanno le stesse caratteristiche fisiche e meccaniche; *b*) si comportano omogeneamente rispetto a un dato tipo di problema geotecnico; *c*) presentano le stesse caratteristiche ingegneristiche.

da sondaggi geognostici che su campioni prelevati in superficie, è quello che porta alla definizione del *Point Load Index* (I_s): infatti attraverso l'uso dello strumento portatile *point load tester* è possibile ottenere il valore di I_s che è correlato alla compressione uniassiale da espressioni derivanti dalle caratteristiche costruttive dello strumento e quindi fornite dalla ditta produttrice.

Codificato a livello internazionale è lo sclerometro Schmidt modello L, che consente la correlazione “durezza Schmidt/resistenza alla compressione uniassiale”, in funzione della densità della roccia. Tale tipo di strumento è consigliabile in particolare per l'ampia letteratura esistente relativa alle correlazioni empiriche dei valori di rimbalzo e proprietà della roccia (compressione uniassiale, grado di alterazione, ecc.).

DESCRIZIONE DELLE DISCONTINUITÀ

La descrizione delle discontinuità presenti nell'ammasso roccioso costituisce un aspetto molto delicato nella definizione della roccia, in quanto spesso sottovalutato e sovente legato alla “sensibilità” del rilevatore. È opportuno riportare di seguito le grandezze da misurare e/o valutare con un crescente ordine di dettaglio.

Una prima caratterizzazione dell'ammasso roccioso dal punto di vista del grado di continuità si può effettuare mediante tabelle empiriche, ove si ha unicamente una descrizione molto generale della realtà globale della roccia (AGI, 1977; Canuti *et al.*, 1992).

Sempre con funzione orientativa generale può essere ricordata la valutazione della roccia attraverso l'indice *RQD* (AGI, 1977; Canuti *et al.*, 1992), disponendo di risultati derivanti da perforazioni a carotaggio continuo. L'utilità pratica di tale indice risiede nel suo utilizzo in alcuni dei più diffusi metodi speditivi di “attribuzione” di qualità della roccia in opere ingegneristiche di un certo rilievo (ad esempio nelle classificazioni empiriche *RMR* di Bieniawski o *Q* di Barton applicate alle gallerie, alle dighe e alle scarpate in roccia).

Entrando nel merito della descrizione di campagna delle discontinuità, relative a un intorno di dettaglio di un'area interessata da fenomeni franosi, si può fare riferimento ai metodi suggeriti dall'ISRM (1978). In questo caso vengono presi in esame alcuni parametri che permettono una definizione dello stato dell'ammasso roccioso e, in quanto codificati in modo uniforme, un confronto piuttosto oggettivo dei risultati ottenuti.

La definizione delle caratteristiche da rilevare e le scale di misura scelte derivano dalla sintesi di materiale proveniente da esperienze condotte su realtà progettuali differenti: essa costituisce comunque uno standard ormai largamente recepito a livello internazionale dagli operatori del settore.

Vengono in questo ambito ad assumere primaria importanza nella descrizione meccanica dell'ammasso roccioso i seguenti aspetti:

- l'orientazione, la spaziatura e la persistenza delle discontinuità, che consentono di inquadrare la geometria dell'ammasso attraverso il numero delle famiglie di discontinuità e la dimensione dei blocchi in cui esso risulta suddiviso;
- la scabrezza, la resistenza della roccia in prossimità delle pareti, l'apertura, la permeabilità e le caratteristiche del materiale di riempimento, che permettono di comprendere (quantomeno interpretare) i meccanismi di trasmissione degli sforzi e della circolazione idrica all'interno dell'ammasso.